№ 2 (2012)

Химия и Химики



В химии возможно все!
Шарль Адольф Вюрц

Химия и Химики

Содержание

Химия и другие науки 6

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии 7

Глава 1. Древние 11
Глава 2. Алхимия 21
Глава 3. Переходный период 35
Глава 4. Газы 47
Глава 5. Атомы 62
Глава 6. Органическая химия 80
Глава 7. Строение молекул 90
Глава 8. Периодическая таблица 105
Глава 9. Физическая химия 121
Глава 10. Синтетическая органическая химия 139
Глава 11. Неорганическая химия 156
Глава 12. Электроны 165
Глава 13. Атомное ядро 175
Глава 14. Ядерные реакции 194

Псилоцибин
История открытия ч.1 206
Синтез псилоцибина ч.2 225
Свойства псилоцибина, его нахождение в природе ч.3 227
Действие псилоцибина на человека и животных ч.4 230
Исследовательские программы, связанные с псилоцибином ч.5 242
Описания субъективных эффектов псилоцибина ч.6 250
Наши эксперименты с грибами псилоцибе полуланцетовидная (psilocybe semilanceata) ч.7 268
Псилоцибе полуланцетовидная: эксперименты и размышления ч.8 274
Послесловие ч.9 282
"Сумасшедшая ванна" (камера сенсорной депривации) [приложение 1] 287
Методика синтеза [приложение 2] 298

Химические реакторы 302

Химия ацетилена. Свойства, строение и реакционная способность алкинов 313

Практическая Химия и Физика 324

Зажгите лампу спичкой (электропроводность стекла) 325

Эксперименты с пропан-бутановой смесью

Огненное дыхание ч.1 352
Огненное дыхание ч.2 373
Огненное дыхание ч.3 386
Огненное дыхание ч.4 408
Свеча и пустое ведро ч.5 426
Горящая пена ч.6 452
Горящая пена ч.7 468
Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью ч.8 482
Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью ч.9 507
Из пустого в порожнее (переливание пропан-бутановой смеси) ч.10 534
Газ растекается по поверхности ч.11 543
Пропан-бутановая смесь и мыльная пленка ч.12 563
Горящий снег ч.13 582
Модель гидрозатвора ч.14 595
Горение выдыхаемого воздуха ч.15 606
Горение выдыхаемого воздуха (газовая горелка) ч.16 615
Каталитическое горение пропан-бутановой смеси на оксиде хрома (III) ч.17 629
Каталитическая горелка ч.18 659
Огненная метель ч.19a 679
Огненная метель ч.19b 701
Огненная метель ч.19c 729
Огненная метель ч.20 757
Пределы воспламеняемости газов в смеси с воздухом и кислородом (приложение) 783

Запал Кибальчича

Об устройстве запала Кибальчича и метательного снаряда ч.1 785
Попытка реконструкции запала Кибальчича ч.2 793
Запал Кибальчича (простая модель) ч.3 802

Некоторые комментарии к статье о закиси азота [№1 2012] (письмо в редакцию) 809

Юный Химик 813

Ртутное сердце (пульсация капли ртути) 814

Левитация
Что такое левитация? ч.1 823
Левитация мыльных пузырей ч.2 840

Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)?
Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)? ч.1 849
Медная проволока между контактами лампы ч.2 868
Графит между электродами лампы ч.3 871
Графит между электродами (220 В) ч.4 877

Лампа и ЛАТР (лабораторный автотрансформатор)
Что такое трансформатор? ч.1 897
Лампа и ЛАТР ч.2 904
ЛАТР (фотографии) ч.3 915

Самовоспламенение скипидара (нитрующая смесь) 919

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии)
Мерные колбы ч.1 931
Колбы ч.2 940
Пробирки и U-образные трубки ч.3 962
Капельные и делительные воронки ч.4 972
Реакторы (двугорлые и трехгорлые колбы). Кварцевая колба ч.5 981
Набор для микрохимического анализа ч.6 991
Аппарат Киппа ч.7 1002
Лабораторные мелочи (переходники, тройники, бюксы, краны, пробки и т.д.) ч.8 1009
Вакуум и фильтрование ч.9 1023
Самодельная воронка Бюхнера ч.9а 1043
Фарфоровая посуда и изделия ч.10 1046
Пикнометры ч.11 1068
Холодильники и дефлегматоры ч.12 1074
Насадки ч.13 1087
Промывные склянки, ловушки и другие склянки ч.14 1106
Аппарат (экстрактор) Сокслета ч.15 1126
Неизвестные склянки ч.16 1134
Стальные колбы и бомба (автоклав) ч.17 1145

Опыты без взрывов 1157
Глава 1. ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ 1162
Глава 2. ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ 1173
Глава 3. ЗАГЛЯНЕМ В КУХОННЫЙ ШКАФ 1208
Глава 4. ПРИЯТНОЕ С ПОЛЕЗНЫМ 1237
Глава 5. ЛОВКОСТЬ РУК 1277

Глава 6. СВОИМИ ГЛАЗАМИ 1319

Дискуссии 1355

Про підручник Г.А. Лашевська, А.А. Лашевська Хімія. 11 клас (лист до редакції) 1356

...И о науке в Украине можно забыть 1358

О научной карьере (Германия) 1365

Доска Позора 1371

"Капуста" из тыквы 1372

Полимономер 1374

Научный Юмор 1375

Химики ещё шутят 1376

Цветная соль 1426

Литпортал 1434

Размышления над сетью 1435

Клиент Бога 1443

О журнале Химия и Химики 1450

Обложка

Зимний лес (фотографии) 1451

Днепр, Десенка, Десна, острова (фотографии) 1459

Журнал для всех, кто интересуется наукой

Сайт журнала: http://chemistry-chemists.com/

Видео архив журнала Химия и Химики (видео эксперименты по химии):
http://chemistry-chemists.com/Video.html

Список рекомендованных учебников, практикумов и справочников по химии:
http://chemistry-chemists.com/Uchebniki.html

Научная библиотека с FTP доступом: http://chemistry-chemists.com/forum/viewtopic.php?f=16&t=1096

Форум журнала: http://chemistry-chemists.com/forum/index.php

Приглашаем всех желающих принять участие в работе форума.

Любые пожелания, предложения и замечания, а также отзывы вы можете написать непосредственно на форуме.

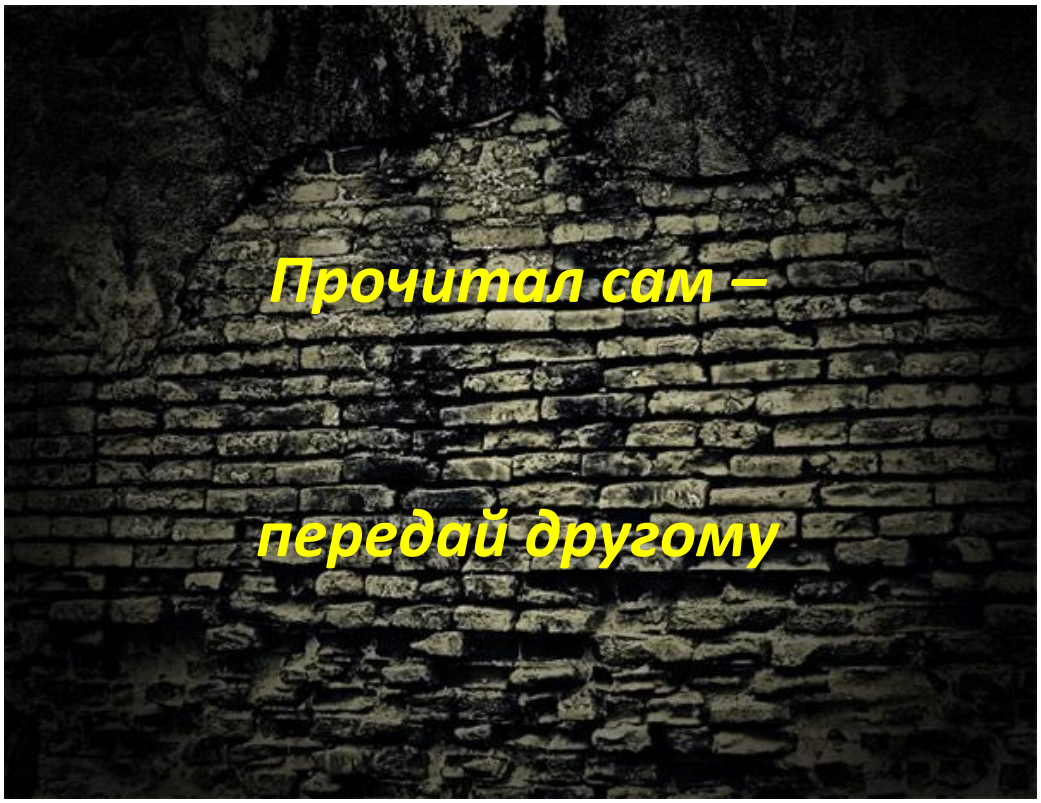
Адрес электронной почты: chemistryandchemists@gmail.com

Список замеченных опечаток: http://chemistry-chemists.com/Issues/corrections.html

По мере обнаружения опечаток и неточностей в прошлых номерах журнала, на сайте будут доступны номера с внесенными правками.

Мы благодарны всем читателям, которые разместили ссылки на сайт журнала **http://chemistry-chemists.com** *на сайтах, форумах и в блогах.*

Журнал предназначен исключительно для свободного распространения

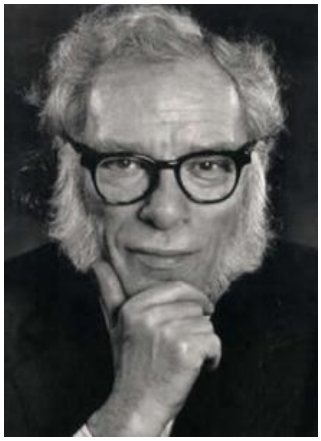


Химия и другие науки



Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов



Айзек Азимов (англ. Isaac Asimov, имя при рождении Исаак Юдович Озимов; 2 января 1920 - 6 апреля 1992) - американский писатель-фантаст, популяризатор науки, по профессии биохимик. Автор около 500 книг, в основном художественных (прежде всего в жанре научной фантастики, но также и в других жанрах: фэнтези, детектив, юмор) и научно-популярных (в самых разных областях - от астрономии и генетики до истории и литературоведения).

В своей книге "Краткая история химии" Айзек Азимов знакомит читателя с предметом химии, историей возникновения и развития основных идей и представлений. Книга предназначена для широкого круга читателей.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

ГЛАВА 1. ДРЕВНИЕ
Огонь и камень | Металлы | Греческие элементы-стихии | Греческая атомистика

ГЛАВА 2. АЛХИМИЯ
Александрия | Арабы | Возрождение в Европе | Конец алхимии

ГЛАВА 3. ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОД
Измерение | Закон Бойля | Новый взгляд на элементы | Флогистон

ГЛАВА 4. ГАЗЫ
Углекислый газ (диоксид углерода) и азот | Водород и кислород | Триумф измерения | Горение

ГЛАВА 5. АТОМЫ
Закон Пруста | Теория Дальтона | Гипотеза Авогадро | Веса и символы | Электролиз

ГЛАВА 6. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
Крушение витализма | «Кирпичики» жизни | Изомеры и радикалы

ГЛАВА 7. СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛ
Теория типов | Валентность | Структурные формулы | Оптические изомеры | Молекулы в трех измерениях

ГЛАВА 8. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА
Элементы в беспорядке | Приведение элементов в порядок | Заполнение пробелов | Распределение новых элементов по группам

ГЛАВА 9. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
Теплота | Химическая термодинамика | Катализ | Ионная диссоциация | Еще о газах

ГЛАВА 10. СИНТЕТИЧЕСКАЯ ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
Красители | Лекарственные средства | Белки | Взрывчатые вещества | Полимеры

ГЛАВА 11. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
Новая металлургия | Азот и фтор | На границе органической и неорганической химии

ГЛАВА 12. ЭЛЕКТРОНЫ
Катодные лучи | Фотоэлектрический эффект | Радиоактивность

ГЛАВА 13. АТОМНОЕ ЯДРО
Порядковый номер | Электронные оболочки | Физическая органическая химия | Период полураспада | Изотопы

ГЛАВА 14. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ
Новые превращения | Искусственная радиоактивность | Трансурановые элементы | Ядерная бомба

Предисловие редактора перевода

Historia est magistra vitae: История - учитель жизни. По-разному реализовывали этот древний латинский завет историки науки. Иногда история науки использовалась в качестве инструмента оценки науки как важного элемента современной культуры - духовной и материальной. Вспомним капитальный труд Дж. Бернала, посвященный роли науки в истории общества [1]. В. Оствальд писал, что именно история науки дает лучший и наиболее надежный материал, на котором могут быть изучены закономерности в развитии человечества. Сам он в труде «Путеводные нити в химии» использовал историю химии для логической переоценки эволюционирующих основных понятий этой науки [2]. Центробежные тенденции в развитии науки, в частности химии, углубляющийся процесс дифференциации и специализации сделали необходимыми усилия профессиональных историков науки, анализирующих с различных позиций эволюции основных теоретических проблем химии [3] или представлений об ее основных законах [4]. История науки, таким образом, помогает заново воссоздать химию в ее логическом единстве, содействуя новейшим интеграционным тенденциям в ее развитии.

Можно смело признать, что во всех этих трудах история науки действительно предстает

перед нами как учитель жизни. Однако здесь ее роль связана прежде всего с самосознанием науки. Она необходима ученым, чтобы лучше понять происходящие перемены, чтобы оценить место любого направления в сложнейшей развивающейся системе знаний.

А как обстоит дело с прямым дидактическим значением истории науки? Может ли она выступать действительно учителем? Можно ли с ее помощью ввести человека в неизвестный ему лабиринт знаний?

Почти никто не высказывает в этом сомнений. Но если мы посмотрим, много ли книг по истории науки можно использовать как своеобразное «Введение в специальность», то убедимся, что число их ничтожно. Оказывается, мало быть хорошим специалистом, чтобы используя исторические примеры, дать определение современной системе основополагающих понятий. Мало быть профессиональным историком, чтобы, отбросив все лишнее, показать только объединяющую логику развития науки. Необходимо обладать какими-то особыми качествами педагога, ученого и популяризатора, чтобы, не искажая исторической достоверности, провести читателя извилистым путем развивающегося знания и объяснить историческую закономерность и научную сущность всех основополагающих понятий науки в процессе их формирования.

Этими качествами обладает известный ученый, популяризатор и писатель-фантаст А. Азимов. Его не нужно представлять советскому читателю - много переводов его книг уже издано в нашей стране. Он знаком нам и как историк науки. В 1967 г. была переведена на русский язык его «Краткая история биологии» [5]. Но лишь в своей «Краткой истории химии», перевод которой мы представляем читателю, Азимов почти полностью реализовал дидактические возможности истории науки. Его книга, даже по строю и по форме, - это книга-учитель, книга-энциклопедия в первоначальном значении этого слова enkyklios paideia - обучение по всему кругу знания.

Это не означает, что Азимов нашел идеальную форму для изложения истории науки - нет, речь идет только о реализации одной из ее важнейших и очевидных, но с трудом воспроизводимых возможностей. Но одновременно книга Азимова кое-что и потеряла. За ее пределами остались описания острой борьбы сторонников различных воззрений. Ряд принципиальных моментов истории поднесен не всегда точно. Так, в целом объективно излагая ход событий, Азимов поразительно небрежен при оценке роли А.М. Бутлерова в

развитии химии. (Это тем более удивительно, что иногда менее значительные и сравнительно мало известные эпизоды - например, приоритет В.Н. Ипатьева перед Ф. Бергиусом - он излагает правильно.) Азимов абсолютизирует значение теории резонанса. Сама структура книги отвечает больше структуре общих курсов химии, нежели современным тенденциям эволюции структуры самой науки.

Всем этим вызвана необходимость в некоторых комментариях. В Советском Союзе исследования по истории химии получили широкое развитие. Труды Г.В. Быкова, В.И. Кузнецова, П.М. Лукьянова, С.А. Погодина, Ю.И. Соловьева, Я.П. Страдыня, Д.Н. Трифонова, Н.А. Фигуровского и других ученых известны далеко за пределами нашей страны. Кроме того, несколько лет назад издательство «Мир» подготовило два издания «Истории химии» М. Джуа в переводе Г.В. Быкова, под редакцией и с комментариями С.А. Погодина [6]. Это образцовое издание как с точки зрения перевода, так и редактирования и комментирования.

Этим наша задача была значительно облегчена. Во всех случаях мы имеем возможность отослать читателя к соответствующим трудам на русском языке. Поэтому комментарии, сопровождающие каждую главу, содержат помимо необходимых кратких дополнений и поправок, указание источников, к которым может обратиться читатель, заинтересовавшийся общими или частными вопросами истории химии соответствующего периода, а также жизнью и деятельностью крупнейших химиков прошлых эпох. Комментарии подготовлены редактором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернал Дж. Наука в истории общества. - М.: ИЛ, 1956.

2. Оствальд В. Путеводные нити в химии. Семь общедоступных лекций по истории химии. - М.: Типо-литография В. Рихтер, 1908, 207 с. (Второе издание на русском языке вышло под названием «Эволюция основных проблем химии». М., 1909).

3. Соловьев Ю. И. Эволюция основных теоретических проблем химии. - М.: Наука, 1971, 380 с.

4. Кузнецов В. И. Эволюция представлений об основных законах химии. - М.;Наука, 1967, 311 с.

5. Азимов А. Краткая история биологии. Пер. с англ. - М.: Мир, 1967, 175 с.

6. Джуа М. История химии. Пер. с англ. - М.: Мир, 1966, 452 с; Джуа М. История химии. Пер. с англ. - М.: Мир, 1975, 477 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 1. Древние

Огонь и камень

Тысячелетия назад человек впервые создал искусственные орудия труда. Он научился обрабатывать камни, придавая им нужную форму, заостряя края. Прикрепив заостренный камень к деревянной палке, он сделал первый каменный топор. Но даже обработанный камень оставался камнем, а дерево - деревом.

Однако молния могла зажечь лес, дерево горело, и на месте пожара человек находил черную золу. Сладкий сок мог прокиснуть и странно бодрил. Люди заметили, что иногда природа вещества меняется.

Сейчас мы знаем, что это - результат *химических превращений* вещества. Они составляют предмет науки, которая получила название *химии*.

Как только человек научился разводить и поддерживать огонь, он получил возможность осуществлять химические превращения некоторых веществ. Эти превращения могли быть результатом горения или вызываться выделяемым при горении теплом. Птицу можно было сварить, и она изменяла цвет, вкус, становилась мягче. Глину можно было обжечь, и она становилась прочнее. Если человек разжигал костер в песке, он мог в золе найти стеклянные шарики.

Сначала человек использовал только те материалы, которые он находил вокруг - камни, дерево, кости, шкуры животных. Самым прочным из них был камень. О тех давно прошедших временах нам рассказывают каменные орудия первобытного человека, поэтому мы называем этот период *каменным веком*.

Человечество находилось еще в каменном веке, когда - около 8000 г. до н.э. - произошло коренное изменение в способе добывания пищи. Раньше человек добывал пищу охотой, теперь он научился приручать животных и заботиться о них. Он научился выращивать растения. С развитием скотоводства и земледелия человек получил возможность

создавать запасы пищи, и население земли стало увеличиваться. Занимаясь земледелием, человек вынужден был оставаться на одном месте - возникли постоянные поселения и первые города. С этого началась цивилизация (само это слово происходит от латинского civitas - город).

На протяжении первых двух тысячелетий периода ранней цивилизации камень по-прежнему оставался основным материалом изготовления орудий труда, но способы его обработки значительно усовершенствовались. Для этого *нового каменного века*, или *неолита* характерно умение человека шлифовать камень.

Значительно усовершенствовалось гончарное дело. Культура неолита, медленно распространяясь из центральных областей Ближнего и Среднего Востока, достигла европейского континента. К 4000 г. до н.э. пришла пора дальнейших изменений - человек начал осваивать новые материалы, обладавшие очень ценными свойствами. Мы называем эти материалы *металлами*, возможно, от греческого слова «искать» [1].

Металлы

Первыми металлами, на которые человек обратил внимание, были самородные медь и золото. Красноватую медь и желтоватое золото, отливающие красивым металлическим блеском, нельзя было не заметить среди тусклой серовато-коричневой породы.

Вначале металлы, как и цветные камешки или перламутровые морские раковины, служили лишь украшением. Однако вскоре оказалось, что металлы выгодно отличаются от всех других украшений. Камень при ударе рассыплется в пыль, дерево и кость дают трещины; ударяя же по кусочку металла, можно придать ему нужную форму. Это свойство металлов (ковкость) было обнаружено, безусловно, совершенно случайно. Но вскоре после того, как человек узнал о ковкости металлов, он, повинуясь чувству прекрасного (которое всегда живет в нем), начал изготавливать из металлических самородков различные украшения, стараясь подчеркнуть красоту металла.

Обрабатывая медь, человек заметил, что изготовить из нее наконечник для стрелы гораздо легче, чем из камня, да и тупятся медные наконечники медленнее, чем каменные. Более того, заточить затупившийся медный наконечник намного проще и быстрее. Но меди было мало, найти ее было непросто, поэтому долгое время она служила в основном материалом для украшений.

Однако со временем выяснилось, что медь можно получить из камней определенного вида и что найти такие камни значительно проще, чем чистую самородную медь. Когда и как было сделано это открытие, мы с вами не знаем и, вероятно это навсегда останется тайной. Но можно представить, как это произошло. Загорелся лес, росший на почве, в которой содержались какие-то голубоватые камни. Пришедшие на пепелище люди нашли в золе сверкающие шарики меди, и кто-то первый догадался, что, нагревая эти голубоватые камни на костре, можно получить медь. Наверное, прежде чем такая догадка осенила человека, он много раз наталкивался на шарики меди на пожарищах.

Возможность получения меди была окончательно установлена, по-видимому, около 4000 г. до н.э., и скорее всего это случилось на Синайском полуострове или в горных областях Шумера (территория современного Ирака), а возможно, и одновременно в этих двух районах [2].

Так или иначе, но с этого времени медь стала вполне доступным материалом, и ее начали использовать для изготовления орудий труда, предметов домашнего обихода и т.д. Медная сковорода, найденная в захоронении, расположенном на территории Египта, датируется 3200 г. до н.э. А к 3000 г. до н.э. начали выплавлять и значительно более твердый, чем медь, металл - бронзу - сплав меди и олова. Произошло это также, несомненно, случайно. Вероятно, кто-то по ошибке нагрел вместе с медной и оловянную руду. Изготовленные из бронзы орудия труда найдены в гробнице фараона Итети, который правил в XXX в. до н.э. К 2000 г. до н.э. бронза уже широко использовалась для изготовления оружия и доспехов.

Самым крупным событием бронзового века была Троянская война. Воины того времени были одеты в бронзовые доспехи и вооружены дротиками с бронзовыми наконечниками. Не оснащенный таким образом воин был обречен. Поэтому кузнецы, ковавшие доспехи и оружие, пользовались особым уважением. Даже среди греческих богов был свой кузнец - хромоногий Гефест. И не случайно среди европейских фамилий так распространены фамилии, основу которых составляет слово «кузнец».

И еще раз на человека снизошло озарение. Люди бронзового века узнали о существовании железа - более твердого металла, чем бронза. Вначале железо было очень редким и дорогим металлом, так как это были обломки метеоритов. Получить его из рудного камня, как получали медь, казалось невозможным. Дело в том, что железо прочнее меди связано с рудой, в состав которой оно входит. Выплавить железо из руды

на костре не удается, для этого необходимо более «жаркое пламя».

Секрет плавки железа был открыт примерно в 1500 г. до н.э. в Малой Азии [3]. Как было установлено, столь необходимое «жаркое пламя» может дать древесный уголь, если через горящий уголь продувать воздух. Первыми широко применять железо начали хетты (один из народов, населявших Малую Азию). В письме хеттского царя (датируемом 1280 г. до н.э.) наместнику богатого железом горного района совершенно определенно говорится о производстве железа.

Чистое железо не очень твердое. Однако в процессе плавки железо может вобрать в себя столько углерода из древесного угля, что в результате образуется поверхностный слой сплава железа и углерода, называемого сталью. Этот сплав тверже самой лучшей бронзы, и изготовленный из него наконечник после заточки долго остается острым. Получение стали явилось поворотным моментом в истории развития металлургии и в истории развития общества. Наступил железный век.

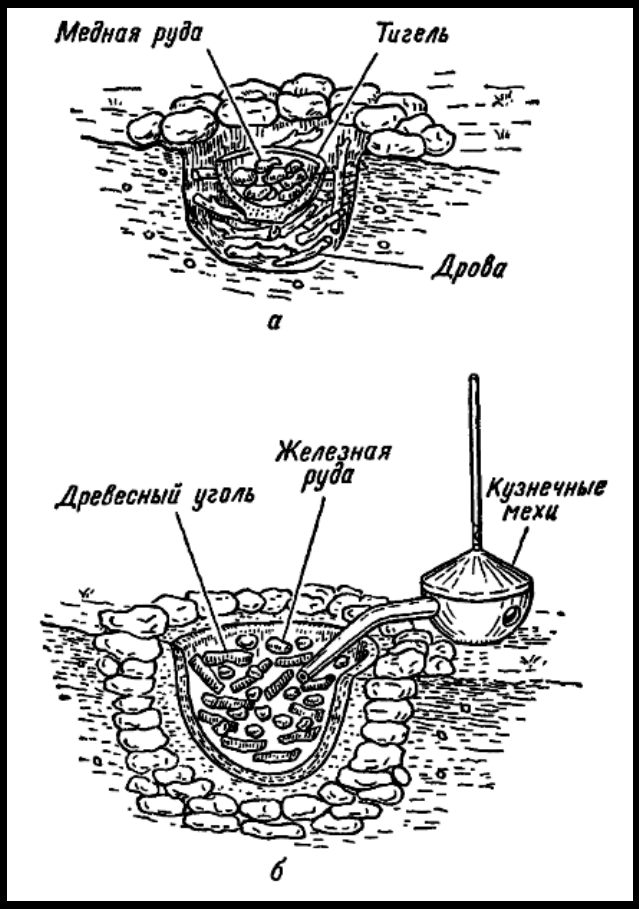
Располагавшие железным оружием дорийцы вторглись в 1100 г. до н.э. на Балканский полуостров и разгромили микенских греков. Микенские греки были более высокоцивилизованным народом, но еще не имели стали и были вооружены бронзовым оружием. Часть греков проникла в Ханаан и принесла с собой железное оружие. Это были те самые филистимляне, о которых так много говорится в Ветхом завете. И пока евреи не получили железного оружия (а это случилось при царе Сауле), они были по существу беспомощны.

Ассирийская армия была первой армией, полностью оснащенной железным оружием хорошего качества. Благодаря такому превосходству в вооружении ассирийцы покорили многие соседние народы и к 900 г. до н.э. основали могущественное государство. Расцвету древнегреческой философии предшествовали определенные успехи, достигнутые в прикладной химии. Египетские мастера занимались производством металлов, красителей, они научились бальзамированию.

Согласно одной из теорий, слово khemeia происходит от древнего названия Египта - Kham (в английском переводе библии оно превратилось в Ham), и, таким образом, оно должно означать «египетское искусство». Однако в настоящее время более популярно другое объяснение. Предполагается, что слово γημεια произошло от греческого χυμοζ - сок растения, так что khemeia - это «искусство выделения соков». Сок, о котором идет

речь, может быть и расплавленным металлом, так что khemeia может означать и «искусство металлургии».

Но каковы бы ни были источники слова khemeia, очевидно, что оно предок нашей «химии».



Плавильные печи устраивали таким образом, чтобы в них можно было получать из руды ковкий или плавкий металл. Медную руду (*а*) плавили в тигле. Железную руду (*б*) смешивали с древесным углем и, чтобы повысить температуру пламени, продували при помощи кузнечных мехов через горящую смесь воздух.

Греческие элементы-стихии

К 600 г. до н.э. греки, естественно научная мысль которых предвосхитила многие позднейшие научные открытия, обратили свое внимание на природу Вселенной и на структуру составляющих ее веществ. Греческих ученых, или «философов» (любителей мудрости), не интересовали способы получения тех или иных веществ и методы их практического использования, их интересовала главным образом суть веществ и процессов. Они искали ответ на вопрос «почему»? Другими словами, древние греки первыми занялись тем, что сегодня называется *химической теорией*.

Эта теория начинается с Фалеса (640-546 до н.э.) [4]. Фалес был греческим философом. Он жил в Милете, в Ионии - на западном побережье Малой Азии (на месте нынешней Турции). Фалес, вероятно, задавал себе следующий вопрос. Если одно вещество может перейти в другое, как голубоватый камень (азурит) переходит в красную медь, то какова же истинная природа вещества? Что представляет собой это вещество - камень или медь или ни то и ни другое? Любое ли вещество переходит в другое вещество (хотя бы постепенно), и если любое, то не являются ли все вещества разными вариантами одного и того же основного вещества?

На последний вопрос Фалес отвечал утвердительно, ибо только так, по его мнению, можно было внести ясность в описание окружающего мира. Теперь оставалось решить, что же представляет собой это основное вещество, или *элемент* [5].

Фалес решил, что этим элементом должна быть вода. Вода окружает сушу, насыщает воздух парами, пробивается через земную твердь ручьями и реками, а самое главное - без воды невозможна сама жизнь. Фалес представлял себе Землю в виде плоского диска, накрытого полусферической крышкой неба и плывущего по бесконечному океану воды.

Учение Фалеса о существовании некоего первоначала было воспринято и более поздними философами, спорным оставался лишь вопрос, является ли таковым вода.

В следующем столетии астрономы постепенно стали приходить к выводу, что небо - не полусфера, а сфера и что Земля также имеет сферическую форму и подвешена в центре пустой сферы неба.

Древние греки не могли представить себе возможность существования вакуума (полной пустоты) и поэтому не верили в то, что между подвешенной Землей и далеким небом есть пустое пространство. Поскольку часть пространства между землей и небом, по наблюдениям человека, заполнена воздухом, то вполне можно было предположить, что воздух находится везде [6].

Вероятно, размышления такого рода привели древнегреческого философа Анаксимена из Милета (585-525 до н.э.) к выводу, что первооснова Вселенной - воздух. Анаксимен полагал, что по направлению к центру Вселенной воздух сжимается, образуя более твердые и плотные разновидности вещества - воду и землю.

Другой древнегреческий философ Гераклит (540-475 до н.э.) из соседнего с Милетом города Эфеса подошел к этому вопросу иначе. Если Вселенной свойственно меняться, рассуждал он, то поиск элемента необходимо связывать с поиском субстанции, для которой изменение наиболее характерно. Такой субстанцией Гераклиту представлялся огонь - вечно меняющийся и все изменяющий [7].

Во времена Анаксимена персы завоевали побережье Ионического моря. Пытаясь освободиться от власти персов, греки подняли восстание, но оно было подавлено. После подавления восстания гнет персов еще больше усилился, что не могло не сказаться на развитии науки. Спасаясь от персов, ионийцы бежали на запад. В 529 г. до н.э. покинул свой родной остров Самос и Пифагор (ок. 532-497 до н.э.). Он отправился в южную Италию, где основал философскую школу.

К числу приверженцев учения Пифагора принадлежал и греческий философ Эмпедокл из Агригента (490-430 до н.э.). Он тоже немало потрудился над вопросом, какой элемент лежит в основе мироздания. Ни одна из точек зрения ионийцев не представлялась ему предпочтительной. Почему должно быть только одно начало? Почему не могут существовать четыре начала - огонь Гераклита, воздух Анаксимена, вода Фалеса и земля, которую в число начал ввел сам Эмпедокл?

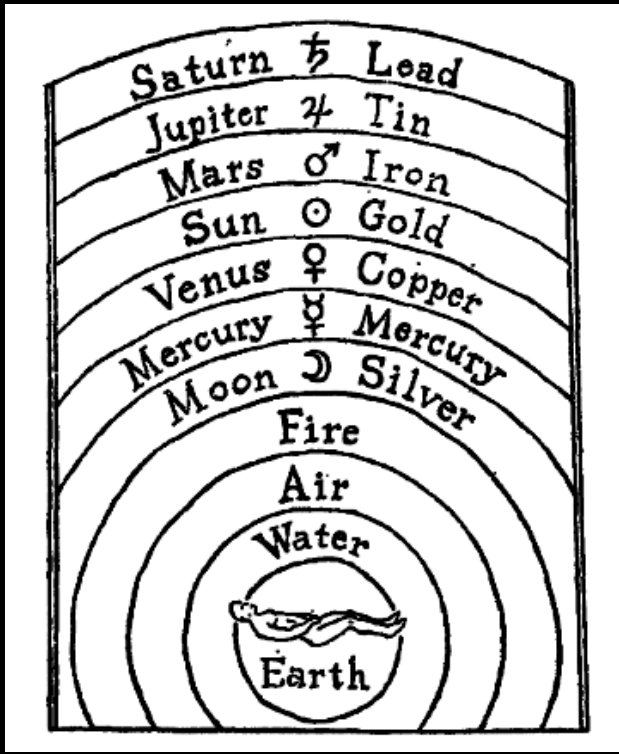
Представление Эмпедокла о четырех началах разделял величайший древнегреческий философ Аристотель из Стагиры (384-322 до н.э.). Аристотель считал четыре элемента-стихии не материальными субстанциями, а лишь носителями определенных качеств - теплоты, холода, сухости и влажности. Каждый из элементов-стихий является носителем двух свойств. В схеме Аристотеля допускались четыре комбинации: огонь - горячий и сухой, воздух - горячий и влажный, земля - холодная и сухая, вода - холодная и влажная.

Аристотель сделал еще один важный шаг. Каждый элемент он охарактеризовал определенным природным набором свойств. Так, огню присуще подниматься, а земле падать. Но свойства небесных тел отличались от свойств любого вещества земного происхождения. Не падая и не поднимаясь, небесные тела, казалось, постоянно вращались вокруг Земли.

Итак, Аристотель доказывал, что небеса состоят из «пятого элемента», который он называл эфир (от слова, означающего «сиять», ибо характерное свойство небесных тел - сияние). Поскольку небеса казались неизменными, Аристотель считал эфир

совершенным, вечным, нетленным и абсолютно отличным от четырех несовершенных элементов земли.

Представление о четырех элементах-стихиях властвовало над умами людей два тысячелетия, и хотя в конце концов наука отвергла его, мы говорим о «бушующих стихиях», когда хотим сказать, что ветер (воздух) и волны (вода) подняли бурю. Что же касается «пятого элемента» (эфира, по латыни *quintaessentia*), то до сих пор, имея в виду чистейшую и наиболее концентрированную форму чего-то, мы говорим «квинтэссенция» (а ведь это название, которое дал Аристотель пятому всеобщему принципу).



Алхимическая космология включала четыре элемента-стихии Аристотеля. При этом для обозначения и металлов и планет использовали одни и те же символы. На рисунке приведена схема Роберта Фладда (1574-1637), английского ученого эпохи Возрождения, который отдал дань оккультным наукам, предложив свою систему химических «элементов».

Греческая атомистика

Другим важным вопросом, занимавшим греческих философов, был вопрос о делимости материи. Камень, расколотый пополам или растолченный в порошок, оставался тем же камнем, каждую крупинку которого можно было разделить на еще меньшие частички. До какого предела можно проводить такое деление и существует ли вообще такой предел?

Иониец Левкипп (ок. 500-440 до н.э.) первым задался вопросом, можно ли каждую часть материи, как бы мала она ни была, разделить на еще более мелкие части. Левкипп

считал, что в итоге такого деления можно получить настолько малую частицу, что дальнейшее деление станет невозможным.

Демокрит из Абдеры (ок. 470-360 до н.э.), ученик Левкиппа, развил эту мысль своего учителя. Он назвал эти крошечные частички ατομοζ - «неделимые», и введенный им термин унаследовали и мы. Учение о том, что материя состоит из мельчайших частиц и что деление материи возможно лишь до известного предела, получило название атомистики, или атомистической теории.

Демокриту казалось, что атомы каждого элемента имеют особые размеры и форму и что именно этим объясняются различия в свойствах элементов. Реальные вещества, которые мы видим и ощущаем, представляют собой соединения атомов различных элементов, и, изменив природу этого соединения, можно одно вещество превратить в другое.

Все это звучит удивительно современно, но Демокрит не подкрепил свою теорию экспериментами. Древнегреческие философы вообще не ставили экспериментов, они искали истину в споре, исходя из «первопричин».

Для большинства философов (и особенно для Аристотеля) понятие о материальной частице, которую нельзя расщепить на более мелкие частицы, казалось настолько парадоксальным, что никто из них не мог его принять. Атомистическая теория оставалась не популярной в течение двух тысячелетий после Демокрита, о ней почти никто не вспоминал.

И все-таки атомистическая концепция полностью не исчезла. Древнегреческий философ Эпикур (ок. 342-270 до н.э.) использовал атомизм в своем учении, а эпикурейцы имели немало приверженцев и в последующие века. Одним из этих приверженцев был древнеримский поэт Тит Лукреций Кар (ок. 95-55 до н.э.), известный как Лукреций. Он изложил атомистические взгляды Демокрита и Эпикура в поэме «О природе вещей» («De Rerum Natura») - по мнению многих, лучшей из когда-либо написанных дидактических поэм (цель которых - обучение) [8].

Во всяком случае, в то время как труды Демокрита и Эпикура пропали, оставив лишь отрывки и цитаты, поэма Лукреция сохранилась полностью и донесла атомистическое учение до тех дней, когда в борьбу вступили новые научные методы, которые и привели атомизм к окончательной победе [9].

---

[1] А. Азимов связывает накопление химических знаний прежде всего с появлением и развитием металлургии. Однако ремесленная химия древности была гораздо шире. Параллельно с металлургией развивались техника изготовления красок (минеральных и растительных) и крашения, изготовления стекла и керамики. Наряду с металлургией важной основой дальнейшего развития экспериментальной химии была фармация.

[2] Самые древние изделия из меди насчитывают 9200-8750 лет до н.э. Они найдены в неолитических поселениях в верховьях р. Тигр. Изделия из меди, найденные на территории нынешней Турции, датируются 6400-5700 гг. до н.э.

[3] Железо земного (не метеоритного) происхождения было известно народам Южного Кавказа уже в 2100 г. до н.э.

[4] О процессе формирования представлений об "элементах-стихиях" см.: Ахутин А.В. Мифологические истоки учения об элементах. В кн.: Всеобщая история химии. Возникновение и развитие химии с древнейших времен до XVII в. - М.: Наука, 1980, с. 74-91.

[5] "Элемент" - латинское слово неизвестного происхождения. Греки не употребляли его, но, поскольку это одно из важнейших понятий современной химии, обойтись без него невозможно, даже в тех случаях, когда речь идет о греках.

[6] Очень важным для формирования качественно-химических представлений о веществе было введенное последователем Фалеса Анаксимандром (ок. 610-546 гг. до н.э.) понятие απειρον - первоначало, порождающее бесконечное многообразие всего сущего с различными качествами.

[7] На первый (и не очень внимательный) взгляд эти рассуждения представляются очень наивными. Но подумав немного, мы оценим, насколько глубоки были в действительности догадки древних греков. Заменим воздух, воду, землю и огонь на газ, жидкость, твердое вещество и энергию. Как известно, при охлаждении и сжатии газы сжижаются - образуют жидкости, которые при охлаждении и сжатии в свою очередь образуют твердые вещества. Разве представления Анаксимена противоречат такой схеме? А разве представления Гераклита об огне не похожи на современные представления об энергии, инициирующей химические реакции и выделяющейся при протекании химических реакций?

[8] Интересно, что Лукреций ни разу не употребил в своей поэме слово "атом", но использовал более десятка синонимов. Некоторые из них ("корпускула", "элемент") позднее получили распространение в языке науки, но в ином смысле.

[9] По материалам этой главы см.: Всеобщая история химии. Возникновение и развитие химии с древнейших времен до XVII в. - М.: Наука, 1980, 399 с. (Часть первая. Истоки химических знаний); Колчин Б.А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси. - М.: Изд-во АН СССР, 1953; Лукас А. Материалы и ремесленные производства Древнего Египта. - М.: ИЛ, 1958, 747 с

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 2. Алхимия

Александрия

После смерти Александра Македонского (323 г. до н.э.) его громадная империя распалась, но влияние греков по-прежнему распространялось на обширные территории Ближнего и Среднего Востока. И в последующие несколько веков («эллинистический период») в этих районах происходило интенсивное смешение культур. Один из военачальников Александра Македонского - Птоломей-Сотэр воцарился в Египте. В столице государства городе Александрии Птоломей основал храм муз «Мусейон», при котором была собрана богатейшая библиотека.

Древнегреческие философы ионийской школы (Фалес, Анаксимандр, Анаксимен, Гераклит), выдвигая идею о единстве всего сущего, в то же время разъединяли религию и естествознание.

Египтяне же, блестяще владея прикладной химией, тем не менее не выделяли ее в самостоятельную область знаний. Химия в Древнем Египте входила в «священное тайное искусство» жрецов. Обработка и подделка благородных камней, бальзамирование трупов и другие в общем-то совершенно не таинственные операции сопровождались молитвами, заклинаниями. Покровителем химии египтяне считали птицеголового бога Озириса. Познания египтян в прикладной химии поразили греков, и, перенимая их конкретные знания, греки восприняли многое и из мистики. (Они даже отождествили Озириса с греческим богом Гермесом.) Поэтому слияние прикладной химии египтян с греческой натурфилософией в принципе оказалось не столь плодотворным.

Хотя в древние времена искусство khemeia было тесно связано с религией, простые люди страшились тех, кто им занимался: им казалось, что «химики» владеют тайным искусством и опасными знаниями. (Астролог с пугающим знанием будущего, химик с его удивительной способностью изменять вещества и даже жрец, знающий, как умилостивить богов и снять проклятия, служили прообразами волшебника, колдуна и чародея народных сказаний.)

Это общественное уважение или, правильнее сказать, боязнь заставляла тех, кто занимался khemeia, излагать свои писания загадочными туманными символами, что усиливало впечатление таинственности.

Например, известны семь небесных тел, постоянно меняющих свое положение и поэтому названных «планетами» («блуждающими звездами»). И известны семь металлов: золото, серебро, медь, железо, олово, свинец и ртуть. Почему бы не разбить их на пары? Именно тогда золото стали соотносить с Солнцем, серебро с Луной, медь с Венерой и т.д. Химические превращения объяснялись мифологическими сюжетами. Влияние тех взглядов чувствуется и сегодня. Старое название нитрата серебра *lunarcaustic*, или ляпис, явно указывает на связь серебра и Луны. Ртуть получила название от планеты Меркурий; ртуть - современное название металла, а древнее название ртути - *hydrargyrum*, т.е. «жидкое серебро»; почти идентично старое английское название - «живое серебро» (quicksilver).

Эта более или менее намеренная неясность языка химии имела два отрицательных следствия. Во-первых, она приводила к торможению прогресса, так как каждый работавший в этой области пребывал в неведении или по крайней мере терялся в догадках относительно того, чем же занимаются его коллеги, так что нельзя было ни учиться на ошибках, ни перенимать опыт. Во-вторых, любой мошенник и шарлатан мог, при условии, что он непонятно изъяснялся, выдать себя за серьезного ученого. Отличить ученого от плута было довольно трудно.

Первым значительным представителем греко-египетского khemeia, имя которого дошло и до нас, был Болос из Менде (ок. 200 г. до н.э.), города в дельте Нила. В своих работах Болос использовал имя Демокрита, и поэтому его называют «Болос-Демокрит» или иногда «Псевдо-Демокрит». Болос посвятил себя одной из важнейших задач khemeia - превращению одного металла в другой, и в частности превращению свинца или железа в золото (*трансмутация*).

Согласно теории о четырех элементах, различные вещества на Земле различаются только по характеру сочетании элементов. Эту гипотезу можно было принять вне зависимости от атомистических воззрений, так как элементы могут смешиваться и как атомы, и как однородные вещества. Действительно, предположение о том, что сами элементы взаимозаменяемы, не было лишено оснований. Вполне можно было допустить,

что вода при испарении превращается в воздух, который в свою очередь превращается в воду во время дождя. Дерево при нагревании превращается в огонь и дым (вид воздуха) и т.п.

Почему же в таком случае не допустить возможность любого изменения? Может быть, все зависит только от выбора метода? Красноватый камень можно, используя ряд приемов, превратить в серое железо. Однако во времена Ахилла - храбрейшего из древнегреческих героев эти приемы были неизвестны, и Ахилл вынужден был осаждать Трою, облачившись в бронзовые доспехи. Почему же нельзя, используя какие-то другие способы, не известные во времена Александра Великого, превратить серое железо в желтое золото?

На протяжении столетий химики самозабвенно старались отыскать способ получения золота. Некоторые из них пришли к выводу, что проще и выгоднее сделать вид, что это им удалось, так как это давало власть и создавало репутацию. Подобные мошенничества продолжались вплоть до нового времени, но мы не будем касаться этой стороны khemeia.

Болос в своих работах приводил подробные описания методов получения золота, но это не было мошенничеством. Можно, например, сплавить медь с металлическим цинком и получить латунь - сплав желтого цвета, т.е. цвета золота. Весьма вероятно, что для древних исследователей изготовление металла цвета золота и означало изготовление самого золота.

Однако в эпоху Древнего Рима общий упадок греческой культуры сказался и на искусстве khemeia. После 100 г. н.э. к старым знаниям фактически перестали добавляться новые, зато работы старых авторов все чаще и чаще стали истолковываться в мистическом духе. Например, приблизительно в 300 г. н.э. египтянин Зосима написал энциклопедию - 28 книг, которые охватывали все знания по khemeia, собранные за предыдущие пять или шесть веков. Ценность этой энциклопедии не слишком велика. Конечно, в ней можно найти любопытные сведения, в частности, о мышьяке. Зосима описал методы получения ацетата свинца; он указал, что у этого ядовитого соединения сладковатый вкус (название «свинцовый сахар» дошло до наших дней).

Окончательный удар khemeia нанес страх. Римский император Диоклетиан боялся, что получение дешевого золота окончательно подорвет шаткую экономику разваливающейся империи. Он приказал уничтожить труды по khemeia, и это одна из причин того, почему их

так мало дошло до наших дней.

Другой причиной было распространение христианства. «Языческие знания» стали не популярны, а искусство khemeia, тесно связанное с древней египетской религией, казалось особенно подозрительным, и вскоре оно фактически стало нелегальным [1].

Древний Рим в целом стал отходить от древнегреческой культуры. Христианство разбивалось на секты, одна из них приняла название несторианской - по имени сирийского монаха Нестора, жившего в V в. Ортодоксальные христиане Константинополя преследовали несториан, и часть из них бежала на восток, в Персию; персидские монархи благоволили к ним (вероятно, надеясь использовать их против Рима). Несториане принесли с собой в Персию греческую культуру; наивысший подъем их власти и влияния приходится приблизительно на 550 г. н.э. [2]

Арабы

В VII в. на мировой арене появились арабы. До тех пор они жили изолированно в пустынях Аравийского полуострова, но со второй половины первого тысячелетия под знаменем новой религии - ислама, начали победоносное шествие и захватили большие районы западной Азии и северной Африки. В 641 г. н.э. они вторглись в Египет и вскоре заняли всю страну, а через несколько лет такая же судьба постигла и Персию. Возникла огромная арабская империя.

Подражая древним властителям, арабские халифы начали покровительствовать наукам, и в VIII-IX вв. появились первые арабские химики. Арабы преобразовали слово khemeia в *al-kimiya* . Европейцы позднее заимствовали это слово у арабов, и в результате в европейских языках появились термины «алхимия» и «алхимик». Термин «алхимия» сейчас употребляют, когда говорят о периоде истории химии, охватывающем около двух тысячелетий, начиная с 300 г. и до 1600 г.

Впервые с khemeia арабы познакомились довольно необычным образом. В 670 г. корабли арабского флота, осаждавшего Константинополь (самый большой и сильный город христианского мира), были сожжены «греческим огнем» - химической смесью, образующей при горении сильное пламя, которое нельзя погасить водой. По преданию, эту смесь изготовил занимавшийся khemeia Каллиник, который бежал из своего родного Египта (или, может быть, Сирии), спасаясь от арабов.

Страницы европейской истории химии периода между 300 и 1100 гг. фактически пусты. После 650 г. развитие греко-египетской алхимии полностью контролировалось арабами, и так продолжалось в течение пяти веков. Следы этого периода сохранились в ряде химических терминов с арабскими корнями: *alembic* (перегонный куб), *alkali* (щелочь), *alcohol* (спирт), *carboy* (оплетенная бутыль), *naphta* (лигроин), *zircon* (цирконий) и др.

Самым талантливым и прославленным арабским алхимиком был Джабир ибн Хайян (721-815), ставший известным в Европе позднее под именем Гебер. Он жил во времена наивысшего расцвета арабской империи (при Гарун аль-Рашиде, прославленном в «Тысяча и одной ночи»). Многочисленные труды Джабира написаны достаточно понятным языком. (Многие книги, приписанные ему, правда, могли быть написаны и позднее другими алхимиками.) Джабир описал нашатырный спирт и показал, как приготовить свинцовые белила. Он перегонял уксус, чтобы получить уксусную кислоту - самую сильную из известных в то время кислот. Ему удалось получить слабый раствор азотной кислоты.

Джабир изучал возможность трансмутации металлов, и эти его исследования оказали сильнейшее влияние на последующие поколения алхимиков. Джабир полагал, что ртуть является особым металлом, так как благодаря своей жидкой форме она содержит очень мало примесей. Столь же необычными свойствами обладает и сера: она способна воспламеняться (и к тому же она желтая, как и золото). Джабир считал, что все остальные семь металлов образуются из смеси ртути и серы, «созревающей» в недрах земли. Труднее всего образуется золото - наиболее совершенный металл. Поэтому, чтобы получить золото, необходимо найти вещество, ускоряющее «созревание» золота.

В старинных преданиях говорилось, что это вещество представляет собой сухой порошок. Греки называли его *xerion*, или «сухой», арабы изменили его на *al-iksir*, и в конце концов в европейских языках появилось слово *эликсир*. В Европе это удивительное вещество получило название *философского камня*. (Вспомним, что до 1800 г. «философами» называли всех «ученых».) Эликсир должен был обладать и другими чудесными свойствами: излечивать от всех болезней и, самое главное, давать бессмертие. И в последующие столетия алхимики шли двумя параллельными путями: одни искали золото, другие - эликсир жизни, дававший бессмертие.

Другой арабский алхимик Ар-Рази (865-925), ставший известным в Европе под именем Разес, занимался медициной и алхимией. Он завоевал почти такую же известность, как и

Джабир. Ар-Рази описал методику приготовления гипса и способа наложения гипсовой повязки для фиксации сломанной кости. Он изучил и описал металлическую сурьму. Джабир рассматривал серу как принцип горючести, ртуть как принцип металличности, Ар-Рази добавил к этим двум принципам третий - принцип твердости, или соль. Летучая ртуть и воспламеняющаяся сера образовывали твердые вещества только в присутствии третьего компонента - соли.

Ар-Рази интересовался медициной больше, чем Джабир, но самым знаменитым врачом был бухарец Ибн-Сина (ок. 980-1037), гораздо более известный под латинизированным именем Авиценна. Его сочинения служили важнейшими руководствами для врачей в течение многих веков. Авиценна единственный из алхимиков не верил в возможность получения золота из других металлов.

Возрождение в Европе

Авиценна был последним крупным ученым арабского мира; наступала пора упадка. Опустошительные набеги монгольских орд ускорили этот процесс. Центр научной мысли вновь переместился в Европу.

В 1096 г. начался первый крестовый поход; христиане начали отвоевывать у мусульман захваченные ими земли. В 1099 г. христиане завоевали Иерусалим. Почти два столетия на побережье Сирии просуществовало христианское государство. Произошло некоторое смешение культур, и горсточка христиан, возвратившихся в Европу, познакомила европейцев с достижениями арабской науки. В то же самое время христиане постепенно возвращали себе Испанию, захваченную арабами в начале VIII в. Во время этих войн христианская Европа узнала о блестящей мавританской цивилизации [3]. Европейцы узнали, что арабы - обладатели книжных сокровищ: переведенных ими трудов греческих ученых, например Аристотеля, и сочинений своих ученых, например Авиценны.

Несмотря на сопротивление арабов, не желавших передавать столь ценные труды своему заклятому смертельному врагу, начались попытки перевода этих трудов на латинский язык. Этому начинанию всячески способствовал французский ученый Герберт (ок. 940-1003), который в 999 г. стал папой Сильвестром II.

Английский ученый Роберт из Честера был среди тех, кто первым перевел (ок. 1144 г.) арабские труды по алхимии на латинский язык. У него нашлось немало последователей. Лучшим переводчиком был итальянец Герард Кремонский (ок. 1114-1187). Большую часть

своей жизни он провел в испанском городе Толедо, который был отвоеван христианами в 1085 г., и перевел с арабского языка 92 трактата.

Начиная с 1200 г. европейские ученые могли, близко познакомившись с наследием алхимиков прошлого, попытаться вновь двинуться вперед по тернистому пути познания.

Первым видным европейским алхимиком был Альберт Больштедский (около 1193-1280), более известный как Альбертус Магнус (Альберт Великий). Он тщательно изучил работы Аристотеля, и именно благодаря ему философия Аристотеля приобрела особое значение для ученых позднего средневековья и начала Нового Времени. Альберт Великий в описаниях своих алхимических опытов дает настолько точную характеристику мышьяку, что ему иногда приписывают открытие этого вещества, хотя, по крайней мере в примесях, мышьяк был известен алхимикам и до него.

Современником Альберта Великого был английский ученый монах Роджер Бэкон (1214-1292), который известен сегодня прежде всего благодаря своему четко выраженному убеждению, что залогом прогресса науки являются экспериментальная работа и приложение к ней математических методов [4]. Он был прав, но мир еще не был готов к этому. Бэкон попытался написать всеобщую энциклопедию знаний и в своих работах дал первое описание пороха. Иногда его называют изобретателем пороха, но это не соответствует действительности: настоящий изобретатель остался неизвестным. С изобретением пороха [5] средневековые замки перестали быть неприступными твердынями, а пеший воин стал более опасен, чем закованный в латы всадник.

Сочинения средневековых алхимиков - испанского врача Арнальда из Виллановы (ок. 1240-1311) и Раймунда Луллия (1235-1313), современников Бэкона, пронизаны мистическим духом алхимии (правда, сомнительно, что они в действительности были авторами этих работ). Эти труды в основном посвящены трансмутации. Считалось, что Луллий даже изготовлял золото для расточительного короля Англии Эдуарда II.

Имя самого видного из средневековых алхимиков осталось неизвестным; он подписывал свои труды именем Джабира, арабского алхимика, жившего за шесть веков до него. Этот «Псевдо-Джабир» был, вероятно, испанцем и жил в XIV в. Псевдо-Джабир первым описал серную кислоту - одно из самых важных соединений сегодняшней химии (после воды, воздуха, угля и нефти). Он также описал, как образуется сильная азотная кислота. Серную и сильную азотную кислоты получали из минералов, в то время как все ранее

известные кислоты, например, уксусную кислоту, получали из веществ растительного или животного происхождения.

Открытие сильных минеральных кислот было самым важным достижением химии после успешного получения железа из руды примерно за 3000 лет до того. Используя сильные минеральные кислоты, европейские химики смогли осуществить многие новые реакции и смогли растворить такие вещества, которые древние греки и арабы считали нерастворимыми (у греков и арабов самой сильной кислотой была уксусная).

Минеральные кислоты дали человечеству гораздо больше, чем могло бы дать золото, если бы его научились получать трансмутацией. Если бы золото перестало быть редким металлом, оно мгновенно бы обесценилось. Ценность же минеральных кислот тем выше, чем они дешевле и доступнее. Но, увы, такова человеческая природа - открытие минеральных кислот не произвело впечатления, а поиски золота продолжались.

Шло время, и алхимия после многообещающего начала стала вырождаться в третий раз (в первый раз у греков, второй - у арабов). Поиск золота стал делом многих мошенников, хотя и великие ученые даже в просвещенном XVII в. (например, Бойль и Ньютон) не могли устоять от соблазна попытаться добиться успеха на этом поприще.

И вновь, как при Диоклетиане, изучение алхимии было запрещено. Запрещение преследовало две цели: нельзя было допустить обесценивания золота (вдруг трансмутация удастся!) и необходимо было бороться против мошенничества. В 1317 г. папа Иоанн XXII предал алхимию анафеме, и честные алхимики, вынужденные скрывать, чем они занимаются, стали изъясняться еще более загадочно, хотя жульничество на почве алхимии процветало, как и прежде.

Однако ветры перемен в Европе уже бушевали. Восточно-Римская (или Византийская) империя доживала последние дни. В 1204 г. столица империи Константинополь был варварски разграблен крестоносцами, и большинство памятников греческой культуры, сохранившихся к тому времени, было полностью разрушено. В 1261 г. греки вернули город, но от прежнего его великолепия уже не сохранилось и следа. В последующие два столетия войска турецких завоевателей все неумолимее приближались к городу, и в 1453 г. Константинополь пал и навсегда стал турецким. Спасаясь от нашествия турок, греческие ученые бежали в Европу, и те знания, те традиции древнегреческой науки, которые они принесли с собой, оказали мощное стимулирующее действие. В Европе

начался период кропотливых исследований и важных открытий.

В XIII в. был изобретен магнитный компас и начало развиваться мореплавание. Сначала было проведено изучение побережья Африки, а в 1497 г. совершено путешествие вокруг этого континента. Европа начала торговать непосредственно с Индией и другими странами этого региона, не прибегая к посредничеству мусульманских стран. Еще более впечатляющими были путешествия Христофора Колумба (1492-1504 гг.), благодаря которым (хотя сам Колумб никогда не признавал этого факта) была открыта другая половина мира.

Европейцы узнали так много нового не известного великим греческим философам, что возникало ощущение, что греки в конце концов были обычными людьми, которые, как и все люди, могли ошибаться, и поэтому необязательно принимать на веру все их утверждения. Европейцы доказали свое превосходство в навигации, следовательно, можно было попытаться превзойти их и в других науках.

В этом же «веке открытий» немецкий изобретатель Иоганн Гутенберг (ок. 1397-1468) изобрел первый печатный станок с подвижными литерами, собирая которые в текст можно было напечатать любую книгу. Впервые в истории стало возможным выпускать дешевые книги и в достаточном количестве. Одной из первых была напечатана поэма Лукреция, благодаря которой в Европе широко распространилось атомистическое учение. С изобретением книгопечатания непопулярные взгляды не исчезали только потому, что никто не хотел взять на себя труд по переписке таких книг.

В 1543 г. были напечатаны две книги, авторы которых высказывали очень смелые по тем временам взгляды. Автором одной из этих книг был польский астроном Николай Коперник (1473-1543), утверждавший, что центром Вселенной является не Земля, как считали древние астрономы, а Солнце. Автор другой книги - фламандский анатом Андрей Везалия (1514-1564) - с беспримерной до него точностью описал анатомию человека. Труд Везалия, опиравшегося на личные наблюдения, опровергал многие представления, восходившие к древнегреческим источникам.

Это одновременное ниспровержение греческой астрономии и медицины (хотя греческие представления в ряде мест еще господствовали в течение столетия и даже более) ознаменовало начало научной революции, которая проникала в мир алхимии весьма медленно, проявляясь в основном в минералогии и медицине.

Конец алхимии

Совершенно иное понимание задач химии наметилось в работах двух современников врачей - немца Георга Бауэра (1494-1555) [6] и швейцарца Теофраста Бомбаста фон Гогенгейма (1493-1541).

Бауэр, более известный под именем Агриколы (что в переводе с латинского означает «крестьянин»), интересовался минералогией и ее возможной связью с медициной. Попытки обнаружить такую связь (как и сочетание врач-минералог) вообще характерны для химии того периода и последующих двух с половиной столетий. В своей книге «О металлургии» [7] («De Re Metallica»), изданной в 1556 г., Агрикола систематизировал практические знания, почерпнутые им у современных ему рудокопов.

Эта книга, написанная понятным языком, с прекрасными иллюстрациями шахтных устройств сразу же стала популярной и считается классической работой и в наше время [8]. Это самая значительная работа по химической технологии, появившаяся до 1700 г.; со времени ее издания минералогия была признана как наука. (Самой ценной книгой по металлургии и общей прикладной химии до Агриколы считали труд монаха Теофила, вероятнее всего грека, жившего примерно в X в.)

Фон Гогенгейм вошел в историю под выбранным им самим именем Парацельс, т.е. «превосходящий Цельса». Цельс - древнеримский ученый, писавший о медицине. Его труды, незадолго до того напечатанные, оказались (благодаря Парацельсу) предметом чрезмерного и необоснованного поклонения.

Парацельс, как и Авиценна, считал, что основная задача алхимии - не поиски путей получения золота, а изготовление лекарственных средств [9]. До Парацельса в качестве таковых использовались преимущественно растительные препараты, но Парацельс свято верил в эффективность лекарственных средств, изготовленных из минералов. Несмотря на свое негативное отношение к идее трансмутации, Парацельс был алхимиком старой школы. Он принимал древнегреческое учение о четырех элементах-стихиях и учение арабов о трех элементах-принципах (ртуть, сера и соль), искал эликсир жизни (и даже утверждал, что нашел его). Парацельс был уверен, что он открыл металлический цинк, и иногда честь этого открытия действительно приписывают ему, хотя цинк в составе руды и в сплаве с медью (латунь) был известен еще в древности. Труды Парацельса вызывали споры даже полвека спустя после его смерти. Последователи Парацельса усилили

мистическое содержание взглядов своего учителя и свели некоторые из них до суеверий [10] и это в тот период, когда алхимики начали стремиться к конкретности и рационализму!

Немецкий врач алхимик Андрей Либау (ок. 1540-1616), известный под латинизированным именем Либавия, опубликовал в 1597 г. «Алхимию» - первый в истории учебник химии.

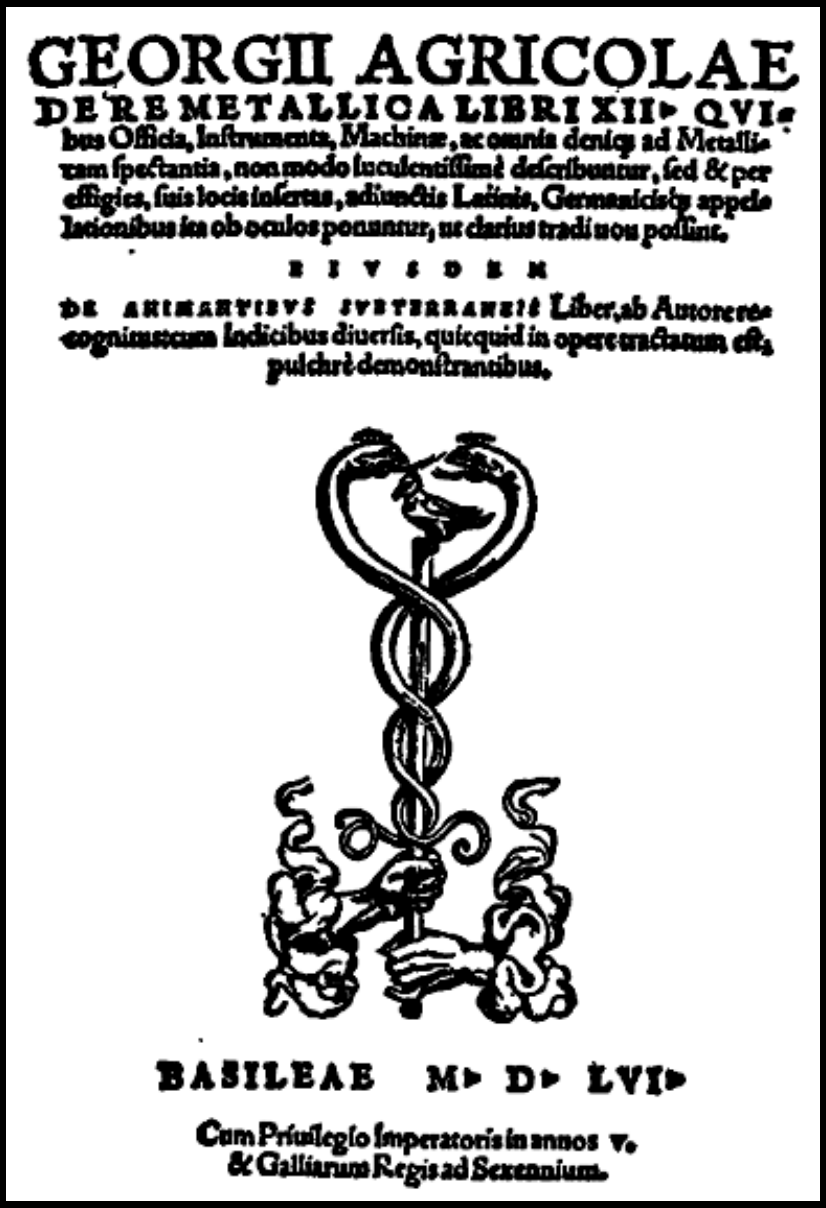
Либавий первым описал приготовление соляной кислоты, тетрахлорида олова, сульфата аммония и «царской водки» (*aquaregia*) - смеси азотной и соляной кислот, получившей свое название из-за способности растворять золото. Либавий считал, что минеральные вещества можно опознать по форме кристаллов, полученных после испарения раствора. Тем не менее он был уверен, что превращение металлов в золото возможно и открытие способа изготовления золота явится венцом химической науки, хотя и он соглашался с Парацельсом в том, что основная задача алхимии - служить медицине. В своем труде, написанным четким, ясным языком, Либавий яростно атаковал туманные теории, которые он называл «парацельсианскими».

В 1604 г. немецкий издатель Иоганн Тёльде выпустил книгу некоего средневекового монаха Василия Валентина (скорее всего это был псевдоним самого Тёльде), озаглавленную «Триумфальная колесница антимония», которая получила широкую известность.

Наиболее видным представителем нового направления в химии был немецкий химик Иоганн Рудольф Глаубер (1604-1668). Врач по образованию, он занимался разработкой и совершенствованием методов получения различных химических веществ. Глаубер разработал метод получения соляной кислоты воздействием серной кислоты на поваренную соль. Тщательно изучив остаток, получаемый после отгонки кислот (сульфат натрия), Глаубер установил, что это вещество обладает сильным слабительным действием. Он назвал это вещество «удивительной солью» (sal mirabile) и считал его панацеей, почти эликсиром жизни. Современники Глаубера назвали эту соль глауберовой, и это название сохранилось до наших дней. Глаубер занялся изготовлением этой соли и ряда других, по его мнению, ценных лекарственных средств и достиг на этом поприще успеха. Жизнь Глаубера была менее богата бурными событиями, чем жизнь его современников, занимавшихся поисками путей получения золота, но она была более благополучной.

Даже те, кто был глух к научным доводам, не могли не поддаться влиянию реальной жизни. Развивающиеся наука о минералах и медицина оказались настолько заманчивыми и доходными, что не было никакого смысла терять время на нескончаемые безуспешные попытки получить золото.

И действительно, в XVII в. значение алхимии неуклонно уменьшалось, а в XVIII в. она постепенно стала тем, что мы сегодня называем химией



GEORGII AGRICOLAE
DE RE METALLICA LIBRI XII. QVI-
bus Officia, Instrumenta, Machinæ, ac omnia denique ad Metalli-
cam spectantia, non modo luculentissimè describuntur, sed & per
effigies, suis locis insertas, adiunctis Latinis, Germanicisq; appel-
lationibus ita ob oculos ponuntur, ut clarius tradi non possint.

EIVSDEM
DE ANIMANTIBVS SVBTERRANEIS Liber, ab Autore re-
cognitus cum Indicibus diuersis, quicquid in opere tractatum est,
pulchrè demonstrantibus.

BASILEAE M. D. LVI.

Cum Priuilegio Imperatoris in annos V.
& Galliarum Regis ad Sexennium.

Титульный лист книги Агриколы.

---

[1] И в Древнем Риме, и позднее в Византийском государстве накопление химических знаний продолжалось благодаря развитию фармации. Так, "Геопоника", компиляция из 20 книг, приписываемая Кассину Бассу (VII в.), содержала массу практических рецептов и мистические толкования химических процессов.

[2] Несторианин Иов Эдесский много сделал для распространения эллинистических химических воззрений в арабской науке и остался в ее истории под именем Айюба аль-Рухави (ок. 769-835).

[3] Проникновение алхимических учений в Европу шло тремя путями: через Византию (самый ранний путь, но быстро утративший значение), через Сирию, Египет и Сицилию (оказавший влияние на развитие науки в Южной Италии) и через Пиренейский полуостров благодаря арабской культере Магриба (см.: Мец А. Мусульманский Ренессанс. - М.: Наука, 1966, 437 с.) Однако химические знания накапливались и в других регионах: Китае, Средней Азии и на Кавказе. Не последнюю роль при этом играла фармация. Примером могут служить труды армянского врача XII в. Мхитара Гераци (см.: Мхитар Гераци. Утешение при лихорадках. - Ереван, Айастан, 1968, 244 с.)

[4] Приписывая Р. Бэкону убеждение, что "залогом прогресса является экспериментальная работа", А. Азимов не указывает, что "опыт" по Бэкону не только эксперимент в современном смысле, но и мистическое "озарение".

[5] Это очень упрощенное объяснение сложного исторического процесса, начавшегося в X в. и продолжавшегося до XVI в. и получившего название второй промышленной революции. Он начался с усовершенствования землепашества, создания новых типов упряжки и плугов. Затем последовало создание водяных и ветряных мельниц, мощность которых уже достигала в XI-XII вв. 40-60 лошадинных сил. Этот прирост мощности дал толчок развитию металлургии. В XIII в. мехи для печей стали приводить в действие водой, в результате температура в плавильной печи превысила 1500^{o}C, что позволило получать чугун. Развились ткачество и сукноделие. В середине XV в. был изобретен печатный станок. Было создано множество гидротехнических сооружений. В строительстве вместо монолитых римских конструкций начали применять новые более легкие конструкции. Весь комплекс этих факторов привел к грандиозным социальным переменам и гибели феодализма.

[6] Шухардин С. В. Георгий Агрикола. - М.: Изд-во АН СССР, 1955.

[7] Агрикола Г. О горном деле и металлургии. Под ред. С. В. Шухардина. - М.: Изд-во АН СССР, 1962.

[8] Интересно, что единственный перевод на английский язык работы Агриколы, опубликованный в 1912 г., с иллюстрациями из оригинала был сделан Гербертом Гувером - бывшим президентом США (по профессии горным инженером) и его женой.

[9] Парацельс положил начало важному направлению в химии, получившему название иатрохимии (от греческого ιατροδ - врач). Иатрохимия сыграла важную роль в борьбе с догмами средневековой схоластической медицины. В развитие химических представлений иатрохимики также вносили далеко не только одну мистику. Иатрохимия не только пыталась подвести химическое основание под теорию

гуморальной патологии, но и содействовала эмпирическому прогрессу химии. Иатрохимики ввели представления о кислотности и щелочности, открыли много новых соединений, начали ставить первые воспроизводимые (хотя далеко не всегда методологически правильные) эксперименты. К числу иатрохимиков принадлежали Я.Б. Ван Гельмонт, Франциск Сильвия, Анджело Сала и Андрей Либавий, которого А. Азимов ошибочно причисляет к алхимикам. Иатрохимия в определенной мере облегчила развитие технической химии Возрождения, приняв на себя тормозящие химическую мысль традиции мистического теоретизирования, использования не доступного непосвященным языка и т.п. Техническая химия начала беспрепятственно накапливать и описывать эмпирический материал.

[10] Наиболее всеобъемлющими трудами по истории алхимии являются следующие: Lippmann E.O. Entstehung und Ausbreitung der Alchemie. Berlin, Springer, 1919; Ruska J. Arabische Alchemisten. 2 Bd. Heidelberg, Winter, 1924. Подробные сведения о Парацельсе и других иатрохимиках можно найти в наиболее документированной истории химии: Partington J.R. A History of Chemistry. Vol. II, London, Macmillan, 1959, а также в кн.: Sudhoff K. Paracelsus, ein deutsches Lebensbild aus der Renaissancezeit. Leipzig, Bibliogr. Inst., 1936; Pagel W. Paracelsus, An Introduction to Philosophical Medicine in the Era of the Renaissance. Basel. Karger, 1958.
О технической химии см.: Фестер Г. История химической техники. Пер. с нем. / Под ред. М.А. Блоха с вводной статьей А.Е. Луцкого. - Харьков, Научно-техническое изд-во Украины, 1938, 304 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 3. Переходный период [1]

Измерение

Несмотря на бурное развитие, химическая наука в определенном отношении все-таки отставала от других областей знания.

Так, например, в астрономии значение количественных измерений и необходимость математической обработки данных были уяснены еще в древние времена. Объясняется это скорее всего тем, что астрономические проблемы, рассматриваемые древними, были относительно просты и некоторые из этих проблем можно было решать, пользуясь только планиметрией.

Итальянский ученый Галилео Галилей (1564-1642), изучавший в 90-х годах XVI в. падение тел, первым показал необходимость тщательных измерений и математической обработки данных физического эксперимента. Результаты его работ почти столетие спустя привели к важным выводам английского ученого Исаака Ньютона (1642-1727). В своей книге «Начала математики» («Principia Mathematica»), опубликованной в 1687 г., Ньютон сформулировал *три закона движения*, которыми завершилась разработка основ механики. На базе этих законов в последующие два столетия развивалась классическая механика. В той же книге Ньютон сформулировал и закон тяготения, который более двух веков также служил вполне приемлемым объяснением движения планет и звездных систем и до сих пор справедлив в пределах представлений классической механики. При выведении закона тяготения Ньютон применил теорию чисел - новую и мощную область математики, которую он сам и разрабатывал.

При Ньютоне научная революция достигла своей высшей точки. Авторитет древнегреческих теорий был заметно поколеблен, ученые Западной Европы намного превзошли их, и можно было больше не оглядываться назад.

В химии переход от простого качественного описания к тщательному количественному измерению был осуществлен лишь столетие спустя после открытий Ньютона. Как это ни

парадоксально, но, возводя здание классической астрономии и физики, грандиозность и красота которого восхитили научный мир, Ньютон оставался приверженцем алхимии и страстно искал рецепт превращения металла в золото.

Но химики лишь отчасти виноваты в том, что путь к неосуществимой цели оказался столь долгим. Все дело в том, что количественные методы Галилея и Ньютона очень трудно приложить к химии. Ведь для этого необходимо результаты химических опытов представить таким образом, чтобы их можно было подвергнуть математической обработке.

И все же химики делали успехи, и уже во времена Галилея наблюдались слабые приметы грядущей революции в химии. Эти приметы имелись например, в работе фламандского врача Яна Баптиста Ван Гельмонта (1579-1644). Ван Гельмонт выращивал дерево в заранее отмеренном количестве почвы, куда систематически добавлял воду, и систематически тщательно взвешивал дерево. Поскольку Ван Гельмонт надеялся обнаружить источник живой ткани, образуемой деревом, то можно сказать, что он применял измерение и в химии, и в биологии [2].

До Ван Гельмонта единственным известным и изученным воздухоподобным веществом был сам воздух, который казался достаточно характерным и непохожим на другие вещества, чтобы древние греки посчитали его одним из элементов. Несомненно алхимики в своих опытах часто получали что-то подобное «воздуху» и «пару», но эти вещества были почти неуловимы, их трудно было изучать и наблюдать и легко было не заметить. О том, что к этим веществам относились как к таинственным, говорят хотя бы их названия. Так, спирт в переводе с латинского означает «дух», «душа», «дыхание».

Ван Гельмонт первым из химиков обратил внимание на пары, образующиеся в процессе некоторых реакций, и начал их изучать. Он обнаружил, что пары в чем-то напоминают воздух, но во многом от него и отличаются. В частности, он нашел, что на воздух похожи и пары, образующиеся при горении дерева, хотя ведут себя они несколько иначе.

Эти воздухоподобные вещества, не имеющие постоянного объема или формы, напомнили Ван Гельмонту греческий «хаос» - вещество первоздания, бесформенное и беспорядочное, из которого (согласно древнегреческой мифологии) был создан космос. Ван Гельмонт назвал эти пары «хаосом», но, согласно фламандскому фонетическому строю, это слово произносится как *газ* [3]. Так называют воздухоподобные вещества и в

наше время.

Газ, полученный при горении дерева и изученный им с особой тщательностью, он назвал «лесной газ» (gas sylvestre). Сегодня мы называем этот газ диоксидом углерода. При изучении газов как простейшей формы материи впервые была использована техника точных измерений, т.е. количественного исследования явлений, которая и послужила столбовой дорогой в мир современной химии.

Закон Бойля [4]

К концу жизни Ван Гельмонта интерес к газам и особенно к воздуху - наиболее распространенному газу неожиданно возрос. В 1643 г. итальянский физик Эванджелиста Торричелли (1608-1647) сумел доказать, что воздух оказывает давление. Торричелли показал, что воздух может поддерживать столбик ртути высотой в 28 дюймов. Так был изобретен барометр. После этого открытия газы стали казаться менее загадочными. Как выяснилось, подобно жидкостям и твердым веществам, они имеют вес и от жидкостей и твердых веществ отличаются главным образом гораздо меньшей плотностью.

Немецкий физик Отто фон Герике (1602-1686) убедительно показал, что атмосферный воздух имеет вес. Герике изобрел воздушный насос, при помощи которого воздух выкачивали из сосуда, так что давление воздуха снаружи сосуда становилось больше, чем внутри. В 1654 г. по заказу Герике был изготовлен прибор, состоящий из двух медных полушарий (чтобы соединение было плотным, между полушариями помещали кожаное кольцо, пропитанное раствором воска в скипидаре). Соединив эти полушария, Герике откачал из полученного шара воздух. Наружный воздух давил на полушария и удерживал их вместе, так что их не могли разъединить упряжки лошадей, изо всех сил тянувшие полушария в разные стороны. Когда же Герике впускал в шар воздух, полушария распадались сами. Этот опыт вошел в историю науки как опыт с «магдебургскими полушариями».

Такого рода демонстрации повышали интерес к свойствам воздуха. В частности, они привлекли внимание ирландского химика Роберта Бойля (1627-1691). Сконструированный Бойлем воздушный насос был совершеннее насоса Герике. Освоив методику откачивания воздуха из сосуда, Бойль решил попытаться сделать обратное - сжать воздух.

В ходе опытов Бойль обнаружил, что объем данной массы воздуха обратно пропорционален давлению. Заливая ртуть в очень длинную трубку особой U-образной

формы, Бойль запирал пробу воздуха в коротком запаянном конце трубки. Добавляя ртуть в длинный открытый конец трубки, можно было увеличить давление. Когда Бойль добавил такое количество ртути, при котором давление на воздух увеличивалось вдвое (удвоенная масса ртути), объем воздуха уменьшился также вдвое. Если давление увеличивалось втрое, объем уменьшался втрое. В то же время, если давление снижалось, объем увеличивался. Открытая Бойлем обратная зависимость объема от давления получила название *закона Бойля*. Первое сообщение об этом законе было опубликовано в 1662 г.

Бойль не оговорил особо, что его закон действителен только при постоянной температуре. Возможно, он понимал это и считал само собой разумеющимся. Французский физик Эдм Мариотт (1630-1684), независимо от Бойля открывший этот закон в 1676 г., особо подчеркивал, что такая зависимость объема от давления наблюдается только при постоянной температуре. По этой причине закон Бойля в континентальной Европе часто называют *законом Мариотта*.

Закон Бойля явился первой попыткой применить точное измерение при выяснении причин изменения веществ [5]. Опыты Бойля привлекли внимание атомистов, к числу которых принадлежал и сам Бойль. Как уже отмечалось выше, атомистические взгляды античных ученых, изложенные в поэме Тита Лукреция Кара, разделяли многие европейские ученые того времени. Убежденным атомистом был и французский философ Пьер Гассенди (1592-1655), под влиянием которого сторонником атомистической теории стал и Бойль [6].

Однако, пока химики занимались изучением только жидкостей и твердых веществ, доказать справедливость этой теории было чрезвычайно трудно, и во времена Бойля таких доказательств было ничуть не больше, чем во времена Демокрита. Жидкости и твердые вещества подвергаются сжатию лишь в незначительной степени. Если эти вещества и состоят из атомов (материя дискретна) и атомы в них соприкасаются между собой, то больше сблизить их нельзя. Если же жидкости и твердые вещества представляют собой «сплошное» вещество (материя непрерывна), то их также очень трудно подвергнуть сжатию. Поэтому доказать, что жидкости и твердые вещества состоят из атомов, было очень трудно. Как же доказать, что атомы существуют?

В отличие от твердых веществ и жидкостей воздух, как наблюдали еще в древности, а Бойль в свое время наглядно доказал, легко сжимается. Объяснить это можно, только

приняв, что воздух состоит из мельчайших атомов, разделенных пустым пространством. Сжатие воздуха в этом случае обусловлено сближением атомов в результате сжатия пустого пространства между ними.

Если газы состоят из атомов, то вполне можно допустить, что жидкости и твердые вещества также состоят из атомов. Например, как испаряется вода? В процессе испарения «исчезают» одна за другой мельчайшие частички воды. Совсем нетрудно представить себе, что вода превращается в пар атом за атомом. Если воду нагревают, она кипит, и при этом образуется пар. Водяной пар имеет физические свойства воздухоподобного вещества, и, следовательно, вполне естественно предположить, что он состоит из атомов. Но если вода состоит из атомов, будучи в газообразной форме, то почему она не может состоять из атомов, находясь в жидком или твердом (в виде льда) состоянии? А если это справедливо для воды, то почему не может быть справедливо для всех видов материи?

Доводы такого рода производили впечатление, и впервые за свою двухтысячелетнюю историю атомизм начал завоевывать приверженцев, число которых быстро росло (например, к атомизму пришел Ньютон). И тем не менее понятие «атом» оставалось неясным. Об атомах ничего нельзя было сказать, кроме того, что если они существуют, то с их помощью проще объяснять поведение газов. Лишь спустя полтора столетия атомизм вновь привлек внимание химиков.

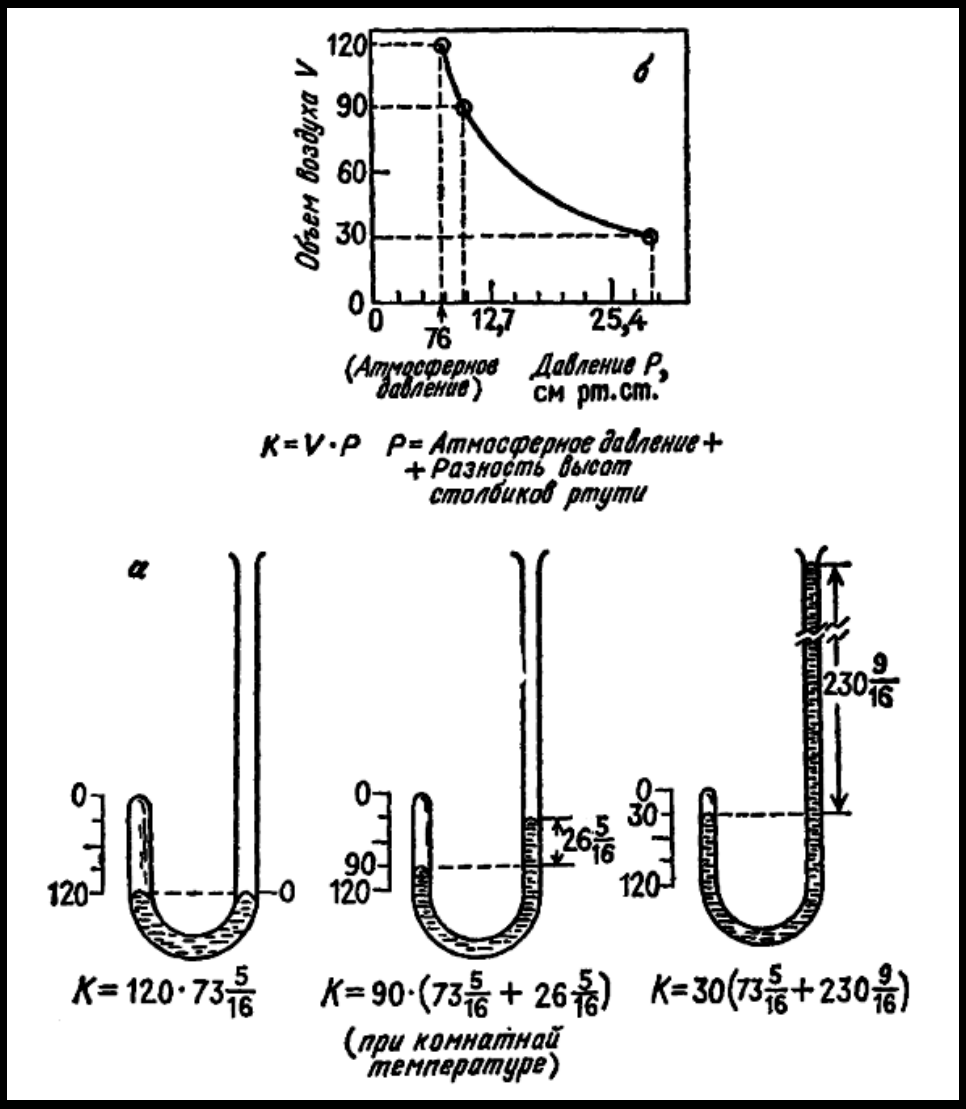


Схема опыта (*а*), показывающего, что объем газа обратно пропорционален давлению при постоянной температуре (закон Бойля), и полученная кривая зависимости объем - давление (*б*). Ртуть, налитая в длинное плечо U-образной трубки, запирает воздух в коротком плече. С увеличением массы ртути высота столбика воздуха уменьшается.

Новый взгляд на элементы

Ко времени начала научной деятельности Бойля термины «алхимия» и «алхимик» почти исчезли из научной литературы. Не удивительно, что Бойль опустил первый слог слова «алхимик» в названии своей книги «Химик-скептик» («The Sceptical Chymist»), опубликованной в 1661 г. С тех пор наука стала называться *химией*, а работающие в этой области - *химиками*.

Бойль называл себя «скептиком», потому что не хотел более слепо следовать представлениям античных авторитетов. В частности, Бойль не принимал утверждения древних философов, считавших, что элементы мироздания можно установить умозрительно. Вместо этого он определял элементы как таковые практическим путем.

Элемент, как считалось еще со времен Фалеса, - это одно из основных простых веществ, составляющих Вселенную. Но установить, что предполагаемый элемент действительно является элементом, можно только с помощью эксперимента. Если вещество можно разложить на более простые компоненты, следовательно, оно не является элементом, а полученные более простые вещества могут представлять собой элементы или по крайней мере могут считаться таковыми до тех пор, пока химики не научатся разлагать и их на еще более простые вещества. Если два вещества являются элементами, то они могут соединиться и образовать третье однородное вещество, называемое *соединением*. Такое соединение можно разложить на два исходных элемента. Но с этой точки зрения термин «элемент» имеет только условное значение. Вещество типа, например, кварца может считаться элементом до тех пор, пока химику-экспериментатору не удается получить из него два или более простых вещества. В соответствии с этой точкой зрения считать какое-либо вещество элементом можно было лишь условно, поскольку с развитием науки этот предполагаемый элемент удастся расщепить на еще более простые вещества. Только в XX столетии стало возможным установить природу элементов не в условном плане.

Тот простой факт, что Бойль добивался экспериментального подхода к определению элементов (подхода, который в конечном счете и был принят), не означал, что он знал о существовании различных элементов. Вполне могло оказаться, что экспериментальный подход подтвердил бы существование «греческих элементов»: огня, воздуха, воды и земли.

Бойль, например, был убежден в обоснованности воззрений алхимиков, считавших, что металлы не являются элементами и что одни металлы можно превратить в другие. В 1689 г. Бойль настоял, чтобы Британское правительство отменило закон, запрещающий алхимикам производить золото (правительство, кроме всего прочего, опасалось экономических последствий), так как верил в возможность получения золота из «основного металла» [7] и считал, что, получив таким образом золото, удастся подтвердить атомную структуру материи.

Однако в этом Бойль ошибался: металлы оказались элементами. В самом деле, девять веществ, которые мы сегодня считаем элементами, были известны еще древним: семь металлов (золото, серебро, медь, железо, олово, свинец, ртуть) и два неметалла (углерод и сера). Кроме того, элементами являются и четыре вещества, также известные еще средневековым алхимикам. Это мышьяк, сурьма, висмут и цинк.

Один из элементов едва не открыл сам Бойль. В 1680 г. он выделил фосфор из мочи. Однако лет за десять до него то же самое сделал немецкий химик Хенниг Бранд (? - после 1710 г.), которого иногда называют «последним алхимиком». Он открыл фосфор совершенно случайно во время поисков философского камня, который собирался найти в моче. Правда, ряд литературных источников свидетельствует, что способ получения фосфора, вероятно, знали еще арабские алхимики XII в.

Флогистон

К числу открытий XVII в., имевших особое значение для развития химии, следует отнести открытие существования давления столба атмосферного воздуха, возможности использования этого давления и возможности создания вакуума. Некоторые исследователи стали приходить к мысли, что вакуум можно получить и без использования воздушного насоса. Предположим, вы вскипятили воду и заполнили камеру паром, затем снаружи остудили камеру холодной водой. При этом пар внутри камеры конденсируется в водяные капли, и в камере создается вакуум. Если одну из стенок такой камеры сделать подвижной, то под действием давления воздуха эта подвижная стенка будет втягиваться в камеру. Когда же в камеру попадет новая порция пара, стенка будет вновь выталкиваться, а затем при конденсации пара вновь втягиваться в камеру. Можно представить себе, что подвижная стенка - это своего рода поршень, совершающий возвратно-поступательные движения; такой поршень можно использовать, например, в насосе, работающем на паре.

В 1698 г. такая *паровая машина* и в самом деле была создана английским горным инженером Томасом Севери (ок. 1650-1715). В этом устройстве использовался пар под большим давлением, что по тем временам было небезопасно. Примерно в то же время (1705 г.)Томас Ньюкомен (1663-1729), работавший совместно с Севери, изобрел паровую машину, которая могла работать на паре под более низким давлением. Однако машина Ньюкомена не была универсальной, и ее можно было использовать практически только для поднятия воды. Конструкция машины была значительно усовершенствована шотландским механиком Джеймсом Уаттом (1736-1819), который и считается создателем универсальной паровой машины.

Появление паровой машины ознаменовало собой начало промышленной революции: человек получил машину, которая, казалось, могла переделать всю тяжелую работу на свете. Человек перестал зависеть от капризов силы ветра или месторасположений

падающей воды, энергию которой можно было использовать для механической работы.

Не совсем обычное использование огня в паровой машине возродило у химиков интерес к процессу горения. Почему одни предметы горят, а другие не горят? Что представляет собой процесс горения? По представлениям древних греков все, что способно гореть, содержит в себе элемент огня, который в соответствующих условиях может высвобождаться. Алхимики придерживались примерно той же точки зрения, но считали, что способные к горению вещества содержат элемент «сульфур» (хотя необязательно саму серу).

В 1669 г. немецкий химик Иоганн Иоахим Бехер (1635-1682) попытался дать рационалистическое объяснение явлению горючести. Он предположил, что твердые вещества состоят из трех видов «земли», и один из этих видов, названный им «жирная земля» (terra pinguis), принял за «принцип горючести». Последователем весьма туманных представлений Бехера был немецкий врач и химик Георг Эрнст Шталь (1660-1734). Он еще раз обновил название «принцип горючести», назвав его флогистоном - от греческого φλογιστοζ - горючий. Шталь предложил схему процесса горения, объяснявшую роль флогистона.

Согласно Шталю, горючие вещества богаты флогистоном. В процессе горения флогистон улетучивается, а то, что остается после завершения процесса горения, флогистона не содержит и потому продолжать гореть не может. Шталь далее утверждал, что ржавление металлов подобно горению дерева. Металлы, по его мнению, содержат флогистон, а ржавчина (или окалина) флогистона уже не содержит. Такое понимание процесса ржавления позволило дать приемлемое объяснение и процессу превращения руд в металлы - первому теоретическому открытию в области химии. Объяснение Шталя состояло в следующем. Руда, содержание флогистона в которой мало, нагревается на древесном угле, весьма богатом флогистоном. Флогистон при этом переходит из древесного угля в руду, в результате древесный уголь превращается в золу, бедную флогистоном, а руда, бедная флогистоном, превращается в металл, богатый флогистоном.

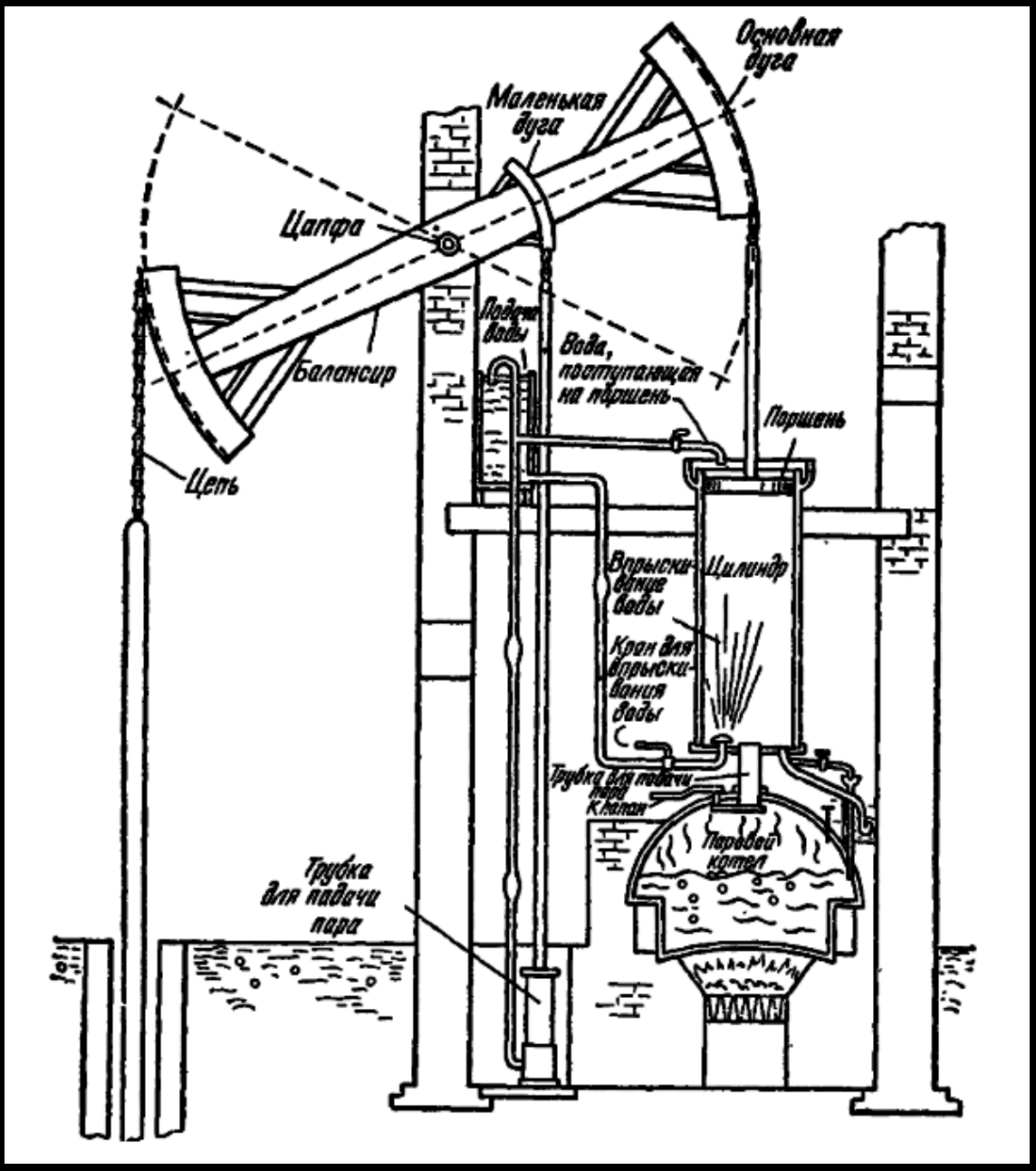
Сам по себе воздух, по мнению Шталя, способствует горению лишь косвенно: он служит переносчиком флогистона, когда последний выходит из дерева или металла, и передает его другому веществу (если таковое существует).

Теория флогистона Шталя на первых порах встретила резкую критику. Особенно возражал против нее знаменитый голландский врач Герман Бургаве (1668-1738), который считал, что обычное горение и образование ржавчины не могут быть по сути дела одним и тем же явлением. Ведь горение сопровождается образованием пламени, а ржавление происходит без пламени. Сам Шталь объяснял это различие тем, что при горении веществ, подобных дереву, флогистон улетучивается настолько быстро, что нагревает окружающую среду и становится видимым. При ржавлении флогистон улетучивается медленно, поэтому пламя не появляется.

Несмотря на критику Бургаве, теория флогистона начала завоевывать популярность. К 1780 г. она была принята химиками почти повсеместно, так как позволила дать четкие ответы на многие вопросы. Однако один вопрос ни Шталь, ни его последователи разрешить не смогли. Дело в том, что большинство горючих веществ, например дерево, бумага, жир, при горении в значительной степени исчезали. Остававшаяся сажа или зола была намного легче, чем исходное вещество. Этого, по-видимому, и следовало ожидать, так как при горении флогистон улетучивался из вещества.

Согласно теории Шталя, в процессе ржавления металлы также теряли флогистон, тем не менее еще алхимиками в 1490 г. было установлено, что ржавый металл гораздо тяжелее нержавого. Почему вещество, теряющее флогистон, становится тяжелее? Может быть, как утверждали некоторые химики XVIII в., флогистон обладает отрицательным весом? Почему в таком случае дерево при горении уменьшается в весе? Или, может быть, существуют два вида флогистона - с положительным и с отрицательным весом?

Химикам XVIII в. эта проблема не казалась столь важной, как это представляется нам теперь. Мы привыкли к тщательному анализу явлений, и необъяснимое изменение веса, конечно, взволновало бы нас. Химики же XVIII столетия еще не сознавали важности точных измерений, и изменением в весе они могли и пренебречь. Теория флогистона объясняла причины изменения внешнего вида и свойств веществ, а изменения веса, как в то время считалось, не так уж важны [8].



Насосное устройство конструкции Ньюкомена, работавшее при атмосферном давлении. Впрыснутая в цилиндр вода вызывает конденсацию пара, в цилиндре создается вакуум, и поршень опускается вниз. Новая порция пара, поступающая в цилиндр из парового котла, возвращает поршень в исходное положение.

---

[1] Тот "переходный период", о котором говорит А. Азимов в этой главе, фактически описывается и в следующей главе. В этот период сформировались основы экспериментальной химии, основанной на измерении физических величин, и была создана первая всеобъемлющая химическая теория - теория флогистона.

[2] Профессор Падуанского университета Санторио Санторио (1561-1636) на несколько лет раньше Ван Гельмонта использовал взвешивание как метод измерения при изучении обмена веществ. Санторио проводил взвешивание в специальной сконструированной им камере-весах.

[3] Происхождение названия "газ" иногда связывают с голландским словом gisten - бродить или gist - дрожжи, закваска.

[4] Р. Бойль ставил и подлинно химические опыты и даже такие опыты, которые можно назвать биохимическими. Дело в том, что он интересовался не только физическими измерениями сжимаемого воздуха, его занимала также сущность горения и дыхания. И соответствующие опыты, проведенные им и его сотрудниками и последователями, привели к важным химическим выводам. Современник Бойля Джон Мейоу заметил, что в воздухе содержится вещество, необходимое для горения и дыхания. См.: Кривобокова С.С. Биологическое окисление (исторический очерк). - М.: Наука, 1971, 168 с.

[5] Необходимо отметить, что исследования Бойля как таковые не относятся к химии. Воздух, как бы его ни сжимали или разрежали, остается воздухом. Подобные изменения в объеме являются *физическими изменениями*, и, таким образом, относятся к области физической химии, изучающей физические изменения веществ. Бойль заложил основы физической химии, однако эта область науки еще не получила признания и два столетия спустя.

[6] Р. Бойль испытывал также влияние воззрений Рене Декарта (1596-1650). Атомизм, лежащий в основе его системы взглядов (картезианства - от латинизированного имени Декарта - Картезий), был ближе Бойлю.

[7] Представление Бойля об "основном металле" отличалось от представлений алхимиков, которые считали, что золото можно получить, в частности, из ртути. "Основной металл" Бойля - это корпускулярная основа металлов, которую, по Бойлю, еще предстояло найти.

[8] Partington J.R. A History of Chemistry. Vol II, London, Macmillan, 1959.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 4. Газы

Углекислый газ (диоксид углерода) и азот

Непонятные изменения веса веществ при горении, как выяснилось, связаны с появлением или исчезновением газов во время горения. Хотя существование газов было установлено очень давно и еще за век до Ван Гельмонта началось медленное накопление знаний о газах, даже во времена Шталя химики, принимая сам факт существования газов, фактически не обращали на них никакого внимания. Размышляя над причинами изменения веса веществ в процессе горения, исследователи принимали в расчет только твердые тела и жидкости. Понятно, что зола легче дерева, так как при горении дерева выделяются пары. Но что это за пары, никто из химиков сказать не мог. Ржавый металл тяжелее исходного металла. Может быть, при ржавлении металл получает что-то из воздуха? Ответа не было.

Чтобы ответить на этот и подобные вопросы, химики должны были начать систематическое изучение газов, должны были научиться работать со столь трудно уловимыми веществами.

Важный шаг в этом направлении в начале XVIII в. сделал английский ботаник и химик Стивен Гейлс (1677-1761). Он изобрел прибор для собирания газов над водой. Этот прибор известен нам под названием «пневматической ванны». Пары, образующиеся в результате химической реакции, Гейлс отводил через трубку в сосуде с водой, опущенный вверх дном в ванну с водой. Пузырьки газа поднимались в верхнюю часть сосуда и вытесняли оттуда воду. Таким образом Гейлс собирал газ или газы, образующиеся в результате реакции. Сам Гейлс не идентифицировал собранные газы и не изучал их свойств, однако сконструированный им прибор для собирания газов сыграл важную роль в развитии пневматической химии.

Другой важный шаг был сделан шотландским химиком Джозефом Блэком (1728-1799). Диссертация, которая принесла ему степень магистра медицины в 1754 г., была связана с химической проблемой и непосредственно касалась свойств газов, выделяющихся при

действии кислот на «мягкие» (углекислые) щелочи. (Во времена Блэка химия и медицина были тесно взаимосвязаны.) Блэк установил, что известковый минерал (карбонат кальция) при нагревании разлагается с выделением газа и образует известь (оксид кальция). Выделяющийся газ можно было вновь соединить с оксидом кальция и вновь получить карбонат кальция. Этот газ (диоксид углерода) был идентичен открытому Ван Гельмонтом «лесному газу», но Блэк назвал его «связанным воздухом», так как этот газ можно было связать и вновь получить твердую субстанцию.

Открытие Блэка было важным по ряду причин. Во-первых, он показал, что углекислый газ может образовываться при нагревании минерала подобно тому, как этот газ образуется при горении дерева. Таким образом была установлена очевидная взаимосвязь между живой и неживой природой.

Кроме того, Блэк показал, что газообразные вещества не только выделяются твердыми телами или жидкостями, но могут активно с ними соединяться, вступать в химические реакции. Это открытие сделало газы менее загадочными. Теперь на них стали смотреть как на обычные вещества, несколько отличающиеся по свойствам (по крайней мере химическим) от более знакомых твердых и жидких веществ.

Далее Блэк показал, что если оксид кальция оставить на воздухе, то он медленно превращается в карбонат кальция. Исходя из этого, Блэк заключил (правильно!), что в атмосфере присутствует небольшое количество углекислого газа. Это было первое четкое указание на то, что воздух не простое вещество и, следовательно, вопреки представлениям древних греков он не является элементом в определении Бойля, а представляет собой смесь по крайней мере двух различных веществ: обычного воздуха и углекислого газа. Изучая влияние нагревания на примере карбоната кальция, Блэк установил, как меняется вес вещества при нагревании. Он также определил, какое количество карбоната кальция нейтрализует заданное количество кислоты. Таким образом, Блэк изучал химические реакции, используя метод количественного измерения. Этот метод был развит и усовершенствован Лавуазье [1].

Изучая свойства углекислого газа, Блэк обнаружил, что свеча в нем не горит. Свеча, горящая в закрытом сосуде с обычным воздухом, в конце концов гаснет, и оставшийся воздух уже не поддерживает горения. Такое явление, конечно же, не казалось беспричинным, поскольку было известно, что при горении свечи образуется углекислый газ. Но когда Блэк абсорбировал углекислый газ, оставшийся воздух, который заведомо

не был углекислым газом, горение не поддерживал.

Блэк предложил изучить эту проблему одному из своих учеников - шотландскому химику Даниелю Резерфорду (1749-1819). Резерфорд поставил следующий опыт: он держал мышь в ограниченном объеме воздуха до тех пор, пока она не погибла. Затем в оставшемся воздухе он держал горящую свечу, пока она не гасла. В оставшийся после всего этого воздух он поместил горящий фосфор, который горел там очень недолго. Далее Резерфорд пропустил воздух через раствор, способный абсорбировать углекислый газ. В оставшемся в результате воздухе свеча не горела, а мышь гибла.

Резерфорд сообщил об этом опыте в 1772 г. Поскольку и Резерфорд, и Блэк были убежденными сторонниками теории флогистона, то, объясняя результаты проведенных ими опытов, они пользовались представлениями этой теории. Пока мыши дышали и пока свечи и фосфор горели, флогистон выделялся и поступал в воздух вместе с образующимся углекислым газом. Воздух, из которого удалили углекислый газ, содержал так много флогистона, что был как бы «пропитан» им. Этот воздух больше принять флогистона уже не мог, и поэтому ни свеча, ни фосфор в нем не горели.

В связи с этим Резерфорд назвал выделенный им газ «флогистированным воздухом». Сегодня мы называем его *азотом*.

Водород и кислород

Одновременно с Блэком и Резерфордом успехов в изучении газов добились два других английских химика - Кавендиш и Пристли, также принадлежавшие к числу сторонников флогистонной теории.

Генри Кавендиш (1731-1810) был богатым чудаком, который занимался исследованиями в самых различных областях. Замкнутый по натуре, он не всегда публиковал результаты проведенных им работ. К счастью, результаты своих работ с газами он все же опубликовал.

Кавендиша (возможно, под влиянием Дж. Блэка) особенно заинтересовал газ, образующийся при взаимодействии кислот с некоторыми металлами. Ранее этот газ был выделен Бойлем и Гейлсом, а возможно, и другими исследователями, но Кавендиш первым в 1766 г. провел систематическое изучение его свойств, поэтому ему обычно и приписывается честь открытия этого газа, получившего название *водород*.

Кавендиш первым установил вес определенных объемов различных газов и в результате сумел установить плотность каждого из них. Он обнаружил, что водород необычайно легок и что его плотность составляет лишь 1/14 плотности воздуха. (И в настоящее время это самый легкий из известных нам газов.) Как выяснилось, водород обладает еще одним необычным свойством: в отличие от углекислого газа и собственно воздуха он легко воспламеняется, и Кавендиш не исключал вероятности того, что он получил сам флогистон.

Вторым химиком, добившимся успехов в изучении газов, был Джозеф Пристли (1733-1804) - протестантский священник, глубоко увлеченный химией. В конце 60-х годов XVIII в. он принял пасторство в Лидсе (Англия). Рядом с Лидсом находился пивоваренный завод, откуда Пристли мог получать углекислый газ в количествах, достаточных для проведения опытов (углекислый газ образуется при брожении пивного сусла).

Собирая углекислый газ над водой, Пристли обнаружил, что часть газа растворяется в воде и придает ей приятный терпкий привкус. По сути дела Пристли получил напиток типа сельтерской или содовой воды. Поскольку для получения «ситро» необходимо прибавить только сахар и ароматизировать напиток, Пристли можно считать отцом современной индустрии безалкогольных напитков.

В начале 70-х годов XVIII в., когда Пристли вновь занялся изучением газов, химики четко различали только три газа - собственно воздух, углекислый газ Ван Гельмонта и Блэка и водород Кавендиша; Резерфорд был близок к открытию четвертого газа - азота. Пристли сопутствовала удача: он выделил и изучил еще ряд газов.

Опыты Пристли с углекислым газом показали, что газы могут растворяться в воде и, следовательно «теряться», поэтому он попытался собирать газы не над водой, а над ртутью. Таким образом, Пристли сумел собрать и изучить такие газы, как оксид азота (I), аммиак, хлорид водорода и диоксид серы (мы даем современные названия газов). Все эти газы настолько хорошо растворяются в воде, что, проходя через нее, полностью поглощаются.

В 1774 г. Пристли сделал, возможно, самое важное свое открытие. Как уже говорилось выше, он собирал газы над ртутью. При нагревании на воздухе ртуть образует кирпично-красную «окалину» (оксид ртути). Пристли клал немного окалины в пробирку и нагревал

ее, фокусируя на ней с помощью линзы солнечные лучи. Окалина при этом вновь превращалась в ртуть, и в верхней части пробирки появлялись блестящие шарики металла. При разложении окалины выделялся газ с весьма необычными свойствами. Горючие вещества горели в этом газе быстрее и ярче, чем на воздухе. Тлеющая лучина, брошенная в сосуд с этим газом, вспыхивала ярким пламенем.

Пристли пытался объяснить это явление, используя теорию флогистона. Поскольку горючие вещества горели в этом газе весьма ярко, то они должны были очень легко выделять флогистон. Чем объяснить это? Как следует из теории флогистона, воздух легко поглощает флогистон, но до определенного предела, после чего горение прекращается. В открытом Пристли газе горение шло лучше, чем в воздухе, и он решил, что этот газ совсем не содержит флогистона. Пристли назвал открытый им газ «дефлогистированным» воздухом». (Однако через несколько лет его переименовали в *кислород*; этим названием мы пользуемся и сегодня.)

«Дефлогистированный воздух» Пристли казался своего рода антиподом «флогистированного воздуха» Резерфорда. В последнем газе мыши умирали, тогда как в первом были весьма деятельными. Пристли сам попробовал подышать «дефлогистированным воздухом» и почувствовал при этом себя «легко и свободно».

Однако в открытии кислорода и Резерфорда и Пристли опередил шведский химик Карл Вильгельм Шееле (1742-1786) - представитель той плеяды химиков, которые вывели Швецию в XVIII в. на передовые позиции науки.

Приблизительно в 1735 г. шведский химик Георг Брандт (1694-1768) начал изучать голубоватый минерал, напоминавший медную руду. Несмотря на такое сходство, получить из этого минерала медь при обычной обработке не удавалось. Рудокопы полагали, что эта руда заколдована земными духами «кобольдами». В 1742-1744 гг. Брандт сумел показать, что голубоватый минерал содержит не медь, а совершенно иной металл, напоминающий по своим химическим свойствам железо. Этот металл получил название *кобальт*.

В 1751 г. Аксель Фредрик Кронстедт (1722-1765) открыл новый металл *никель*, очень похожий на кобальт; Иоганн Готлиб Ган (1745-1818) выделил в 1774 г. *марганец*, а Петер Якоб Гьельм (1746-1813) получил в 1782 г. *молибден*.

Кронстедт при изучении минералов впервые применил паяльную трубку. Это была длинная постепенно сужающаяся трубка, из узкого конца которой выходила струя сжатого воздуха. Когда такую струю направляли в пламя, температура его повышалась. Минералы, нагреваемые в пламени паяльной трубки, окрашивали его в различные цвета, поэтому по цвету пламени можно было судить о природе и составе минерала, о природе образовавшихся паров и твердого остатка. На протяжении столетия паяльная трубка оставалась основным инструментом *химического анализа*.

Благодаря использованию новых технических приемов, подобных анализу в пламени паяльной трубки, химикам удалось накопить достаточно много данных о минералах. Исходя из этих данных, Кронстедт вполне справедливо полагал, что минералы следует классифицировать не только в соответствии с их внешним видом, но и в соответствии с их химической структурой. В 1758 г. он выпустил книгу «Система минералогии», в которой детально описал новую систему классификации.

Эта работа была продолжена другим шведским минералогом Торберном Улафом Бергманом (1735-1784). Бергман развил теорию, объясняющую, почему одно вещество реагирует с другим веществом, но не реагирует с третьим. Он же предположил, что между веществами существует «сродство» (affinities), и составил тщательно выверенные таблицы различных величин сродства. Эти таблицы пользовались широкой известностью при жизни их создателя и пережили его на несколько десятилетий.

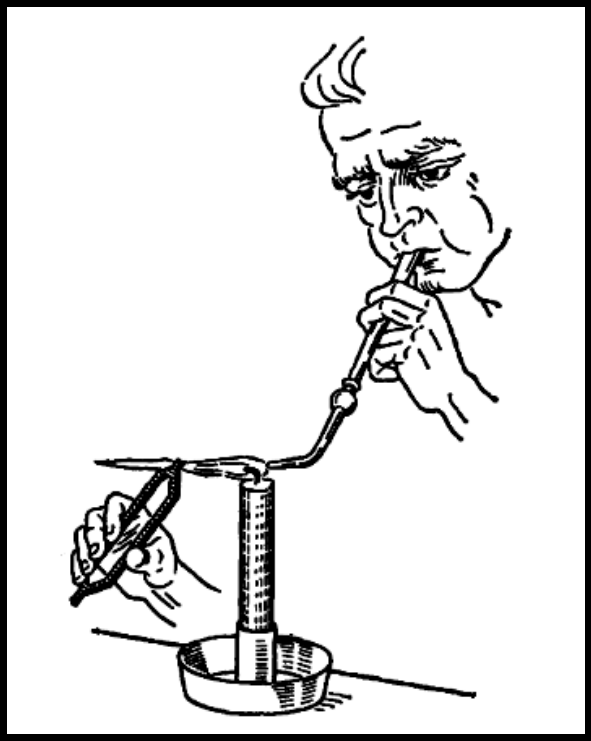
Шееле, еще будучи помощником аптекаря, обратил на себя внимание Бергмана, который помогал ему и поддерживал его. Шееле открыл ряд кислот растительного и животного происхождения, в том числе винную, лимонную, бензойную, яблочную, щавелевую, галловую, молочную, мочевую, а также такие минеральные кислоты, как молибденовая и мышьяковая.

Шееле получил и изучил три сильно ядовитых газа: фторид водорода, сульфид водорода и цианид водорода. (Предполагают, что его ранняя смерть явилась результатом медленного отравления химикалиями, так как он имел обыкновение пробовать на вкус те вещества, с которыми работал.)

Шееле был в числе тех химиков, исследования которых привели к открытию многих элементов, и пользовался большим уважением шведских коллег. Наиболее важные его открытия - получение кислорода и азота (соответственно в 1771 и 1772 гг.). Шееле

получал кислород, нагревая вещества, непрочно его удерживающие. В частности, он нагревал тот самый красный оксид ртути, которым несколько лет спустя воспользовался Пристли.

Шееле подробно описал свои опыты по получению и столь же подробно описал свойства «огненного воздуха» (так он называл кислород), но из-за небрежности его издателя эти описания не появлялись в печати до 1777 г. К этому времени вышли труды Резерфорда и Пристли, которые и завоевали честь первооткрывателей.



Паяльная трубка, введенная в лабораторную практику шведским химиком Кронстедтом (1722-1765), более века была ключевым инструментом химического анализа; этот метод используется до сих пор. Струя воздуха повышает температуру пламени и может менять его направление.

Триумф измерения

К концу XVIII в. был накоплен большой экспериментальный материал, который необходимо было систематизировать в рамках единой теории. Создателем такой теории стал французский химик Антуан-Лоран Лавуазье (1743-1794). С самого начала своей деятельности на поприще химии Лавуазье понял важность точного измерения. Его первая значительная работа (1764 г.) была посвящена изучению состава минерального гипса. Нагревая этот минерал, Лавуазье удалял из него воду и определял количество полученной таким образом воды. Лавуазье принял сторону тех химиков, которые, подобно Блэку и Кавендишу, применяли измерение при изучении химических реакций.

Однако Лавуазье использовал более систематический подход, что позволило ему доказать несостоятельность старых теорий, уже не только бесполезных, но и мешавших развитию химии.

Даже в 1770 г. ряд ученых придерживались старого определения элементов и утверждали, что трансмутация возможна, поскольку воду, например, при длительном нагревании можно превратить в землю. Предположение о возможности превращения воды в землю считалось справедливым (вначале даже самим Лавуазье), так как при длительном нагревании воды (в течение нескольких дней) в стеклянном сосуде образовывался твердый осадок.

Лавуазье решил проверить возможность превращения воды экспериментальным путем. С этой целью он в течение 101 дня кипятил воду в сосуде, в котором водяной пар конденсировался и возвращался обратно в колбу, так что возможность какой-либо потери вещества в процессе опыта была исключена. И, разумеется, Лавуазье не забывал о точности эксперимента. Он взвешивал и сосуд и воду до и после нагревания.

Осадок при этом действительно появился, но вес воды не изменился. Следовательно, вода не могла образовать осадок. Однако вес самого сосуда, как выяснилось, уменьшился как раз на столько, сколько весил осадок. Другими словами, осадок появился не в результате превращения воды в землю, а в результате медленного разъедания стеклянных стенок сосуда горячей водой. Осадок образовывало выщелоченное стекло, осаждавшееся в виде твердых пластинок. Этот пример наглядно показывает, что простое наблюдение может привести к ошибочным выводам, тогда как количественное измерение позволяет установить истинные причины явления.

Вопрос о том, что такое процесс горения, интересовал всех химиков XVIII в., и Лавуазье также не мог не заинтересоваться им. В 60-х годах XVIII в. он получил золотую медаль за исследование, посвященное улучшению способов уличного освещения. В 1772 г. Лавуазье в складчину с другими химиками приобрел алмаз. Он поместил этот алмаз в закрытый сосуд и нагревал до тех пор, пока алмаз не исчез. При этом образовался углекислый газ. Таким образом было убедительно доказано, что алмаз состоит из углерода и, следовательно, алмаз ближе всех других веществ к углю.

Продолжая свои опыты, Лавуазье нагревал в закрытых сосудах с ограниченным объемом воздуха такие металлы, как олово и свинец. Сначала на поверхности обоих металлов

образовывался слой окалины, но в определенный момент ржавление прекращалось. Сторонники теории флогистона сказали бы, что воздух поглотил из металла весь содержащийся в нем флогистон. В то время уже доподлинно было известно, что окалина весит больше, чем сам металл; однако, когда после нагревания Лавуазье взвесил сосуд вместе со всем содержимым (металлом, окалиной, воздухом и пр.), оказалось, что он весит ровно столько же, сколько и до нагревания.

Из этих данных следовало, что, если частично превратившись в окалину, металл увеличил свой вес, то что-то еще из содержащегося в сосуде потеряло эквивалентное количество веса. Это «что-то еще» могло быть и воздухом. Однако в этом случае в сосуде должен был образоваться вакуум. Действительно, когда Лавуазье открыл сосуд, туда устремился воздух, и вес сосуда и его содержимого увеличился.

Таким образом Лавуазье показал, что металл превращается в окалину не в результате потери мистического флогистона, а вследствие присоединения порции самого обычного воздуха.

Это открытие позволило выдвинуть новую теорию образования металлов и руд. Согласно этой теории, в руде металл соединен с газом. Когда руду нагревают на древесном угле, уголь адсорбирует газ из руды; при этом образуются углекислый газ и свободный металл.

Таким образом, в отличие от Шталя, который считал, что плавка металла включает переход флогистона из древесного угля в руду, Лавуазье представлял себе этот процесс как переход газа из руды в уголь. Однако имело ли смысл толкование Лавуазье предпочесть толкованию Шталя? Да, имело, поскольку предположение Лавуазье о переходе газа позволяло объяснить причины изменения веса веществ в результате горения.

Окалина тяжелее металла, из которого она образовалась, ровно на столько, сколько весит соединившееся с металлом количество воздуха. Горение дерева также сопровождается присоединением воздуха, но увеличения веса в этом случае не наблюдается, так как образовавшееся новое вещество - углекислый газ улетучивается в атмосферу. Оставшаяся зола легче сгоревшего дерева. Если бы горение дерева проходило в закрытом сосуде и образующиеся при этом газы оставались бы в сосуде, тогда можно было бы показать, что вес золы плюс вес образовавшихся газов плюс вес того, что осталось от воздуха, равняется начальному весу дерева и воздуха.

Обдумывая результаты проведенных им опытов, Лавуазье пришел к мысли, что если учитывать все вещества, участвующие в химической реакции, и все образующиеся продукты, то изменения в весе никогда наблюдаться не будет (Говоря более точным языком физиков, не произойдет изменения массы.) [2] Другими словами, Лавуазье пришел к выводу, что масса никогда не создается и не уничтожается, а лишь переходит от одного вещества к другому. Это положение, известное как *закон сохранения массы*, стало краеугольным камнем химии XIX в. [3]

Успехи, достигнутые Лавуазье благодаря использованию метода количественных измерений, были настолько велики и очевидны, что этот метод был безоговорочно принят всеми химиками. [4]

Горение

Однако сам Лавуазье был не вполне доволен полученными результатами. При соединении воздуха с металлом образовывалась окалина, а при соединении с деревом - газы. Но почему в таком взаимодействии участвовал не весь воздух, а только примерно пятая часть его?

В октябре 1774 г. Париж посетил Пристли и рассказал Лавуазье о своем открытии «дефлогистированного воздуха». Лавуазье сразу же оценил значение этого открытия. В 1775 г. он выступил с докладом в Академии наук, а вскоре подготовил и статью, в которой утверждал, что воздух является не простым веществом, а смесью двух газов. Одну пятую воздуха, по мнению Лавуазье, составляет «дефлогистированный воздух» Пристли (Лавуазье, к сожалению, оспаривал у Пристли честь открытия кислорода). И именно эта часть воздуха соединяется с горящими или ржавеющими предметами, переходит из руд в древесный уголь и необходима для жизни.

Лавуазье назвал этот газ кислородом, т.е. порождающим кислоты, так как полагал, что кислород - необходимый компонент всех кислот. В этом, как в дальнейшем выяснилось, он ошибался.

Второй газ, составляющий четыре пятых воздуха («флогистированный воздух» Резерфорда), был признан совершенно самостоятельным веществом. Этот газ не поддерживал горения, мыши в нем гибли. Лавуазье назвал его азотом - безжизненным. Позднее азот был переименован в нитроген [5], что в переводе с латинского означает

селитрообразующий, поскольку выяснилось, что азот является составной частью распространенного минерала селитры.

Лавуазье был убежден (и, надо сказать, совершенно справедливо), что жизнь поддерживается процессом, сходным с процессом горения: ибо мы вдыхаем воздух, богатый кислородом и бедный углекислым газом, а выдыхаем воздух, бедный кислородом и значительно обогащенный углекислым газом. Он и его коллега Пьер Симон де Лаплас (1749-1827), впоследствии известный астроном, попытались измерить количество вдыхаемого животным кислорода и выдыхаемого ими углекислого газа. Результаты оказались озадачивающими - часть вдыхаемого кислорода не превратилась в выдыхаемый углекислый газ.

Как мы отмечали выше, в 1783 г. Кавендиш все еще изучал «горючий газ». Он сжигал часть определенного объема этого газа и тщательно изучал образующиеся при этом продукты. Кавендиш выяснил, что образующиеся при горении газы конденсируются в жидкость, которая, как показали анализы, является всего-навсего водой.

Важность этого открытия трудно было переоценить. Теории элементов-стихий был нанесен еще один тяжелый удар, поскольку выяснилось, что вода не простое вещество, а продукт, образующийся при соединении двух газов.

Лавуазье, узнав об этом опыте, назвал газ Кавендиша водородом («образующим воду») и отметил, что водород горит, соединяясь с кислородом, и, следовательно, вода является соединением водорода и кислорода. Лавуазье также полагал, что пищевая субстанция и живая ткань представляют собой множество различных соединений углерода и водорода, поэтому при вдыхании воздуха кислород расходуется на образование не только углекислого газа из углерода, но и воды из водорода. Таким образом Лавуазье объяснил, куда расходуется та часть кислорода, которую он никак не мог учесть в своих первых опытах по изучению дыхания [6].

Новые теории Лавуазье повлекли за собой полную рационализацию химии. Было покончено со всеми таинственными «элементами». С того времени химики стали интересоваться только теми веществами, которые можно взвесить или измерить каким-либо другим способом.

Заложив таким образом фундамент химической науки, Лавуазье решил заняться

надстройкой. В течение 80-х годов XVIII в. Лавуазье в сотрудничестве с тремя другими французскими химиками - Луи Бернаром Гитоном де Морво (1737-1816), Клодом Луи Бертолле (1748-1822) и Антуаном Франсуа де Фуркруа (1755-1809) - разработал логическую систему химической номенклатуры. Этот труд был опубликован в 1787 г.

Химия перестала быть мешаниной названий времен алхимии, когда каждый химик, используя собственную систему, мог поставить в тупик коллег. Была разработана система, основанная на логических принципах. По названиям соединений, предложенных этой номенклатурой, можно было определить те элементы, из которых оно состоит. Например, оксид кальция состоит из кальция и кислорода, хлорид натрия - из натрия и хлора, сульфид водорода - из водорода и серы и т.д. Четкая система приставок и суффиксов была разработана таким образом, что стало возможным судить о соотношении входящих в состав веществ элементов. Так, углекислый газ (диоксид углерода) богаче кислородом, чем угарный газ (монооксид углерода). В то же время хлорат калия содержит больше кислорода, чем хлорит калия, в перхлорате калия содержание кислорода еще выше, тогда как хлорид калия совсем не содержит кислорода.

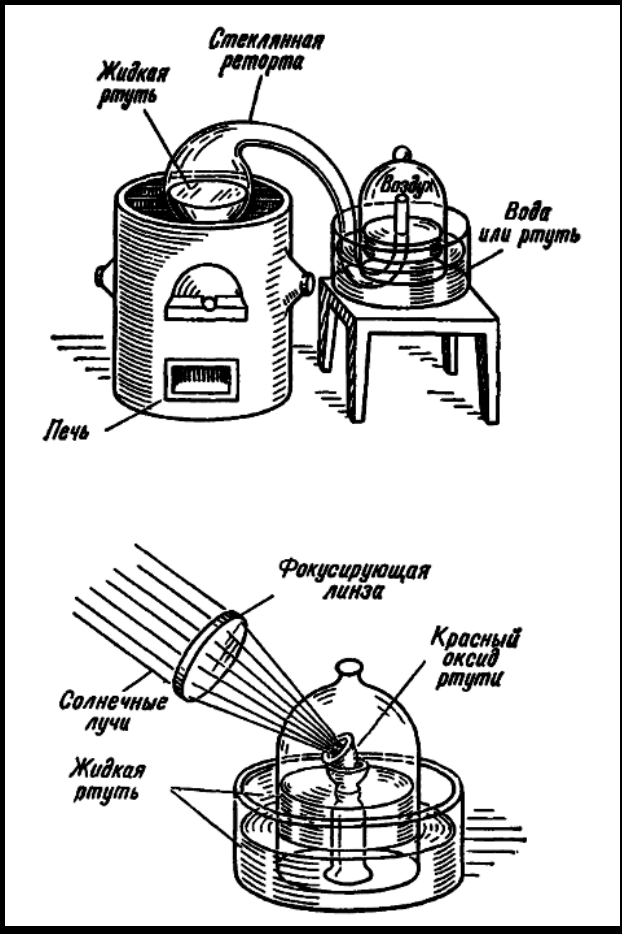
В 1789 г. Лавуазье опубликовал книгу «Элементарный курс химии» («Traite elementaire de chimie»), в которой, основываясь на новых теориях и используя разработанную им номенклатуру, систематизировал накопленные к тому времени знания в области химии. Это был первый учебник по химии в современном понимании. В нем содержался, в частности, перечень всех известных в то время элементов или, вернее, всех веществ, которые Лавуазье, руководствуясь определением Бойля, считал элементами, т.е. веществами, которые нельзя разделить на более простые вещества. Лавуазье привел 33 элемента и, к его чести, только в двух случаях допустил несомненные ошибки. Это касалось «света» и «теплорода» (тепла), которые, как стало очевидно спустя несколько десятилетий, представляют собой вовсе не материальные субстанции, а формы энергии.

Среди приведенных им элементов были золото и медь, известные еще с древности, а также кислород и молибден, открытые всего лишь за несколько лет до публикации книги Лавуазье. Восемь из перечисленных веществ (например, известь и магнезия) недолго считались элементами, так как вскоре после смерти Лавуазье их удалось разложить на более простые вещества. Однако всякий раз каждое из этих простых веществ определялось как новый элемент.

Сторонники теории флогистона, а среди них был и Пристли, пытались доказать

несостоятельность взглядов Лавуазье (взглядов, которых придерживаются и сегодня), но большинство химиков восприняли их с энтузиазмом. Среди сторонников Лавуазье был и шведский химик Бергман. В Германии одним из первых приверженцев Лавуазье стал Мартин Генрих Клапрот (1743-1817). Среди немецких ученых считалось очень патриотичным придерживаться теории флогистона, поскольку автор теории Шталь был немцем. Поэтому выступление Клапрота в поддержку теории Лавуазье произвело сильное впечатление. Позднее Клапрот внес свой вклад в открытие элементов: в 1789 г. он открыл уран и цирконий.

В 1789 г. началась французская революция. К сожалению, Лавуазье был связан с налоговым ведомством, которое народ считал порочным инструментом ненавистной монархии. Были казнены все функционеры этого ведомства, которых удалось схватить. Одним из них был Лавуазье [7].



Схемы опытов, проведенных Лавуазье, показанные в его книге «Элементарный курс химии» (рисунки сделаны женой Лавуазье).

Таблица простых веществ, относящихся ко всем царствам природы, которые можно рассматривать как элементы

Новые названия	Старые названия
Свет	Свет
Теплород	Теплота Составная часть или элемент огня Огонь, огненный флюид Материя огня и теплоты
Кислород	Дефлогистированный воздух Небесный воздух Жизненный воздух или основа воздуха жизни

Простые неметаллические вещества, способные окисляться и образовывать кислоты

Новые названия	Старые названия
Сера Фосфор Древесный уголь	Те же названия
Хлористоводородный радикал (радикал муриевой кислоты) Фтористый радикал Борный радикал	Ранее не были известны

Простые металлические вещества, способные окисляться и образовывать кислоты

Новые названия	Старые названия
Антимоний (сурьма)	Антимоний (сурьма)
Мышьяк	Мышьяк
Висмут	Висмут
Кобальт	Кобальт
Медь	Медь
Золото	Золото
Железо	Железо
Свинец	Свинец
Марганец	Марганец
Ртуть	Ртуть
Молибден	Молибден
Никель	Никель
Платина	Платина
Серебро	Серебро
Олово	Олово
Вольфрам	Вольфрам
Цинк	Цинк

Металлические корольки

Простые солеобразующие вещества земного происхождения

Новые названия	Старые названия
Известь	Мел, известковая земля, гашеная известь
Магнезия	Магнезия, основание эпсомской соли, обожженная или кальцинированная магнезия
Бариты	Бариты или тяжелая земля
Глинозем	Глина, квасцовая земля
Кремнезем	Кремнистая земля, или остекловывающаяся земля

Список элементов, составленный Лавуазье и опубликованный в «Элементарном курсе химии».

---

[1] См.: Дорфман Я.Г. Лавуазье. - М.: Наука, 1962, 328 с.

[2] 5 июля 1748 г. М.В. Ломоносов впервые сформулировал закон сохранения материи и движения. В письме к Л. Эйлеру он писал: "Все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого... Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому" (Ломоносов М.В. Полн. собр. соч. - М. - Л.: Изд-во АН СССР, 1950-1959, т. 2, с. 183).

В 1756 г. М.В. Ломоносов, повторив опыт Р. Бойля, раньше Лавуазье высказал мысль, что увеличение массы металлов при обжигании следует приписать присоединению частиц воздуха. И в отличие от своих современников он исключил "огненную материю" из числа химических агентов (Ломоносов М.В. Полн. собр. соч., т. 10, с. 392).

[3] В начале XX столетия этот закон был уточнен, но введенная поправка настолько мала, что если рассматриваются обычные реакции, проводимые в обычных лабораторных условиях, то ею можно пренебречь.

[4] Труды М.В. Ломоносова подробно освещены в отечественной историко-научной литературе. Б. Н. Меншуткин в серии монографий (Меншуткин Б.Н. М.В. Ломоносов как физико-химик. К истории химии в России. - СПб., 1904; Меншуткин Б.Н. Труды М.В. Ломоносова по физике и химии. - М. - Л.: Изд-во АН СССР, 1936; Меншуткин Б.Н. Михайло Васильевич Ломоносов. Жизнеописание. Изд. 3-е. под ред. С.И. Вавилова и Л.Б. Модзалевского. - М. - Л.: Изд-во АН СССР, 1947) провел глубокий анализ опубликованных трудов Ломоносова и архивных материалов и показал, что Ломоносов ввел многие представления, получившие распространение лишь много десятилетий спустя. Как показала Люс Ланжевен (см.: Ланжевен Л. Ломоносов и французская культура XVIII в. В сб.: Ломоносов, VI. - М. - Л.: Наука, 1965, с. 27-62; Langevin Luce. Lomonosov. Sa vie, son oeuvre. Paris, Edition sociales, 1967, 320 pp.), труды Ломоносова были известны во Франции. См. также: Павлов Г.Е., Федоров А.С. Михаил Васильевич Ломоносов. Жизнь и творчество. - М.: Наука, 1980, 279 с.

[5] Это название получило распространение во французском (nitrogene) и английском (nitrogen) языках.

[6] Русский химик Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765) еще в 1756 г., т.е. почти за двадцать лет до работ Лавуазье по горению, отказался от теории флогистона и предположил, что при горении вещества соединяются с частью воздуха. К сожалению, труды Ломоносова были опубликованы на русском языке, и западно-европейский химики, включая Лавуазье, не смогли с ними ознакомиться. Примечательно также, что Ломоносов имел почти современные взгляды на теорию атомов и теорию теплоты, опередив, таким образом, свое время почти на сто пятьдесят лет.

[7] По материалам этой главы см.: Соловьев Ю.И. История химии. Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. - М.: Просвещение, 1976, 367 с.; Фигуровский Н.А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. - М.: Наука, 1969, 456 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 5. Атомы [1]

Закон Пруста

Успех Лавуазье показал химикам, что применение количественных измерений может помочь понять суть химических реакций. Метод количественных измерений был использован, в частности, при исследовании *кислот*.

Кислоты образуют естественную группу веществ, обладающих рядом характерных свойств. Они химически активны, реагируют с такими металлами, как цинк, олово или железо, которые при растворении в кислотах выделяют водород. Кислоты имеют кислый вкус, вызывают характерные изменения цветов некоторых красителей и т.д.

Кислотам противостоит группа веществ, называемых основаниями. (Сильные основания получили название щелочей.) Эти вещества имеют горький вкус, химически активны, меняют цвета красителей, но на противоположные по сравнению с кислотами и т.д. Растворы кислот нейтрализуют растворы оснований. Другими словами, смесь кислоты и основания, взятых в определенном соотношении, не проявляет свойств ни кислоты, ни основания. Эта смесь представляет собой раствор *соли*, которая обычно химически значительно менее активна, чем кислота или основание. Таким образом, при смешении соответствующих количеств растворов сильной и едкой кислоты (соляной кислоты) с сильной и едкой щелочью (гидроксидом натрия) получается раствор хлорида натрия, т.е. обыкновенной поваренной соли.

Реакции нейтрализации заинтересовали немецкого химика Иеремию Веньямина Рихтера (1762-1807). Начав их изучение, он измерил точные количества различных кислот, необходимых для нейтрализации определенных количеств того или иного основания, и наоборот. Результаты измерений показали, что, проводя реакцию нейтрализации, нельзя пользоваться приемами повара, который в соответствии со своим вкусом может увеличить или уменьшить количество того или иного компонента; в данном случае необходимы определенные и постоянные количества веществ.

Рихтер изложил свои взгляды в книге «Стехиометрия, или искусство измерения химических элементов», которая вышла в трех частях в 1792-1794 гг. [2] Основываясь на результатах многочисленных анализов солей, Рихтер составил ряд нейтрализации, который показывал относительные весовые количества кислот и щелочей, необходимых для нейтрализации.

Здесь речь шла об *эквивалентном* (соединительном) *весе* - постоянном весе одного химического вещества, реагирующего с другим веществом, также имеющим постоянный вес. Таким образом, Рихтеру принадлежит формулировка закона эквивалентов.

Вскоре после опубликования работ И. Рихтера два французских химика вступили в яростный спор о том, присуща ли такая определенность только реакциям кислотно-основной нейтрализации или химическим процессам вообще. В принципе вопрос стоял так: если какое-либо соединение состоит из двух (трех или четырех) элементов, всегда ли соотношение этих двух элементов постоянно? Меняются ли эти соотношения в зависимости от способа получения соединения? Одним из споривших химиков был К.Л. Бертолле, который, как мы упоминали выше, совместно с Лавуазье разработал современную химическую терминологию. Бертолле придерживался второй точки зрения и считал, что соединение, состоящее из элементов x и y, содержит большее количество x, если при получении этого соединения использовался большой избыток x.

Французский химик Жозеф Луи Пруст (1754-1826), который работал в Испании, придерживался противоположного мнения. С помощью тщательных анализов Пруст в 1799 г. показал, например, что карбонат меди характеризуется определенным весовым соотношением меди, углерода и кислорода вне зависимости от того, каким способом эта соль получена в лаборатории или каким способом выделена из природных источников. Соединение всегда содержит 5.3 части меди, 4 части кислорода и 1 часть углерода.

Более того, Пруст установил, что постоянство соотношений компонентов наблюдается и в ряде других соединений. Он сформулировал общее правило, согласно которому все соединения содержат элементы в строго определенных пропорциях (а не в любых сочетаниях) вне зависимости от условий получения этих соединений. Это правило называется *законом постоянства состава*, или иногда *законом Пруста*. (Пруст также показал, что Бертолле, пытаясь доказать, что состав определенных соединений меняется в зависимости от метода их получения, пришел к ошибочным выводам из-за неточности анализов и использования недостаточно чистых исходных соединений.)

В первые годы девятнадцатого столетия стало совершенно очевидно, что Пруст прав. Закон постоянства состава был уточнен и стал краеугольным камнем химии [3].

И тем не менее с момента открытия закона Пруста существовали серьезные сомнения в его справедливости. В конце концов, почему закон постоянства состава всегда должен быть справедлив? Почему какое-то соединение всегда должно содержать 4 части x и 1 часть y, и почему оно не может содержать, например, 4.1 или 3.9 части x и 1 часть y? Если допустить, что материя является сплошной (а не дискретной), то понять это трудно. Почему элементы не могут смешиваться в несколько иных пропорциях?

А как будет обстоять дело, если материя дискретна - состоит из атомов? Предположим, соединение образуется в результате связывания одного атома x с другим атомом y и никак иначе. (Такая комбинация атомов впоследствии получила название «молекула» от латинского moles - небольшая масса.) Если предположить, что вес атома x в 4 раза больше, чем вес атома y, то в этом случае соединение содержит точно 4 части x и 1 часть y.

Чтобы это соотношение изменилось, атом y должен соединиться с таким количеством x, которое чуть больше или чуть меньше одного атома x. Поскольку еще со времен Демокрита атом считался неделимой частицей материи, было нелогично предполагать, что от него можно «отколоть маленький кусочек» или что к нему можно присоединить малую долю второго атома.

Другими словами, если признать атомное строение материи, то из этого положения закон постоянства состава вытекает как естественное следствие. Более того, поскольку справедливость закона постоянства состава - неоспоримый факт, то, следовательно, атомы действительно являются неделимыми частицами.

Теория Дальтона [4]

Английский химик Джон Дальтон (1766-1844), который вошел в историю химии как первооткрыватель закона кратных отношений и создатель основ атомной теории, прошел через всю цепь этих размышлений. Основные положения теории Дальтон вывел из сделанного им самим открытия. Он обнаружил, что два элемента могут соединяться друг с другом в различных соотношениях, но при этом каждая новая комбинация элементов представляет собой новое соединение.

Так, например, при образовании углекислого газа 3 части углерода (по весу) соединяются с 8 частями кислорода, а 3 части углерода и 4 части кислорода дают угарный газ (моноксид углерода). Соотношение количеств кислорода, содержащегося в этих соединениях, представляет собой соотношение малых целых чисел. Восемь частей кислорода дают углекислый газ, 4 части кислорода - угарный (оксид углерода), т.е. в первом соединении кислорода вдвое больше.

В 1803 г. Дальтон обобщил результаты своих наблюдений и сформулировал важнейший закон химии - *закон кратных отношений*.

Этот закон полностью отвечает атомистическим представлениям. Предположим, например, что атомы кислорода в 3 раза тяжелее атомов углерода. Если монооксид углерода образуется в результате сочетания одного атома углерода с одним атомом кислорода, то в этом соединении соотношение весовых частей углерода и кислорода должно быть равно 3:4. В диоксиде же углерода, состоящем из одного атома углерода и двух атомов кислорода, оно должно быть 3:8.

Поскольку было найдено, что элементы соединяются в кратных отношениях, следовательно, соединения различаются по составу на целые атомы. Разумеется, предполагаемые различия в составе и закон кратных отношений справедливы лишь при условии, что материя действительно состоит из крошечных неделимых атомов.

Выдвигая новую версию атомистической теории, опиравшуюся на законы постоянства состава и кратных отношений, Дальтон как дань уважения Демокриту сохранил термин «атом» и назвал так считавшиеся в то время неделимыми мельчайшие частицы, составляющие материю.

В 1808 г. он опубликовал труд «Новая система химической философии», в которой изложил атомистическую теорию уже более подробно. В том же году справедливость закона кратных отношений была подтверждена исследованиями другого английского химика - Уильяма Гайда Уолластона (1766-1828). Уолластон всячески способствовал утверждению атомистической теории, и взгляды Дальтона со временем завоевали всеобщее признание.

Атомистическая теория нанесла последний удар по бытовавшим еще представлениям о

возможностях взаимных переходов элементов-стихий. Стало очевидным, что различные металлы состоят из атомов различных видов, и, поскольку атомы считались в то время неделимыми и незаменяемыми, бесполезно было надеяться, что когда-нибудь удастся атом свинца превратить в атом золота [5].

О непосредственном наблюдении атомов Дальтона, даже под микроскопом, не могло быть и речи: для этого они слишком малы. Однако с помощью косвенных измерений можно получить представление об их относительном весе. Например, 1 часть (по весу) водорода соединяется с 8 частями кислорода, образуя воду. Если молекула воды состоит из одного атома водорода и одного атома кислорода, то, следовательно, атом кислорода в 8 раз тяжелее атома водорода. Если условно принять, как это и делал Дальтон, вес атома водорода за 1, то вес атома кислорода при этом соответственно равен 8.

Далее, если 1 часть водорода соединяется с 5 частями азота, образуя аммиак, и если молекула аммиака состоит из одного атома водорода и одного атома азота, то, следовательно, атомный вес азота должен быть равен 5.

Рассуждая таким образом, Дальтон составил первую таблицу атомных весов [6]. Эта таблица, хотя, вероятно, и была самой важной работой Дальтона, в ряде аспектов оказалась совершенно ошибочной. Основное заблуждение Дальтона заключалось в следующем. Он был твердо убежден, что при образовании молекулы атомы одного элемента соединяются с атомами другого элемента попарно. Исключения из этого правила Дальтон допускал лишь в крайних случаях.

Тем временем накапливались данные, свидетельствующие о том, что подобное сочетание атомов «один к одному» отнюдь не является правилом. Противоречие проявилось, в частности, при изучении воды, причем еще до того, как Дальтон сформулировал свою атомную теорию.

Здесь впервые в мир химии проникло электричество.

Об электричестве знали еще древние греки; было известно, что кусочек янтаря, если его потереть, способен притягивать легкие предметы. Однако лишь спустя столетия английский физик Уильям Гильберт (1540-1603) сумел показать, что такой же способностью обладает и ряд других веществ. Примерно в 1600 г. Гильберт предложил вещества такого типа называть «электриками» (от греческого ηλεχτρον - янтарь). Как

выяснилось, вещество, способное после натирания или какого-либо другого воздействия притягивать к себе легкие предметы, переносит *электрический заряд* или содержит *электричество*.

В 1733 г. французский химик Шарль Франсуа де Систернэ Дюфе (1698-1739) установил, что существуют два вида электрических зарядов: один из них возникает на стекле («стеклянное электричество»), а другой - на янтаре («смоляное электричество»). Вещество, несущее заряд одного вида, притягивает вещество, несущее заряд другого вида, но два одинаково заряженных вещества взаимно отталкиваются.

Бенджамин Франклин (1706-1790), великий американский ученый, выдающийся государственный деятель и дипломат, в сороковых годах XVIII в. выдвинул новую гипотезу. Он предположил, что существует единый электрический флюид и что вид электрического заряда зависит от содержания этого флюида. Если содержание электрического флюида превышает некоторую норму, вещество несет заряд одного вида, если же этого флюида содержится меньше нормы, вещество несет заряд другого вида.

Франклин считал, что стекло содержит электрического флюида больше нормы и поэтому несет *положительный заряд*. Смола же, по его мнению, несет *отрицательный заряд*. Термины, предложенные Франклином, используются до сих пор, хотя в них вкладывается иной смысл, так как в настоящее время представления о причинах прохождения тока противоположны тем, которые были приняты во времена Франклина.

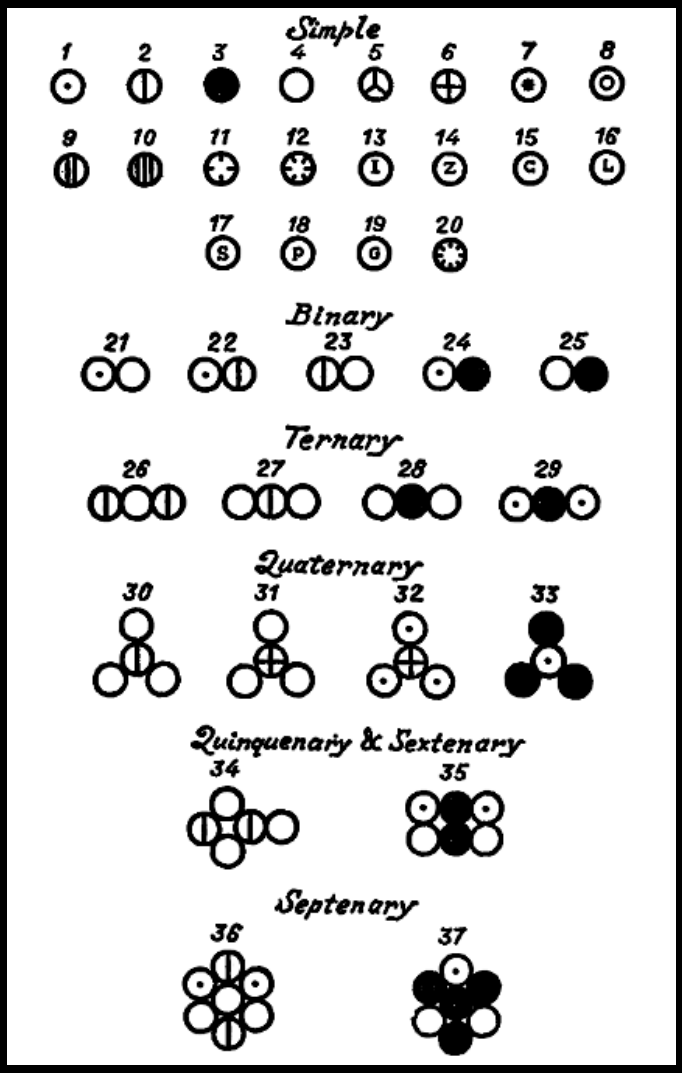
В 1800 г. итальянский физик Алессандро Вольта (1745-1827) сделал важное открытие. Он установил следующее: два куска металла (разделенные растворами, способными проводить электрический заряд) можно расположить таким образом, что по соединяющей их проволоке пойдет «ток электрических зарядов», или *электрический ток*. Вольта сконструировал первую электрическую батарею, представлявшую собой столб из 20 пар металлических пластинок двух разных металлов. Такая батарея, известная под названием Вольтова столба, явилась первым источником постоянного тока. Электрический ток в такой батарее образуется в результате химической реакции, в которой участвуют оба металла и разделяющий их раствор.

Результаты работы Вольта явились первым несомненным доказательством того, что между химическими реакциями и электричеством существует определенная связь. Однако это предположение было полностью разработано только в следующем столетии.

Если в результате химической реакции возникает электрический ток, то естественно предположить, что и электрический ток может изменять материю и вызывать химическую реакцию. И действительно, всего через шесть недель после первого описания Вольтой своей работы два английских химика - Уильям Николсон (1753-1815) и Энтони Карлайл (1768-1840) продемонстрировали наличие такой обратной зависимости. Пропустив электрический ток через воду, они обнаружили, что на электропроводящих полосках металла, опущенных в воду, появляются пузырьки газа. Как выяснилось, на одной из полосок выделяется водород, на другой - кислород.

В сущности Николсон и Карлайл при помощи электрического тока разложили воду на водород и кислород. Другими словами, они впервые провели *электролиз* воды. Если Кавендиш соединил водород и кислород в воду, то Николсон и Карлайл осуществили обратную реакцию. Выделявшиеся по мере разложения воды водород и кислород они собирали в отдельные сосуды. Последующие измерения показали, что объем водорода вдвое превышает объем кислорода. Конечно, водород легче, чем кислород, но поскольку объем водорода был больше, следовательно, в молекуле воды атомов водорода должно быть больше, чем атомов кислорода. Объем выделившегося водорода вдвое превысил объем кислорода, поэтому вполне естественно было предположить, что каждая молекула воды содержит два атома водорода и один атом кислорода, а не по одному атому каждого элемента, как считал Дальтон.

Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил предположение о том, что одна часть водорода (по весу) соединяется с 8 частями (также по весу) кислорода. А если это предположение справедливо, то, следовательно, 1 атом кислорода в 8 раз тяжелее двух атомов водорода взятых вместе и, таким образом, в 16 раз тяжелее одного атома водорода. Если вес водорода принять за единицу, то атомный вес кислорода составит 16, а не 8.



Символы некоторых элементов и соединений, предложенные Дальтоном: 1 - водород; 3 - углерод; 4 - кислород; 15 - медь; 17 - серебро; 19 - золото; 21 - вода. Дальтон дал неверную формулу воды (НО вместо H_2O), но его формулы монооксида (25) и диоксида углерода (28) верны.

Гипотеза Авогадро [7]

Результаты исследований Николсона и Карлайла были подкреплены работой французского химика Жозефа Луи Гей-Люссака (1778-1850). Гей-Люссак установил, что два объема водорода, соединяясь с одним объемом кислорода, образуют воду. Далее, он нашел, что когда газы образуют соединение, соотношение их объемов всегда представляет собой соотношение кратных чисел. В 1808 г. Гей-Люссак опубликовал сообщение об открытом им *законе объемных отношений*.

В свете этого закона представлялось вполне допустимым, что молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Используя этот закон, можно было также решить, наконец, сколько атомов азота и водорода в аммиаке. А после того как

было установлено, что в молекуле аммиака содержится один атом азота и три (а не один) атом водорода, выяснилось, что атомная масса азота равна не примерно 5, а 14.

Рассмотрим теперь водород и хлор. Эти два газа, соединяясь, образуют третий газ - хлорид водорода. При этом один объем водорода соединяется с одним объемом хлора, и вполне можно предположить, что молекула хлорида водорода состоит из одного атома водорода и одного атома хлора. Предположим теперь, что газообразный водород и газообразный хлор состоят из одиночных атомов, далеко отстоящих друг от друга, и что эти атомы соединяются попарно, образуя молекулы хлорида водорода, также далеко отстоящие друг от друга. Начнем со 100 атомов водорода и 100 атомов хлора. Эти 200 далеко отстоящих друг от друга частиц соединяются попарно и образуют 100 молекул хлорида водорода. В результате от 200 далеко отстоящих друг от друга частиц (атомов) остается только 100 также удаленных друг от друга частиц (молекул). Если пространство между ними везде одинаково, то тогда один объем водорода и один объем хлора в сумме (всего два объема) должны были бы составить только один объем хлорида водорода. Однако фактические данные говорят о том, что один объем водорода, соединяясь с одним объемом хлора, дает два объема хлорида водорода. Поскольку два объема газа, взятые для проведения опыта, остаются теми же двумя объемами после завершения опыта, то, следовательно, число частиц должно оставаться одним и тем же и до начала и после завершения опыта.

Предположим далее, что газообразный водород существует не в виде отдельных атомов, а в виде *молекул водорода*, каждая из которых состоит из двух атомов, а газообразный хлор состоит из *молекул хлора*, также двухатомных. В этом случае 100 атомов водорода - это 50 далеко отстоящих друг от друга частиц водород-водород, а 100 атомов хлора - это 50 далеко отстоящих друг от друга частиц хлор-хлор, т.е. всего 100 частиц. При образовании хлорида водорода происходит перегруппировка частиц: возникает атомная комбинация водород-хлор. При этом 100 атомов водорода и 100 атомов хлора дают 100 молекул хлорида водорода (каждая из молекул содержит по одному атому каждого вида). Следовательно, 50 молекул водорода и 50 молекул хлора образуют 100 молекул хлорида водорода. Этот вывод совпадает с результатами наблюдений, которые показывают, что один объем водорода и один объем хлора дают два объема хлорида водорода.

Все это вполне допустимо, если, как указывалось выше, частицы различных газов независимо от того, состоят ли они из одиночных атомов или из комбинаций атомов, равно удалены друг от друга и если расстояние между ними достаточно велико. В этом

случае равное число частиц газа (при данной температуре) занимает равные объемы независимо от вида газа.

Первым, кто обратил внимание на необходимость предположения о том, что в газах равное число частиц занимает равные объемы, был итальянский химик Амедео Авогадро (1776-1856). Поэтому предположение, выдвинутое им в 1811 г., получило название *гипотезы Авогадро*.

Если твердо помнить эту гипотезу, то можно провести четкое различие между атомами и молекулами водорода (пары атомов), а также между атомами и молекулами других газов. Тем не менее еще в течение полувека после смерти Авогадро химики пренебрегали этой гипотезой и не проводили различия между атомами и молекулами важнейших газообразных элементов. Неопределенность наблюдалась и при определении атомных весов некоторых наиболее важных элементов.

К счастью, установить правильные атомные веса можно и другими способами. Например, в 1818 г. французский химик Пьер Лун Дюлонг (1785-1838) и французский физик Алексис Терез Пти (1791-1820) определили атомный вес одного из таких элементов [8]. Они обнаружили, что удельная теплоемкость элементов (количество теплоты, которое необходимо подвести к единице массы вещества, чтобы повысить его температуру на один градус) обратно пропорциональна атомному весу. Иными словами, если атомный вес элемента x вдвое больше атомного веса элемента y, то после поглощения одинаковыми весовыми количествами элементов одинакового количества тепла температура y повысится вдвое больше, чем температура x. Это и есть *закон удельных теплоемкостей*.

Таким образом, атомный вес элемента (правда, только приблизительный) можно определить, измерив его теплоемкость. Этот метод оказался пригодным только для твердых элементов, да и то не для всех, и тем не менее это был шаг вперед.

Немецкий химик Эйльгард Митчерлих (1794-1863) в 1819 г. нашел, что соединения, имеющие сходный химический состав, обычно выделяются в виде смешанных кристаллов, как будто молекулы одного вещества перемешиваются с аналогичными по форме молекулами другого вещества. Таким образом был постулирован *закон изоморфизма* («одинаковой формы»).

Из этого закона следует, что если два аналогичных по составу соединения кристаллизуются в виде смешанных кристаллов, то их химическую природу можно считать подобной (изоморфной). Это свойство изоморфных кристаллов позволяло экспериментаторам делать правильные заключения об атомных весах молекул одинакового элементного состава.

Веса и символы

Поворотный этап в истории развития химической атомистики связан с именем шведского химика Иёнса Якоба Берцелиуса [9]. Он вслед за Дальтоном внес особенно большой вклад в создание атомистической теории. Примерно с 1807 г. Берцелиус вплотную занялся определением точного элементного состава различных соединений. Проведя не одну сотню анализов, он представил столько доказательств, подтверждавших закон постоянства состава, что химики были вынуждены признать справедливость этого закона, а следовательно, и принять атомистическую теорию, которая непосредственно вытекала из закона постоянства состава.

Далее Берцелиус принялся за определение атомных весов более сложными и точными методами, которые были недоступны Дальтону. В этой своей работе Берцелиус использовал законы, открытые Дюлонгом и Пти, Митчерлихом и Гей-Люссаком (но, подобно большинству своих современников, не воспользовался гипотезой Авогадро).

В 1826 г. Берцелиус опубликовал первую таблицу атомных весов. Приведенные в ней величины в основном совпадают (за исключением атомных весов двух-трех элементов) с принятыми в настоящее время. Эта таблица, опубликованная в издававшихся самим И. Берцелиусом «Годичных обзорах», вошла в историю химии как таблица 1826 г.

Существенное различие между таблицами Берцелиуса и Дальтона состоит в том, что величины, полученные Берцелиусом, в большинстве не были целыми числами.

В своих расчетах Дальтон исходил из того, что атомный вес водорода равен 1, и поэтому атомные веса всех элементов в таблице Дальтона представляют собой целые числа. Изучив составленную Дальтоном таблицу атомных весов, английский химик Уильям Праут (1785-1850) пришел в 1815-1816 гг. к мнению, что все элементы в конечном счете состоят из водорода и что атомные веса различных элементов различаются по той причине, что они состоят из разного числа атомов водорода. Эта точка зрения известна как *гипотеза Праута*.

Однако таблица Берцелиуса, казалось, разрушила это привлекательное предположение (привлекательное потому, что, подобно античным ученым, Праут сводил все возраставшее число элементов к одному основному веществу и, таким образом, как будто бы придавал Вселенной упорядоченность и симметрию). Однако, если принять атомный вес водорода («основы»), равным 1, то атомный вес кислорода составит приблизительно 15.9 веса водорода, но едва ли можно согласиться с тем, что кислород состоит из 15 плюс еще 9/10 атома водорода.

В следующем столетии таблицы атомных весов постоянно уточнялись, и все более очевидными становились выводы Берцелиуса, считавшего, что атомные веса различных элементов не являются целыми числами, кратными атомному весу водорода.

В шестидесятых годах XIX в. бельгийский химик Жан Сервэ Стас (1813-1891) определил атомные веса точнее, чем Берцелиус. В начале XX в. американский химик Теодор Уильям Ричардс (1868-1928), приняв все меры предосторожности (во многом надуманные), определил величины атомных весов с такой точностью, которая только возможна при использовании чисто химических методов. Исследования Стаса и Ричардса ответили на те вопросы, которые в работах Берцелиуса оставались нерешенными.

Нельзя было не принять тот факт, что атомные веса выражаются нецелыми числами, и в свете этого гипотеза Праута, казалась бы, все более теряла смысл. Однако в то время, когда Ричардс проводил свои поразительно точные определения атомных весов, вновь встал вопрос о том, что следует понимать под атомным весом. И на этом этапе развития химии гипотезе Праута, как мы увидим далее, суждено было возродиться.

Поскольку, как выяснилось, атомные веса различных элементов взаимосвязаны не столь простым образом, как это ранее предполагалось, необходимо было выявить стандарт, исходя из которого можно было бы определять атомные веса элементов. Естественным казалось принять за единицу атомного веса атомный вес водорода, как это сделали Берцелиус и Дальтон. Но при этом атомный вес кислорода выражался неудобным нецелым числом 15.9, а ведь именно кислород обычно использовался для определения соотношений элементов в различных соединениях.

Чтобы атомный вес кислорода выражался удобным целым числом при минимальном нарушении стандарта, т.е. атомного веса водорода, атомный вес кислорода округлили и

приняли равным 16.000 (вместо 15.9). Таким образом, в качестве стандарта был принят атомный вес кислорода, равный 16; атомный вес водорода при этом оказался равным 1.008. Атомный вес кислорода служил стандартом вплоть до середины XX в.

После того как атомистическая теория была принята, стало возможным изображать вещества в виде молекул, содержащих постоянное число атомов различных элементов. Вполне естественным было попытаться изобразить такие молекулы в виде набора маленьких кружков, представляющих собой атомы; при этом атомы каждого вида можно было изобразить кружками определенного типа.

Дальтон пытался ввести именно эту символику. Простым кружком он изображал атом кислорода; кружком с точкой посередине - атом водорода; кружком с вертикальной линией - атом азота; закрашенным черным кружком - атом углерода и т.д. Поскольку придумывать различные типы кружков становилось все труднее и труднее, Дальтон стал использовать начальные буквы названий элементов. Так, серу он изображал в виде кружка с буквой S, фосфор - в виде кружка с буквой P и т.д.

Берцелиус решил, что кружки излишни, достаточно лишь начальных букв. Он предложил, чтобы каждому элементу соответствовал свой особый знак, который был бы одновременно и символом элемента, и символом одиночного атома этого элемента, и в качестве такого знака предложил использовать начальную букву латинского названия элемента. (К счастью, для англоязычных народов латинское название почти всегда похоже на английское.) В тех случаях, когда названия двух или более элементов начинались с одних и тех же начальных букв, добавлялась вторая буква названия. Так появились *химические символы* элементов, которыми пользуются во всем мире и поныне.

Итак, химическим символом углерода, водорода, кислорода, азота, фосфора и серы стали соответственно C, H, O, N, P и S, кальций и хлор (углерод первым завладел прописной буквой C) обозначались соответственно Ca и Cl.

С помощью химических символов легко показать количество атомов в молекуле. Так, молекулу водорода, состоящую из двух атомов водорода, записывают как H_2, а молекулу воды, содержащую два атома водорода и один атом кислорода, - как H_2O. (Знак без числового индекса, это легко увидеть, означает единичный атом.) Углекислый газ - это CO_2, серная кислота - H_2SO_4, а хлорид водорода - HCl. *Химические формулы* этих простых соединений говорят сами за себя.

Химические формулы можно объединять в химические уравнения, описывающие реакции. С помощью такого уравнения можно, например, показать, что углерод соединяется с кислородом и образует углекислый газ:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

В таких уравнениях, чтобы не нарушить закона сохранения массы веществ, необходимо учитывать все участвующие в реакции атомы.Предположим, мы хотим сказать, что водород соединяется с хлором и образует хлорид водорода. Если это записать просто как

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow HCl,$$

то нетрудно заметить, что среди исходных веществ у нас два атома водорода и два атома хлора, а среди продуктов реакции - только по одному. Чтобы уравнять правую и левую части, перед формулами исходных веществ и продуктов реакции ставят коэффициенты. В результате реакция образования хлорида водорода записывается как

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl,$$

а реакция образования воды - как

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O.$$

Электролиз

Изучая влияние электрического тока на химические вещества, ученые смогли выделить ряд новых элементов. Вообще за полтора века, прошедшие с того времени, когда Бойль ввел понятие «элемент», было открыто поразительно много веществ, отвечающих этому определению. Более того, было установлено, что некоторые простые и сложные вещества содержат неоткрытые элементы, которые химики не могли пока ни выделить, ни изучить.

Очень часто эти элементы входили в состав *оксидов*, т.е. соединений кислорода. Чтобы выделить элемент, соединенный с кислородом, последний необходимо было удалить. В принципе под воздействием какого-либо другого элемента, обладающего более сильным сродством к кислороду, атом (или атомы) кислорода может покинуть первый элемент и присоединиться ко второму. Этот метод оказался эффективным. Причем часто роль второго, отнимающего кислород, элемента выполнял углерод. Например, если железную руду, которая по сути является оксидом железа, нагревать на коксе (относительно чистая

разновидность углерода), то углерод соединяется с кислородом; при этом образуются оксиды углерода и металлическое железо.

Рассмотрим теперь известь. По своим свойствам она тоже похожа на оксид. Однако ни один из известных тогда элементов, вступая в реакцию с кислородом, не образует известь. Следовательно, известь является оксидом неизвестного элемента. Пытаясь выделить этот неизвестный элемент, известь нагревали на коксе, но при этом ничего не происходило. Неизвестный элемент, по-видимому, так крепко удерживал кислород, что атомы углерода не могли оторвать от него атомы кислорода. Ни одно другое химическое вещество также не могло «заставить» известь отдать кислород.

Однако английский химик Гемфри Дэви (1778-1829) решил, что если вещество нельзя разложить химическим путем, то, возможно, это удастся осуществить под воздействием электрического тока: ведь таким способом удалось разложить даже молекулу воды.

Дэви сконструировал электрическую батарею, в которой насчитывалось более 250 металлических пластин; это была самая сильная из имевшихся в то время батарей. Пропуская ток, который давала эта батарея, через растворы соединений, предположительно содержащих неизвестные элементы, Дэви пытался таким образом выделить эти элементы, однако успеха не добился. Он только разложил воду и получил водород и кислород.

Очевидно, необходимо было прежде удалить воду. Однако через твердые вещества ему даже не удалось пропустить ток. Наконец, Дэви догадался расплавить соединения и пропустить ток через расплав.

Это оказалось действенным. 6 октября 1807 г. Дэви пропустил ток через расплавленный поташ (карбонат калия) и получил маленькие шарики металла, который он назвал *потассием* (от английского - potash). Этот металл, впоследствии названный калием, оказался очень активным. Он вытеснял кислород из воды, освобождая водород, причем реакция эта шла чрезвычайно бурно. Неделю спустя Дэви выделил из соды (карбоната натрия) *содий* (от английского - soda), впоследствии названный натрием. По своей активности, как выяснилось, натрий лишь незначительно уступает калию.

В 1808 г., пользуясь модифицированным вариантом метода Берцелиуса, Дэви выделил несколько металлов из их оксидов: *магний* из магнезии, *стронций* из оксида стронция,

барий из оксида бария и *кальций* из извести («кальций» - от латинских названий извести - calx, calcis).

Дэви также показал, что зеленоватый газ, который открывший его Шееле считал оксидом, в действительности является элементом. Дэви предложил назвать его хлорин (от греческого χλωροζ - желто-зеленый). Позднее Гей-Люссак сократил это название до хлора. Дэви доказал, что соляная кислота, будучи сильной кислотой, не содержит атома кислорода в своей молекуле, и, таким образом, опроверг предположение Лавуазье, который рассматривал кислород как необходимый компонент всех кислот.

Работы Дэви по электролизу продолжил его помощник и ученик Майкл Фарадей (1791-1867) [10], который впоследствии стал знаменитым ученым. Ряд электрохимических терминов, введенных Фарадеем, используется и по сей день. Так, например, он назвал расщепление молекул под действием электрического тока *электролизом*. По предложению специалиста по античной филологии Уильяма Уэвелла (1794-1866) Фарадей назвал соединение или раствор, способный проводить электрический ток, *электролитом*; металлические стержни или пластины, помещенные в расплавленный металл или раствор, - *электродами*; электрод, несущий положительный заряд, - *анодом*; электрод, несущий отрицательный заряд, - *катодом*.

Реально существующие частицы, благодаря которым электрический ток проходит через раствор или расплав, Фарадей назвал *ионами* (от греческого ιον - идущий). Ионы, перемещающиеся по направлению к аноду, он назвал *анионами*, а ионы, перемещающиеся по направлению к катоду, - *катионами*.

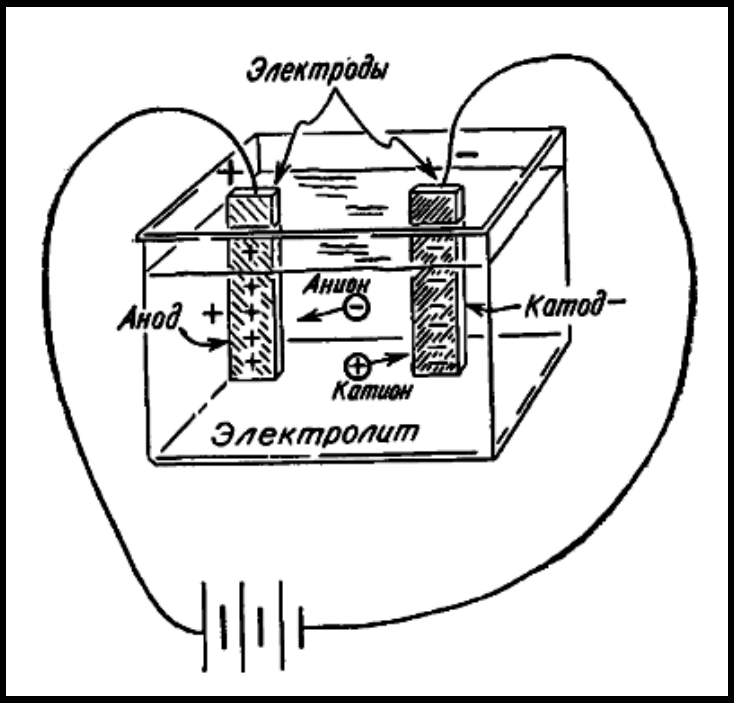
В 1832 г. Фарадей установил, что электрохимические процессы характеризуются определенными количественными соотношениями, и сформулировал следующие два закона электролиза. Вес вещества, выделившегося на электроде во время электролиза, пропорционален количеству электричества, пропущенного через раствор. Вес металла, выделенного данным количеством электричества, пропорционален эквивалентному весу этого металла.

Таким образом, если при взаимодействии серебра и калия с заданным количеством кислорода серебра в 2.7 раза больше, чем калия, то при данном количестве электричества серебра выделится в 2.7 раза больше, чем калия.

Законы Фарадея, по мнению некоторых химиков, указывали на то, что электричество, как и материю, можно разложить на постоянные минимальные единицы, или, другими словами, на «атомы электричества».

Предположим, что при пропускании электричества через раствор атомы материи притягиваются к катоду или к аноду «атомами электричества», и предположим, что для управления одним «атомом материи» во многих случаях достаточно одного «атома электричества», но иногда требуются два или даже три «атома электричества». Представив себе это, легко объяснить законы электролиза Фарадея.

Однако справедливость этого предположения была подтверждена только в самом конце XIX в., и тогда же было введено понятие «атомы электричества». Сам Фарадей никогда не проявлял энтузиазма по поводу «атомов электричества», да и атомистического учения в целом. [11]



Электролитический процесс Фарадей объяснял с помощью следующей схемы. Обозначения на рисунке соответствуют предложенной им терминологии.

---

[1] История формирования представлений о химическом соединении рассмотрена в кн.: Шептунова З.И. Химическое соединение и химический индивид (очерк развития представлений). - М.: Наука, 1972, 212 с.

[2] Термин стехиометрия (от греческого - стихия, начало, элемент, основа) был введен И. Рихтером для обозначения соотношения масс кислот и оснований при образовании солей.

[3] В действительности состав некоторых соединений может колебаться в определенных пределах, но это особые случаи. Состав тех простых соединений, которыми занимались химики до 1800 г., строго соответствует требованиям закона постоянства состава.

[4] См.: Дальтон Дж. Сборник избранных работ по атомистике. Под ред. и с примечаниями Б.М. Кедрова. - М.: Госхимиздат, 1940, 244 с.; Кедров Б.М. Атомистика Дальтона. - М. - Л.: Госхимиздат, 1949, 312 с.

[5] Столетие спустя это представление претерпело изменение. В конце концов один атом можно превратить в другой. Однако достичь этого можно, лишь пользуясь такими методами, которых не мог бы себе ни представить, ни осуществить ни один алхимик.

[6] Атомный вес - это не вес как сила и вовсе не масса, а число, выражающее отношение главным образом масс атомных ядер. Процесс взвешивания, имевший место при определении атомных весов, был процессом сравнения масс.

[7] См.: Быков Г.В. Амедео Авогадро. Очерк жизни и деятельности. - М.: Наука, 1970, 184 с.

[8] Работа Дюлонга и Пти была опубликована в 1819 г.

[9] См.: Соловьев Ю.И., Куринной В.И. Якоб Берцелиус. Жизнь и деятельность. - М.: Наука, 1980, 2-е изд., 320 с.

[10] См.: Кудрявцев П.С. Фарадей. - М.: Просвещение, 1969, 168 с.

[11] См.: Крицман В.А. Роберт Бойль. Джон Дальтон. Амедео Авогадро. Создатели атомно-молекулярного учения в химии. - М.: Просвещение, 1978, 144 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 6. Органическая химия

Крушение витализма

Еще со времени открытия огня человек разделил вещества на две группы: горючие и негорючие. К горючим веществам относились, в частности, дерево и жир или масло, они в основном и служили топливом. Дерево - это продукт растительного происхождения, а жир и масло - продукты как животного, так и растительного происхождения. Вода, песок, различные горные породы и большинство других веществ минерального происхождения не горели, более того, гасили огонь.

Таким образом, между способностью вещества к горению и принадлежностью его к живому или неживому миру существовала определенная связь. Хотя, безусловно, были известны и исключения. Например, уголь и сера - продукты неживой материи - входили в группу горючих веществ.

Накопленные в XVIII столетии знания показали химикам, что судить о природе веществ, исходя только из их горючести или негорючести, нельзя. Вещества неживой природы могли выдерживать жесткую обработку, а вещества живой или некогда живой материи такой обработки не выдерживали. Вода кипела и снова конденсировалась в воду; железо или соль расплавлялись, но, остывая, возвращались в исходное состояние. В то же время оливковое масло или сахар при нагревании (даже в условиях, исключающих возможность горения) превращались в дым и гарь. То, что оставалось, не имело уже ничего общего с оливковым маслом или сахаром, и превратить этот остаток в оливковое масло или сахар больше не удавалось. Словом, вещества этих двух групп вели себя принципиально различным образом.

В 1807 г. Берцелиус предложил вещества, подобные оливковому маслу или сахару, которые типичны для живой природы, называть *органическими*. Вещества, подобные воде и соли, которые характерны для неживой природы, он назвал *неорганическими*.

Химиков не переставало удивлять, что органические вещества при нагревании или каком-

либо другом жестком воздействии легко превращаются в неорганические вещества. (Возможность обратного превращения, т.е. превращения неорганического вещества в органическое, была установлена несколько позднее.) То время было временем господства витализма - учения, рассматривающего жизнь как особое явление, подчиняющееся не законам мироздания, а влиянию особых жизненных сил (vis vitalis) [1]. Защитником витализма веком раньше был Шталь, основатель теории флогистона. Сторонники витализма утверждали, что для превращения неорганических веществ в органические требуется какое-то особое воздействие («жизненная сила»), которое проявляется только внутри живой ткани. По этой причине неорганические соединения, например воду, можно было найти повсюду - в пределах и живого, и неживого мира, тогда как органические соединения, образующиеся под воздействием жизненной силы, можно найти только в живых тканях.

Химики, имевшие дело с самыми обычными соединениями и пользовавшиеся самыми обычными методами, осуществить превращение, требовавшее участия жизненных сил, естественно, не могли.

Первые сомнения в справедливости такого утверждения возникли после опубликования в 1828 г. работы Фридриха Вёлера (1800-1882), немецкого химика, ученика Берцелиуса. Вёлера, в частности, интересовали цианиды и родственные им соединения. Нагревая цианат аммония (в то время это соединение безоговорочно причисляли к неорганическим веществам, не имеющим ничего общего с живой материей), Вёлер обнаружил, что в процессе нагревания образуются кристаллы, похожие на мочевину - продукт жизнедеятельности человека и животных, выделяющийся в значительных количествах с мочой. Тщательно изучив эти кристаллы, Вёлер установил, что он действительно получил мочевину - бесспорно органическое соединение.

Вёлер несколько раз повторил опыт и, убедившись, что он по своему желанию может превращать неорганическое соединение (цианат аммония) в органическое (мочевину), сообщил о своем открытии Берцелиусу. Берцелиус был упрямым человеком, который редко менял свое мнение под чьим-либо влиянием, однако в этом случае он вынужден был согласиться, что проведенное им, Берцелиусом, разделение на органические и неорганические соединения оказалось не таким четким, как он полагал.

Однако не надо переоценивать значения этой работы Вёлера [2]. Сама по себе она не столь уж существенна. Строго говоря, цианат аммония не является типичным

неорганическим соединением, но даже если считать его таковым, то превращение цианата аммония в мочевину (как со временем и было показано) является просто результатом изменения расположения атомов внутри молекулы. И в самом деле, ведь молекула мочевины фактически является перестроенной молекулой все того же цианата аммония.

И тем не менее значение открытия Вёлера отрицать нельзя. Оно способствовало низвержению витализма [3] и вдохновило химиков на попытки синтеза органического вещества; не будь этого открытия, химики направили бы свои усилия в другом направлении.

В 1845 г. Адольф Вильгельм Герман Кольбе (1818-1884), ученик Вёлера, успешно синтезировал уксусную кислоту, считавшуюся в его время несомненно органическим веществом. Более того, он синтезировал ее таким методом, который позволил проследить всю цепь химических превращений - от исходных элементов (углерода, водорода и кислорода) до конечного продукта - уксусной кислоты. Именно такой *синтез из элементов*, или *полный синтез*, и был необходим. Если синтез мочевины Вёлера породил сомнения относительно существования «жизненной силы», то синтез уксусной кислоты Кольбе позволил решить этот вопрос.

Французский химик Пьер Эжен Марселен Бертло (1827-1907) [4] в 50-е годы XIX в. начал систематическую разработку синтеза органических соединений и достиг больших успехов. Он синтезировал, в частности, такие хорошо известные и важные соединения, как метиловый и этиловый спирты, метан, бензол, ацетилен. Бертло «нарушил границу» между неорганической и органической химией, покончив с пресловутым «запретом». В дальнейшем такое «нарушение границ» стало обычным.

«Кирпичики» жизни

Вёлер, Кольбе и Бертло синтезировали относительно простые органические соединения, тогда как для живой природы характерны значительно более сложные соединения типа крахмала, жиров и белков. Изучать такие соединения гораздо труднее; непросто даже установить их точный элементный состав. В целом изучение органических веществ обещало разгадку многих проблем, но подступиться к этим веществам химику прошлого века было совсем непросто.

Вначале об этих сложных соединениях было известно только то, что их можно разбить на

сравнительно простые «строительные блоки» («кирпичики»), нагревая их с разбавленной кислотой или разбавленным основанием. Русский химик Константин Сигизмундович Кирхгоф (1764-1833) первым занялся детальным изучением этого вопроса. В 1812 г. ему удалось превратить крахмал, нагревая его с кислотой, в сахар, который впоследствии получил название *глюкозы* [5].

В 1820 г. французский химик Анри Браконно (1780-1854) таким же способом обрабатывал желатину (продукт денатурирования белка) и получил *глицин* - азотсодержащую органическую кислоту, относящуюся к той группе веществ, которые впоследствии были названы (Берцелиусом) *аминокислотами*. Глицин был первой из двадцати различных аминокислот, выделенных в следующем веке из природных белков [6].

И крахмал, и белок имеют гигантские молекулы, построенные, как выяснилось позднее, из длинных цепей, состоящих из остатков глюкозы и аминокислот соответственно. Химики XIX в. практически были лишены возможности синтезировать эти длинные цепи в лаборатории. Иначе дело обстояло с жирами.

Французский химик Мишель Эжен Шеврель (1786-1889) посвятил первую половину своей очень долгой творческой жизни изучению жиров. В 1809 г. он обработал мыло (полученное нагреванием жира со щелочью) кислотой и выделил то, что мы теперь называем *жирными кислотами*. Позднее он показал, что, превращаясь в мыло, жиры теряют *глицерин*.

Молекула глицерина сравнительно простая и построена таким образом, что к ней легко могут «прикрепиться» дополнительные группы атомов.

Следовательно, вполне логично было предположить, что, в то время как крахмал и белки, скорее всего, построены из большого числа простых остатков молекул, с жирами дело обстоит иначе. До середины XIX в. считалось, что жиры, вероятно, построены из остатков только четырех молекул: молекулы глицерина и трех молекул жирных кислот.

На этом этапе свое слово сказал Бертло. В 1854 г. он, нагревая глицерин со стеариновой кислотой (одной из самых распространенных жирных кислот, полученных из жиров), получил молекулу, состоящую из остатка молекулы глицерина и трех остатков молекул стеариновой кислоты. Этот *тристеарин*, который оказался идентичен тристеарину, полученному из природных жиров, был самым сложным из синтезированных к тому

времени аналогов природных продуктов.

Бертло сделал еще более важный шаг. Вместо стеариновой кислоты он взял кислоты, похожие на нее, но полученные не из природных жиров, и также нагрел их с глицерином. В результате Бертло получил соединения, очень похожие на обычные жиры, но несколько отличающиеся от любого из природных жиров.

Этот синтез показал, что химик не только способен синтезировать аналоги природных продуктов, он в состоянии сделать большее. Например, он может синтезировать из продуктов неживой природы соединение, по всем своим свойствам являющееся органическим. Именно с синтезом аналогов природных продуктов связаны самые крупные достижения органической химии второй половины XIX в.

К середине XIX в. стало уже непопулярным причислять то или иное соединение к органическим или неорганическим, исходя лишь из того, является или не является оно продуктом живой ткани. В то время уже были известны такие органические соединения, которые никак не могли быть продуктами жизнедеятельности организмов. Тем не менее деление соединений на органические и неорганические имело смысл. Свойства соединений этих классов, как выяснилось, настолько различаются, что даже приемы работы химика-органика и химика-неорганика совершенно различны.

Становилось все более очевидным, что различие между органическими и неорганическими соединениями обусловлено особенностями химического строения молекул этих соединений. Многие химики начали говорить о разных типах строения молекул органических и неорганических соединений. Молекулы большинства неорганических веществ, с которыми имели дело химики XIX в., содержат всего от двух до восьми атомов. Да и вообще в молекулах очень немногих неорганических соединений число атомов достигает десятка.

В то же время в молекулах даже простейших органических соединений содержится десять и более атомов, а нередко число атомов в молекуле органического соединения измеряется несколькими десятками. Молекулы же таких соединений, как крахмал или белок, можно без всякого преувеличения назвать гигантскими: в них насчитываются тысячи и даже сотни тысяч атомов.

Вполне понятно, что сложная органическая молекула может легко и необратимо

разрушиться даже при слабом неблагоприятном воздействии, например при легком нагревании, в то время как простые неорганические молекулы не претерпевают изменений даже при жесткой обработке.

Кроме того, все без исключения органические соединения имеют в своих молекулах один или более атомов углерода. Почти все молекулы содержат также атомы водорода. Поскольку углерод и водород сами по себе горючи, то вполне можно предположить, что соединения, в которых эти элементы играют такую важную роль, также относятся к числу горючих.

Немецкий химик Фридрих Август Кекуле фон Страдонитц (1829-1886) [7], которого обычно называют Кекуле, сделал верный вывод. В учебнике, опубликованном им в 1861 г., Кекуле определил органическую химию как химию соединений углерода. Развивая эту мысль, можно определить неорганическую химию как химию соединений, не содержащих углерод. Это определение получило широкое распространение. Правда, несколько соединений углерода, в том числе диоксид углерода и карбонат кальция, скорее следует считать типичными неорганическими соединениями, чем типичными органическими. Такие соединения углерода обычно рассматриваются в трудах по неорганической химии.

Изомеры и радикалы

Когда химики попытались применить представления атомистической теории к молекулам тех простых неорганических соединений, с изучением которых связаны выдающиеся успехи химии XVIII в., то выяснилось, что такой подход вполне допустим. Достаточно указать различные виды атомов, входящих в состав каждой молекулы, и их число. Молекулу кислорода можно записать как O_2, хлористого водорода - как HCl, аммиака - как NH_3, сульфата натрия - как Na_2SO_4 и т.д.

Такие формулы, показывающие только число атомов каждого вида в молекуле, называются *эмпирическими* (эмпирический - установленный экспериментально). В эти первые десятилетия XIX в. считались, что для каждого соединения характерна своя собственная эмпирическая формула и что у двух различных соединений она не может быть одинаковой.

С органическими соединениями, молекулы которых отличались внушительными размерами, дело обстояло сложнее. Используя методы начала XIX в., было очень тяжело, вероятно и невозможно, установить точную эмпирическую формулу даже такого

довольно простого по сравнению, например, с белками органического соединения, как морфин. В настоящее время известно, что в молекуле морфина содержатся 17 атомов углерода, 19 атомов водорода, 3 атома кислорода и 1 атом азота ($C_{17}H_{18}NO_3$). Эмпирическая формула уксусной кислоты ($C_2H_4O_2$) намного проще, чем формула морфина, но и относительно этой формулы в первой половине XIX в. не было единого мнения. Однако, поскольку химики собирались изучать строение молекул органических веществ, начинать им необходимо было с установления эмпирических формул.

В 80-х годах XVIII столетия Лавуазье пытался определить относительное содержание углерода и водорода в органических соединениях. Он сжигал изучаемое соединение и взвешивал выделившиеся углекислый газ и воду. Результаты такого определения были не очень точными. В первые годы XIX в. Гей-Люссак (автор закона объемных отношений) и его коллега французский химик Луи Жак Тенар (1777-1857) усовершенствовал этот метод. Они сначала смешивали изучаемое органическое соединение с *окислителем* и лишь потом сжигали. Окислитель, например хлорат калия, при нагревании выделяет кислород, который хорошо смешивается с органическим веществом, в результате чего сгорание происходит быстрее и полнее. Собирая выделяющиеся при сгорании углекислый газ и воду, Гей-Люссак и Тенар могли определить соотношение углерода и водорода в исходном соединении. С помощью усовершенствованной к тому времени теории Дальтона это соотношение можно было выразить в атомных величинах.

В состав многих органических соединений входят только углерод, водород и кислород, поэтому, определив содержание углерода и водорода, во многих случаях можно было установить эмпирическую формулу соединения. В 1811 г. Гей-Люссак и Тенар составили эмпирические формулы около двадцати органических соединений, в том числе некоторых простых сахаров.

Немецкий химик Юстус Либих (1803-1873) [8] усовершенствовал методику анализа и в 1831 г. смог получить весьма достоверные эмпирические формулы [9]. Два года спустя французский химик Жан Батист Андре Дюма (1800-1884) модифицировал метод Либиха. Пользуясь разработанным им методом, можно было наряду с прочими продуктами сгорания собирать также и азот и, следовательно, определять содержание азота в органическом веществе.

Эти основоположники *органического анализа* в процессе своих исследований получили такие результаты, которые пошатнули веру в важность эмпирической формулы.

Случилось это следующим образом.

В 1824 г. Либих изучал фульминаты - соли гремучей кислоты, а Вёлер (который со временем станет верным другом Либиха и вскоре синтезирует мочевину) изучал цианаты - соли циановой кислоты. Оба ученых послали сообщения о своих работах в журнал, издаваемый Гей-Люссаком.

Читая сообщения, Гей-Люссак отметил, что эмпирические формулы этих соединений идентичны, хотя описанные свойства совершенно различны. Так, в молекулах и цианата и фульмината серебра содержится по одному атому серебра, углерода, азота и кислорода. Гей-Люссак сообщил об этих наблюдениях Берцелиусу, который считался тогда самым выдающимся химиком в мире, но Берцелиус не пожелал поверить в это открытие. Однако к 1830 г. Берцелиус сам установил, что две органические кислоты - *виноградная* и *винная* - хотя и обладают различными свойствами, описываются одной и той же эмпирической формулой (как теперь установлено, $C_4H_6O_6$). Поскольку соотношения элементов в этих различных соединениях было одинаковым, Берцелиус предложил называть такие соединения изомерами (от греческих слов ισος - равный, одинаковый и μερος - часть, доля). Его предложение было принято. В последующие десятилетия число открытых изомеров быстро росло.

Казалось очевидным, что, если две молекулы построены из одинакового числа одних и тех же атомов и все же обладают различными свойствами, различие коренится в способе расположения атомов внутри молекулы. В простых молекулах неорганических соединений атомы могут, вероятно, располагаться только одним каким-либо способом. Изомеров у таких соединений просто не может быть, и для их характеристики вполне достаточно эмпирической формулы. Так, H_2O - это вода и ничего больше.

В более сложных органических молекулах расположение атомов может быть различным, и, следовательно, возможно существование изомеров. Различие в расположении атомов в молекулах цианатов и фульминатов легко обнаружить, так как каждая молекула содержит всего несколько атомов. Формулу цианата серебра можно записать как AgOCN, а формулу фульмината - как AgNCO.

При большем количестве атомов число возможных вариантов расположения возрастает настолько, что трудно становится решить, какому соединению соответствует какое расположение. Даже вопрос о строении виноградной и винной кислот, молекулы которых

содержат по шестнадцати атомов, для химиков первой половины XIX в. был чрезвычайно сложен, и могло показаться, что установить строение еще больших молекул просто не удастся.

Проблему строения молекул почти сразу же можно было бы отвергнуть как нерешаемую, если бы не появилась возможность упростить ее.

С 1810 г. Гей-Люссак и Тенар работали над цианидом водорода HCN, который, как они показали, представляет собой кислоту, хотя и не содержит кислорода. (Это открытие, как и открытие Дэви, установившего примерно в то же время, что хлорид водорода - кислота, опровергали представление Лавуазье о том, что кислород является характерным элементом кислот.) Гей-Люссак и Тенар обнаружили, что группа CN (*цианидная группа*) может переходить от соединения к соединению, не разлагаясь на отдельные атомы углерода и азота. Группа CN ведет себя во многом как единичный атом хлора или брома, поэтому цианид натрия NaCN имеет некоторые общие свойства с хлоридом натрия NaCl и бромидом натрия NaBr [10].

Группа из двух (или более) атомов, способная переходить без изменения из одной молекулы в другую, была названа *радикалом* (от латинского radical - корень). Такое название эти группы получили по следующей причине. В то время считалось, что молекулы могут состоять из ограниченного числа небольших групп атомов и радикалы являются именно теми «корнями», из которых, так сказать, «вырастает» молекула.

Конечно, группа CN относится к числу простейших, однако Вёлер и Либих в своей совместной работе показали, что бензоильная группа, как и цианидная, может переходить без разрушения из одной молекулы в другую. Эмпирическая формула бензоильной группы, как в настоящее время установлено, C_7H_5O.

Короче говоря, становилось ясно, что открыть тайну строения больших молекул можно, лишь установив строение определенного числа различных радикалов. Тогда не составит большого труда (как надеялись химики того времени) построить из радикалов молекулы. Дело спорилось! [11]

---

[1] См.: Шамин А.Н. Биокатализ и биокатализаторы (исторический очерк). - М.: Наука, 1971, 196 с.

[2] См.: Мусабеков Ю.С. Историческая оценка синтеза Велера. - Вопросы истории естествознания и техники, 1957, вып. 5, с. 66-73.

[3] Впрочем, это было только первое поражение витализма, который продолжал удерживать свои позиции в других областях химии. Несмотря на медленное ослабление его позиций на протяжении XIX в., окончательно витализм не исчез и сегодня. Полное описание различных этапов крушения витализма можно найти в кн. "Краткая история биологии" (Азимов А. Краткая история биологии. Пер. с англ. - М.: Мир, 1967).

[4] См.: Мусабеков Ю.С. Марселен Бертло. 1827-1907. - М.: Наука, 1965, 231 с.

[5] См.: Шамин А.Н., Джабраилова Н.А. Развитие химии аминокислот. - М.: Наука, 1974, 152 с.

[6] Это утверждение уже устарело. В 1963 г. впервые был синтезирован природный белок - инсулин. Сейчас методы синтеза белков значительно усовершенствованы, и их синтез уже не является проблемой. Химики могут синтезировать и другие сложные биополимеры - нуклеиновые кислоты. См.: Шамин А.Н. Химический синтез белка (исторический очерк). - М.: Наука, 1969, 115 с.

[7] См.: Быков Г.В. Август Кекуле. 1828-1896. Очерк жизни и деятельности. - М.: Наука, 1964, 236 с.

[8] См. Мусабеков Ю.С. Юстус Либих. - М.: Изд-во АН СССР, 1962, 215 с.

[9] Либих был одним из талантливейших преподавателей химии за всю историю ее существования. Он преподавал в Гиссенском университете, где организовал первый настоящий лабораторный курс химии. Очень многие химики работали с Либихом и учились у него методике лабораторных работ. Либих сумел создать научную школу, в которой сформировались многие прославленные химики. Благодаря трудам Либиха к концу XIX в. Германия стала "химической державой" Европы, опередив даже Францию.

[10] Некоторые, но не все. Хлорид натрия необходим для жизни, бромид натрия оказывает небольшое токсическое действие, а цианид натрия - быстродействующий яд.

[11] См.: Шорлеммер К. Возникновение и развитие органической химии. - М.: 1937; Быков Г.В. История органической химии. Открытие важнейших органических соединений. - М.: Наука, 1978, 379 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 7. Строение молекул

Теория типов

Размышляя над строением органических соединений, Берцелиус пришел к выводу, что радикалы могут быть теми «кирпичиками», из которых построены органические соединения. Подобно тому как неорганические соединения построены из отдельных атомов, органические соединения построены из радикалов, которые, по мнению Берцелиуса, почти так же, как и отдельные атомы, «недоступны и неделимы».

Берцелиус утверждал, что силы, удерживающие атомы в неорганической молекуле или в органическом радикале, имеют электрическую природу (что в конечном счете оказалось справедливым). Чтобы такие силы возникали, каждая молекула должна содержать положительно и отрицательно заряженные части, поскольку притяжение возможно только между противоположно заряженными частями.

Доказать наличие положительно и отрицательно заряженных компонентов в простых неорганических соединениях типа хлорида натрия со временем, действительно, удалось. Однако распространить это на органические соединения оказалось значительно сложнее. Так, Берцелиус должен был настойчиво утверждать, что радикалы состоят только из углерода и водорода, причем углерод заряжен отрицательно, а водород - положительно. Он считал, что радикал бензоил (C_7H_5O) не содержит и не может содержать кислород, который искажает действие, оказываемое этим радикалом. Берцелиус был также уверен, что замещение отрицательно заряженного компонента на положительно заряженный обязательно приведет к резкому изменению свойств соединения.

Однако вскоре выяснилось, что это последнее его утверждение ошибочно. Одному из учеников Дюма (кстати сказать, восторженному сторонника Берцелиуса) Огюсту Лорану (1807-1853) удалось в 1836 г. заместить несколько атомов водорода в молекуле этилового спирта на атомы хлора, причем значительного изменения свойств соединения такое замещение не вызвало. Этот эксперимент противоречил теории Берцелиуса; хлор считался отрицательно заряженным, а водород - положительно заряженным элементом.

Более того, в этом хлорированном соединении углерод должен был соединяться непосредственно с хлором, но как же это могло осуществиться, если оба атома заряжены отрицательно? Ведь одинаково заряженные атомы отталкиваются друг от друга. (В таком случае как могут удерживаться вместе два атома хлора в молекуле хлора? Все эти вопросы оставались нерешенными еще целое столетие.)

Берцелиус, ставший в старости раздражительным и чрезвычайно консервативным, отказался пересмотреть свою точку зрения. Выслушав доклад Лорана, он яростно напал на исследователя. В 1839 г. Дюма сам получил соединение, в котором три атома водорода в уксусной кислоте были замещены хлором, но, боясь потерять расположение Берцелиуса, малодушно отступил и отрекся от взглядов Лорана.

Из-за гнева Берцелиуса перед Лораном оказались закрытыми двери наиболее известных лабораторий, однако Лоран был настойчив и продолжал собирать доказательства того, что радикалы не являются «неразрушимыми и недоступными», как это утверждал Берцелиус, и что не следует переоценивать влияние положительного и отрицательного зарядов. Хотя химиков и одолевали сомнения, авторитет Берцелиуса был настолько велик, что вплоть до смерти этого крупнейшего ученого (1848 г.) никто не решался отступиться от его теории радикалов. Однако после смерти Берцелиуса популярность идей Лорана сразу возросла, и у него появились сторонники.Лоран отказался от всякого подчеркивания влияния электрических сил. Он полагал, что органическая молекула имеет ядро (которое может представлять собой одиночный атом), к которому присоединяются различные радикалы. Органические молекулы можно сгруппировать в семейства или *типы* (отсюда *теория типов*) [1].

Молекулы соединений одного типа должны иметь сходные ядра. К этим ядрам могут присоединяться любые из радикалов, образующих ряд подобных радикалов. Отдельные типы молекул можно распространить и на неорганические соединения.

В соответствии с представлениями этой теории в молекуле воды (H_2O) к центральному атому кислорода - ядру присоединены два атома водорода. Замещая один из атомов водорода на радикалы какого-либо ряда, можно получить группу соединений, в число которых входят и вода, и различные органические соединения.

При замещении одного из атомов водорода на метильную (CH_3) или этильную (C_2H_5) группу образуются соответственно метиловый (CH_3OH) или этиловый (C_2H_5OH) спирт. В

результате такого замещения можно получить чрезвычайно много различных *спиртов*. И действительно, спирты не только имеют много общего между собой, но и проявляют также определенное сходство с водой. Простые спирты - метиловый и этиловый смешиваются с водой в любых соотношениях. Щелочные металлы реагируют со спиртами так же, как с водой, хотя и более медленно.

Между 1850 и 1852 гг. английский химик Александр Уильям Уильямсон (1824-1904) показал, что органические соединения, относящиеся к классу *простых эфиров*, можно также построить по «типу воды». Простые эфиры можно получить, заместив на органические радикалы оба атома водорода воды. В обычном эфире, который в то время начали применять как анестезирующее средство, оба атома водорода замещены на этильные группы, так что его формула записывается как $C_2H_5OC_2H_5$.

Несколько ранее, в 1848 г., французский химик Шарль Адольф Вюрц (1817-1884), изучавший группу соединений, связанных с аммиаком и потому названных *аминами*, показал, что у соединений этого типа ядром служит атом азота. В аммиаке атом азота связан с тремя атомами водорода, в аминах один или несколько атомов водорода замещены на органические радикалы.

Теория типов завоевывала все большую популярность, поскольку она позволила систематизировать органические соединения, а список все новых и новых органических соединений в то время очень быстро увеличивался. Русский химик Федор Федорович Бейльштейн (1838-1906) опубликовал в 1880 г. обширное руководство по органическим соединениям, в котором использовал теорию типов Лорана для размещения этих соединений в рациональном порядке.

И тем не менее теория типов в том виде, в каком она вытекала из работ Лорана, оставалась незавершенной. По-прежнему предполагалось, что органические соединения построены из радикалов, вопрос о молекулярной структуре обходился стороной. Ответить на него можно было, только выяснив, как в действительности располагаются атомы в самих радикалах.

Валентность

Некоторые химики считали теорию типов весьма упрощенной. Вызывало удивление также то обстоятельство, что, согласно теории типов, кислород неизменно оказывался связанным с двумя другими атомами или радикалами. Так, в молекуле воды кислород

был связан с двумя атомами водорода, в молекуле спирта - с одним атомом водорода и одним органическим радикалом, в молекуле эфира - с двумя органическими радикалами. А азот всегда соединялся с тремя атомами или радикалами.

Английский химик Эдуард Франкланд (1825-1899) первым заинтересовался *металлорганическими соединениями*, в которых органические группировки присоединены непосредственно к атомам металла, например цинка [2]. В соединениях такого типа, как было установлено, каждый атом металла присоединяет определенное число органических групп, причем оно различно для разных металлов. Например, атомы цинка соединяются с двумя (не больше и не меньше) органическими группами. В 1852 г. Франкланд выдвинул теорию, которая позднее стала известна как *теория валентности* (от латинского valentia - сила) [3], согласно которой каждый атом обладает определенной способностью к насыщению (или *валентностью*).

Так, атом водорода в нормальных условиях соединяется только с одним атомом другого типа. То же самое можно сказать о натрии, хлоре, серебре, броме и калии. Валентность всех перечисленных элементов равна единице.

Атомы кислорода соединяются не менее чем с двумя различными атомами. Так же ведут себя кальций, сера, магний и барий. У этих элементов валентность два. У азота, фосфора, алюминия и золота валентность три. Железо может иметь валентность два или три. В принципе вопрос о валентности оказался не столь простым, каким представлялось вначале, но даже такой простейший вариант этой теории позволил сделать важные выводы.

Прежде всего с введением понятия «валентность» удалось уяснить различие между атомным весом и эквивалентным весом элементов. Даже в середине XIX столетия многие химики еще путали эти два понятия.

При образовании хлорида водорода 1 атом водорода соединяется с 1 атомом хлора, а поскольку атом хлора в 35.5 раза тяжелее атома водорода, то, следовательно, водород и хлор соединяются в соотношении 1:35.5, т.е. атомный вес хлора равен 35.5. Однако такое соотношение элементов наблюдается не во всех соединениях. Например, каждый атом кислорода соединяется с 2 атомами водорода, так как валентность кислорода равна двум. Поскольку атомный вес кислорода равен 16, следовательно, 16 частей кислорода соединяются с 2 частями водорода. В результате эквивалентный вес кислорода,

соединяющегося с 1 частью водорода, равен 16/2, или 8.

Аналогично атом азота (атомный вес 14, валентность 3) соединяется с 3 атомами водорода. Следовательно, эквивалентный вес азота равен 14/3, или примерно 4.7.

В общем эквивалентный вес атома равен его атомному весу, деленному на его валентность.

В то же время второй закон электролиза Фарадея гласит, что вес металла, выделяемого в свободном состоянии при прохождении данного количества электричества, пропорционален эквивалентным весам этих металлов. Это означает, что при прохождении данного количества электричества вес выделяемого в свободном состоянии двухвалентного металла составляет только половину веса выделяемого в свободном состоянии одновалентного металла примерно равного атомного веса.

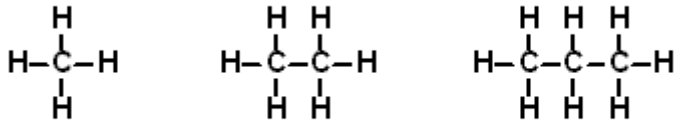
Это положение можно объяснить следующим образом: для перемещения одного одновалентного атома требуется один «атом электричества», в то время как для перемещения одного двухвалентного атома требуются два «атома электричества». Однако природу зависимости между валентностью и «атомами электричества» удалось полностью выяснить лишь спустя еще полстолетия.

Структурные формулы [4]

Теория валентности сыграла важнейшую роль в развитии теории химии вообще и органической химии в особенности. Исходя из теории валентности, Кекуле предположил, что атом углерода четырехвалентен, и в 1858 г. попытался, опираясь на это предположение, представить строение наиболее простых органических молекул и радикалов [5]. В том же 1858 г. шотландский химик Арчибальд Скотт Купер (1831-1892) предложил изображать силы, соединяющие атомы (или *связи*, как их принято называть), в виде черточек. После того как была «построена» первая органическая молекула, стало совершенно ясно, почему органические молекулы, как правило, значительно больше и сложнее, чем неорганические.

Согласно представлениям Кекуле, углеродные атомы могут соединяться друг с другом с помощью одной или нескольких из четырех своих валентных связей, образуя длинные цепи - прямые или разветвленные. По-видимому, никакие другие атомы не обладают этой замечательной способностью в той мере, в какой обладает ею углерод.

Итак, представив себе, что у каждого атома углерода четыре валентные связи, а у каждого атома водорода одна такая связь, можно изобразить три простейших *углеводорода* (соединения, молекулы которых образованы только атомами углерода и водорода), метан CH_4, этан C_2H_6 и пропан C_3H_8, следующим образом:



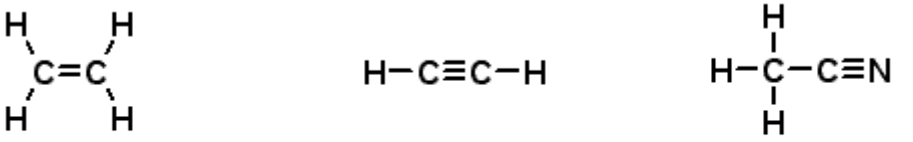
метан этан пропан

Увеличивая число атомов углерода, эту последовательность можно продолжить, причем практически бесконечно. Добавляя к углеводородной цепи кислород (две валентные связи) или азот (три валентные связи), можно представить структурные формулы молекул этилового спирта (C_2H_6O) и метиламина (CH_5N):



этиловый спирт метиламин

Допустив возможность наличия между соседними атомами двух связей (*двойная связь*) или трех связей (*тройная связь*), можно изобразить структурные формулы таких соединений, как этилен (C_2H_4), ацетилен (C_2H_2), метилцианид (C_2H_3N), ацетон (C_3H_6O) и уксусная кислота ($C_2H_4O_2$):



этилен ацетилен метилцианид

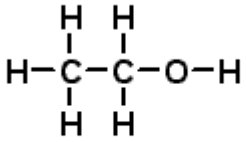


ацетон уксусная кислота

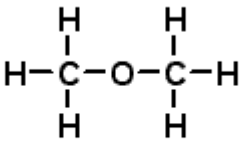
Полезность структурных формул была настолько очевидной, что многие химики-органики приняли их сразу. Они признали полностью устаревшими все попытки изображать органические молекулы как структуры, построенные из радикалов. В результате было

признано необходимым, записывая формулу соединения, показывать его атомную *структуру*.

Русский химик Александр Михайлович Бутлеров (1823-1886) использовал эту новую систему структурных формул в разработанной им теории строения органических соединений [6]. В 60-х годах прошлого столетия он показал, как с помощью структурных формул можно наглядно объяснить причины существования изомеров. Так, например, у этилового спирта и диметилового эфира одна и та же эмпирическая формула C_2H_6O, однако структурные формулы этих соединений значительно различаются:



этиловый спирт



диметиловый эфир

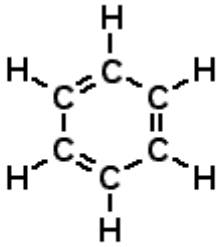
поэтому не удивительно, что изменение в расположении атомов приводит к двум наборам очень разных свойств. В этиловом спирте один из шести атомов водорода присоединен к атому кислорода, в то время как в диметиловом эфире все шесть атомов водорода присоединены к атомам углерода. Атом кислорода удерживает атом водорода слабее, чем атом углерода, так что металлический натрий, добавленный к этиловому спирту, замещает водород (одну шестую общего количества). Натрий, добавленный к диметиловому эфиру, совсем не вытесняет водород. Таким образом, при составлении структурных формул можно руководствоваться химическими реакциями, а структурные формулы, в свою очередь, могут помочь понять суть реакций.

Бутлеров особенно много внимания уделил одному из типов изомерии, называемому *таутомерией* (динамической изомерией), при которой некоторые вещества всегда выступают как смеси двух соединений. Если одно из этих соединений выделить в чистом виде, оно сразу же частично перейдет в другое соединение. Бутлеров показал, что таутомерия обусловлена спонтанным переходом атома водорода от атома кислорода к соседнему атому углерода (и обратно).

Чтобы вполне доказать справедливость системы структурных формул, необходимо было определить структурную формулу бензола - углеводорода, содержащего шесть атомов углерода и шесть атомов водорода. Сделать это удалось далеко не сразу. Казалось, не существует такой структурной формулы, которая бы, отвечая требованиям валентности,

в то же время объясняла бы большую устойчивость соединения. Первые варианты структурных формул бензола очень походили на формулы некоторых углеводородов - соединений весьма нестойких и не похожих по химическим свойствам на бензол.

Решить эту задачу смог опять-таки Кекуле. В один из дней 1865 г. (как он сам рассказывает) Кекуле в полудреме ехал в омнибусе, и ему пригрезилось, что он видит атомы, кружащиеся в танце. Вдруг конец одной цепи соединился с ее началом, и образовалось вращающееся кольцо. И Кекуле решил, что именно такой должна быть структурная формула бензола. До тех пор структурные формулы строились только в виде линейных цепей углеродных атомов, но теперь Кекуле ввел понятие «кольцо» (или «ядро») атомов углерода и предложил следующую структурную формулу бензола:



бензол

Это объяснение было принято, и представление о структурных формулах расширилось [7].

Оптические изомеры [8]

Структурные формулы оказались чрезвычайно полезными, но они не отражали один особенно сложный тип изомерии - оптическую изомерию. Прежде чем перейти к этому типу изомерии, рассмотрим вкратце природу света.

В 1801 г. Томас Юнг (1773-1829), выдающийся английский физик, астроном и врач (разработавший, в частности, теорию цветного зрения), провел опыты, показавшие, что свет ведет себя так, как будто он состоит из очень маленьких волн. Затем, примерно в 1814 г., французский физик Огюстен Жан Френель (1788-1827) показал, что световые волны относятся к классу волн, называемых поперечными волнами. В таких волнах колебания происходят под прямым углом к направлению их распространения. Самый наглядный пример волн такого типа - волны на воде. Отдельные частицы воды перемещаются вверх и вниз, а сама волна движется по поверхности.

Световые волны - это не волны на поверхности, а потому колебания в них не должны

происходить обязательно в направлении вверх-вниз. Число направлений, в которых колебания световых волн могут происходить под прямым углом к направлению их распространения, практически бесконечно. В луче обычного света ни одно из направлений колебаний не является предпочтительным. Однако если такой луч света пропустить через некоторые кристаллы, то упорядоченное расположение атомов в кристалле заставит световые колебания происходить только в какой-то определенной плоскости - в плоскости, которая позволяет лучу проходить и обходить ряды атомов.

Свет с колебаниями только в одной плоскости был назван в 1808 г. французским физиком Этьеном Луи Малюсом (1775-1812) поляризованным светом. В то время волновая теория еще не завоевала признание, и Малюс полагал, что свет состоит из частиц с северным и южным полюсами и что в поляризованном свете все полюсы ориентированы в одном направлении. Эта теория вскоре была отвергнута, но название, данное Малюсом, осталось и используется до сих пор.

Первоначально свойства и поведение поляризованного света интересовали исключительно физиков. Однако в 1815 г, французский физик Жан Батист Био (1774-1862) показал, что при прохождении поляризованного света через некоторые кристаллы происходит поворот плоскости колебаний (*плоскости поляризации*) световых волн. В одних случаях она поворачивается по часовой стрелке (*правое вращение*), в других - против часовой стрелки (*левое вращение*). К числу кристаллов, обладающих указанным свойством, - *оптической активностью*, относятся и кристаллы ряда органических соединений. Более того, некоторые из этих органических соединений, например различные сахара, оптически активны и в растворах.

Со временем выяснилось, что некоторые соединения отличаются друг от друга только своими оптическими свойствами. Одно из таких одинаковых по всем другим свойствам соединений вращает плоскость поляризации поляризованного света по часовой стрелке, другое - против часовой стрелки. Обычно имеется еще и третье соединение, которое вообще не вызывает вращения плоскости поляризации поляризованного света (оптически неактивно). Примером изомерных веществ, различающихся по оптической активности, могут служить открытые Берцелиусом виноградная и винная кислоты. Виноградная кислота оптически неактивна, а винная кислота обладает в растворе правым вращением. Позднее была открыта винная кислота, обладавшая в растворе в тех же условиях равным по величине, но противоположным, левым вращением.

Эти две формы винных кислот - природная правовращающая и не встречающаяся в природе левовращающая винная кислота - пример *оптических изомеров*.

Объяснить причину возникновения изомерии только с помощью структурных формул Кекуле невозможно. Первый шаг в этом направлении был сделан в 1848 г. французским химиком Луи Пастером (1822-1895). Кристаллизуя из водного раствора виноградноκислый натрий-аммоний при комнатной температуре, Пастер обнаружил, что образованные в этих условиях кристаллы асимметричны. Причем наблюдаются две формы кристаллов: правая и левая (при одинаковой ориентации кристаллов небольшая характерная грань у одних кристаллов находилась слева, а у других справа). Пастер сумел под увеличительным стеклом при помощи пинцета тщательно разделить оба типа кристаллов. Свойства растворов этих кристаллов оказались полностью идентичными, исключение составляла только их оптическая активность растворы обладали противоположным вращением. Превратив кристаллы, обладающие в растворе правым вращением, в кислоту, Пастер обнаружил, что получил известную ранее природную правовращающую винную кислоту, из кристаллов другого типа получался ее оптический изомер - ранее не известная левовращающая винная кислота. Отсюда Пастер сделал вывод, что в кристаллах виноградной кислоты содержится равное количество молекул право- и левовращающих винных кислот и именно поэтому виноградная кислота оптически неактивна. Соединения, подобные виноградной кислоте, стали называть *рацемическими* (от латинского названия виноградной кислоты).

Результаты этих опытов убедительно свидетельствовали о том, что оптическая активность связана с асимметрией. Однако асимметрия наблюдалась у кристаллов, а многие вещества проявляли оптическую активность как в кристаллическом состоянии, так и в растворах. При растворении веществ происходит разрушение упорядоченной упаковки молекул в кристаллах, и в растворе вещества находятся в виде отдельных беспорядочно перемещающихся молекул. Если оптическая активность обусловлена асимметрией, то асимметрична должна быть и сама структура молекул.

Из структурных формул не следует, что возможно существование асимметричных молекул, однако это не позволяет говорить об отсутствии связи между асимметрией и оптической активностью. Структурные формулы записываются на плоской поверхности доски или листа бумаги, но едва ли органические молекулы в действительности являются двумерными.

Несомненно, молекулы трехмерны и образующие их атомы в действительности размещаются в трех измерениях. Расположив атомы таким образом, легко выявить ту самую асимметрию молекулы, которая обусловливает ее оптическую активность. Однако как представить себе, что молекула трехмерна?

Атомов никто никогда не видел, и само их существование могло казаться удобной выдумкой, используемой для объяснения химических реакций. Как же располагать в пространстве то, что, возможно, и не существует?

Следующий шаг мог сделать только молодой человек, еще не обремененный той мудрой осторожностью, которая приходит лишь с годами.

Молекулы в трех измерениях

Таким человеком оказался молодой датский химик Якоб Гендрик Вант-Гофф (1852-1911) [9]. В 1874 г., когда Вант-Гофф еще работал над докторской диссертацией, он выдвинул смелое предположение, согласно которому четыре связи углеродного атома направлены к четырем вершинам тетраэдра, в центре которого находится этот атом.

Представить себе это можно так: три связи атома углерода образуют треногу, а четвертая связь направлена прямо вверх. Все четыре связи при этом равноудалены друг от друга, а угол между любыми двумя соседними связями равен примерно 109º.

Таким образом, четыре связи атома углерода располагаются симметрично относительно атома, и симметрия нарушается лишь в том случае, когда все четыре связи присоединяются к различным атомам или группам атомов. Поскольку присоединение может быть осуществлено двумя различными способами, полученные фигуры представляют собой зеркальные изображения друг друга. Это дает как раз тот тип асимметрии, который Пастер обнаружил в кристаллах винной кислоты.

Почти одновременно с Вант-Гоффом подобные предположения опубликовал французский химик Жозеф Ашиль Ле Бель (1847-1930). Поэтому тетраэдрическую модель атома углерода иногда называют моделью Вант-Гоффа - Ле Беля.

Гипотеза Вант-Гоффа - Ле Беля быстро завоевала признание. Этому, в частности, способствовала книга, выпущенная в 1887 г. немецким химиком Йоханнесом Адольфом Вислиценусом (1835-1902), который был широко известен в научном мире и пользовался

большим авторитетом.

Соединения с асимметрическим атомом углерода (соединенным с четырьмя разными группировками) могут существовать в виде оптически активных изомеров; соединения, не имеющие таких атомов, не проявляют оптической активности.

Более того, у соединений с несколькими асимметрическими углеродами число экспериментально найденных оптически активных изомеров всегда совпадало с предсказанным на основании теории Ле Беля - Вант-Гоффа.

В конце XIX столетия утвердилось мнение, что пространственное расположение связей присуще не только атому углерода. Немецкий химик Виктор Мейер (1848-1897) показал, что некоторые типы оптической изомерии, наблюдаемые у азотсодержащих соединений, можно объяснить, лишь допустив пространственное расположение связей азота. В 1900-1902 гг. английский химик Уильям Джексон Поуп (1870-1939) продемонстрировал, что трехмерную модель можно распространить также на атомы серы, селена и олова, а несколько позднее швейцарский химик Альфред Вернер (1866-1919) добавил к этому списку кобальт, хром, родий и ряд других металлов. (Начиная с 1891 г. Вернер занимался разработкой *координационной теории*, которая позволила бы объяснить свойства некоторых «необычных неорганических соединений». Согласно этой теории, кроме главных валентных сил имеются еще и силы побочной валентности. Первоначально считалось, что они резко отличаются от основных валентных сил, но впоследствии выяснилось, что существенного различия между ними не существует.

Другим важнейшим положением теории Вернера была идея о том, что группировки, связанные с атомами металла, располагаются вокруг них в пространстве в вершинах определенных многогранников (атом металла, расположенный в центре многогранника, получил название центрального атома). Теория Вернера смогла объяснить и предсказать многочисленные случаи изомерии координационных соединений, в том числе и оптической изомерии.)

С появлением трехмерной модели молекулы теория строения молекулы начала быстро развиваться. Виктор Мейер показал, что обычно группы атомов могут свободно вращаться вокруг единственной связи, соединяющей их с остальной частью молекулы, но в ряде случаев этому вращению препятствуют соседние объемные группы.

Поуп продолжил эти исследования и показал, что такая пространственно затрудненная молекула в целом может оказаться асимметричной и будет проявлять оптическую активность, хотя ни один из составляющих ее атомов сам по себе не является асимметрическим.

Немецкий химик Иоганн Фридрих Вильгельм Адольф фон Байер (1835-1917) использовал в 1885 г. идею трехмерного строения молекул для изображения пространственного строения циклических соединений (в виде плоских колец). Если четыре связи атомов углерода направлены к четырем углам тетраэдра, то угол между любыми двумя связями составляет 109º28'. Байер утверждал, что в любом органическом соединении атомы располагаются, как правило, так, что углы между связями атома углерода примерно соответствуют приведенному значению. Если же по какой-либо причине угол меняется, то атом оказывается в напряженном состоянии.

Если три атома углерода соединены друг с другом в цикл, то они образуют равносторонний треугольник, в котором угол между каждой парой связей равен 60º, т.е. значительно отличается от естественного угла 109º28'. По этой причине циклы из трех атомов углерода образуются с трудом, а если и образуются, то легко разрушаются.

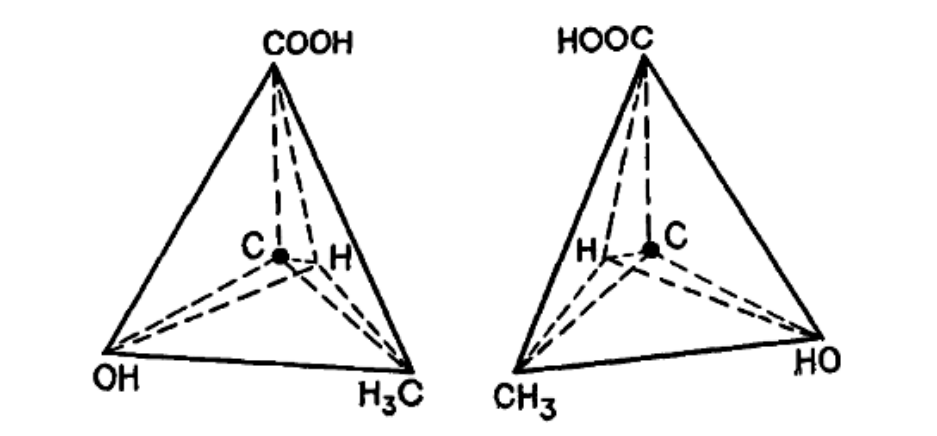
Четыре атома углерода, согласно Байеру, образуют квадрат с углами 90^{o}, пять атомов углерода образуют пятиугольник с углами 108^{o}, а шесть атомов - шестиугольник с углами 120^{o}. Вполне очевидно, что образование пятиугольника по существу не приводит к возникновению напряжений в связях атомов углерода, связи атомов в шестичленном кольце напряжены лишь в небольшой степени. Следовательно, с помощью *теории напряжения* Байера можно было по-видимому, объяснить, почему среди природных циклических соединений преобладают пяти- и шестичленные [10].

Однако решающей проверке теория Вант-Гоффа - Ле Беля подверглась в работах немецкого химика Эмиля Фишера (1852-1919), занимавшегося изучением простых сахаров. Ко времени начала работы Фишеру было известно, что ряд сахаров имеет одну и ту же эмпирическую формулу $C_6H_{12}O_6$ и обладает многими сходными свойствами, но различается, в частности, по оптической активности.

Фишер показал, что в молекуле каждого из этих сахаров имеются четыре асимметрических атома углерода, т.е., согласно теории Вант-Гоффа - Ле Беля, они должны иметь шестнадцать оптически активных изомеров. Эти изомеры можно

расположить в виде восьми пар; в каждой такой паре изомеры вращают плоскость поляризованного света на одну и ту же величину, один по часовой стрелке, а другой - против. Фишер продолжил свою работу и установил расположение заместителей у трех асимметрических атомов углерода в молекулах ряда изомерных сахаров относительно заместителей при четвертом асимметрическом углероде, пространственное расположение которых было выбрано произвольно, поскольку в то время не существовало прямых методов его определения. (Спустя шестьдесят лет было установлено, что произвольный выбор, сделанный Фишером, оказался правильным). В результате этих работ стереохимическая теория Вант-Гоффа - Ле Беля получила наглядное и весьма впечатляющее подтверждение, что окончательно убедило химиков в ее справедливости. Предсказания теории подтвердились и при изучении ряда других соединений, в частности сахаров других типов, аминокислот и пр.

К 1900 г. трехмерная модель молекулы была принята практически всеми учеными [11].



Тетраэдрическое расположение связей атомов углерода допускает две конфигурации, одна из которых является зеркальным отображением другой. На рисунке показаны два возможных варианта расположения атомов в молекуле молочной кислоты.

---

[1] О доструктурных теориях органической химии (теории радикалов, теории этерина, теории замещения Дюма, "старой" теории типов Дюма и "новой" теории типов Ш.Ф. Жерара см.: Быков Г.В. История классической теории химического строения. - М.: Изд-во АН СССР, 1960, 311 с. О вкладе Шарля Фредерика Жерара (1816-1856) в развитие теоретической органической химии см.: Фаерштейн М.Г. Шарль Жерар. - М.: Наука, 1968, 163 с.

[2] В истинных металлорганических соединениях атом металла прочно связан с атомом углерода. Соединения, подобные ацетату цинка (вещества такого типа были известны и до Франкланда), являются солями органических солей. В таких солях атом металла присоединяется к атому кислорода, и они не считаются истинными металлорганическими соединениями.

[3] О возникновении учения о валентности и появлении понятия "химическая связь" см.: Быков Г.В. История органической химии. Структурная теория. Физическая органическая химия. Расчетные методы. - М.: Химия, 1976, 360 с.

[4] Главные положения теории строения высказал А.М. Бутлеров в докладе "О химическом строении вещества", сделанном 9 сентября 1861 г. на съезде немецких естествоиспытателей и врачей. Бутлеровым были сформулированы правила, которыми можно было руководствоваться при определении строения органических соединений, а также было объяснено явление изомерии. А. Кекуле в 1865 г. распространил положения теории строения на ароматические соединения. Экспериментальное подтверждение теории химического строения Бутлеровым и его учениками имело огромное значение для ее утверждения.

[5] Впервые А.М. Бутлеров изложил свои взгляды на теорию строения в лекциях, прочитанных им в Казанском университете в 1860 г., а в 1861 г. на Съезде немецких естествоиспытателей выступил с подробным докладом на эту тему. Самым главным вкладом Бутлерова, отличающим его труды от работ А. Кекуле и А.С. Купера, было последовательно проводимое положение о взаимосвязи между химическим строением и свойствами молекул. Это сделало понятие о химическом строении важнейшим теоретическим элементом химии. Подробнее см. упомянутые выше книги Г.В. Быкова.

[6] См.: Быков Г.В. Александр Михайлович Бутлеров. Очерк жизни и деятельности. - М.: Изд-во АН СССР, 1961, 218 с.; Быков Г.В. О приоритете А.М. Бутлерова в создании теории химического строения. В кн.: Материалы по истории отечественной химии. - М.: Изд-во АН СССР, 1953, с. 20-32.

[7] Однако объяснить загадку двойных связей бензола, которые ведут себя не так, как двойные связи в других соединениях, удалось лишь спустя примерно три четверти века.

[8] См.: Быков Г.В. История стереохимии органических соединений. - М.: Наука, 1966, 372 с.

[9] См.: Добротин Р.Б., Соловьев Ю.И. Вант-Гофф. - М.: Наука, 1977, 272 с.

[10] Теория напряжения Байера в свое время удовлетворительно объясняла несткойкость циклов малого размера (трех- и четырехчленных). Однако впоследствии было установлено, что тетраэдрические атомы углерода в циклических системах не находятся в одной плоскости, поэтому возможно построение шестичленных циклов и любых циклов большего размера, свободных от углового напряжения.

[11] По материалам этой главы см. также: Фаерштейн М.Г. История учения о молекуле в химии (до 1860 г.). - М.: Изд-во АН СССР, 1961, 368

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 8. Периодическая таблица

Элементы в беспорядке [1]

В истории развития органической и неорганической химии XIX столетия наблюдается любопытная параллель. В первые десятилетия число вновь открытых органических соединений, а также элементов увеличивалось ошеломляюще быстро. В третьей четверти столетия органические соединения были в определенной степени систематизированы благодаря введению структурных формул. До некоторой степени упорядочены были и элементы; отчасти этому способствовали итоги Международного химического конгресса, который состоялся в начале сентября 1860 г. в г. Карлсруэ.

Однако начнем с беспорядка, царившего в начале столетия.

Античные ученые, как известно, описали десять элементов, средневековые алхимики - четыре. В XVIII столетии были открыты такие газообразные элементы, как азот, водород, кислород и хлор, и такие металлы, как кобальт, платина, никель, марганец, вольфрам, молибден, уран, титан и хром.

В первом десятилетии XIX в. к этому списку добавилось не менее четырнадцати новых элементов. Так, только Дэви выделил с помощью электролиза ни мало, ни много шесть элементов, Гей-Люссак и Тенар выделили бор, Уолластон - палладий и родий, Берцелиус открыл церий.

Английский химик Смитсон Теннант (1761-1815), у которого Уолластон работал в качестве ассистента, открыл осмий и иридий. Другой английский химик Чарльз Хэтчетт (ок. 1765-1847) выделил колумбий (теперь официально называемый ниобием), а шведский химик Андерс Густаф Экеберг (1767-1813) открыл тантал.

Последующие десятилетия были не столь богаты открытиями, но тем не менее число элементов продолжало расти. Так, Берцелиус открыл еще четыре элемента: селен, кремний, цирконий и торий. Луи Никола Воклен в 1797 г. открыл бериллий.

К 1830 г. было открыто пятьдесят пять различных элементов. В теории алхимиков фигурировало всего лишь четыре элемента, и такое резкое увеличение списка элементов, которые, вдобавок, сильно отличались по свойствам, озадачило химиков. Почему элементов столько? Сколько их еще осталось открыть? Десять? Сто? Тысячу? Бесконечное число?

Заманчиво было попытаться как-то упорядочить список уже известных элементов. Может быть, при этом удастся выявить число еще неоткрытых элементов и обнаружить какую-то закономерность в изменении свойств уже открытых?

Первым, кому удалось уловить некоторые проблески порядка, был немецкий химик Иоганн Вольфганг Дёберейнер (1780-1849). В 1829 г., изучая свойства брома - элемента, открытого тремя годами ранее французским химиком Антуаном Жеромом Баларом (1802-1876), Дёберейнер установил, что бром по своим свойствам занимает промежуточное положение между хлором и йодом. [Йод был открыт другим французским химиком Бернаром Куртуа (1777-1838) в 1811 г.] В ряду хлор - бром - йод наблюдалось не только постепенное изменение цвета и реакционной способности, но и постепенное изменение атомного веса. Случайное совпадение?Дёберейнер продолжил поиски и нашел еще две группы из трех элементов (он назвал их триадами), у которых также наблюдалось постепенное изменение свойств. Этими группами были кальций, стронций, барий и сера, селен, теллур. В обеих группах атомный вес среднего элемента примерно равен среднему атомных весов двух других элементов. Опять совпадение?

Дёберейнер пытался найти другие такие триады, но безуспешно. Поскольку разбить пятьдесят шесть известных элементов на триады не удалось, химики пришли к выводу, что триады Дёберейнера - явление случайное. Более того, соответствие в изменении атомных весов и химических свойств элементов в триадах Дёберейнера не произвело никакого впечатления на химиков. В первой половине XIX в. химики вообще недооценивали значение атомных весов. Атомные веса было удобно использовать при проведении разного рода расчетов, но ориентироваться на них, например, при составлении списка элементов представлялось нерезонным.

Существовали сомнения относительно целесообразности использования атомных весов в проведении расчетов. Некоторые химики не проводили четкого различия между атомным весом и молекулярным весом; некоторые путали понятия «атомный вес» и

«эквивалентный вес». Так, например, эквивалентный вес кислорода равен 8 , атомный вес - 16, молекулярный вес - 32. При проведении расчетов удобнее всего пользоваться эквивалентным весом, который равен 8, почему же в таком случае для определения места кислорода в списке элементов следует использовать число 16?

Эта путаница с эквивалентным, атомным и молекулярным весами не только мешала решить вопрос о списке элементов, но и вообще отрицательно сказалась на развитии химии.

Разногласия по поводу относительных атомных весов, приписываемых различным атомам, привели к разногласиям и в отношении числа атомов отдельных элементов, входящих в данную молекулу.

Кекуле вскоре после опубликования своих предложений относительно структурных формул ясно понял, что его идея повиснет в воздухе, если химики не смогут прийти к согласию в вопросе об эмпирических формулах. Поэтому он предложил для обсуждения этого вопроса созвать конференцию ведущих химиков Европы. В результате в 1860 г. в г. Карлсруэ в Германии впервые в истории состоялась международная научная встреча химиков, получившая название «Первый международный химический конгресс».

На конгрессе присутствовало 140 делегатов, и среди них итальянский химик Станислао Канниццаро (1826-1910) [2]. Двумя годами ранее Канниццаро случайно обнаружил работу своего соотечественника Авогадро. Изучив эту работу, Канниццаро увидел, как с помощью гипотезы Авогадро можно разграничить понятия «атомный вес» и «молекулярный вес» для основных газообразных элементов и что, используя это различие, можно внести ясность в вопрос об атомных весах элементов вообще. Кроме того, он увидел, насколько важно четко отличать атомный вес от эквивалентного веса.

На конгрессе Канниццаро произнес яркую речь по этому вопросу, а затем распространил брошюру, в которой детально излагал свою точку зрения. Ему удалось убедить химиков в своей правоте, хотя произошло это не сразу и потребовало больших усилий. С этого времени в вопрос об атомных весах была внесена ясность и было по достоинству оценено значение таблицы атомных весов, составленной Берцелиусом.

Применительно к органической химии это означало, что теперь можно уже было договориться об эмпирических формулах соединений и продолжить изучение строения

молекул, уточняя расположение атомов сначала плоскостное, а затем и пространственное.

В неорганической же химии теперь был принят рациональный порядок расположения элементов - в порядке увеличения их атомных весов. Как только такой список был составлен, химики смогли посмотреть на него под новым углом зрения.

АТОМНЫЕ ВЕСА

Элемент	Атомный вес	Элемент	Атомный вес
Азот	14,008	Натрий	22,991
Алюминий	26,98	Никель	58,71
Барий	137,36	Ниобий	92,91
Бериллий	9,013	Олово	118,70
Бор	10,82	Осмий	190,2
Бром	79,916	Палладий	106,4
Ванадий	50,95	Платина	195,09
Висмут	209,00	Родий	102,91
Водород	1,0080	Ртуть	200,61
Вольфрам	183,86	Свинец	207,21
Железо	55,85	Селен	78,96
Золото	197,0	Сера	32,066
Иридий	192,2	Серебро	107,88
Иттрий	88,92	Стронций	87,63
Иод	126,91	Сурьма	121,76
Кадмий	112,41	Тантал	180,95
Калий	39,100	Теллур	127,61
Кальций	40,08	Титан	47,90
Кислород	16,0000	Торий	232,05
Кобальт	58,94	Углерод	12,011
Кремний	28,09	Уран	238,07
Литий	6,940	Фосфор	30,975
Магний	24,32	Хлор	35,457
Марганец	54,94	Хром	52,01
Медь	63,54	Церий	140,13
Молибден	95,95	Цинк	65,38
Мышьяк	74,91	Цирконий	91,22

Пятьдесят четыре известных во времена Берцелиуса элемента, атомные веса которых вычислены исходя из атомного веса кислорода (16.0000) (из книги «Поиски элементов»).

Приведение элементов в порядок

В 1864 г. английский химик Джон Александер Рейна Ньюлендс (1837-1898) расположил известные элементы в порядке возрастания атомных весов. Составив такой список элементов, он обнаружил, что в полученном ряду можно выявить определенную закономерность в изменении свойств элементов. Когда Ньюлендс расположил элементы вертикальными столбцами по семь элементов в столбце, то выяснилось, что сходные элементы, как правило, попадают в одни и те же горизонтальные ряды. Так, калий располагается вслед за очень похожим на него натрием, селен располагается в одном ряду с похожей на него серой, кальций - рядом с похожим на него магнием и т.д.

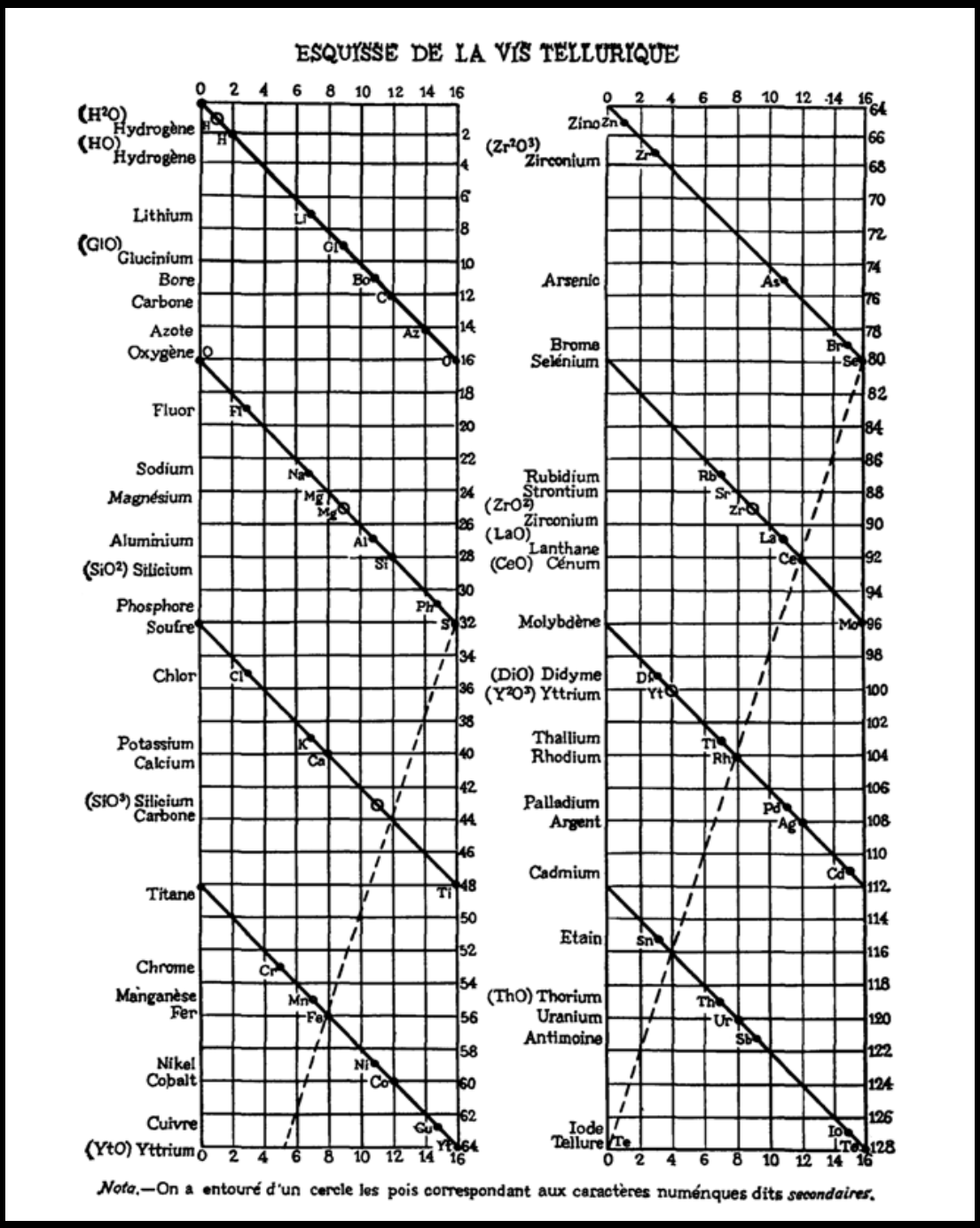
Действительно, в соответствующем ряду можно было найти каждую из трех триад Дёберейнера. Ньюлендс назвал открытую им закономерность *законом октав*, так как каждый восьмой элемент обладал свойствами, сходными с первым, девятый - со вторым и т.д.

(В музыкальной октаве семь нот, восьмая нота начинает новую октаву.) К сожалению, помимо рядов, содержащих сходные элементы, в таблице были ряды с совершенно непохожими элементами. Поэтому другие химики сочли такое совпадение случайным и отнеслись к открытию Ньюлендса как к не заслуживающему внимания факту. Ньюлендсу не удалось даже опубликовать свою работу.

Двумя годами раньше французский геолог Александр Эмиль Бегюйе де Шанкуртуа (1820-1886) также расположил элементы в порядке возрастания атомных весов и отметил их на так называемом «винтовом» графике. И в этом случае наблюдалась та же тенденция: сходные элементы попадали в вертикальные столбцы. Публикуя свое сообщение, Шанкуртуа не сопроводил его построенным им графиком, и его работа также осталась незамеченной.

	No.		No.		No.		No.		No.		No.		No.		No.
H	1	F	8	Cl	15	Co, Ni	22	Br	29	Pd	36	I	42	Pt, Ir	50
Li	2	Na	9	K	16	Cu	23	Rb	30	Ag	37	Cs	44	Tl	53
Ga	3	Mg	10	Ca	17	Zn	25	Sr	31	Cd	38	Ba, V	45	Pb	54
B	4	Al	11	Cr	19	Y	24	Ce, La	33	U	40	Ta	46	Th	56
C	5	Si	12	Ti	18	In	26	Zr	32	Sn	39	W	47	Hg	52
N	6	P	13	Mn	20	As	27	Di, Mo	34	Sb	41	Nb	48	Bi	55
O	7	S	14	Fe	21	Se	28	Ro, Ru	35	Te	43	Au	49	Cs	51

«Закон октав» Ньюлендса (1864 г.).



«Винтовой график» Бегуйе де Шанкуртуа (1862 г.) Расположив элементы в порядке возрастания их атомных весов, ученый соединил линиями элементы с похожими свойствами.

Более удачливым оказался немецкий химик Юлиус Лотар Мейер (1830-1895). Мейер рассматривал объемы, занимаемые весовыми количествами элемента, численно равными их атомным весам. При этом выяснилось, что в каждом таком весовом количестве любого элемента содержится одно и то же число атомов. Это означало, что отношение рассматриваемых объемов различных атомов равнялось отношению объемов отдельных атомов этих элементов [3]. Поэтому указанная характеристика элемента получила название *атомный объем*.

Графически зависимость атомных объемов элементов от их атомных весов выражается в виде ряда волн, поднимающихся острыми пиками в точках, соответствующих щелочным металлам (натрию, калию, рубидию и цезию). Каждый спуск и подъем к пику соответствует *периоду* в таблице элементов. В каждом периоде значения некоторых физических характеристик, помимо атомного объема, также закономерно сначала уменьшаются, а затем возрастают.

Водород - элемент с наименьшим атомным весом - стоял в списке элементов первым. В то время принято было считать, что первый период включает лишь один элемент. (В современных таблицах первый период включает два элемента - водород и гелий.) Второй и третий периоды графика Мейера включали каждый по семь элементов, эти периоды дублировали октавы Ньюлендса. Однако в следующих двух периодах число элементов превышало семь. Таким образом Мейер показал, в чем ошибка Ньюлендса. Закон октав не мог строго выполняться для всего списка элементов, последние периоды должны были быть длиннее первых.

Мейер опубликовал свою работу в 1870 г. Годом раньше русский химик Дмитрий Иванович Менделеев (1834-1907) установил порядок изменения длины периодов элементов и наглядно продемонстрировал значение своего открытия [4].

Менделеев выполнял свою диссертационную работу в Германии, в Гейдельберге, как раз во время Международного химического конгресса в Карлсруэ. Он присутствовал на конгрессе и слышал речь Канниццаро, в которой тот четко изложил свою точку зрения на проблему атомного веса. Вернувшись в Россию, Менделеев приступил к изучению списка элементов и обратил внимание на периодичность изменения валентности у элементов, расположенных в порядке возрастания атомных весов: валентность водорода 1, лития 1, бериллия 2, бора 3, углерода 4, магния 2, азота 3, серы 2, фтора 1, натрия 1, алюминия 3, кремния 4, фосфора 3, кислорода 2, хлора 1 и т.д.

Основываясь на увеличении и уменьшении валентности, Менделеев разбил элементы на периоды; первый период включает только один водород, затем следуют два периода по семь элементов каждый, затем периоды, содержащие более семи элементов. Менделеев воспользовался этими данными не только для того, чтобы построить график, как это сделали Мейер и Бегюйе де Шанкуртуа, но и для того, чтобы построить таблицу, подобную таблице Ньюлендса.

Такая *периодическая таблица элементов* была яснее и нагляднее, чем график, и, кроме того, Менделеев сумел избежать ошибки Ньюлендса, настаивавшего на равенстве периодов.

Свою таблицу Менделеев опубликовал в 1869 г., т.е. раньше, чем была издана основная работа Мейера. Однако честь открытия Периодической системы элементов принадлежит Менделееву [5] не из-за приоритета публикации, действительная причина состоит в том, как Менделеев построил свою таблицу.

Для того чтобы выполнялось требование, согласно которому в столбцах должны находиться элементы с одинаковой валентностью, Менделеев в одном или двух случаях был вынужден поместить элемент с несколько большим весом перед элементом с несколько меньшим весом. Так, теллур (атомный вес 127.6, валентность 2) пришлось поместить перед йодом (атомный вес 126.9, валентность 1), чтобы теллур попал в один столбец с элементами, валентность которых равна 2, а йод попал в один столбец с элементами, валентность которых равна 1 [6].

Поскольку этого оказалось недостаточно, Менделеев счел также необходимым оставить в своей таблице пустые места (пробелы). Причем наличие таких пробелов он объяснил не несовершенством таблицы, а тем, что соответствующие элементы пока еще не открыты.

В усовершенствованном варианте таблицы (1871 г.) существовало много пробелов, в частности не заполнены были клетки, отвечающие аналогам бора, алюминия и кремния. Менделеев был настолько уверен в своей правоте, что пришел к заключению о существовании соответствующих этим клеткам элементов и подробно описал их свойства. Он назвал их *экабор*, *экаалюминий* и *экакремний* («эка» на санскрите означает «одно и то же»). Таким образом Менделеев развил идею Дёберейнера о промежуточном значении атомного веса среднего элемента в триаде; однако никто из предшественников Менделеева не рискнул предугадывать существование и свойства неоткрытых элементов.

Тем не менее часть химиков была настроена скептически, и, возможно, их недоверие еще долго не удалось бы преодолеть, если бы смелые предсказания Менделеева не подтвердились столь блестяще. Это стало возможно прежде всего благодаря применению нового физического прибора - спектроскопа.

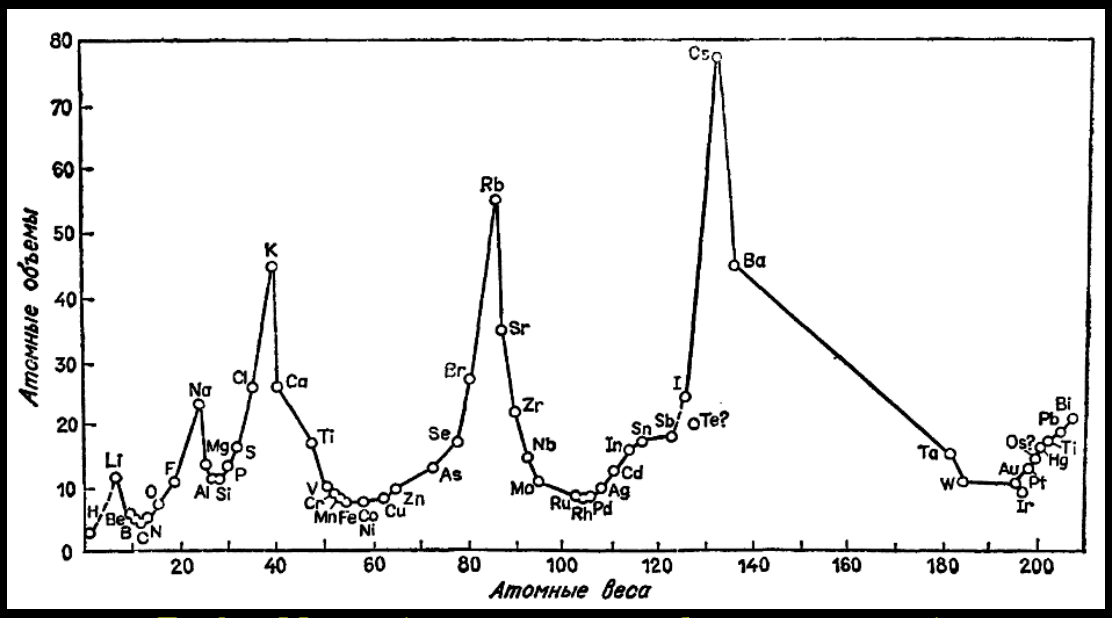


График Мейера (кривая атомных объемов элементов).

Но въ ней, мнѣ кажется, уже ясно выражается примѣнимость выставляемаго мною начала ко всей совокупности элементовъ, пай которыхъ извѣстенъ съ достовѣрностію. На этотъ разъ я и желалъ преимущественно найдти общую систему элементовъ. Вотъ этотъ опытъ:

			Ti=50	Zr=90	?=180.
			V=51	Nb=94	Ta=182.
			Cr=52	Mo=96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
			Ni=Co=59	Pl=106,4	Os=199.
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

а потому приходится въ разныхъ рядахъ имѣть различное измѣненіе разностей чего нѣтъ въ разныхъ числахъ предлагаемой таблицы. Или же придется предполагать при составленіи системы очень много недостающихъ членовъ. То и другое мало выгодно. Мнѣ кажется притомъ, наиболѣе естественнымъ составлять кубическую систему (предлагаемая есть плоскостная), но и попытки для ея образованія не повели къ надлежащимъ результатамъ. Слѣдующія двѣ попытки могутъ показать то разнообразіе сопоставленій, какое возможно при допущеніи основнаго начала, высказаннаго въ этой статьѣ.

Li	Na	K	Cu	Rb	Ag	Cs	—	Tl
?	23	39	63,4	85,4	108	133		204
Be	Mg	Ca	Zn	Sr	Cd	Ba	—	Pb
B	Al	—	—	—	Ur	—	—	Bi?
C	Si	Ti	—	Zr	Sn	—	—	—
N	P	V	As	Nb	Sb	—	Ta	—
O	S	—	Se	—	Te	—	W	—
F	Cl	—	Br	—	J	—	—	—
19	35,5	58	80	190	127	160	190	220.

Страница из статьи Менделеева, опубликованной в 1869 г. в «Журнале русского химического общества». В этой статье Менделеев впервые подробно изложил основы периодической системы элементов.

Заполнение пробелов

В 1814 г. немецкий оптик Йозеф фон Фраунгофер (1787-1826) испытывал превосходные призмы собственного изготовления. Пропуская луч света сначала через щель, а затем через трехгранные стеклянные призмы, Фраунгофер получил солнечный спектр, пересекаемый рядом темных линий. Он насчитал около шестисот таких линий и тщательно зафиксировал их положение в спектре.

В конце 50-х годов XIX в. немецкий физик Густав Роберт Кирхгоф (1824-1887), работавший с немецким химиком Робертом Вильгельмом Бунзеном (1811-1899), показал, что эти линии содержат поразительную информацию.

В качестве источника света эти ученые пользовались изобретенной Бунзеном горелкой - той самой *бунзеновской горелкой*, которая известна каждому начинающему химику. Сгорающая в горелке смесь газа и воздуха дает почти бесцветное пламя с достаточно высокой температурой. Когда Кирхгоф помещал в пламя горелки крупицы различных химических веществ, оно окрашивалось в разные цвета. Свет от такого пламени, пропущенный через призму, давал не сплошную полосу, а отдельные яркие линии.

Кирхгоф показал, что для каждого элемента, разогретого в пламени горелки, характерен свой спектр. Таким образом, снимая спектр излучения химического элемента, Кирхгоф как бы снимал «отпечатки пальцев» такого элемента. Получив такую информацию, можно было решить и обратную задачу: опознать элемент, входящий в состав неизвестного вещества. Прибор, используемый для определения элементов описанным способом, получил название *спектроскопа*.

Сегодня мы уже знаем, что излучение света атомами обусловлено определенными явлениями, связанными с их структурой. В атомах каждого элемента эти явления протекают по-своему. Следовательно, каждый элемент испускает набор излучений только определенных длин волн.

При облучении светом элементов в парообразном состоянии наблюдается обратная картина: свет определенных длин волн не излучается, а поглощается. Более того, поскольку как поглощение, так и излучение света обусловлено одними и теми же процессами, протекающими в противоположных направлениях, то пары поглощают излучение с точно теми же длинами волн, какие наблюдаются в других условиях при

испускании излучения.

Представлялось весьма вероятным, что темные линии в спектре Солнца обусловлены тем, что испускаемый раскаленной солнечной поверхностью свет поглощают газы более холодной солнечной атмосферы. Пары веществ (химических элементов), находящиеся в атмосфере Солнца, также поглощают свет определенных длин волн, и по положению возникающих темных линий в спектре можно судить, какие элементы находятся в атмосфере Солнца.

Именно спектроскоп позволил доказать, что Солнце (а также звезды и межзвездный газ) состоит из элементов, полностью идентичных земным. Этот вывод окончательно разбил утверждение Аристотеля, считавшего, что небесные тела состоят из веществ, отличающихся по своей природе от веществ, составляющих Землю.

С изобретением спектроскопа химики получили новый эффективный способ обнаружения элементов. Так, например, если в спектре раскаленного минерала содержатся линии, не принадлежащие известным элементам, то есть основания предполагать, что этот минерал содержит неизвестный элемент.

Бунзен и Кирхгоф сами продемонстрировали эффективность этого метода. В 1860 г., исследуя образец минерала, они обнаружили в его спектре линии, которые не принадлежали ни одному из известных элементов. Начав поиски нового элемента, они установили, что это щелочной металл, близкий по своим свойствам натрию и калию. Бунзен и Кирхгоф назвали открытый ими металл *цезием* (от латинского caesius - сине-серый), так как в спектре этого металла самой яркой была именно синяя линия. В 1861 г. эти ученые открыли еще один щелочной металл, который также назвали по цвету его спектральной линии *рубидием* (от латинского rubidus - темно-красный).

Новый прибор начали использовать и другие химики. Одним из них был французский химик Поль Эмиль Лекок де Буабодран (1838-1912), который в течение пятнадцати лет изучал минералы своих родных Пиренеев. В 1875 г., исследуя спектр цинковой руды, он нашел новый элемент, который назвал *галлием* (Галлия - древнеримское название Франции).

Спустя некоторое время Лекок де Буабодран получил такое количество этого элемента, что смог изучить его свойства. Ознакомившись с сообщением ученого, Менделеев сразу

же указал, что новый элемент - это его экаалюминий. Дальнейшие исследования полностью подтвердили справедливость такого утверждения: свойства галлия оказались идентичны описанным Менделеевым свойствам экаалюминия.

Два других элемента из числа предсказанных Менделеевым были открыты старыми методами. В 1879 г. шведский химик Ларе Фредерик Нильсон (1840-1899) открыл новый элемент и назвал его *скандием* (в честь Скандинавии). Один из коллег Нильсона, шведский химик Пер Теодор Клеве (1840-1905), сразу же указал на сходство свойств скандия и описанного Менделеевым экабора.

Наконец, в 1886 г. немецкий химик Клеменс Александр Винклер (1838-1904), анализируя серебряную руду, установил, что на долю содержащихся в ней известных элементов приходится только 93% ее веса. Пытаясь отыскать недостающие 7%, Винклер открыл новый элемент, названный им *германием* (в честь Германии). Оказалось, что этот элемент идентичен экакремнию Менделеева.

Таким образом, в течение пятнадцати лет были открыты все три элемента, предсказанные Менделеевым, причем свойства всех трех элементов на удивление точно соответствовали свойствам, описанным Менделеевым. После этого в ценности и полезности периодической таблицы уже не могло быть никаких сомнений.

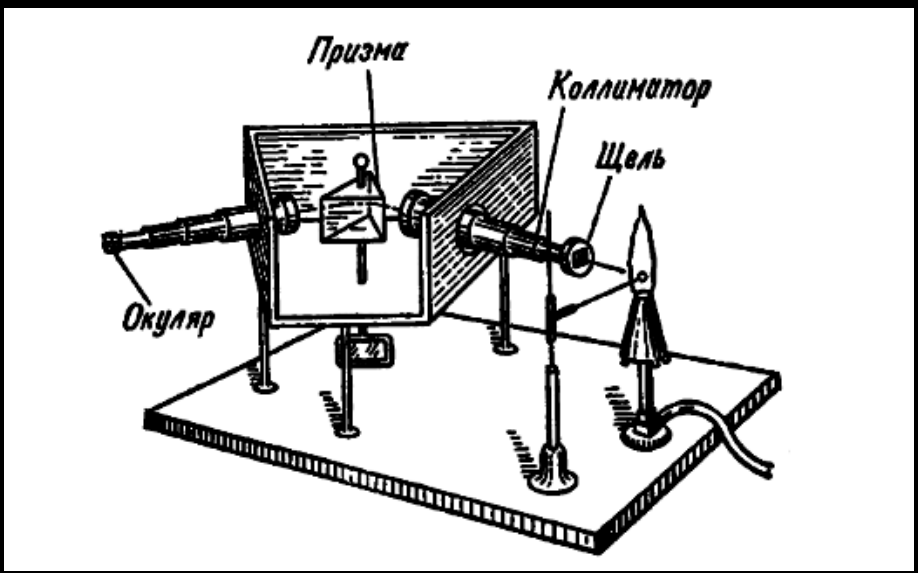


Схема спектроскопа. Сравнивая спектры излучений раскаленных металлов, ученые смогли открыть новые элементы.

Распределение новых элементов по группам

Однако таблице Менделеева предстояла еще одна серьезная проверка - в ней должно было найтись место для других вновь открытых элементов.

Например, еще в 1794 г. финский химик Юхан Гадолин (1760-1852) предположил, что в минерале, полученном из Иттербийского карьера, расположенного вблизи Стокгольма, содержится новый оксид металла (или *земля*). Поскольку эта новая земля значительно отличалась от уже известных земель, например кремнезема, извести и магнезии, то ее отнесли к редким землям. Гадолин назвал открытый им оксид иттрия по названию карьера; спустя 50 лет из этого оксида был выделен в относительно чистом виде новый элемент - *иттрий*. Примерно в середине XIX столетия химики начали интенсивно изучать состав редкоземельных минералов. Проведенные исследования показали, что эти минералы содержат целую группу новых элементов - *редкоземельных элементов*. Шведский химик Карл Густав Мосандер (1797-1858) открыл, например, в конце 30-х - начале 40-х годов XIX в. четыре редкоземельных элемента: *лантан*, *эрбий*, *тербий* и *дидим*. На самом деле их было пять, поскольку спустя сорок лет в 1885 г. австрийский химик Карл Ауэр фон Вельсбах (1858-1929) обнаружил, что дидим представляет собой смесь двух элементов, которые он назвал *празеодимом* и *неодимом*. Лекок де Буабодран также открыл два редкоземельных элемента: *самарий* в 1879 г. и *диспрозий* в 1886 г. Сразу два редкоземельных элемента - *гольмий* и *тулий* описал в 1879 г. П.Т. Клеве, а в 1907 г. французский химик Жорж Урбэн (1872-1938) сообщил о новом четырнадцатом редкоземельном элементе - *лютеции* (Лютеция - древнее название Парижа).

Редкоземельные элементы обладают очень сходными химическими свойствами, их валентность равна трем. По-видимому, все эти элементы необходимо было поместить в один столбец периодической таблицы. Однако ни один из столбцов не был таким длинным, чтобы вместить четырнадцать элементов. Далее, поскольку атомные веса всех редкоземельных элементов очень близки, их следовало поместить в один горизонтальный ряд, другими словами, в один период. В принципе их можно было поместить в шестой период, если предположить, что он длиннее, чем четвертый и пятый, которые в свою очередь длиннее, чем второй и третий периоды. Однако объяснить причины сходства свойств редкоземельных элементов в то время не удалось (это было сделано лишь в 20-х годах XX в.).

Другая группа вновь открытых элементов, о существовании которой во времена

Менделеева химики и не подозревали, не вызвала таких затруднений; элементы этой группы прекрасно вписались в периодическую таблицу.

В 80-х годах XIX в. английский физик Джон Уильям Стратт, лорд Рэлей (1842-1919), с большой точностью определил атомные веса кислорода, водорода и азота. При этом он установил, что атомный вес азота меняется в зависимости от источника газа. Так, атомный вес азота, полученного перегонкой жидкого воздуха, немного больше, чем у азота, полученного химическим путем.

Шотландский химик Уильям Рамзай (1852-1916) заинтересовался этой проблемой и вспомнил об эксперименте Кавендиша, который еще в 1785 г. пытался связать азот воздуха с кислородом; в свое время эта работа не привлекла внимания химиков. Кавендиш установил тогда, что последний пузырек газа нельзя было заставить соединиться с кислородом ни при каких условиях. Логично было предположить, что этот последний пузырек газа мог быть и не азотом. Возможно, получаемый из воздуха азот содержит в качестве примеси другой газ, плотность которого выше, и именно поэтому полученный из воздуха азот кажется немного тяжелее, чем есть на самом деле.

В 1894 г. Рамзай повторил эксперимент Кавендиша, выделил оставшийся пузырек газа и провел его анализ новым методом, во времена Кавендиша еще неизвестным. Рамзай нагрел этот газ, изучил его спектр. В результате выяснилось, что оставшийся пузырек представляет собой новый газ, плотность которого несколько выше, чем у азота. Содержание его в атмосфере равно примерно 1% (по объему). Он химически инертен, не реагирует ни с одним другим элементом. По этой причине газ получил название *аргон* (от греческого αρυος - инертный).

Атомный вес аргона, как выяснилось, чуть меньше 40. Это означало, что аргон должен располагаться в периодической таблице где-то возле таких элементов, как сера (атомный вес 32), хлор (атомный вес 35.5), калий (атомный вес 39) и кальций (атомный вес чуть больше 40).

Исходя только из атомного веса аргона, его следовало поместить между калием и кальцием. Однако, согласно установленному Менделеевым принципу, валентность играет более важную роль, чем атомный вес. Поскольку аргон не взаимодействует ни с одним элементом, то, следовательно, валентность его равна нулю. Куда в таком случае поместить аргон?

Валентность серы равна 2, хлора 1, калия 1 и кальция 2. Таким образом, в этой области периодической таблицы валентность меняется в следующей последовательности: 2, 1, 1, 2. Нуль в такой последовательности должен располагаться между двумя единицами; 2, 1, 0, 1, 2. Следовательно, место аргона между хлором и калием.

Однако, если принять периодическую таблицу как руководство, аргон не может существовать один. Он должен быть одним из представителей семейства *инертных газов* - элементов с нулевой валентностью. Столбец, занимаемый этими газами, должен располагаться между столбцами, занятыми галогенами (хлором, бромом и т.д.) и щелочными металлами (натрием, калием и т.д.); валентность и тех, и других равна единице.

Рамзай начал поиски. В 1895 г. он узнал, что в США из уранового минерала получены пробы газа - предположительно азота. Рамзай повторил эту работу и установил, что в спектре этого газа содержатся линии, которых нет ни в спектре азота, ни в спектре аргона, зато такие же линии наблюдал в солнечном спектре во время солнечного затмения 1868 г. французский астроном Пьер Жюль Сезар Жанссен (1824-1907). В то время английский астроном Джозеф Норман Локьер (1836-1920) приписал эти линии новому элементу, который он назвал *гелием* (от греческого ηλιος - Солнце).

В свое время химики почти не обратили внимания на это сообщение: новый элемент был открыт на Солнце, да еще довольно новым, не вполне завоевавшим доверие методом. Однако работа Рамзая показала, что тот же самый элемент существует и на Земле. Рамзай сохранил за элементом название, данное ему Локьером. Так был открыт гелий - самый легкий из инертных газов, который стоит вслед за водородом - элементом с наименьшим атомным весом.

В 1898 г., осторожно нагревая жидкий воздух в поиске инертных газов, которые, как предполагал Рамзай, будут испаряться первыми, он обнаружил три новых газа. Рамзай назвал их *неон* (новый), *криптон* (скрытый) и *ксенон* (чуждый).

Сначала считалось, что инертные газы могут представлять интерес только как объект научного исследования и никакого практического применения они не найдут. Однако в своих исследованиях, начатых им в 1910 г., французский химик Жорж Клод (1870-1960) показал, что электрический ток, пропускаемый через некоторые газы, подобные неону,

вызывает мягкое окрашенное свечение.

Практическое применение этого свойства хорошо известно: таким газом можно заполнять трубки, изогнутые в виде букв, слов, фигур и т.п., и уже в 40-х годах нашего столетия улицы больших городов заливал неоновый свет [7].

_____

[1] См.: Фигуровский Н.А. Открытие элементов и происхождение их названий. - М.: Наука, 1970, 207 с.

[2] На конгрессе присутствовали русские ученые А.П. Бородин, Н.Н. Зинин, Т. Лесинский, Д.И. Менделеев, Я. Натансон, Л.Н. Шишков. О.С. Канниццаро см.: Быков Г.В., Крицман В.А. Станислао Канниццаро. Очерк жизни и деятельности. - М.: Наука, 1972, 215 с.

[3] Указанное соотношение выполняется лишь приблизительно, поскольку атомы различных элементов не всегда заполняют одинаковые части занимаемого веществом пространства.

[4] См.: Кедров Б.М. День одного великого открытия. - М.: Соцэкгиз, 1958, 560 с.; Кедров Б.М. Философский анализ первых трудов Д.И. Менделеева о периодическом законе (1869-1871). - М.: Изд-во АН СССР, 1959, 294 с.; Фигуровский Н.А. Дмитрий Иванович Менделеев. - М.: Изд-во АН СССР, 1961, 315 с.

[5] В данном случае Менделеев интуитивно принял правильное решение, однако объяснить, почему элементы следует располагать именно таким образом, удалось лишь спустя около полувека.

[6] Открытие Д.И. Менделеевым периодического закона датируется 17 февраля (1 марта) 1869 г., когда им была составлена таблица, озаглавленная "Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве". В 1864 г. Л. Мейер предложил таблицу для нескольких групп элементов, в которой он показывал соотношение их атомных масс, но никаких теоретических выводов не делал. Менделеев же развил свои представления, придав уже к 1871 г. своей периодической системе современный вид.

[7] По материалам этой главы см. также: Макареня А.А. Д.И. Менделеев и физико-химические науки. Опыт научной биографии Д.И. Менделеева. - М.: Атомиздат, 1972; Трифонов Д.Н. Структура и границы периодической системы. - М.: Атомиздат, 1969; Б.М. Кедров, Д.Н. Трифонов. Закон периодичности и химические элементы. Открытия и хронология. - М.: Наука, 1969, 194 с.; Соловьев Ю.И., Петров Л.П. Вильям Рамзай. 1852-1916. - М.: Наука, 1971, 239 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 9. Физическая химия

Теплота

В XVII и XVIII вв. мир химии и мир физики разделяла четкая граница. Химия изучала процессы, сопровождающиеся изменением молекулярной структуры, в то время как физика изучала такие процессы, которые подобными изменениями не сопровождались.

В начале XIX столетия, когда Дэви разрабатывал классификацию молекул неорганических соединений, а Бертло - классификацию молекул органических соединений, физики изучали потоки теплоты, другими словами - *термодинамику* (от греческого - движение тепла).

Выдающихся успехов в этой области достигли английский физик Джеймс Прескотт Джоуль (1818-1889) и немецкие физики Юлиус Роберт Майер (1814-1878) и Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (1821-1894). К 40-м годам прошлого столетия в результате проведенных ими работ стало ясно, что в процессе перехода одной формы энергии в другую энергия не создается и не исчезает. Этот принцип получил название *закона сохранения энергии*, или *первого начала термодинамики*.

В своих работах французский физик Никола Леонар Сади Карно (1796-1832), английский физик Уильям Томсон, впоследствии лорд Кельвин (1824-1907), и немецкий физик Рудольф Джулиус Эмануэль Клаузиус (1822-1888) развили механическую теорию теплоты. Было показано, что при самопроизвольном переходе теплоты от точки с более высокой температурой к точке с более низкой температурой работа производится только в случае существенной разности температур, ибо часть теплоты неизбежно рассеивается в окружающую среду. Этот вывод можно обобщить и распространить на любой вид энергии.

В 1850 г. Клаузиус, пытаясь найти соотношение между количеством теплоты в изолированной системе и абсолютной температурой этой системы, ввел термин *энтропия*. Он показал, что при любых самопроизвольных изменениях энергии энтропия

системы должна увеличиваться. Этот принцип был назван *вторым началом термодинамики*.

Естественно, что такого рода открытия не могли не повлиять на развитие химии. Ведь в конечном итоге основными источниками теплоты в XIX в. (кроме Солнца) были химические реакции: горение дерева, угля и нефти. Химикам было также известно, что теплота выделяется и при других химических реакциях, например при нейтрализации кислот основаниями, и что практически все химические реакции сопровождаются тем или иным тепловым эффектом: выделением теплоты (а иногда и света) или поглощением теплоты (а иногда и света).

В 1840 г. после опубликования работ русского химика Германа Ивановича Гесса (1802-1850) [1] граница между миром физики и химии была разрушена, и началось сотрудничество двух наук. Тщательно измерив действительное количество теплоты, выделяемой в процессе химических реакций между определенными количествами веществ, Гесс показал, что количество теплоты, получаемой (или поглощаемой) при переходе от одного вещества к другому, всегда одинаково и не зависит от того, с помощью какой химической реакции или сколькими этапами осуществляется этот переход. Благодаря этому обобщению (*закон Гесса*) Гесса иногда считают основателем *термохимии* (теплохимии).

Исходя из закона Гесса, представлялось вполне вероятным, что закон сохранения энергии равно применим и к химическим, и к физическим процессам. И действительно, дальнейшие обобщения показали, что законы термодинамики, вероятнее всего, проявляются в химии точно так же, как и в физике.

Это направление в экспериментах и в теории привело к выводу, что определенным химическим реакциям, как и физическим процессам, присуще свойственное только им самопроизвольное направление, приводящее к увеличению энтропии. Однако энтропия представляет собой величину, трудную для непосредственного измерения, поэтому химики начали искать другой, более простой критерий.

В 60-х годах прошлого столетия Бертло, уже завоевавший известность как органик-синтетик, обратился к термохимии. Он разработал методику проведения химических реакций в замкнутых сосудах, погруженных в воду заданной температуры. Определив температуру этой воды в конце реакции, можно было установить, какое количество

теплоты выделяется в ходе данной реакции.

Используя такой *калориметр* (от латинского calorimeter - измерение тепла), Бертло тщательно измерил количество теплоты, выделяемой в результате сотен различных химических реакций. Подобные эксперименты независимо от Бертло провел также датский химик Ханс Петер Юрген Юлиус Томсен (1826-1909).

Бертло полагал, что реакции, сопровождающиеся выделением теплоты, являются самопроизвольными, в то время как реакции, сопровождающиеся поглощением теплоты, таковыми не являются. Поскольку каждая реакция, в ходе которой выделяется теплота, должна сопровождаться, если заставить ее идти в обратном направлении, поглощением теплоты (первыми стали придерживаться такой точки зрения Лавуазье и Лаплас), то, следовательно, любая химическая реакция идет самопроизвольно только в одном направлении, и при этом она сопровождается выделением теплоты.

Например, когда водород взаимодействует с кислородом, образуя воду, реакция протекает с выделением большого количества теплоты. Эта реакция самопроизвольная, и, однажды начавшись, она быстро идет к завершению и иногда заканчивается сильным взрывом.

В то же время обратная реакция - расщепление воды на водород и кислород - требует затраты энергии (тепловой или, лучше, электрической). Расщепление молекулы воды не является самопроизвольным; в отсутствие энергии расщепление вообще не происходит, и уже начавшаяся реакция тотчас же прекратится, если подачу энергии прервать.

Но это правило Бертло, на первый взгляд представлявшееся вполне приемлемым, было ошибочным. Во-первых, не все самопроизвольные реакции протекают с выделением теплоты; некоторые реакции сопровождаются поглощением теплоты, и в ходе таких реакций температура среды, окружающей реакционную смесь, действительно понижается.

Во-вторых, существуют *обратимые реакции*. Так, например, вещества A и B могут самопроизвольно взаимодействовать и превращаться в вещества C и D, которые в свою очередь могут вновь самопроизвольно образовать вещества A и B. И это несмотря на то, что если какая-либо реакция сопровождается выделением теплоты, то обратная ей

реакция должна сопровождаться поглощением теплоты. Например, иодид водорода разлагается на йод и водород, которые вновь могут образовывать иодид водорода:

$$H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI$$

(две стрелки, направленные в противоположные стороны, показывают, что реакция обратима).

Во времена Бертло обратимые реакции были уже известны. В 1850 г. Уильямсон первым тщательно изучил их. Основываясь на результатах проведенных им работ, Уильямсон предложил структурные формулы эфиров. Он нашел условия, при которых смесь веществ A и B образовывала вещества C и D, а смесь веществ C и D образовывала вещества A и B. Однако и в том, и в другом случае в итоге получалась смесь веществ A, B, C и D, причем соотношение этих компонентов было определенным. Смесь при этом находилась в состоянии *равновесия*.

Хотя состав смеси оставался скорее всего постоянным, тем не менее Уильямсон считал, что вещества A и B реагируют, образуя вещества C и D, а вещества C и D реагируют, образуя вещества A и B. Обе реакции идут непрерывно, но они нейтрализуют друг друга, создавая иллюзию покоя, тогда как в действительности смесь находится в состоянии *динамического равновесия*.

Работа Уильямсона ознаменовала начало изучения *химической кинетики* - области химии, изучающей скорости химических реакций. Уильямсон ясно показал, что самопроизвольный характер химической реакции в ряде случаев определяет не просто выделение теплоты, а нечто большее. Проводя свои многочисленные калориметрические измерения, Бертло и Томсен уже выявили это «нечто большее», но, к сожалению, вопрос остался нерешенным из-за того, что работы Томсена были опубликованы на малодоступном ученым норвежском языке.

Химическая термодинамика

В 1863 г. норвежские химики Като Максимилиан Гульдберг (1836-1902) и Петер Вааге (1833-1900) опубликовали брошюру, в которой излагали свою точку зрения на причины, определяющие направление течения самопроизвольных реакций. Эти ученые вернулись к предположению, высказанному Бертолле за полстолетия до этого. Бертолле считал, что направление реакции зависит от массы участвующих в ней отдельных веществ. Гульдберг и Вааге полагали, что направление реакции определяется не просто массой

отдельных веществ, а скорее массой отдельных веществ, приходящейся на данный объем реагирующей смеси, другими словами - *концентрацией* веществ.

Предположим, что вещества A и B могут реагировать с образованием веществ C и D, а вещества C и D могут реагировать с образованием веществ A и B:

$$A + B \rightarrow C + D$$

Эта обратимая реакция достигает равновесия при таких условиях, когда в системе представлены все четыре вещества: A, B, C и D. Положение равновесия зависит от соотношения скоростей реакций веществ A и B (скорость 1) и веществ C и D (скорость 2).

Предположим, что скорость 1 намного больше, чем скорость 2. В этом случае вещества A и B реагируют быстро, а вещества C и D - медленно, и вскоре количество веществ C и D намного превысит количество веществ A и B, и в состоянии равновесия в смеси преобладают вещества C и D. Взглянув на приведенное выше уравнение, мы скажем, что в этом случае точка равновесия сдвинута «далеко вправо».

Если же скорость 2 намного выше, чем скорость 1, вещества C и D реагируют намного быстрее, чем вещества A и B, и в состоянии равновесия в смеси преобладают вещества A и B. Точка равновесия в этом случае сдвинута «далеко влево».

Но скорость 1 зависит от частоты столкновений молекул A и B, так как только при таком столкновении (и то не всегда) может произойти реакция. В свою очередь скорость 2 зависит от частоты столкновений молекул C и D.

Предположим теперь, что к реакционной смеси добавляется дополнительное количество вещества A или B (или того и другого) и что объем смеси при этом не меняется. Концентрация вещества A и B (или того и другого) в этом случае увеличивается, и вероятность столкновения молекул возрастает (подобно тому как в час пик, когда автострада забита машинами, вероятность их столкновения намного больше, чем ранним утром, когда машин относительно мало).

Таким образом, с повышением концентрации вещества A или B (или того и другого) скорость 1 увеличивается, а с уменьшением концентрации снижается. Точно так же с ростом концентрации вещества C или D (или и C, и D) увеличивается скорость 2. Меняя скорость 1 или 2, можно изменить состав равновесной смеси. С изменением

концентрации любого из участвующих в реакции веществ меняется положение точки равновесия.

Итак, если к находящейся в состоянии равновесия смеси веществ добавить (или удалить из нее) один из компонентов, равновесие нарушится, и точка равновесия сместится. Тем не менее Гульдбергу и Вааге удалось найти одну неменяющуюся компоненту. Соотношение произведений концентраций исходных веществ (A и B) и продуктов реакции (C и D) в состоянии равновесия остается постоянным, т.е.

$$[C][D] / [A][B] = K$$

(квадратные скобки показывают, что речь идет о концентрации), где K - *постоянная (константа) равновесия* химической реакции. Эта константа является характеристикой любой конкретно взятой обратимой реакции при определенной температуре.

Закон действия масс Гульдберга и Вааге дал бы химикам, изучающим обратимые реакции, значительно больше, чем гипотеза Бертло, которая к тому же, как мы уже говорили, оказалась не совсем верной, но, к сожалению, Гульдберг и Вааге сначала (1867 г.) опубликовали свою работу на норвежском языке, и она оставалась незамеченной, пока ее в 1879 г. не перевели на немецкий язык [2].

Тем временем американский физик Джозайя Гиббс Уиллард (1839-1903) [3] начал систематическое изучение термодинамики химических реакций и за период между 1874 и 1878 гг. опубликовал ряд больших статей, посвященных этому вопросу.

Гиббс ввел понятие *свободная энергия* [4]. (Необходимость введения этого понятия была обусловлена тем, что измерить изменение величины свободной энергии легче, чем измерить изменение энтропии.) Любая химическая реакция сопровождается изменением свободной энергии системы. Изменение теплосодержания строго соответствует уменьшению свободной энергии и увеличению энтропии. Поскольку обычно самопроизвольные реакции сопровождаются выделением теплоты, то теплосодержание системы при протекании таких реакций уменьшается. Однако в некоторых, хотя и считанных случаях изменение свободной энергии и энтропии бывает таким, что теплосодержание системы увеличивается, и тогда самопроизвольная реакция идет с поглощением энергии.

Гиббс также показал, что с изменением концентрации веществ, образующих эту систему,

свободная энергия системы до некоторой степени меняется. Поэтому если свободная энергия, определенная при стандартных значениях концентраций, для A + B ненамного отличается от свободной энергии C + D, то даже небольшие изменения концентрации могут привести к тому, что свободная энергия A + B окажется больше или меньше, чем свободная энергия C + D. В такой системе направление реакции определяется соотношением концентраций, но и в том, и в другом направлении реакция пойдет самопроизвольно.

Скорость, с которой меняется свободная энергия при изменении концентрации отдельного вещества, называется *химическим потенциалом* системы, и Гиббсу удалось показать, что именно химический потенциал является «движущей силой» химических реакций. Химическая реакция идет самопроизвольно от точки с высоким химическим потенциалом к точке с низким химическим потенциалом, подобно тому как теплота самопроизвольно передается от точки с высокой температурой к точке с низкой температурой.

Таким образом, Гиббс объяснил суть закона действия масс. Он показал, что в состоянии равновесия сумма химических потенциалов всех компонентов смеси минимальна. Если реакция начинается с взаимодействия A + B, то по мере образования C + D она идет вниз по «склону холма химического потенциала». Если реакция начинается с взаимодействия C + D, то по мере образования A + B она также идет вниз «по склону холма». В состоянии равновесия достигается нижняя точка «энергетической ямы» между двумя «холмами».

Гиббс применил принципы термодинамики при изучении равновесия между различными фазами (жидкой, твердой и газообразной), входящими в одну и ту же химическую систему. Например, вода как жидкость и как водяной пар (один компонент, две фазы) могут существовать вместе при различных температурах и давлениях, но если температура задана, то давление также определено. Вода как жидкость, водяной пар и лед (один компонент, три фазы) могут существовать все вместе только при одной определенной температуре и давлении.

Гиббс разработал простое уравнение, *правило фаз*, позволяющее предсказать характер изменения температуры, давления и концентрации различных компонентов при различных сочетаниях числа компонентов и фаз.

Работы Гиббса, отличающиеся предельной обстоятельностью и поразительным

изяществом, составили фундамент современной химической термодинамики . Причем Гиббс сделал так много, что его последователи по существу лишь развивали его идеи [5]. Однако о работах Гиббса в Европе узнали далеко не сразу. Дело в том, что статьи Гиббса были опубликованы в «Трудах Коннектикутской академии» - издании, совершенно не известном ведущим химикам и физикам мира.

Катализ

В последней четверти XIX в. Германия занимала ведущее положение в области исследования физических изменений, связанных с химическими реакциями. Выдающимся ученым в области *физической химии* был немецкий химик Фридрих Вильгельм Оствальд (1853-1932) [6]. В основном благодаря именно ему физическая химия была признана самостоятельной дисциплиной. К 1887 г. он написал первый учебник по физической химии и основал (вместе с Вант-Гоффом) первый журнал, посвященный исключительно этой области химии (Zeitschrift fur physikalische Chemie).

Оствальд был среди тех европейских ученых, которые открыли и оценили работы Гиббса. В 1892 г. он перевел статьи Гиббса по термодинамике на немецкий язык. Оствальд почти сразу же начал применять теории Гиббса при изучении *катализа*. Катализ (термин, предложенный Берцелиусом в 1835 г.) - изменение скорости химической реакции в присутствии небольших количеств веществ (*катализаторов*), которые не принимают видимого участия в реакции. Так, в 1816 г. Дэви установил, что порошкообразная платина во много раз ускоряет присоединение водорода к кислороду и к различным органическим соединениям. А Кирхгоф в 1812 г. показал, что кислота значительно ускоряет расщепление ряда органических соединений. Причем ни платина, ни кислота в процессе реакции не расходуются, количество их остается неизменным.

В 1894 г. Оствальд составлял реферат статьи о теплоте сгорания продуктов, который он собирался опубликовать в своем журнале. Однако он не был согласен с выводами автора и, чтобы подкрепить свои возражения, привлек в качестве примера явление катализа.

Оствальд указал, что теория Гиббса заставляет предположить, что катализаторы ускоряют реакции, не вызывая изменения в соотношении энергий взаимодействующих веществ. Катализатор, утверждал Оствальд, образует с исходным веществом промежуточное соединение, которое распадается на конечные продукты реакции. При распаде промежуточного соединения катализатор высвобождается. В отсутствие катализатора, т.е. в отсутствие образуемого катализатором промежуточного соединения,

данная реакция протекает намного медленнее, возможно даже практически незаметно. Таким образом, катализатор ускоряет реакцию, но сам при этом не расходуется. Кроме того, поскольку молекулы катализатора используются снова и снова, для ускорения реакции большого количества веществ достаточно небольшого количества катализатора.

Этот взгляд на катализ сохраняется и сегодня. Он помог объяснить механизм действия белковых катализаторов (или *ферментов*), управляющих химическими реакциями в живых тканях [7].

Оствальд был последователем принципов австрийского физика и философа Эрнста Маха (1838-1916), считавшего, что ученые должны заниматься лишь такими проблемами, при изучении которых можно применить прямые измерения, и не должны создавать «моделей», базирующихся только на косвенных доказательствах. Так, Оствальд отказывался признать реальность существования атомов, поскольку прямых доказательств их существования получено не было. Он был последним крупным ученым, не признававшим атомистическую теорию (хотя, разумеется, он не отрицал ее полезность) [8].

Здесь необходимо сказать несколько слов о броуновском движении - быстром беспорядочном движении небольших частиц, взвешенных в воде, которое впервые наблюдал в 1827 г. шотландский ботаник Роберт Броун (1773-1858).

Немецкий физик Альберт Эйнштейн (1879-1955) в 1905 г. показал, что это движение может быть обусловлено бомбардировкой частиц молекулами воды, толкающих молекулы то в одну, то в другую сторону. Эйнштейн вывел уравнение, с помощью которого можно вычислить действительные размеры молекул воды, определив предварительно параметры движущихся частиц.

Французский физик Жан Батист Перрэн (1870-1942) провел в 1908 г. необходимые измерения и первым оценил диаметр молекул, а следовательно, и атомов. С открытием броуновского движения ученые впервые смогли в определенной мере непосредственно наблюдать действие, оказываемое отдельными молекулами, так что даже Оствальд, до тех пор упорно отрицавший атомистическую теорию, вынужден был сдаться.

Датский физико-химик Хендрик Виллен Бакхейс Розебом (1854-1907), как и Оствальд, по достоинству оценил работы Гиббса и всячески (притом весьма успешно) способствовал

их популяризации в Европе.

В 1899 г. труды Гиббса были переведены на французский язык Анри Луи Ле Шателье (1850-1936). Физико-химик Ле Шателье в настоящее время наиболее известен как автор правила (1888 г.), получившего название *принципа Ле Шателье*. Согласно этому правилу, любое изменение одного из условий равновесия вызывает смещение системы в таком направлении, которое уменьшает первоначальное изменение. Другими словами, если система, находящаяся в состоянии равновесия, подвергается воздействию повышенного давления, то она перестраивается таким образом, чтобы занимаемое ею пространство было как можно меньше, так как давление при этом понизится. Подъем температуры вызывает такие изменения, которые сопровождаются поглощением тепла и, таким образом, понижением температуры и т.д. Как оказалось, химическая термодинамика Гиббса четко объясняла принцип Ле Шателье.

Несколько запоздалое знакомство европейских ученых с трудами Гиббса, безусловно, замедлило развитие физической химии, но лишь до некоторой степени, поскольку в 80-х годах XIX века Вант-Гофф пришел к тем же выводам независимо от Гиббса.

Вант-Гофф впервые стал известен в ученом мире благодаря открытию тетраэдрического атома углерода, однако впоследствии он занялся физической химией и стал крупнейшим (после Оствальда) авторитетом в этой области химии. Вант-Гофф занимался, в частности, изучением растворов. К 1886 г. ему удалось показать, что поведение молекул растворенных веществ, беспорядочно перемещающихся в массе жидкости, в которой они растворены, описывается примерно теми же правилами, что и поведение газов.

Новые исследования в области физической химии показали, что химические реакции связаны не только с теплом как таковым, а скорее с энергией вообще. Например, химические реакции могут вызывать появление электрического тока, а электрический ток в свою очередь может вызывать химические реакции.

Немецкий физик Вальтер Германн Нернст (1864-1941) применил принципы термодинамики к химическим реакциям, происходящим в электрической батарее. В 1889 г. он показал, что, используя характеристики полученного тока, можно рассчитать изменение свободной энергии, обусловленное химической реакцией, в результате которой появляется ток.

Свет представляет собой еще одну форму энергии, которая может быть получена в результате химических реакций и, как это было показано еще до наступления XIX в., в свою очередь может инициировать химические реакции. В частности, свет вызывает разложение некоторых соединений серебра, высвобождая черные зерна металла. Область химии, изучающая такие индуцируемые светом реакции, называется *фотохимией* (светохимией).

В 30-х годах прошлого века была разработана методика получения изображения с помощью солнечного света, воздействующего на серебро. На стеклянную пластинку, а позднее на гибкую пленку наносили слой соединений серебра. С помощью системы фокусирующих линз такая пластинка подвергается воздействию света, отраженного от фотографируемого объекта. Даже кратковременное облучение светом вызывает разложение соединения серебра. На разные участки светочувствительного слоя воздействует различное количество световой энергии в зависимости от того, какой отражающей способностью обладают отдельные точки фотографируемого объекта.

После короткого облучения пластинку или пленку обрабатывают раствором химикатов (проявляют) с тем, чтобы восстановить соединения серебра в светочувствительном слое до металлического серебра. В тех местах пластинки, которые подверглись воздействию более яркого света, восстановление происходит быстрее, поскольку мельчайшие кристаллики металлического серебра, образовавшиеся при действии света, служат зародышами, на которые откладывается дополнительное количество серебра при проявлении. Если вовремя прекратить процесс проявления, то на стеклянной пластинке получится черно-белое изображение (черное - микрокристаллы серебра, белое - невосстановленные соединения серебра), обратное по плотности исходному изображению (негатив). Невосстановленные соединения серебра удаляют обработкой в специальном растворе (фиксирование), поскольку они сохраняют свою светочувствительность. Проявленный и отфиксированный негатив после сушки проецируют на поверхность плотной бумаги, как и пленка покрытой светочувствительным слоем на основе соединений серебра. Последующая обработка фотобумаги, совершенно аналогичная обработке пленки, позволяет получить реальное изображение оригинала (позитив). Этот процесс был назван *фотографией* (светописью).

Развитию техники фотографии способствовали французский физик Жозеф Нисефор Ньепс (1765-1833), французский художник Луи Жак Манде Дагер (1787-1851), английский изобретатель Уильям Генри Фокс Тэлбот (1800-1877) и многие другие.

Большой интерес ученых вызывали процессы, в которых роль света можно сравнить с действием катализатора. Например, при кратковременном облучении ярким светом смеси хлора с водородом реакция между этими газами протекает со взрывом и практически до конца, тогда как в темноте хлор и водород вообще не реагируют.

Нернст объяснил причины такого влияния света. При облучении смеси светом (даже кратковременном) молекула хлора расщепляется на два одиночных атома. Атом хлора (который намного активнее, чем в составе молекулы) отрывает атом водорода от молекулы водорода и образует молекулу хлорида водорода. Оставшийся атом водорода отрывает атом хлора от молекулы хлора; оставшийся атом хлора отрывает атом водорода от молекулы водорода и т.д. Таким образом, даже незначительное облучение вызывает фотохимическую *цепную реакцию*, которая протекает со скоростью взрыва и завершается образованием большого количества молекул хлорида водорода.

Ионная диссоциация [9]

Крупнейшим физико-химиком на рубеже XIX-XX вв. наряду с Вант-Гоффом и Оствальдом был шведский ученый Сванте Август Аррениус (1859-1925) [10]. Еще будучи студентом Упсальского университета, Аррениус заинтересовался электролитами, т.е. растворами, способными пропускать электрический ток.

Из установленных Фарадеем законов электролиза вытекало, что электричество, подобно веществу, обусловлено существованием, движением и взаимодействием мельчайших частиц. Фарадей вел речь об ионах, которые можно рассматривать как частицы, переносящие электричество через раствор. Однако в течение следующего полустолетия ни он и никто другой не занимался серьезно изучением природы таких ионов, хотя работы в этом направлении вообще-то велись. В 1853 г. немецкий физик Иоганн Вильгельм Гитторф (1824-1914) установил, что одни ионы перемещаются быстрее других. Это наблюдение привело к появлению понятия *число переноса* - характеристики, зависящей от скорости, с которой отдельные ионы переносят электрический ток. Однако даже после того, как химики научились рассчитывать эту скорость, вопрос о природе ионов оставался открытым.

Аррениус занялся исследованиями в области физической химии после знакомства с работой французского химика Франсуа Мари Рауля (1830-1901). Как и Вант-Гофф, Рауль изучал растворы. Наибольшего успеха Рауль достиг в 1887 г., когда установил, что

парциальное давление паров растворителя, находящихся в состоянии равновесия с раствором, пропорционально молярной концентрации растворителя.

Эта зависимость, известная нам как *закон Рауля*, позволила приблизительно подсчитать относительное число частиц (атомов, молекул или загадочных ионов) *растворенного вещества* и *растворителя* (жидкости, в которой растворено данное вещество).

В ходе этих исследований Рауль измерял температуры замерзания растворов. Как выяснилось, температура замерзания раствора всегда была ниже температуры замерзания чистого растворителя. Раулю удалось показать, что понижение температуры замерзания пропорционально числу частиц растворенного вещества, присутствующих в растворе.

Однако на этом этапе ситуация усложнилась. Логично было предположить, что при растворении, например в воде, вещество распадается на отдельные молекулы. Однако наблюдаемое понижение температуры замерзания соответствовало предполагаемому только в тех случаях, когда растворялся неэлектролит, например сахар. При растворении электролита типа поваренной соли NaCl понижение температуры замерзания вдвое превышало ожидаемое, т.е. число частиц, содержащихся в растворе, должно было быть в два раза больше числа молекул соли. А при растворении хлорида бария $BaCl_2$ число частиц, находящихся в растворе, должно было превышать число молекул втрое.

Как известно, молекула хлорида натрия состоит из двух, а молекула хлорида бария - из трех атомов, и Аррениус пришел к мысли, что при растворении в растворителях, подобных воде, определенная часть молекул распадается на отдельные атомы. Более того, поскольку эти распавшиеся молекулы проводят электрический ток (в то время как молекулы, подобные молекуле сахара, не распадаются и не проводят электрический ток), Аррениус предположил, что молекулы распадаются (или диссоциируют) не на обычные атомы, а на атомы, несущие электрический заряд.

Аррениус предположил, что ионы Фарадея - это атомы (или группы атомов), несущие положительный или отрицательный электрический заряд. Ионы либо сами представляют собой «атомы электричества», либо несут эти «атомы электричества». (Последнее предположение в конечном счете оказалось верным.) С помощью созданной им теории *ионной диссоциации* Аррениус объяснил многие электрохимические явления.

Идеи Аррениуса, изложенные в 1884 г. в диссертации на степень доктора натурфилософии, были встречены очень холодно. Диссертацию едва не отклонили, однако за пределами Швеции она вызвала большой интерес. Особенно хорошее впечатление она произвела на Оствальда, и он предложил Аррениусу место в своей лаборатории. Оствальд поддерживал Аррениуса в плане продолжения работ последнего в области физической химии.

В 1889 г. Аррениус выдвинул другую плодотворную идею. Он указал, что молекулы, сталкиваясь, не реагируют, если не обладают определенным минимумом энергии, иначе говоря, *энергией активации*. При малой энергии активации реакции проходят быстро и беспрепятственно, при высокой энергии активации реакция может протекать с бесконечно малой скоростью. Если же в последнем случае поднять температуру настолько, чтобы ряд молекул приобрел необходимую энергию активации, то скорость реакции может резко повыситься и даже закончиться взрывом. Примером такой реакции может служить реакция смеси водорода и кислорода: после достижения *температуры воспламенения* смесь взрывается.

Оствальд удачно использовал эту идею в разработанной им теории катализа. Он показал, что образование промежуточного продукта в виде соединения с катализатором требует меньшей энергии активации, чем непосредственное образование конечных продуктов реакции.

Еще о газах

В конце XIX в. в период расцвета физической химии ученые вновь начали изучать свойства газов, пользуясь разработанными к тому времени новыми усовершенствованными методами.

Так, французский химик Анри Виктор Реньо (1810-1878) провел большое количество тщательных измерений объемов и давлений газов и показал, что установленная Бойлем за два столетия до этого зависимость между объемом и давлением данного количества газа не вполне точна. Причем отклонения от закона наблюдаются главным образом при увеличении давления или при понижении температуры.

Примерно в то же самое время анализом поведения газов занимались шотландский физик Джеймс Кларк Максвелл (1831-1879) и австрийский физик Людвиг Больцман (1844-1906). Эти ученые установили следующее. Если предположить, что газы представляют

собой совокупность большого числа беспорядочно движущихся частиц (*кинетическая теория газов*), то закон Бойля выполняется в том случае, если, во-первых, между молекулами газа не действуют силы притяжения и, во-вторых, молекулы газа имеют нулевые размеры. Газы, отвечающие этим требованиям, были названы *идеальными газами*.

Ни одно из этих требований не соответствует действительному положению дел: молекулы газов испытывают действие сил притяжения, хотя и небольшого, молекулы газов чрезвычайно малы, но все же имеют определенные конечные размеры. Определению «идеальный газ» практически не соответствует ни один из известных газов, хотя свойства водорода и открытого позднее гелия весьма близки к свойствам идеального газа.

В 1873 г. голландский физик Иоганнес Дидерик Ван-дер-Ваальс (1837-1923) вывел уравнение, связывающее давление, объем и температуру газов. Это уравнение включает две константы a и b (характерные для каждого газа), учитывающие размер молекул газов и притяжение между ними.

Изучение свойств газов помогло решить проблему их сжижения. Жидкий аммиак был получен еще в 1799 г. путем охлаждения под давлением газообразного аммиака (с повышением давления повышается температура, при которой сжижается газ, и намного облегчается процесс сжижения). Особенно много этим вопросом занимался Фарадей. К 1845 г. ему удалось сжижить ряд газов, в том числе хлор и диоксид серы. Сразу же, как только давление снижалось до нормального, сжиженный газ начинал быстро испаряться. Поскольку процесс испарения проходит с поглощением тепла, температура оставшейся жидкости резко понижалась. В этих условиях жидкий диоксид углерода затвердевал. Смешав твердый диоксид углерода с эфиром, Фарадей смог понизить температуру до –78ºС.

Однако все попытки сжижить такие газы, как кислород, азот, водород, оксид углерода и метан, оказались напрасными. Фарадею не удалось их сжижить даже при очень высоких давлениях. Эти газы стали называть «постоянными газами».

И тем не менее в 60-х годах прошлого века ирландский химик Томас Эндрюс (1813-1885), изучавший диоксид углерода, сумел, меняя только давление, сжижить этот газ. Медленно повышая температуру, он установил, как при этом необходимо повышать давление,

чтобы сохранить диоксид углерода в жидком состоянии. Выяснилось, что при температуре 31ºС любое давление оказывается недостаточным. При этой температуре газообразная и жидкая фазы фактически, если так можно выразиться, «сплавлены» вместе и поэтому неразделимы. Эндрюс предположил (в 1869 г.), что для каждого газа существует *критическая температура* и что при температуре выше критической сжижить газ не удастся даже при очень высоких давлениях. Следовательно, «постоянные газы» - это просто-напросто газы, критические температуры которых гораздо ниже температур, достижимых в лабораторных условиях.

Тем временем Джоуль и Томсон при изучении теплоты обнаружили, что газы могут охлаждаться, если им дать возможность расшириться. Таким образом, если дать газам расшириться, а затем снова сжать в таких условиях, при которых потери теплоты не будут восполняться, а затем снова дать газам расшириться и повторить этот цикл несколько раз, то можно достичь очень низких температур. Как только температура газа снизится ниже критической, можно повысить давление и сжижить газ.

Используя этот метод, французский физик Луи Поль Кайете (1832-1913) и швейцарский химик Рауль Пикте (1846-1929) к 1877 г. сжижили такие газы, как кислород, азот и оксид углерода. Однако сжижить водород им так и не удалось.

Работа Ван-дер-Ваальса ясно показала, что для водорода эффект Джоуля - Томсона наблюдается только после того, как температура его снизится ниже некоторого определенного значения. И чтобы снизить температуру водорода до требуемого значения, перед проведением цикла расширения газ следует охладить.

В 90-х годах XIX века над этой проблемой начал работать шотландский химик Джеймс Дьюар (1842-1923). Он приготовил в большом количестве жидкий кислород, который хранил в изобретенном им сосуде, получившем название *сосуда Дьюара*. Сосуд Дьюара - это колба с двойными стенками, из пространства между которыми выкачан воздух. Теплопроводность разреженного газа между стенками настолько мала, что температура вещества, помещенного в сосуд, долгое время остается постоянной. Чтобы еще более замедлить процесс передачи тепла, Дьюар посеребрил стенки сосуда. (Бытовой термос - это всего-навсего сосуд Дьюара, закрывающийся пробкой.)

Газообразный водород можно охладить до очень низких температур, погружая его в жидкий кислород, помещенный в сосуд Дьюара, и затем сжижить, используя эффект

Джоуля - Томсона. В 1898 г. Дьюар первым получил жидкий водород.

Водород сжижается при 20 К, т.е. при температуре всего на двадцать градусов выше абсолютного нуля [11], но это не самая низкая температура сжижения. В 80-х годах прошлого века были открыты инертные газы, и один из этих газов, гелий, сжижается при еще более низкой температуре.

Получить жидкий гелий первым удалось голландскому физику Хейке Камерлинг-Оннесу (1853-1926). В 1908 г. он сначала охладил гелий в ванне с жидким водородом, а затем, использовав эффект Джоуля - Томсона, получил при температуре 4 К жидкий гелий [12].

_____

[1] См.: Соловьев Ю.И. Герман Иванович Гесс. - М.: Изд-во АН СССР, 1962, 104 с.

[2] В 1892 г. эта работа была переведена на русский язык.

[3] Д.У. Гиббс - одна из величайших фигур в истории естествознания. Он внес в химию новый стиль мышления. Гиббс фактически заложил основы новой области науки - химической термодинамики. Это тем более удивительно, что он никогда серьезно не изучал химию. О значении вклада Гиббса в науку говорит такой факт: после его смерти в течение пятидесяти лет работам, основанным на его трудах, присуждались Нобелевские премии. См.: Франкфурт У.И., Френк А.М. Джозайя Уиллард Гиббс. - М.: Наука, 1964, 279 с.

[4] По решению Международного союза теоретической и прикладной химии теперь называется *энергией Гиббса* (G). Она является термодинамическим потенциалом и описывается равенством G = H - TS, где H - энтальпия, S - энтропия, T - температура.

[5] Приведем пример одного из важных дополнений. В 1923 г. американский химик Джильберт Ньютон Льюис (1875-1946) в классической книге по термодинамике ввел понятие *активность*. Активность вещества не то же самое, что его концентрация, но связана с ней. Уравнения химической термодинамики можно сделать более точными в более широких пределах, если заменить концентрацию на активность.

[6] В. Оствальд очень много сделал для развития физической химии. Он разрабатывал теорию электролитической диссоциации, открыл закон разбавления, носящий его имя, заслуги Оствальда отмечены в 1909 г. Нобелевской премией. Однако он был также автором "энергетической" теории - одной из разновидностей "физического" идеализма, в которой материя рассматривалась как форма проявления энергии.

[7] Накопление знаний в области биохимии (т.е. химических реакций, обычно регулируемых ферментами и происходящих в живых тканях) в настоящей книге затрагивается лишь вскользь. Этот вопрос более подробно рассматривается в кн. Азимова А. Краткая история биологии. Пер. с англ. - М.: Мир, 1967.

[8] О творчестве В. Оствальда, которого В.И. Ленин назвал "очень крупным химиком, но очень путаным философом", см.: Родный Н.И., Соловьев Ю.И. Вильгельм Оствальд. 1853-1932. - М.: Наука, 1969.

[9] Говоря об открытии и изучении электролитической диссоциации, нельзя забывать о работах прибалтийского ученого Теодора Гротгуса (1785-1822). В 1805 г. он развил теорию электропроводности растворов, в 1818 г. предложил теорию состояния молекул (ионов) в растворе. В этой теории он развил представление о том, что атомы вещества могут приобретать электрические заряды и что свойства таких атомов отличны от свойств атомов нейтральных. См. также: Страдынь Я.П. Теодор Гротгус. 1785-1822. - М.: Наука, 1966, 184 с.

[10] Соловьев Ю.И., Фигуровский Н.А. Сванте Аррениус. - М.: Изд-во АН СССР, 1959, 179 с.

[11] Понятие *абсолютный нуль* - самая низкая из возможных температур - впервые было введено Томсоном (лордом Кельвином) в 1848 г. В признание его приоритета шкала абсолютных температур получила название шкалы Кельвина. В 1906 г. Нернст показал, что при стремлении температуры к абсолютному нулю все изменения состояния системы не изменяют ее энтропии (*третье начало термодинамики*), или, другими словами, при помощи конечной последовательности термодинамических процессов нельзя достичь температуры, равной абсолютному нулю.

[12] Физическая химия является одной из наиболее сложных областей химии, и изложить ее историю, проследить формирование основных понятий на полутора десятках страниц очень трудно. Подробнее о развитии этой области химии можно прочитать в кн.: Соловьев Ю.И. Очерки по истории физической химии. - М.: Наука, 1964, 342 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 10. Синтетическая органическая химия

Красители

Первая половина XIX в. ознаменовалась развитием новой области химии - *синтетической органической химии*. Химики вслед за Бертло начали соединять в цепи органические молекулы. Недостаточное понимание строения молекул мешало химикам-органикам середины XIX в., но прогресс науки настолько неотвратим, что этот недостаток, по крайней мере в одном знаменательном эпизоде, оказался преимуществом.

В то время (40-е годы XIX века) в Великобритании было немного известных химиков-органиков, и работавший у Либиха Август Вильгельм Гофман (1812-1892) был приглашен в Лондон из Германии. Спустя несколько лет Гофман взял к себе в качестве помощника совсем еще юного Уильяма Генри Перкина (1838-1907). В то время Гофман исследовал химические вещества, получаемые из каменноугольного дегтя (густой черной жидкости, образующейся при нагревании каменного угля без доступа воздуха). Однажды Гофман в присутствии Перкина начал рассуждать вслух о возможности синтеза хинина - ценного лекарственного средства против малярии - из каменноугольного дегтя. Если бы синтез хинина удался, Европа избавилась бы от зависимости от поставщиков хинина, привозивших его из далеких тропиков.

Загоревшись этой идеей, Перкин сразу же принялся за дело (дома у него была своя небольшая лаборатория). Если бы он или Гофман больше знали о строении молекулы хинина, то они поняли бы, что эту задачу нельзя решить, основываясь на методах химии середины XIX в. К счастью, Перкин был относительно этого в блаженном неведении, и хотя ему не удалось синтезировать хинин, он достиг, возможно, большего.

Во время пасхальных каникул 1856 г. Перкин, пропадая в лаборатории, обработал анилин бихроматом калия и, разочарованный результатом, уже собрался было выбросить полученную массу, как вдруг заметил, что она приобрела пурпурный оттенок. Перкин добавил спирт, который извлек из реакционной смеси вещество, окрасившее спирт в великолепный пурпурный цвет.

Перкин понял, что у него в руках краситель. Он бросил учебу и на деньги своей семьи построил фабрику. Уже через шесть месяцев фабрика начала выпускать то, что Перкин назвал «анилиновым пурпуром». Новый краситель очень понравился французским красильщикам, они назвали его сиреневым, и этот цвет сделался настолько популярным, что связанный с ним период истории известен как «сиреневое десятилетие». Перкин, первым организовавший промышленное производство *синтетического красителя*, разбогател и в тридцать пять лет смог отойти от дел.

Несколько лет спустя после поразительного успеха Перкина химики познакомились со структурными формулами органических соединений. Эти формулы могли служить химикам своего рода картой «территории», на которой им предстояло действовать. Используя эту карту, можно было вывести логические схемы реакций, подобрать методы, позволяющие, постепенно меняя строение молекул, превратить одну молекулу в другую и, наконец, синтезировать новые органические соединения не случайно, как это вышло у Перкина, а целенаправленно.

Часто реакциям присваивали имя их первооткрывателя. Так, способ добавления двух атомов углерода в молекулу, открытый Перкином, был назван *реакцией Перкина*, а способ расщепления гидроокисей четвертичных аммониевых оснований с образованием третичного амина и олефина, открытый учителем Перкина, был назван *реакцией Гофмана*.

Гофман вернулся в Германию в 1864 г. и занялся там синтетической органической химией - новой областью химии, в которой так успешно проявил себя его юный ученик Перкин. И, в частности, благодаря работам Гофмана синтетическая органическая химия оставалась вплоть до первой мировой войны почти полной монополией Германии.

В лабораториях осуществлялся синтез природных красителей. В 1867 г. Адольф Байер (автор теории напряжений) начал осуществление плана исследований, которые в итоге привели его к синтезу *индиго*. (Ранее индиго получали из индигоносных растений, крупные плантации которых расположены на Дальнем Востоке и в Южной Азии.) В 1868 г. ученик Байера Карл Гребе (1841-1927) синтезировал другой важный природный краситель - *ализарин*.

Эти и подобные им достижения заложили основы теории и технологии прикладной химии,

благодаря успехам которой наша жизнь преобразилась столь значительным образом за последние несколько десятилетий и продолжает преображаться в еще более ускоренном темпе.

Вплоть до настоящего момента мы последовательно излагали факты, четко следуя за развитием событий, но в этой и следующей главах мы рассмотрим несколько отдельных достижений, благодаря которым химия начала служить человечеству. При этом мы несколько отклонимся от главного пути развития химии. В последующих трех главах мы вновь вернемся к принятой нами схеме изложения.

Лекарственные средства

Вслед за Перкином химики начали синтезировать соединения все возрастающей сложности. Конечно, синтетические соединения в то время не могли конкурировать с природными [1], однако существовало несколько исключений, в частности синтетический индиго. Кроме того, синтез обычно позволял установить молекулярное строение, что всегда представляло огромный теоретический (а иногда и практический) интерес.

Так, немецкий химик Рихард Вильштеттер (1872-1942) тщательно определил строение *хлорофилла* - зеленого пигмента растений, который позволяет использовать энергию солнечного света при превращении растениями углекислого газа в углеводы.

Два немецких химика, Генрих Отто Виланд (1877-1957) и Адольф Виндаус (1876-1959), определили строение *стероидов* и родственных им соединений. (К числу стероидов относится ряд важных гормонов.) Еще один немецкий химик, Отто Баллах (1847-1931), установил строение *терпенов* - практически важных растительных масел, а его соотечественник Ганс Фишер (1881-1945) установил строение *гема* - красящего вещества крови.

В XX в. проводилось исследование витаминов, гормонов, алкалоидов, и во многих случаях строение их молекул было установлено. Например, в 30-х годах нашего столетия швейцарский химик Пауль Каррер (1889-1971) определил строение *каротиноидов* - важных растительных пигментов.

Английский химик Роберт Робинсон (1886-1975) систематически изучал алкалоиды. Наибольший успех ему принесли работы по определению строения *морфина* (1925 г.) и *стрихнина* (1946 г.). Последняя работа Робинсона была подкреплена работой

американского химика Роберта Бернса Вудворда (1917-1979), который в 1954 г. синтезировал стрихнин. Вудворд завоевал признание как химик-синтетик после того, как он и его американский коллега Уильям Эггерс Дёринг (род. в 1917 г.) в 1944 г. синтезировали *хинин* - то самое соединение, за которым вслепую охотился Перкин (правда, эта «охота» в конце концов принесла ему огромные доходы).

В последующие годы Вудворд продолжал заниматься синтезом и получил ряд соединений все более и более сложной структуры. Так, в 1951 г. он синтезировал *холестерин* (наиболее известный из стероидов) и *кортизон* (стероидный гормон), в 1956 г.- *резерпин* (первый из транквилизаторов), а в 1960 г. - *хлорофилл*. В 1962 г. Вудворд [2] синтезировал сложное соединение - производное хорошо известного антибиотика тетрациклина [3].

Американский химик (уроженец России) Фебус Аарон Теодор Левин (1869-1940) работал в другом направлении. Он изучал строение *нуклеотидов* - тех блоков, из которых построены гигантские молекулы нуклеиновых кислот. (В настоящее время установлено, что нуклеиновые кислоты управляют химическими процессами, протекающими в организме человека.) Правильность выводов Левина полностью подтвердили результаты работы шотландского химика Александра Робертуса Тодда (род. в 1907 г.), который в 40-х - начале 50-х годов нашего века синтезировал ряд нуклеотидов и родственных им соединений.

Некоторые из этих соединений, в частности алкалоиды, применяются в медицине и, следовательно, попадают под общую рубрику *лекарственные средства*. В самом начале XX в. было показано, что ряд синтезированных соединений может использоваться в медицине как лекарственные средства.

В 1909 г. немецкий бактериолог Пауль Эрлих (1854-1915) применил при лечении сифилиса синтетическое соединение *сальварсан*. Таким образом было положено начало исследованиям в области *химиотерапии* - лечения болезней с применением специальных химических препаратов.

В 1908 г. было синтезировано соединение, названное *сульфаниламидом* (аминобензолсульфамид), которое пополнило обширный ряд синтетических соединений, не нашедших применения. Однако в 1932 г. благодаря исследованиям немецкого химика Герхарда Домагка (1895-1964) было установлено, что сульфаниламид и некоторые

родственные ему соединения можно использовать для лечения ряда инфекционных заболеваний. Правда, в этой области природные соединения оказались более эффективными, чем синтетические. Примером тому может служить *пенициллин* - первый антибиотик, который был случайно открыт в 1928 г. шотландским бактериологом Александром Флемингом (1881-1955). Флеминг оставил на несколько дней открытой культуру стафилококковых бактерий, а затем обнаружил, что она покрылась плесенью. Внимательно разглядывая плесень, Флеминг увидел, что вокруг каждого пятнышка плесени располагаются «чистые» области, где культура бактерий исчезла. Флеминг на уровне своего времени изучил этот факт и предположил, что в этих «чистых» областях присутствует соединение с сильным антибактериальным действием, однако выделить это соединение оказалось непростым делом.

В связи с острой необходимостью в лекарственных средствах, необходимых для борьбы с инфекционными заболеваниями, во время второй мировой войны интерес к такого рода соединениям значительно возрос, и этой проблемой начали заниматься более обстоятельно.

Группе ученых под руководством английского биохимика-патолога (уроженца Австралии) Хоуарда Уолтера Флори (1898-1968) и английского биохимика (уроженца Германии) Эрнста Бориса Чейна (род. в 1906 г.) удалось выделить пенициллин и определить его строение. К 1945 г. была разработана технология получения пенициллина с использованием культуры плесени, которая позволяла получать полтонны продукта в месяц.

В 1958 г. химики научились «снимать» с готового пенициллина бензильную группу и присоединять взамен нее другие органические группы. Некоторые из этих полусинтетических веществ, не имеющих аналогов среди природных соединений, обладали более высокой антибактериальной активностью, чем сам пенициллин. Между 40-ми и 50-ми годами из различных видов микроорганизмов были выделены и другие антибиотики, в частности стрептомицин.

В ходе синтеза сложных органических соединений необходимо время от времени проводить анализ с целью идентификации продуктов, образующихся на разных стадиях процесса. Количество вещества, которое можно было бы отобрать для анализа, как правило, весьма невелико, и поэтому анализ в лучшем случае давал неточные результаты, а в худшем и вовсе был невозможен.

Австрийский химик Фриц Прегль (1869-1930) удачно модифицировал оборудование, используемое при анализе, уменьшив его размеры. Он создал особо точные весы, сконструировал образцы тонкой стеклянной посуды, а к 1913 г. разработал методику *микроанализа*. С этого времени анализ малых проб стал точным.

Классическими методами анализа обычно называют определение объема вещества, расходуемого при реакции (*объемный анализ*, иначе *титриметрический анализ*), или массы вещества, полученного в результате реакции (*весовой анализ*, иначе *гравиметрический анализ*). В XX в. были разработаны новые, физические, методы анализа, а именно измерение поглощения света, изменения электрической проводимости и другие более тонкие и более сложные методы [4].

Белки

Почти все органические соединения, перечисленные в предыдущем разделе, состоят из молекул, количество атомов в которых чаще всего не превышает пятидесяти; эти атомы с трудом распадаются в условиях умеренной химической обработки. Однако существуют органические соединения с поистине гигантскими молекулами, построенными из тысяч и даже миллионов атомов. Эти молекулы состоят из сравнительно небольших «строительных блоков» [5]. Такие гигантские молекулы легко разложить на образующие их блоки, которые можно исследовать. Так, например, поступил Левин, изучая нуклеотиды. Предпринимались также попытки изучать эти гигантские молекулы как таковые, не разрушая их предварительно. Первые шаги в этом направлении предпринял шотландский химик Томас Грэхем (1805-1869). Заинтересовавшись *диффузией* - движением частиц среды, приводящим к переносу вещества и выравниванию концентраций, он начал изучать диффузию газов через мельчайшие поры или тонкие трубки. В 1829 г. ему удалось показать, что скорость диффузии газа обратно пропорциональна корню квадратному из его плотности (*закон Грэхема*).

Далее Грэхем перешел к изучению диффузии растворенных веществ. Он обнаружил, что растворы веществ, подобных соли, сахару или сульфату меди, проходят через разделяющую перегородку из пергаментной бумаги (имеющей, как он предполагал, микроскопические поры). В то же время растворы таких соединений, как гуммиарабик, животный клей и желатина, пройти через разделяющую перегородку не могут - очевидно, молекулы соединений последней группы для этого слишком велики.

Соединения, способные проходить через поры пергамента (и, как выяснилось, легко кристаллизующиеся), Грэхем назвал *кристаллоидами*. Соединения другой группы, не способные, подобно животному клею (по-гречески κολλα) проходить через поры пергамента, он назвал *коллоидами*. Наука о гигантских молекулах стала впоследствии важным разделом *коллоидной химии*, которой, таким образом, Грэхем положил начало [6].

Предположим, что с одной стороны разделяющей перегородки находится чистая вода, а с другой - коллоидный раствор. Молекулы воды могут свободно проникать через перегородку в оба отсека. В первый момент в отсек с коллоидным раствором будет попадать большее число молекул воды, чем покидать его, поскольку выравнивание концентраций по обе стороны перегородки - самопроизвольный энергетически выгодный процесс. Суммарный поток молекул воды в отсек с коллоидным раствором будет продолжаться до тех пор, пока возникающая разность давлений жидкости с обеих сторон перегородки не достигнет определенной величины. Величина этого давления, приводящего к вынужденному равновесию, называется *осмотическим давлением раствора*.

В 1877 г. немецкий ботаник Вильгельм Пфеффер (1845-1920) показал, как можно измерить осмотическое давление и как, исходя из полученных результатов, можно определить молекулярную массу больших молекул, образующих коллоидные растворы. Это был первый удачный метод оценки размера таких молекул.

В 1923 г. шведский химик Теодор Сведберг (1884-1971) сконструировал *центрифугу* и разработал седиментационный метод определения молекулярной массы макромолекул, главным образом белков.

Ассистент Сведберга Арне Вильгельм Каурин Тиселиус (1902-1971), также швед, в 1923 г. разработал более совершенный метод разделения гигантских молекул, основанный на характере распределения электрического заряда по поверхности молекулы. Этот способ - *электрофорез* - оказался особенно важным при разделении и очистке белков.

С помощью физических методов химики могли получить представление об общей структуре гигантских молекул, однако они стремились установить детальное строение этих соединений. Особый интерес вызывали у них белки.

В то время как гигантские молекулы таких веществ, как крахмал или клетчатка древесины, построены из одного многократно повторяемого блока, молекула белка строится из двадцати различных, но тесно связанных блоков - различных аминокислот. Именно по этой причине молекулы белков так разнообразны, но это же создает большие трудности при попытке их характеризовать.

Эмиль Фишер, который ранее установил детальное строение молекул сахаров, в начале нашего века обратил внимание на молекулу белка [7]. Он показал, что аминогруппа одной аминокислоты связана с остатком молекулы другой кислоты *пептидной связью*. В 1907 г. Фишер получил соединение, объединяющее восемнадцать аминокислот, и показал, что оно обладает рядом свойств, характерных для белков.

Однако определить порядок аминокислот в *полипептидной цепи* молекулы природного белка удалось лишь полстолетия спустя, после того как был разработан еще один метод анализа.

Открыл этот метод русский ботаник Михаил Семенович Цвет (1872-1919). Исследуя пигменты растений, Цвет пропустил раствор смеси очень мало различающихся по цвету пигментов через трубку, заполненную адсорбентом - порошкообразным карбонатом кальция, и промыл затем адсорбент чистым растворителем. Отдельные компоненты смеси при этом разделились и образовали цветные полосы. Цвет опубликовал статью с описанием открытого им метода разделения, который он назвал *хроматографией* («цветописью») [8].

Статья русского ученого осталась незамеченной, но в 20-е годы Вильштеттер и его ученик, немецкий химик (австриец по происхождению) Рихард Кун (1900-1967), вновь открыли этот способ разделения. В 1944 г. английские химики Арчер Джон Портер Мартин (род. в 1910 г.) и Ричард Лоуренс Миллингтон Синг (род. в 1914 г.) предложили новый вариант этого метода: они заменили трубку с адсорбентом на фильтровальную бумагу. Анализируемая смесь распределялась по фильтровальной бумаге, и компоненты смеси при этом разделялись. Этот способ был назван *бумажной хроматографией*.

В конце 40-х - начале 50-х годов XX века химикам удалось обстоятельно проанализировать с помощью метода бумажной хроматографии смеси аминокислот, полученные при расщеплении ряда белков. В результате удалось установить общее число остатков каждой аминокислоты, содержащихся в молекуле белка, однако порядок

расположения аминокислот в полипептидной цепи при этом определить, естественно, было нельзя. Английский химик Фредерик Сенгер (род. в 1918 г.) изучал инсулин - белковый гормон, состоящий примерно из пятидесяти аминокислот, распределенных между двумя взаимосвязанными полипептидными цепями. Сенгер расщепил молекулу на несколько более коротких цепей и проанализировал каждую из них методом бумажной хроматографии. Восемь лет продолжалась кропотливая работа по «складыванию мозаики», но к 1953 г. был установлен точный порядок расположения аминокислот в молекуле инсулина. Позднее таким же способом было установлено детальное строение даже больших молекул белка [9].

Следующий шаг состоял в том, чтобы подкрепить этот труд реальным синтезом заданной молекулы белка. В 1954 г. американец Винсент Дю-Виньо (1901-1978) положил начало такому синтезу. Он получил *окситоцин* - пептид, состоящий всего лишь из восьми аминокислотных остатков. Однако с более сложными молекулами дело пошло быстрее, и вскоре были синтезированы цепи, содержащие несколько десятков аминокислот. К 1963 г. в лабораторных условиях были получены полипептидные цепи инсулина.

Однако, зная только порядок расположения аминокислот, нельзя еще представить себе совершенно отчетливо все уровни организации белковой молекулы. Даже при осторожном нагревании белки нередко необратимо утрачивают свойства, присущие им в природном состоянии, иными словами, происходит *денатурация* белков. Причем обычно денатурация не сопровождается расщеплением полипептидной цепи; чтобы расщепить цепь, нужны более жесткие условия. Следовательно, цепи образуют какую-то определенную структуру под действием слабых «вторичных связей». В образовании таких вторичных связей обычно участвует атом водорода, находящийся между атомами азота и кислорода. Такая *водородная связь* в двадцать раз слабее обычной валентной связи.

В начале 50-х годов американский химик Лайнус Полинг (род. в 1901 г.) предположил, что полипептидная цепь свернута в спираль (подобна «винтовой лестнице») и удерживается в этом положении водородными связями. Эта идея оказалась особенно плодотворной применительно к относительно простым *фибриллярным белкам*, из которых состоят покровные и соединительные ткани.

Более того, спирали образуют даже более сложные по структуре *глобулярные белки*. Английские химики Макс Фердинанд Перутц (уроженец Австрии) (род. в 1914 г.) и Джон

Коудери Кендрю (род. в 1917 г.) обнаружили это при детальном исследовании строения гемоглобина и миоглобина (белков крови и мышц соответственно, способных обратимо присоединять кислород). В своей работе они использовали новый метод анализа - метод *дифракции рентгеновских лучей*: пучок рентгеновских лучей, проходящий через кристаллы, рассеивается атомами, образующими кристаллы. Рассеивание в заданном направлении и при заданном угле наиболее эффективно в том случае, когда атомы располагаются последовательно. Определяя величину отклонения, можно выявить расположение атомов внутри молекулы. Исследовать таким образом большие молекулы сложной структуры, подобные белковой молекуле, - задача весьма трудоемкая, и тем не менее к 1960 г. таким образом удалось уточнить последние детали строения молекулы миоглобина (состоящей из двенадцати тысяч атомов).

Полинг считал, что предложенную им спиральную модель молекулы можно распространить и на нуклеиновые кислоты. В начале 50-х годов английский физик Морис Хью Фредерик Уилкинс (род. в 1916 г.) изучал нуклеиновые кислоты методом дифракции рентгеновских лучей, и результаты его работы можно было использовать для проверки справедливости предположения Полинга. Английский физик Фрэнсис Гарри Комптон Крик (род. в 1916 г.) и американский химик Джеймс Дьюи Уотсон (род. в 1928 г.) установили, что удовлетворительно объяснить результаты дифракционных исследований можно, лишь несколько усложнив модель молекулы. Каждая молекула нуклеиновой кислоты должна представлять собой двойную спираль, образованную навитыми вокруг общей оси цепями. Эта модель Уотсона - Крика, предложенная ими впервые в 1953 г., сыграла важную роль в развитии генетики [10], [11].

Взрывчатые вещества

Не избежали молекулы-гиганты и преобразующей руки химика. Произошло это вначале случайно. В 1845 г. швейцарский химик Христиан Фридрих Шенбайн (1799-1868), уже прославивший себя открытием *озона* (аллотропной модификации кислорода), проводил опыты в своей домашней лаборатории. Разлив смесь азотной и серной кислот, он вытер эту смесь хлопчатобумажным фартуком и повесил его сушиться над печкой. Как только фартук высох, раздался несильный взрыв и фартука не стало. Сам того не зная, Шенбайн превратил целлюлозу фартука в *нитроцеллюлозу* [12]. Нитрогруппы (перешедшие из азотной кислоты) послужили внутренним источником кислорода, и при нагревании целлюлоза сразу же полностью окислилась.

Шенбайн понял важность сделанного им открытия. Обычный черный порох при взрыве

дает много дыма, покрывает сажей артиллеристов, загрязняет пушки и стрелковое оружие, а на основе нитроцеллюлозы (нитроклетчатки) можно было получить «бездымный порох».

Однако наладить производство нитроклетчатки для военных целей долгое время не удавалось: фабрики, как правило, взрывались. Только в 1891 г. Дьюару и английскому химику Фредерику Аугустусу Абелю (1872-1902) удалось получить безопасную смесь. Поскольку эту смесь можно было прессовать в длинные шнуры, ее назвали *кордитом*.

В состав кордита кроме нитроклетчатки входит также *нитроглицерин*, который был получен в 1847 г. итальянским химиком Асканио Собреро (1812-1888). Это мощное бризантное взрывчатое вещество отличается очень высокой чувствительностью, и использовать его как таковое в военных целях оказалось невозможным. Однако, невзирая на чрезвычайную опасность работы с большими количествами этого соединения, его стали применять при прокладке дорог в горах.

Производством нитроглицерина занялось семейство шведского изобретателя Альфреда Бернарда Нобеля (1833-1896). Когда в результате взрыва погиб брат Нобеля, он сосредоточил свои усилия на «усмирении» этого взрывчатого вещества. В 1866 г. Нобель обнаружил, что кизельгур может впитывать значительные количества нитроглицерина. Пропитанный нитроглицерином кизельгур можно было формовать в брикеты. Такие брикеты были совершенно безопасны в обращении, хотя пропитывающий кизельгур нитроглицерин сохранял свою разрушительную силу. Нобель назвал полученную им смесь *динамитом*.

Получение новых и более мощных по сравнению с черным порохом (изобретенным более пяти столетий назад) взрывчатых веществ в конце XIX в. положило начало гонке вооружений. Его применение для военных целей, как и разработка отравляющих газов во время первой мировой войны, отчетливо продемонстрировало, что задачи науки можно извратить и заставить ее служить целям разрушения. Еще более наглядный урок преподало изобретение самолета и в конечном счете ядерного оружия. Наука, которая до конца XIX в. казалась средством создания на земле утопии, стала служить уничтожению.

Полимеры

Однако существует много направлений, позволяющих использовать молекулы-гиганты в мирных целях. Так, если полностью нитрованная целлюлоза - это взрывчатое вещество и

может применяться только как таковое, то частично нитрованная целлюлоза (*пироксилин*) более безопасна в обращении, и ее можно применять не только в военных целях.

Американский изобретатель Джон Уэсли Хайятт (1837-1920), пытаясь завоевать приз, установленный за создание заменителя слоновой кости для биллиардных шаров, прежде всего обратил внимание именно на частично нитрованную целлюлозу. Он растворил ее в смеси спирта и эфира, добавил камфору, чтобы новое вещество легче было обрабатывать. К 1869 г. Хайятт получил то, что он назвал *целлулоидом*, и завоевал приз [13]. Целлулоид был первой синтетической *пластмассой* - материалом, который можно отливать в формы [14].

Однако, как выяснилось, частично нитрованную целлюлозу можно не только формовать в шары, но и вытягивать в волокна и пленки. Французский химик Луи Мари Гиляр Берниго, граф Шардонне (1839-1924), получил такие волокна, продавливая раствор нитроцеллюлозы через тончайшие отверстия. Растворитель при этом почти сразу же испарялся.

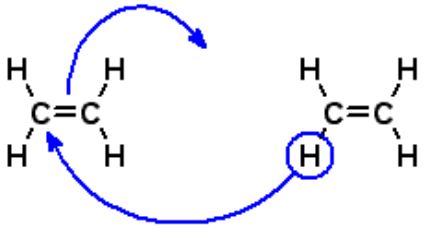
Из полученных волокон можно было ткать материал, который своим блеском напоминал шелк. В 1884 г. Шардонне запатентовал полученный им *искусственный шелк*. Шардонне назвал эту ткань *рейон* - излучающая свет, так как ткань блестела и казалось, что она излучает свет.

Появлением пластмассовых пленок мы обязаны американскому изобретателю Джорджу Истмену (1854-1932). Истмен увлекался фотографией. Пытаясь упростить процесс проявления, он начал смешивать эмульсию соединений серебра с желатиной, чтобы сделать эту эмульсию сухой. Полученную таким образом смесь можно было хранить, а следовательно, и готовить впрок. В 1884 г. Истмен заменил стеклянные пластинки на целлулоидные.

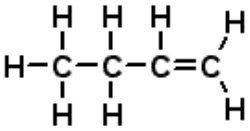
Целлулоид невзрывоопасен, но он легко воспламеняется, что может быть причиной пожара, поэтому Истмен начал поиски менее горючих материалов. Когда в целлюлозу вместо нитрогрупп ввели ацетильные группы, полученный продукт остался столь же пластичным, как и нитроцеллюлоза, но он уже не был легко воспламеняющимся. С 1924 г. ацетилцеллюлозные пленки начали использовать в производстве кинофильмов, так как развивающаяся кинопромышленность особенно остро нуждалась в заменителе целлулоида.

Изучая высокомолекулярные природные соединения, химики рассчитывали не только получить их синтетические аналоги, но и открыть новые типы соединений. Одним из методов синтеза молекул-гигантов является *полимеризация мономеров* (мономер - вещество, молекулы которого способны реагировать между собой или с молекулами других веществ с образованием полимера).

Способ объединения мономеров в гигантскую молекулу можно пояснить хотя бы на примере этилена C_2H_4. Напишем структурные формулы двух молекул этилена:



Представим себе, что атом водорода переместился из одной молекулы в другую, в результате в этой молекуле вместо двойной связи появилась свободная одинарная связь. Свободная связь появилась и у первой молекулы, из которой ушел водород. Поэтому эти две молекулы могут соединиться друг с другом.



Такая молекула содержит уже четыре углеродных атома и одну двойную связь, как и молекула исходного этилена. Следовательно, при взаимодействии этой молекулы с еще одной молекулой этилена также может произойти перемещение атома водорода и разрыв двойной связи. Образующаяся в результате молекула будет содержать шесть атомов углерода и одну двойную связь. Таким способом можно получить последовательно молекулу с восемью, десятью и более атомами углерода. Фактически так можно получать молекулы почти любой заданной длины.

Американский химик Лео Хендрик Бакеланд (1863-1944) искал заменитель шеллака - воскоподобного вещества, выделяемого некоторыми видами тропических насекомых. Для этой цели ему необходим был раствор клейкого дегтеобразного вещества. Бакеланд начал с того, что провел полимеризацию фенола и формальдегида и получил полимер, для которого не смог подобрать растворитель. Этот факт привел его к мысли, что такой

твердый, практически нерастворимый и, как выяснилось, не проводящий электричество полимер может оказаться ценным материалом. Так, например, из него можно отливать детали, которые легко будет обрабатывать на станках. В 1909 г. Бакеланд сообщил о полученном им материале, который он назвал *бакелит*. Эта фенолформальдегидная смола была первой синтетической пластмассой [15], которая по ряду свойств осталась непревзойденной.

Нашли применение и синтетические волокна. Это направление возглавил американский химик Уоллес Хьюм Карозерс (1896-1937). Вместе с американским химиком Джулиусом Артуром Ньюлендом (1878-1936) он исследовал родственные каучуку [16] *эластомеры*. Результатом его работ было получение в 1932 г. *неопрена* - одного из синтетических каучуков [17].

Продолжая изучение полимеров, Карозерс попытался полимеризовать смесь диаминов и дикарбоновых кислот и получил волокнистый полимер. Длинные молекулы этого полимера содержат комбинации атомов, подобные пептидным связям в белке шелка. Вытягивая эти волокна, получают то, что мы сегодня называем *найлоном*. Карозерс завершил эту работу буквально накануне преждевременной смерти. Разразившаяся вторая мировая война заставила химиков на время забыть об открытии Карозерса. Однако после окончания войны найлон начал вытеснять шелк и вскоре пришел ему на смену (в частности, в производстве чулочного трикотажа).

Первые синтетические полимеры были получены, как правило, случайно, методом проб и ошибок, поскольку и о строении молекул-гигантов, и о механизме полимеризации было в ту пору мало что известно. Первым за изучение строения полимеров взялся немецкий химик Герман Штаудингер (1881-1965) и сделал в этой области немало. Штаудингеру удалось раскрыть общий принцип построения многих высокомолекулярных природных и искусственных веществ и наметить пути их исследования и синтеза. Благодаря работам Штаудингера выяснилось, что присоединение мономеров друг к другу может происходить беспорядочно и приводить к образованию разветвленных цепей, прочность которых значительно ниже.

Начались интенсивные поиски способов получения линейных неразветвленных полимеров. И в 1953 г. немецкий химик Карл Циглер (1898-1973) открыл свой знаменитый титан-алюминиевый катализатор, на котором был получен полиэтилен с регулярной структурой. Итальянский химик Джулио Натта (1903-1979) модифицировал катализатор

Циглера и разработал метод получения нового класса синтетических высокомолекулярных соединений - стереорегулярных полимеров [18]. Был разработан метод получения полимеров с заданными свойствами.

Одним из главных источников основных органических соединений, необходимых для производства новых синтетических продуктов, является *нефть*. Эта жидкость известна с античных времен, но чтобы использовать ее в больших количествах, необходимо было открыть способ выкачивания нефти из обширных подземных месторождений. Американский изобретатель Эдвин Лаурентин Дрейк (1819-1880) первым в 1859 г. начал бурить нефтяные скважины. Столетие спустя нефть стала основным источником органических соединений, источником тепла и энергии.

Еще более важным источником органических продуктов является каменный уголь, хотя в век двигателей внутреннего сгорания мы обычно забываем о нем. Русский химик Владимир Николаевич Ипатьев (1867-1952) на рубеже веков начал исследовать сложные углеводороды, содержащиеся в нефти и каменноугольном дегте, и, в частности, изучать их реакции, идущие при высоких температурах. Немецкий химик Фридрих Карл Рудольф Бергиус (1884-1949), используя данные Ипатьева, разработал в 1912 г. практические способы обработки каменного угля и нефти водородом с целью получения бензина.

Однако мировые запасы *ископаемого топлива* (каменный уголь плюс нефть) ограничены и невосполнимы. Все прогнозы говорят о том, что наступит день, когда запасы ископаемого топлива будут исчерпаны, и что этот день не за горами, особенно если учесть, что численность населения земли быстро увеличивается, а, следовательно, увеличивается и потребность в энергии [19].

---

[1] Это сомнительное утверждение. Прежде всего с помощью химического синтеза можно получить соединения, отсутствующие в природе. Это и есть главная область, где синтез может конкурировать с биосинтезом. Кроме того, развитие химии продолжается и сейчас, появление биотехнологии во всех ее ответвлениях сулит необычайный прогресс в области искусственного получения сложнейших природных соединений.

[2] Р. Вудворд был не только блестящим химиком-синтетиком, ему принадлежат также важные обобщающие исследования по механизму органических реакций.

[3] Тетрациклин впервые был синтезирован М.М. Шемякиным.

[4] Работ по истории аналитической химии очень мало. Самая последняя монография: Comprehensive

Analytical Chemistry. Ed.G. Svehla. Szabadvary F., Robinson A. The History of Analytical Chemistry. Amsterdam, Elsevier, 1980, 303 p.

[5] См.: Шамин А.Н. История химии белка. - М.: Наука, 1977, 349 с.

[6] В 1833 г. Грэхем изучал различные формы фосфорной кислоты и показал, что в некоторых из них на металл можно заместить более одного атома водорода. В результате химики узнали о существовании многоосновных кислот.

[7] Основные труды Э. Фишера и его биографический очерк можно прочитать в кн.: Э. Фишер. Избранные труды. - М.: Наука, 1979, 639 с. Характерно, что Э. Фишер не только создал представление о типе строения белковых молекул, но и высказал важное положение о том, что белковые молекулы могут обладать одновременно и химической и биологической индивидуальностью благодаря способности образовывать бесчисленное множество изомеров. Это положение - одно из фундаментальных представлений молекулярной биологии. Удивительно, что химик оценил его значение по меньшей мере на два десятилетия раньше, чем это сделали биологи.

[8] О М.С. Цвете и его роли в создании хроматографии имеется обширная литература. Наиболее полно она представлена в библиографии к кн.: Сенченкова Е.М. Михаил Семенович Цвет. 1872-1919. - М.: Наука, 307 с.

[9] За исследования строения индивидуальных белков Ф. Сенгеру в 1958 г. была присуждена Нобелевская премия. Однако после этого он переключился на разработку методов определения строения индивидуальных нуклеиновых кислот. Фактически это были поиски путей к определению строения генов-носителей наследственной информации в организмах живых существ. В конце 70-х годов эти работы увенчались успехом, в 1980 г. Ф. Сенгеру была вновь присуждена Нобелевская премия по химии - беспрецедентный случай в истории химии. До него Нобелевскую премию дважды получала М. Кюри, но один раз по химии, а второй раз по физике. Двумя Нобелевскими премиями по физике был отмечен Д. Бардин, и две Нобелевские премии получил Л. Полинг, но одну по химии, а другую за деятельность в защиту мира.

[10] Читатель, интересующийся более подробно этим предметом, может обратиться к книге А. Азимова "Генетический код" (Orion Press, 1963).

[11] Увлекательную историю создания модели дезоксирибонуклеиновой кислоты описал Д. Уотсон в ставшей знаменитой книге «Двойная спираль. Воспоминания об открытии структуры ДНК» (М.: Мир, 1969, 152 с). Но изложение истории этих направлений будет неполным, если не упомянуть о том, что изучение биополимеров - белков и нуклеиновых кислот, а также низкомолекулярных физиологически активных соединений - привело к формированию нескольких направлений в области взаимодействия химии и биологии. Классическая биохимия дополнилась молекулярной биологией, молекулярной генетикой, возникла биоорганическая химия. Сейчас этот процесс привел к формированию нового направления в науке - физико-химической биологии. Эти события вызвали революционные преобразования современной биологии. А. Азимов включает эти направления в сферу истории биологии, но сейчас уже невозможно

отрывать их от химии. К сожалению, изложение их истории в данном издании достаточно полно сделать невозможно, да и история их только начинает разрабатываться.

[12] Впервые нитроцеллюлозу получил французский химик Т. Пелуз в 1838 г., однако это его открытие осталось незамеченным.

[13] Точности ради надо заметить, что эту работу Дж.У. Хайятт проводил вместе со своим братом И.С. Хайяттом.

[14] Первая целлулоидная фабрика была основана в Нью-Йорке в 1872 г., а в 1878 г. аналогичная фабрика появилась на европейском континенте - во Франции. С 20-х годов XX в. целлулоид стал производиться повсеместно.

[15] Перед первой мировой войной русский химик Григорий Семенович Петров (1886-1957) разработал метод получения сульфокислот при очистке нефти. Нефтяные сульфокислоты, получившие название «контакт Петрова», использовались в качестве быстродействующего расщепителя жиров при контактном методе переработки последних. В 1910-1914 гг. Г.С. Петров, используя «контакт» для конденсации фенолов с альдегидами, получил первую пластмассу «карболит», не уступавшую бакелиту.

[16] Каучук - природный полимер, получаемый из сока тропических растений (каучуконосов). При нагревании каучук становится мягким и липким, а при охлаждении - твердым и ломким, поэтому применять его непосредственно нельзя. Американский изобретатель Чарльз Гудьир (1800-1860) открыл (отчасти случайно), что нагретый в присутствии серы каучук не размягчается и остается эластичным в широком диапазоне температур. В 1844 г. Гудьир запатентовал полученный им *вулканизированный* каучук. По-настоящему широко каучук стал применяться лишь в XX в., когда из него начали изготавливать шины.

[17] Основополагающие исследования в области методов синтеза синтетических каучуков выполнили русские ученые С.В. Лебедев, И.Л. Кондаков, А.Е. Фаворский и др. С.В. Лебедев в 1910 г. впервые получил образец синтетического бутадиенового каучука. В 1926-1928 гг. он с группой сотрудников разработал метод получения натрий-бутадиенового каучука. См.: Сергиенко С.Р. Академик Сергей Васильевич Лебедев. Жизнь и научная деятельность. - М.: Изд-во АН СССР, 1959, 127 с. Создание СК было выдающимся достижением и в катализе. В СССР независимо от работ Д.А. Ньюленда был разработан метод получения хлоропрена - синтетического каучука - аналога неопрена.

[18] Создание алюминий-органических катализаторов К. Циглером и смешанных металлорганических катализаторов Д. Натта позволило сначала Циглеру в лабораторных условиях, а затем Натта в промышленных масштабах осуществить процесс стереоспецифической полимеризации. В результате был синтезирован цис-полиизопрен, аналогичный по структуре и свойствам натуральному каучуку. В Советском Союзе исследования стереоспецифического катализа и стереорегулярных полимеров вели Б.А. Долгоплоск, В.А. Каргин и др.

[19] По материалам этой главы см.: Соловьев Ю.И., Трифонов Д.Н., Шамин А.Н. История химии. Развитие основных направлений современной химии. - М.: Просвещение, 1978, 352 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 11. Неорганическая химия

Новая металлургия

Хотя читателю может показаться, что XIX в., особенно его вторая половина, был веком органической химии, неорганическая химия в этот период также продолжала развиваться.

Одним из достижений в этой области явилось изобретение фотографии. Однако на развитии экономики или благосостоянии общества это изобретение, естественно, практически не сказалось. Еще одним достижением неорганической химии явилось усовершенствование способа зажигания огня. На протяжении тысячелетий человек добывал огонь трением. Со времени появления железа он научился высекать искры, ударяя огнивом (кресалом) о кремень. Оба способа были неудобны и утомительны, и со временем люди начали пытаться использовать для получения огня химические вещества, способные загораться при низких температурах в результате кратковременного трения. В 1827 г. английский изобретатель Джон Уолкер (приблизительно 1781-1859 гг.) предложил первые вполне пригодные для употребления фосфорные спички. За последующие полтора столетия спички значительно усовершенствовались, однако принцип их действия остался тем же.

Фотография и фосфорные спички - только два примера практических успехов неорганической химии. В полных и подробных трудах по истории химической науки эти и подобные им примеры заслуживают более чем простого упоминания, но в нашей краткой работе мы должны сосредоточить свое внимание на открытиях более крупных.

Самые большие успехи в области прикладной неорганической химии, безусловно, связаны с получением металлов и прежде всего стали, производство которой было и остается наиболее важной статьей экономики любой промышленно развитой страны. Если нефть для современного общества - источник сырья и топлива, то сталь - материальная основа практически всех отраслей промышленности.

Сталь, как мы отметили, начали получать и широко использовать еще три тысячелетия

назад, но только в середине XIX в. был разработан способ, который обеспечивал массовое производство литой стали. Большая заслуга в этом принадлежит английскому металлургу Генри Бессемеру (1813-1898).

Бессемер работал над созданием артиллерийского снаряда, который вращался бы в полете и двигался по точно заданной траектории. Для этого Бессемеру необходимо было орудие с нарезным стволом, т.е. такое орудие, в стенках канала ствола которого имелись бы спиральные канавки, прорезанные от заднего конца ствола до дульного среза. Такое орудие можно было изготовить только из особо прочной стали, так как ствол его должен был выдерживать высокие давления, необходимые для вжимания выступов снаряда в спиральные канавки. Использовавшиеся в то время обычные орудия с ненарезным стволом можно было изготавливать из менее прочного металла. Производство стали обходилось весьма дорого, и пока такое положение дел сохранялось, едва ли кто-нибудь согласился выпускать орудия нового типа.

Процесс получения железа начинается со стадии выплавки *чугуна*, содержащего значительное количество углерода (который попадает в чугун из кокса или древесного угля, используемых для плавления руды). Чугун отличается очень большой твердостью, но он хрупок. Из чугуна можно полностью удалить углерод. Образующееся в результате этой операции *сварочное железо* представляет собой ковкий, но относительно мягкий материал. В него вновь вводят некоторое количество углерода и в результате получают сталь, которая обладает достаточной вязкостью и в то же время достаточной твердостью.

Бессемер начал искать такой способ производства стали, который позволил бы исключить дорогостоящую стадию получения сварочного железа. Чтобы удалить избыточный углерод из чугуна, он пропускал через расплавленный металл струю воздуха. Металл при этом не охлаждался и не затвердевал; наоборот, в результате реакции углерода с кислородом выделялось тепло, и температура расплава повышалась. Прекращая в соответствующий момент подачу воздуха, Бессемер смог получить сталь.

В 1856 г. Бессемер опубликовал сообщение об изобретенном им *конвертере*. Первые попытки повторить опыты Бессемера окончились неудачей: получить таким методом сталь можно было только из руды, не содержащей фосфора. Как только это удалось установить, дело пошло на лад. В результате сталь стала дешевой, и железный век уступил дорогу веку стальному. (В последующие годы технология производства стали значительно усовершенствовалась; были разработаны новые способы, превосходящие

способ Бессемера.) Значение стали трудно переоценить. Сталь - это современные небоскребы и подвесные мосты, сталь - это рельсы для поездов, сталь - это мощные боевые корабли и всесокрушающая артиллерия.

Однако сколь совершенным материалом ни представлялась сталь, металлурги пытались улучшить ее свойства, и в результате список компонентов, входящих в состав стали, значительно расширился. Английский металлург Роберт Эббот Хэдфилд (1858-1940) изучал влияние на свойства стали добавок других металлов. Хэдфилд знал, что добавка марганца делает сталь хрупкой, но он решил ввести в сталь марганца больше, чем обычно вводили другие металлурги. Когда содержание марганца достигло 12%, сталь перестала быть хрупкой. Более того, если такую сталь нагреть до 1000^{o}C, а затем охладить в воде, то она станет намного тверже, чем исходный металл. Хэдфилд запатентовал марганцевую сталь в 1882 г., и с этого момента началось победное шествие *легированных сталей*.

Добавляя в сталь хром, молибден, ванадий, вольфрам и ниобий, металлурги получили богатый спектр легированных сталей, обладающих самыми различными свойствами. К 1919 г. американский изобретатель Элвуд Хэйнес (1857-1925) запатентовал *нержавеющую сталь*, содержащую в качестве добавок хром и никель. В 1916 г. японский металлург Котаро Хонда (1870-1954) обнаружил, что магниты, изготовленные из вольфрамовой стали, к которой добавлен кобальт, отличаются большей мощностью, чем магниты из обычной стали. Это открытие проложило путь к разработке еще более сильных магнитных сплавов.

В это же время начали находить применение и новые металлы, в частности *алюминий*. Содержание этого металла в земной коре выше, чем содержание железа; более того, алюминий - самый распространенный металл. Однако в природных соединениях он прочно связан с другими элементами. В то время как железо было известно и добывалось из руды еще в доисторические века, алюминий даже не считался металлом, пока Вёлер не выделил в 1827 г. не вполне чистый образец алюминия.

Лишь в 1855 г. французский химик Анри Этьен Сен-Клер Девилль (1818-1881) разработал приемлемый способ получения достаточных количеств довольно чистого алюминия. Однако и после этого стоимость его намного превышала стоимость стали; так, достаточно сказать, что из алюминия были сделаны такие «престижные» предметы, как погремушка сыну Наполеона III и головной убор статуи Вашингтона.

В 1886 г. молодой американский студент-химик Чарльз Мартин Холл (1863-1914), услышав от своего учителя, что тот, кто откроет дешевый способ получения алюминия, несомненно, разбогатеет и прославится, решил заняться этой проблемой. Работая в домашней лаборатории, он открыл, что оксид алюминия (глинозем) можно растворить в расплавленном минерале криолите. А получив раствор оксида, можно путем электролиза выделить и сам алюминий. В том же году французский металлург Поль Луи Туссен Эру (1863-1914) разработал по сути тот же метод получения алюминия. Метод Холла - Эру сделал алюминий настолько дешевым, что из него стали изготавливать даже кухонную посуду.

Наиболее ценное свойство алюминия - его легкость (алюминий в 3 раза легче стали). Именно по этой причине он так широко используется в авиационной промышленности. В этих же целях потребляются и большие количества *магния* - еще более легкого металла. В 30-х годах были разработаны практически осуществимые методы извлечения магния из его солей, растворенных в морской воде, так что на сегодняшний день мы располагаем поистине неистощимым источником этого металла. (В настоящее время из морской воды получают и бром, и йод, и, конечно же, поваренную соль. Важной задачей, значение которой в будущем еще более возрастет, является получение пресной воды из океана.)

Многообещающими представляются также металлы, подобные *титану*. Титан - достаточно распространенный металл, отличается высокой устойчивостью к действию кислот; он легче стали, но тяжелее алюминия. Обработанный соответствующим образом, титан является самым прочным из металлов с примерно такой же удельной массой.

Цирконий похож по свойствам на титан, но он менее распространен и тяжелее титана.

Перспективы использования титана весьма велики, особенно в связи с созданием сверхзвуковых самолетов. Самолеты, летающие со скоростью, в несколько раз превышающей скорость звука, даже в верхних разреженных слоях атмосферы испытывают значительное сопротивление вследствие трения воздуха. Их наружная обшивка должна выдерживать высокие температуры, и в качестве материала для такой обшивки особенно подходит титан, так как по сравнению с другими металлами он сохраняет высокую прочность при повышенных температурах.

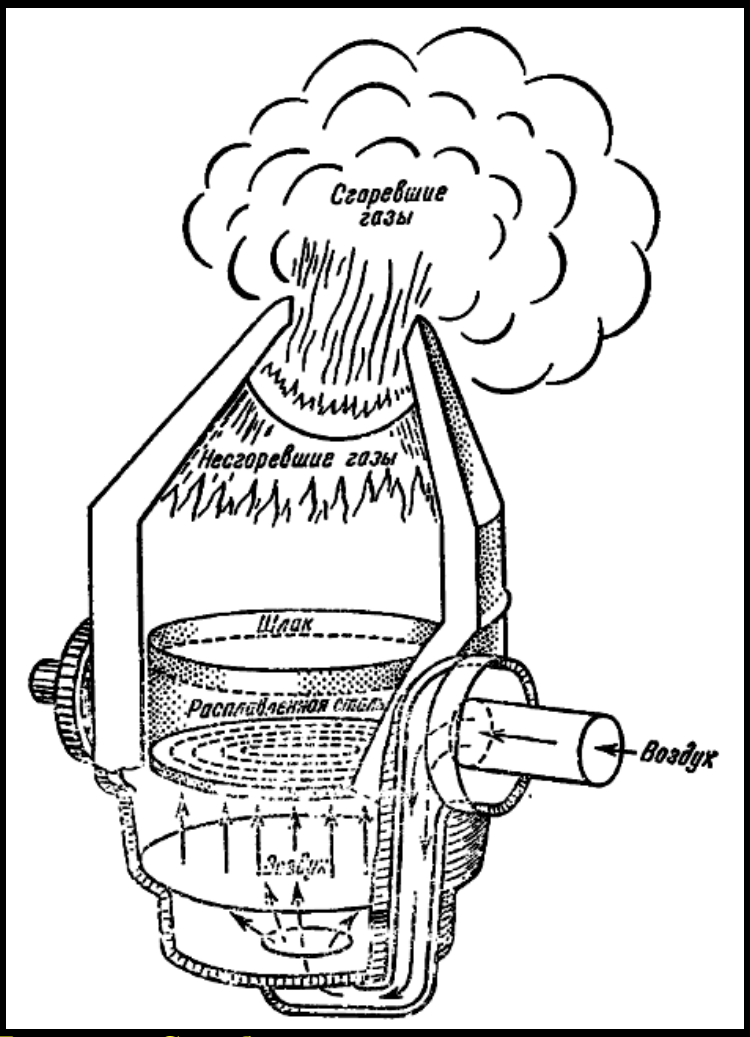


Схема конвертера Бессемера. С изобретением конвертера технология производства стали полностью изменилась.

Азот и фтор

Азот - основной компонент воздуха, на его долю приходится 78% всего объема. Большинство организмов используют его только в виде соединений, а содержащийся в воздухе молекулярный азот практически инертен и с трудом вступает в реакции.

Хотя воздух есть повсюду, в почве часто ощущается недостаток нитратов (наиболее распространенного типа соединений азота), который приходится восполнять, внося в почву органические или минеральные удобрения.

Соединения азота расходуются в огромных количествах: они используются в производстве минеральных удобрений, взрывчатых веществ и порохов, красителей и полупродуктов органического синтеза. Опасаясь нехватки природного сырья, химики начали изучать возможность использования азота воздуха. Этим вопросом занимался, в частности, немецкий химик Фриц Габер (1868-1934). Он выяснил, что азот вступает в

реакцию с водородом при высоком давлении и высокой температуре в присутствии катализатора (железа), и поставил себе целью найти способ получения аммиака из азота воздуха и водорода. Превратить аммиак в нитраты было несложно. К 1908 г. Габер решил эту задачу.

Почти сразу же после начала первой мировой войны британский флот блокировал Германию, в результате чего в эту страну перестал поступать нитрат из Чили (наилучшее природное сырье). Между тем он был необходим для ведения войны, и вот немецкий химик Карл Бош (1874-1940) начинает работать над реакцией Габера, пытаясь создать промышленный способ получения аммиака, и к середине войны в Германии уже было налажено промышленное производство соединений азота [1].

Совсем иначе обстояло дело с фтором. Этот элемент настолько активен, что существует только в виде соединений, поэтому попытки выделить его в свободном состоянии не приводили к успеху. И тем не менее еще со времен Лавуазье химики были уверены в существовании этого элемента. Так, Ньюлендс и Менделеев включили фтор в свои периодические таблицы, хотя к тому времени этот газ еще никто не получил. Конечно, при электролизе фтор отщепляется от содержащей его молекулы, однако в элементной форме он настолько активен, что сразу же вступает в реакцию и опять становится частью какого-то соединения. (Фтор - самый активный из всех химических элементов.)

В XIX в. проблемой получения фтора занимались многие химики, начиная с Гемфри Дэви. Успех выпал на долю французского химика Анри Муассана (1852-1907). Муассан решил, что поскольку платина относится к числу тех немногих веществ, на которые фтор не действует, то не остается ничего другого, как изготовить, несмотря на дороговизну, все оборудование из платины. Более того, чтобы понизить активность фтора, он охладил реакционную смесь до -50ºС. Поместив раствор фторида калия в плавиковой кислоте в специально изготовленный платиновый сосуд, Муассан пропустил через раствор электрический ток и достиг цели. Так в 1886 г. был наконец выделен бледно-желтый газ - фтор.

Однако шумную известность Муассану принесло не получение фтора, а совсем другая работа, которая, как выяснилось позднее, в сущности ни к чему не привела. Древесный уголь и алмаз являются разновидностями углерода; алмаз отличается от угля только более плотной упаковкой атомов. Следовательно, под действием высокого давления атомы в кристалле древесного угля могут перегруппироваться и образовать алмаз. И

Муассан попытался получить таким образом драгоценный камень. Он растворил древесный уголь в расплавленном железе и вылил полученную массу в воду, считая, что при резком охлаждении углерод будет кристаллизоваться в виде алмаза.

Примерно в 1893 г. Муассан получил несколько мельчайших кристалликов черного цвета, которые он счел алмазами, и кристаллик хорошего алмаза длиной более 0.5 мм.

Казалось бы, Муассан достиг успеха. Однако ни он сам, ни его последователи не смогли повторить этот опыт. Как мы теперь знаем, в таких условиях алмаз образоваться не мог; скорее всего Муассан стал жертвой мистификации: кто-то из его ассистентов подбросил алмазы в железо.

Американский изобретатель Эдвард Гудрич Ачесон (1856-1931) также пытался получить алмаз из более обычных форм углерода. Он не достиг цели, но, нагревая углерод в присутствии глины при высоких температурах, получил чрезвычайно твердый карбид кремния, названный им *карборундом*. Полученное вещество оказалось превосходным абразивным материалом.

Для получения алмазов необходимы сверхвысокие давления, которые не были доступны в XIX в. Высокие давления в сочетании с высокими температурами позволяют атомам более или менее легко менять свои положения. Под действием высоких давлений различные элементы и соединения принимают новые формы, в которых атомы и молекулы упакованы необычайно плотно. Например, лед становится значительно более плотным, чем вода, а температура его плавления превышает температуру кипения воды при обычных давлениях [2]. И в 1955 г. по методу Бриджмена были получены наконец первые синтетические алмазы.

На границе органической и неорганической химии

В XX в. начала приоткрываться завеса над обширной областью, прилегающей к границе органической и неорганической химии [3]. В 1899 г. английский химик Фредерик Стенли Киппинг (1863-1949) занялся изучением органических соединений, содержащих кремний - самый распространенный после кислорода элемент земной коры. Киппинг посвятил изучению кремния более сорока лет и синтезировал множество органических соединений, содержащих один или несколько атомов кремния. Как выяснилось, можно получать бесконечно длинные цепи, состоящие из чередующихся атомов кремния и кислорода.

Поскольку валентность кремния равна четырем, а в образовании связей с кислородом участвуют лишь две связи, две другие связи кремния в такой цепи остаются свободными, и к нему могут присоединяться различные органические группы. Во время второй мировой войны и особенно после окончания войны сильно возросло значение таких элементоорганических соединений, как *силиконы*, используемых в качестве смазок, гидравлических жидкостей, синтетических смол, водоотталкивающих средств и т.д.

Обычные органические соединения состоят из атомов углерода, к которым присоединены другие атомы. Как правило, «другие атомы» - это атомы водорода, поэтому об органических соединениях можно говорить как об углеводородах и их производных. Однако известно, что атом фтора почти столь же мал, как и атом водорода. В связи с этим резонно было предположить, что там, где подходит атом водорода, подойдет и атом фтора, т.е. наряду с семейством углеводородов существует семейство *фторуглеродов* и их производных.

Первые эксперименты с фторорганическими соединениями провел американский химик Томас Мидгли-младший (1889-1944). В 1930 г. он получил *фреон*, молекула которого состоит из атома углерода и присоединенных к нему двух атомов хлора и двух атомов фтора. Фреон легко сжижается, следовательно, его можно использовать в качестве холодильного агента вместо таких легко сжижаемых газов, как аммиак и диоксид серы. В отличие от этих газов фреон не имеет запаха, нетоксичен и не воспламеняется. В настоящее время фреон почти повсеместно применяется в домашних холодильниках и кондиционерах.

Во время второй мировой войны фтор и его соединения использовались в работах, связанных с ураном и атомной бомбой. В ходе работ потребовались такие смазочные вещества, которые выдерживали бы действие фтора. В качестве таковых были выбраны фторуглероды, поскольку они, так сказать, уже выдержали воздействие фтора.

Фтор образует очень прочные связи с углеродом, и фторуглеродные цепи более стабильны и инертны, чем углеводородные. Фторуглеродные полимеры представляют собой воскообразные, водоотталкивающие, устойчивые к действию растворителей вещества, обладающие электроизоляционными свойствами. В 60-х годах из фторуглеродной пластмассы *тефлона* начали изготавливать (покрывать изнутри) сковороды. На таких сковородах, например, можно жарить без масла и продукт не пригорает.

Некоторые неорганические комплексы образуются вообще без участия атомов углерода. В 1909 г. немецкий химик Альфред Шток (1876-1946) начал изучать гидриды бора - соединения бора и водорода и установил, что соединения этого ряда могут быть довольно сложными и до некоторой степени похожими на углеводороды.

После окончания второй мировой войны гидриды бора неожиданно нашли применение в качестве добавок к ракетным топливам для повышения силы тяги, движущей ракету в верхних слоях атмосферы и в космическом пространстве. Кроме того, началось интенсивное изучение гидридов бора, поскольку обычные формулы, подобные предложенным Кекуле, не позволяли объяснить их строение.

Тем не менее все перечисленные успехи, достигнутые в результате большой изобретательности и настойчивости ученых, оказались в стороне от наиболее важных направлений химии XX в.

Ученые, посвятившие себя теоретической химии, пытались «заглянуть» за оболочку атома. Чтобы узнать, что же они там нашли, нам придется в оставшихся главах книги вернуться к основной линии развития истории химии [4].

_____

[1] Биографии великих химиков. Пер. с нем. / Под ред. Г.В. Быкова, С.А. Погодина. - М.: Мир, 1981.

[2] При снятии давления такие вещества, как правило, возвращаются в обычное состояние. Алмаз составляет исключение.

[3] А. Азимов лишь очень кратко касается развития одной из важнейших и в познавательном, и практическом смысле областей химии - химии элементоорганических соединений. Не упоминает он и о работах Виктора Гриньяра (1871-1935), получившего в 1900 г. магний-галогенорганические соединения (реактивы Гриньяра). Вклад советских ученых П.П. Шорыгина, А.Е. Арбузова, А.Н. Несмеянова, К.А. Кочешкова, К.А. Андрианова в развитие элементоорганической химии особенно велик. Достаточно упомянуть о синтезе кремнийорганических соединений, проведенном К.А. Андриановым, уже в 30-х годах запатентовавшим свои открытия. Не упоминает А. Азимов и об открытии органических соединений переходных металлов. Вместе с тем синтез ферроцена, дибензилхрома был своеобразной химической сенсацией и стимулировал многочисленные теоретические и экспериментальные исследования. См.: Соловьев Ю.И., Трифонов Д.Н., Шамин А.Н. История химии. Развитие основных направлений современной химии. - М.: Просвещение, 1978, 352 с.

[4] По материалам этой главы см.: Развитие органической химии в СССР. (Серия «Советская наука и техника за 50 лет»). - М.: Наука, 1967, 575 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 12. Электроны

Катодные лучи

Когда Левкипп и его ученик Демокрит впервые ввели понятие «атом», они представляли себе его как конечную неделимую частицу вещества. Более двух тысячелетий спустя Дальтон поддержал эту точку зрения. Согласно такому определению, атом не должен иметь внутренней структуры. Ведь если какой-то атом можно разделить на более мелкие частицы, то истинными атомами будут именно эти частицы.

На протяжении всего XIX в. атом считался неделимым, лишенным каких-либо характерных особенностей и не имеющим внутренней структуры. Однако после проведения ряда экспериментов, которые по своей природе даже не были химическими, эта точка зрения была отвергнута. К ломке старых представлений привело изучение электрического тока.

Как известно, между положительно и отрицательно заряженными точками устанавливается *электрический потенциал* (электрическое напряжение). Под действием такого напряжения заряды перемещаются от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом. Таким образом возникает электрический ток, который стремится выравнять разность потенциалов между двумя точками электрического поля.

Через одни материалы электрический ток протекает легче, через другие труднее. Так, через металлы ток проходит легко даже при небольшом электрическом потенциале, и металлы относят к классу проводящих материалов - *проводников*. Чтобы через стекло, слюду или серу прошел ток даже небольшой силы, необходим огромный электрический потенциал; эти и подобные им материалы называют непроводящими материалами - *изоляторами*.

И все-таки приложив достаточный электрический потенциал, можно пропустить ток через любой материал - твердый, жидкий и газообразный. Первые исследователи электричества в своих еще не очень серьезно обоснованных экспериментах установили,

что некоторые жидкости, например растворы солей, проводят электрический ток сравнительно легко. Молния - электрический разряд, образующийся во время грозы, - мгновенно распространяется через толщу воздуха в несколько километров.

Экспериментаторам XIX в. представлялось весьма заманчивым попытаться пропустить ток через вакуум. Но чтобы результаты такого эксперимента были надежными, необходимо было получить достаточно глубокий вакуум. Попытки Фарадея пропустить электрический ток через вакуум окончились неудачей только потому, что ему не удалось получить достаточно глубокого вакуума.

В 1855 г. немецкий стеклодув Генрих Гейслер (1814-1879) изготовил стеклянные сосуды особой формы и вакуумировал их им же изобретенным способом. Его друг немецкий физик и математик Юлиус Плюккер (1801-1868) использовал эти *трубки Гейслера* для изучения электрических разрядов в вакууме и газах.

Плюккер впаял в трубки два электрода, создал между ними электрический потенциал и получил электрический ток. Под действием тока в трубках возникало свечение («эффект накаливания»), характер которого зависел от глубины вакуума. При достаточно глубоком вакууме свечение в трубке исчезало, и только вблизи анода было заметно зеленое свечение стекла трубки.

Приблизительно в 1875 г. английский физик Уильям Крукс (1832-1919) сконструировал трубки, в которых можно было получить более глубокий вакуум (*трубки Крукса*). Исследовать электрический ток, проходящий через вакуум, стало удобнее. Казалось совершенно очевидным, что электрический ток возникает на катоде и движется к аноду, где он ударяется в окружающее анод стекло и создает свечение. Чтобы доказать справедливость такого понимания явления, Крукс помещал в трубку кусок металла, при этом на стекле на противоположном от катода конце [1] появлялась тень. Однако в то время физики не знали, что представляет собой электрический ток. Они не могли вполне определенно сказать, что же все-таки движется от катода к аноду, правда им доподлинно было известно, что этот поток движется прямолинейно (поскольку тень от металла была четко очерчена). Не придя ни к какому выводу относительно природы этого явления, физики отнесли его к «излучению», и в 1876 г. немецкий физик Эуген Гольдштейн (1850-1930) назвал этот поток *катодными лучами*.Казалось естественным предположить, что катодные лучи представляют собой какую-то форму света, обладающую волновым характером. Волны, подобно свету, распространяются прямолинейно и, подобно свету, не

испытывают влияния сил тяготения. В то же время катодные лучи вполне могут представлять собой частицы, движущиеся с огромной скоростью. Поскольку масса этих частиц чрезвычайно мала или поскольку они движутся чрезвычайно быстро (или и по той, и по другой причине), они или вообще не испытывают действия силы тяжести, или же это действие не проявляется в сколько-нибудь заметной степени. В течение нескольких десятилетий ученые не могли прийти к единому мнению относительно природы катодных лучей. Причем немецкие физики решительно выступали за то, чтобы считать катодные лучи колебаниями, а английские физики столь же решительно настаивали на том, что катодные лучи - это частицы.

Решить этот спор можно было бы, попытавшись установить, отклоняются ли катодные лучи под действием магнитного поля.

Сам Плюккер и независимо от него Крукс показали, что такое отклонение существует. Оставалось решить еще один вопрос. Если катодные лучи представляют собой заряженные частицы, то электрическое поле также должно их отклонять. Однако доказать, что катодные лучи отклоняются в электрическом поле, удалось далеко не сразу. Только в 1897 г. английский физик Джозеф Джон Томсон (1856-1940), работая с трубками с очень глубоким вакуумом, сумел в конце концов показать, что катодные лучи отклоняются под действием электрического поля. Это было последним звеном в цепи доказательств, и теперь оставалось лишь согласиться с тем фактом, что катодные лучи представляют собой поток отрицательно заряженных частиц. Величина отклонения частицы в магнитном поле заданной напряженности определяется массой частицы и величиной ее электрического заряда. Томсону удалось измерить соотношение массы и заряда частицы, хотя измерить эти величины отдельно он не смог.

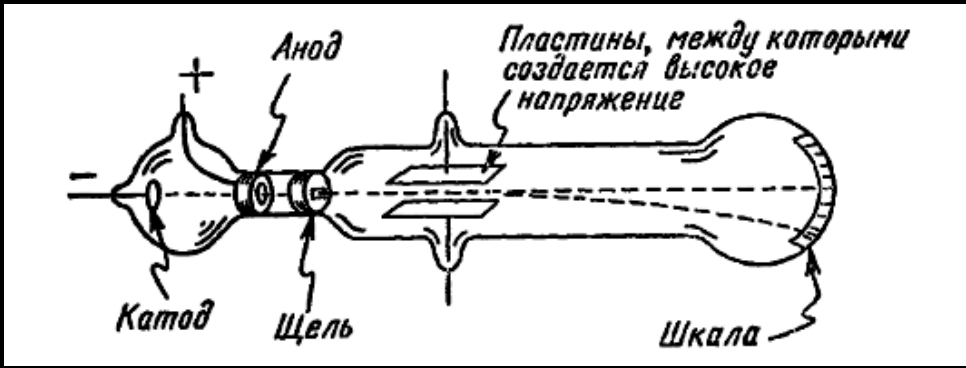
Как известно, наименьшей массой обладает атом водорода, и если предположить, что частица катодных лучей имеет такую же массу, то электрический заряд ее должен быть в сотни раз больше, чем наименьший известный заряд (заряд иона водорода). В то же время если предположить, что заряд частицы катодных лучей равен минимальному заряду, наблюдаемому у ионов, то в этом случае масса частицы должна быть во много раз меньше массы атома водорода. Поскольку Томсон определил только соотношение массы и заряда, то равновероятны были оба варианта.

Тем не менее имелись веские причины считать, что частица катодных лучей намного меньше любого атома. В 1911 г. американский физик Роберт Эндрюс Милликен

(1868-1953) измерил, вполне точно, минимальный электрический заряд, который может нести частица, и тем самым доказал справедливость такого предположения.

Если частица катодных лучей несет такой минимальный заряд, ее масса должна составлять лишь 1/1837 массы атома водорода. Таким образом была открыта первая из *субатомных частиц*.

Еще со времени открытия законов электролиза Фарадея бытовало представление, что электричество может переноситься частицами. В 1891 г. ирландский физик Джордж Джонстон Стоуни (1826-1911) даже предложил название основной единицы электричества (не вдаваясь в детали, частица это или не частица). Он предложил называть ее *электроном* [2]. Итак, в результате изучения катодных лучей был открыт «атом электричества», о котором ученые думали и гадали более полувека. Учитывая важность работы Дж.Дж. Томсона, его можно считать первооткрывателем электрона.



Используя трубку для получения катодных лучей, Томсон измерял отклонение потока электронов в электрическом поле известной напряженности.

Фотоэлектрический эффект

Оставалось установить, существует ли какая-либо связь между электроном и атомом. Итак, электрон - это частица электричества, атом - частица вещества; и тот и другой могут быть лишенными внутренней структуры конечными частицами, совершенно независимыми друг от друга. И тем не менее мало кто сомневался в том, что какая-то связь между атомом и электроном существует.

В 80-х годах XIX в. Аррениус разработал теорию ионной диссоциации. Объясняя поведение ионов, он исходил из того, что ионы - это электрически заряженные атомы или группы атомов. В то время большинству химиков такое объяснение показалось абсурдным, но впоследствии выяснилось, что оно имеет глубокий смысл.

Если электрон присоединится к атому хлора, то при этом получится атом хлора, несущий единичный отрицательный заряд, т.е. образуется *ион хлора* (*хлорид-ион*). Если к группе атомов, состоящей из атома серы и четырех атомов кислорода, присоединятся два электрона, то в результате получится *сульфат-ион*, несущий двойной отрицательный заряд, и т.д. Таким образом можно легко объяснить причины образования всех отрицательно заряженных ионов.

Но как образуются положительно заряженные ионы, например *ион натрия*? Ион натрия - это атом натрия, несущий единичный положительный заряд. Никакими данными о существовании положительно заряженной частицы, аналогичной электрону, исследователи того времени не располагали. Поэтому оставалось допустить, что положительный заряд может создаваться в результате ухода одного или двух электронов из атома. Иными словами, эти один или два электрона должны быть как бы частью самого атома!

Это допущение нарушало все привычные представления, и тем не менее оно было, как показал в 1888 г. немецкий физик Генрих Рудольф Герц (1857-1894), вполне вероятным.

В 1886-1887 гг. Герц, пропуская электрическую искру через воздушный зазор между двумя электродами (так называемый искровой промежуток), обнаружил, что при облучении катода ультрафиолетовым светом искра возникала легче. Это и другие подобные явления, наблюдаемые при освещении металлов светом, как было установлено впоследствии, обусловлены *фотоэлектрическим эффектом* [3].

В 1902 г. немецкий физик Филипп Эдуард Антон Ленард (1862-1947), работавший раньше ассистентом в лаборатории Герца, показал, что фотоэлектрический эффект вызывается эмиссией электронов из металла.

Фотоэлектрический эффект характерен для многих металлов, причем металлы испускают электроны под действием света даже в отсутствие электрического тока или электрического заряда в непосредственной близости от них. Этот факт дал повод предполагать, что атомы металлов (а возможно, и атомы вообще) содержат электроны.

Однако в обычном состоянии атомы не несут электрического заряда. Поэтому если атомы содержат отрицательно заряженные электроны, они должны содержать и положительно

заряженные частицы, чей положительный заряд компенсирует отрицательный заряд электронов. Ленард полагал, что атомы могут представлять собой скопление как отрицательно, так и положительно заряженных частиц, различающихся только зарядом. Такое предположение казалось совершенно невероятным - почему в таком случае атом никогда не испускает положительно заряженных частиц? И почему он всегда испускает электроны и только электроны?

Пытаясь решить этот вопрос, Дж.Дж. Томсон предположил, что атом представляет собой твердый шар из положительно заряженного вещества, в который, как изюминки в пироге, вкраплены отрицательно заряженные электроны. В обычном атоме отрицательный заряд электронов полностью нейтрализован положительным зарядом самого атома. В результате присоединения дополнительных электронов атом получает отрицательный заряд, а в результате потери нескольких первоначальных электронов - положительный. Однако это представление Томсона поддержки не получило. Хотя положительно заряженные частицы, адекватные электронам, в первые десятилетия XX в. оставались неизвестными, положительно заряженные частицы, правда другого вида, открыты были.

В 1886 г. Гольдштейн проводил эксперименты с решетчатым катодом в вакуумной трубке. Он нашел, что в то время, как катодные лучи распространяются только в одном направлении – к аноду, через отверстия в катоде проходят другие лучи, которые распространяются в обратном направлении.

Поскольку направление распространения этих лучей обратно направлению распространения отрицательно заряженных катодных лучей, то вполне возможно, что они состоят из положительно заряженных частиц. Гипотеза подтвердилась, когда удалось определить, как эти лучи отклоняются магнитным полем. В 1907 г. Дж.Дж. Томсон предложил называть их *положительно заряженными лучами*.

Эти лучи отличались от электронов не только зарядом. Все электроны имеют одну и ту же массу, равную 1/1837 массы водорода - самого легкого атома; частицы положительно заряженных лучей различались по массе в зависимости от того, следы каких газов содержались в вакуумной трубке, а массы частиц, положительно заряженных лучей были такими же, как и массы атомов. Масса самой легкой частицы равнялась массе атома водорода.

Английский физик (уроженец Новой Зеландии) Эрнест Резерфорд (1871-1937) решил,

наконец, признать, что единица положительного заряда принципиально отличается от электрона - единицы отрицательного заряда. В 1914 г. Резерфорд предложил принять в качестве основной единицы положительного заряда частицу положительно заряженных лучей с наименьшей массой, равной массе атома водорода. Когда, уже позднее, Резерфорд занялся изучением ядерных реакций, он сам неоднократно получал частицы, идентичные ядру водорода, что окончательно убедило его в правильности такой точки зрения. В 1920 г. Резерфорд предложил назвать эту основную положительно заряженную частицу *протоном*.

Радиоактивность

Существование положительно заряженных частиц выявили и исследования совершенно иного рода.

Немецкого физика Вильгельма Конрада Рентгена (1845-1923) заинтересовало, почему катодные лучи заставляют некоторые вещества светиться. Чтобы наблюдать это довольно слабое свечение, Рентген проводил опыты в затемненной комнате и закрывал вакуумную трубку тонким черным картоном. В 1895 г., работая с такой трубкой, он уловил вспышку света, источником которой была явно не трубка. Как выяснилось, светился экран, покрытый фотобумагой, который находился довольно далеко от трубки. Причем светился он только в том случае, если на него попадали катодные лучи.

Рентген пришел к выводу, что когда катодные лучи наталкиваются на анод, возникает какое-то излучение, которое проходит сквозь стекло трубки, картон и воздействует на материалы, находящиеся вне трубки. Рентген переносил фотобумагу в соседнюю комнату, но и там она продолжала светиться до тех пор, пока была включена установка катодных лучей, т.е. открытое им излучение проникало даже сквозь стены. Это всепроникающее излучение Рентген назвал *Х-лучами* [4]. (Со временем было установлено, что рентгеновские лучи по своей природе аналогичны свету, но обладают гораздо большей энергией.)

Физики сразу же заинтересовались этим открытием. Среди тех, кто первым начал изучать рентгеновские лучи, был и французский физик Антуан Анри Беккерель (1852-1908). Он занимался *флуоресценцией* - свечением, наблюдаемым у ряда веществ после облучения их солнечным светом. Его интересовало, не содержит ли флуоресцентное свечение рентгеновские лучи.

В 1896 г. Беккерель завернул фотопленку в черную бумагу и оставил ее на солнечном свету, поместив на нее кристалл соединения урана, считавшегося флуоресцентным. Обычный свет не может пройти сквозь черную бумагу и воздействовать на фотопленку, в то время как рентгеновские лучи пройдут сквозь бумагу, и пленка при этом почернеет. Конечно, Беккерель обнаружил, что пленка почернела. Однако вскоре выяснилось, что кристалл вызывает почернение пленки, даже если его не облучают солнечным светом, т.е. даже в таких условиях, когда флуоресценция невозможна. Короче говоря, кристалл постоянно испускает проникающее излучение!

Польский ученый (работавшая во Франции) Мария Кюри-Склодовская (1867-1934), первая женщина-физик, назвала это явление *радиоактивностью*. Она установила, что радиоактивно не соединение урана в целом, а только атом урана. Причем уран сохраняет это свойство вне зависимости от того, в каком состоянии он находится - в металлической элементной форме или в виде соединения. В 1898 г. Кюри-Склодовская открыла, что тяжелый металл торий также радиоактивен. Эти исследования Мария Кюри-Склодовская проводила вместе с мужем - французским физиком Пьером Кюри (1859-1906).

Довольно скоро было установлено, что радиоактивное излучение урана и тория имеет сложную природу. Под действием магнитного поля лучи отклонялись таким образом, что можно было различить три типа излучения. Резерфорд назвал эти три составляющие радиации первыми тремя буквами греческого алфавита: *альфа-лучи, бета-лучи и гамма-лучи*.

Поскольку гамма-лучи не отклонялись под действием магнитного поля, то было решено, что они подобны свету, а точнее - рентгеновским лучам, но обладают еще большей энергией. Бета-лучи отклонялись в магнитном поле, причем в том же направлении и на ту же величину, что и катодные лучи. Беккерель решил, что эти лучи состоят из быстрых электронов. Поэтому отдельные электроны, испускаемые радиоактивными веществами, получили название *бета-частиц*. Осталось еще определить природу альфа-лучей.

Эксперименты с альфа-лучами в магнитных полях показали, что отклонение этих лучей противоположно отклонению бета-лучей. Следовательно, альфа-лучи заряжены положительно. Далее, поскольку альфа-лучи отклоняются очень слабо, они должны обладать очень большой массой. И, как выяснилось впоследствии, масса альфа-частиц в четыре раза больше массы частиц, названных Резерфордом *протонами*.

Такое соотношение масс, казалось бы, говорило о том, что альфа-лучи - это частицы, состоящие из четырех протонов. Однако в этом случае заряд каждой такой частицы должен быть равен заряду четырех протонов, а опыты показали, что он равен заряду только двух протонов. Исходя из этого, можно было предположить, что наряду с четырьмя протонами альфа-частица содержит также два электрона. Эти электроны нейтрализуют два из четырех положительных зарядов, но массы частицы практически не увеличивают. Этой точки зрения исследователи придерживались в течение примерно тридцати лет. Полагали также, что и другие положительно заряженные частицы с большой массой представляют собой аналогичные комбинации протонов и электронов. Однако при таком подходе ряд вопросов оставался нерешенным. Существовали сомнения относительно того, может ли альфа-частица состоять из такого множества меньших частиц.

Только в 1932 г. английский физик Джеймс Чедвик (1891-1974), проводя опыты, инициатором которых был Резерфорд, открыл частицу с такой же массой, как и у протона, но в отличие от протона не несущей какого-либо электрического заряда. Поскольку эта частица электрически нейтральна, ее назвали *нейтроном* [5]. Немецкий физик Вернер Карл Гейзенберг (1901-1976) сразу же предположил, что положительно заряженные частицы большой массы представляют собой не протонно-электронные комбинации, а протонно-нейтронные. Согласно этому предположению, альфа-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов; суммарный положительный заряд такой частицы равен двум, а суммарная масса равна четырем массам одного протона.

Физики нашли, что альфа-частица, состоящая из четырех (а не из шести) субатомных частиц, лучше соответствует теоретическим выкладкам, и идея протонно-нейтронного строения альфа-частиц утвердилась [6].

---

[1] Начиная с Бенджамина Франклина, все физики, исследовавшие электричество в XVIII и XIX вв., полагали, что ток течет от так называемого положительного полюса к отрицательному. Крукс показал ошибочность этого предположения. На самом деле ток течет от отрицательного полюса к положительному.

[2] См.: Быков Г.В. К истории открытия электрона. - Вопросы истории естествознания и техники, 1969, вып. 3 (28), с. 71-72.

[3] Или просто фотоэффектом. (Другие названия - внешний фотоэффект, фотоэлектронная эмиссия.) Систематическое исследование фотоэффекта в 1888 г. начал русский физик Александр Григорьевич Столетов (1839-1896).

[4] В нашей стране применяется термин "рентгеновские лучи".

[5] Еще в 1920 г. Чедвик экспериментально доказал равенство заряда ядра порядковому номеру элемента.

[6] По материалам этой главы см.: Льоцци Марио. История физики. Пер. с итал. - М.: Мир, 1970, 464 с.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 13. Атомное ядро

Порядковый номер

Радиоактивное излучение урана и тория весьма слабо, его трудно уловить. Изучая радиоактивность минералов урана, Кюри обнаружила, что ряд минералов с низким содержанием урана, например смоляная обманка, обладают большей интенсивностью излучения, чем чистый уран. Кюри пришла к выводу, что в этом минерале кроме урана содержится еще какой-то радиоактивный элемент. Поскольку она знала, что все компоненты, содержащиеся в смоляной обманке в заметных количествах, нерадиоактивны, то неизвестный элемент, содержание которого заведомо было весьма низким, должен был быть чрезвычайно радиоактивным [1]. В течение 1898 г. Мария и Пьер Кюри переработали большое количество смоляной обманки, пытаясь обнаружить новый элемент. И в июле того же года этот новый элемент был найден. В честь родины Марии Кюри его назвали *полонием*. В декабре был открыт еще один элемент - *радий*. Радиоактивность радия оказалась чрезвычайно высокой: интенсивность его излучения в 300 000 раз больше, чем у урана. Содержание радия в руде весьма мало. Так, из одной тонны руды супругам Кюри удалось получить только около 0.1 г радия.

Другие сильно радиоактивные элементы были получены лишь в следовых количествах. В 1899 г. французский химик Андре Луи Дебьерн (1874-1949) открыл *актиний*. В 1900 г. немецкий физик Фридрих Эрнст Дорн (1848-1916) открыл радиоактивный газ, который получил название *радона*. Радон - один из инертных газов, располагающийся в периодической таблице ниже ксенона. Наконец, в 1917 г. немецкие химики Отто Ган (1879-1968) и Лизе Мейтнер (1878-1976) открыли *протактиний*.

Экспериментаторы начали применять эти редкие радиоактивные элементы с мощным излучением в «радиационных пушках». Свинец поглощает излучение, и если кусочек вещества, содержащего один из радиоактивных элементов, поместить в освинцованный контейнер с небольшим отверстием, то из контейнера выйдет тонкий пучок радиоактивных лучей, который можно направить на выбранную экспериментатором мишень.

Наиболее эффективно «радиационные пушки» использовал Резерфорд. Начиная с 1906 г. он бомбардировал быстрыми альфа-частицами тонкие листочки металла, например золота. Большинство альфа-частиц проходили сквозь лист металла, не испытывая при этом никакого воздействия и не отклоняясь. Эти частицы регистрировались на флуоресцентном экране, помещенном позади листа металла. Однако некоторые частицы рассеивались, причем под большими по отношению к плоскости металла углами.

Толщина золотой фольги, служившей мишенью, соответствовала двум тысячам атомов, и тем не менее большинство альфа-частиц беспрепятственно проходят через нее, следовательно, можно было предположить, что атом не является сплошным. В то же время некоторые альфа-частицы, сталкиваясь с фольгой, резко отклоняются, следовательно где-то в атоме должна быть положительно заряженная область, в которой сосредоточена практически вся масса атома.

Развивая теорию строения *атома*, Резерфорд пришел к выводу, что в центре атома имеется очень маленькое ядро, которое заряжено положительно и содержит все протоны (и все нейтроны, как позднее выяснилось). *Атомное ядро* должно быть очень небольшим (поскольку лишь очень малая часть альфа-частиц отклоняется, сталкиваясь с мишенью), но в этом ядре должна быть сосредоточена практически вся масса атома.

Во внешних областях атома находятся отрицательно заряженные электроны, масса которых слишком мала, чтобы они могли мешать прохождению альфа-частиц. Хотя массы протона и альфа-частицы сравнимы с массой атома, и протон, и альфа-частицы - это голые атомные ядра. Они занимают такое маленькое пространство по сравнению с атомами, что, несмотря на большую массу, их также можно считать субатомными частицами.

С открытием ядра атома вновь встал вопрос о неделимости атома. Ядро - сердце атома, оно окружено и защищено облаком электронов, и никакие химические превращения его не затрагивают. Именно эта неизменность ядра была причиной того, что все полученные до 90-х годов XIX в. экспериментальные данные говорили о неделимости атома.

Однако изменения одного типа атом испытывает и при обычных химических реакциях: с «поверхности» атома могут удалиться несколько электронов или же на этой

«поверхности» могут разместиться несколько дополнительных электронов, хотя электронное облако как таковое может при этом сохраниться. Это открытие позволило окончательно решить проблему ионов, ставившую в тупик три поколения химиков.

Еще со времен Дальтона было известно, что разные атомы отличаются друг от друга массой, но чем обусловлено это различие? Как объяснить это различие, исходя из модели атома, предложенной Резерфордом? Ответить на этот вопрос помогло изучение рентгеновских лучей. Немецкий физик Макс Теодор Феликс Лауэ (1879-1960) в 1909 г. начал бомбардировать кристаллы рентгеновскими лучами. Благодаря этим экспериментам, признанными классическими, были установлены два существенных факта. Кристаллы состоят из атомов, образующих кристаллическую решетку, которая рассеивает рентгеновские лучи строго определенным образом. Теория рассеивания (или дифракции) рентгеновских лучей позволила связать *длину волны* рентгеновского излучения с параметрами элементарной ячейки кристалла.

Английский физик Чарльз Гловер Баркла (1877-1944) сделал следующий важный шаг. Он установил, что при рассеивании рентгеновских лучей различными элементами образуются пучки рентгеновских лучей, которые проникают в вещество на характеристические величины. Каждый элемент создает особый набор рентгеновских лучей. В трубке Крукса источником таких рентгеновских лучей становился под действием пучка катодных лучей антикатод (который изготавливали из различных металлов). Другой английский физик, Генри Гвин Джефрис Мозли (1887-1915), используя в качестве антикатода различные элементы, в 1913 г. установил, что чем больше атомная масса элемента, тем меньше длина волны образующихся рентгеновских лучей. Эта обратная зависимость, доказывал Мозли, связана с величиной положительного заряда ядра атома. Чем больше заряд, тем короче длина волны рентгеновских лучей.

Исходя из длины волны, можно вычислить заряд ядра атома любого элемента. Таким образом в итоге удалось показать, что заряд ядра водорода равен +1, гелия +2, лития +3 и так далее вплоть до урана [2], заряд ядра которого равен +92.

Величина заряда ядра получила название *порядкового номера элемента*, или *атомного номера*. Сразу же стало понятно, что, располагая элементы в порядке увеличения атомной массы, Менделеев по сути дела расположил элементы в порядке возрастания их атомных номеров. О тех двух случаях, когда он поместил атомы с большей массой впереди атомов с меньшей массой, поскольку эти атомы с меньшей массой тем не менее

имеют больший порядковый номер, мы будем говорить особо.

На этом этапе, наконец, стало возможным заменить определение элемента, данное Бойлем. Согласно Бойлю, элемент - это вещество, которое нельзя разложить на более простые вещества, новое определение элемента звучит так: элемент - это совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра.

Впервые также стало возможным точно предсказать, сколько элементов еще осталось открыть. В 1913 г. все элементы с порядковыми номерами от 1 до 92 были уже открыты, кроме элементов с порядковыми номерами 43, 61, 72, 75, 85, 87 и 91. В 1917 г. был открыт *протактиний* (порядковый номер 91), в 1923 г. - *гафний* (порядковый номер 72), а в 1925 г. - *рений*(порядковый номер 75). В результате в периодической таблице оставались только четыре незаполненные клетки, соответствующие элементам с порядковыми номерами 43, 61, 85 и 87. Оставалось открыть только четыре элемента, но сделать это не удалось еще и в 30-е годы.

Поскольку протон - единственная положительно заряженная частица, обнаруженная в ядре, то порядковый номер элемента равен числу протонов ядра. В ядре алюминия, порядковый номер которого 13, должно содержаться 13 протонов, но так как его атомная масса равна 27, то в его ядре, как было установлено позднее, должно содержаться еще 14 нейтронов. Нейтроны изменяют массу ядра, но не влияют на его заряд. В ядре атома натрия, порядковый номер которого 11, атомная масса 23, должно содержаться 11 протонов и 12 нейтронов. (И протоны, и нейтроны находятся в ядре, поэтому их называют *нуклонами* [3].)

В нормальном состоянии атом электрически нейтрален. Это означает, что каждому протону в ядре соответствует электрон, расположенный на периферии атома. Следовательно, число электронов в нейтральном атоме равно порядковому номеру. Так, в атоме водорода всего 1 электрон, в атоме натрия их 11, в атоме урана 92 и т.д. [4]

Электронные оболочки

Когда два атома сталкиваются и вступают в реакцию, они или соединяются вместе, обобществляя свои электроны, или же вновь расходятся после перераспределения электронов. Именно это обобществление или перераспределение электронов и вызывает изменение свойств веществ, наблюдаемое при проведении химических реакций.

Кропотливое и тщательное изучение рентгеновских лучей показало, что и обобществление, и перераспределение электронов подчиняется какому-то определенному порядку, и в результате была выдвинута следующая гипотеза. Окружающие ядро атома электроны подразделяются на определенные группы и образуют так называемые *электронные оболочки*. Ближайшая к ядру атома оболочка получила название К-оболочка, а последующие оболочки были названы соответственно L-оболочка, М-оболочка, N-оболочка и т.д. Согласно этой гипотезе, на ближайшей к ядру оболочке могут располагаться только два электрона, на следующей L-оболочке - восемь, на М-оболочке - восемнадцать и т.д., т.е. чем дальше оболочка удалена от ядра, тем больше электронов на ней может располагаться. Например, три электрона атома лития, одиннадцать электронов атома натрия и девятнадцать электронов атома калия распределяются по электронным оболочкам в следующем порядке: Li 2, 1; Na 2, 8, 1; K 2, 8, 8, 1.

У каждого атома щелочных металлов электроны распределяются таким образом, что внешнюю оболочку занимает только один электрон. Поскольку при столкновении атомов в контакт вступают именно внешние электронные оболочки, то следует ожидать, что число электронов на внешней оболочке и определяет химическую активность элемента. Элементы с аналогичными внешними электронными оболочками имеют сходные свойства, как, например, вышеупомянутые щелочные металлы.

Рассуждая таким образом, можно сказать, что щелочноземельные элементы (магний, кальций, стронций и барий) похожи друг на друга также по этой причине: у каждого из них на внешней оболочке по два электрона. На внешних оболочках атомов галогенов (фтора, хлора, брома и йода) по семь электронов, а на внешних оболочках инертных газов (неона, аргона, криптона и ксенона) - по восемь.

Составляя периодическую таблицу, Менделеев, разумеется, сам того не зная, расположил элементы в соответствии со строением электронных оболочек их атомов.

В более тяжелых атомах, в которых число электронов все растет и растет, увеличивается число электронов на внутренних оболочках, но на внешней оболочке число электронов остается постоянным. Так, например, порядковые номера редкоземельных элементов лежат в пределах от 57 до 71 включительно. И хотя по мере продвижения по периодической таблице мы наблюдаем увеличение числа электронов на внешней оболочке, все редкоземельные элементы имеют по три электрона на внешней оболочке.

Это тождество внешних оболочек объясняет, почему элементы этой группы так неожиданно оказались похожи друг на друга по свойствам.

Когда Менделеев составлял периодическую таблицу, он исходил из валентности элементов, поскольку о распределении в них электронов в то время ему еще ничего не было известно. Теперь вполне разумно было предположить, что валентность элемента определяется его электронной структурой.

Немецкий химик Рихард Абегг (1869-1910) в 1904 г. указал, что электронная структура инертных газов должна быть особенно устойчивой. Атомы инертных газов не проявляют тенденции к уменьшению или увеличению числа электронов на внешних электронных оболочках и поэтому не участвуют в химических реакциях. Можно было сделать вывод, что электронные оболочки инертных газов наиболее устойчивы, а другие атомы могут отдавать или принимать электроны, пока их электронная структура не станет такой же, как у ближайшего инертного газа.

Одиннадцать электронов натрия располагаются в порядке 2, 8, 1, а семнадцать электронов хлора - в порядке 2, 8, 7. Если натрий отдаст, а хлор примет один электрон, то первый приобретет электронную структуру неона (2, 8), а второй - электронную структуру аргона (2, 8, 8). Атом натрия, отдав отрицательно заряженный электрон, превращается в положительно заряженный ион натрия. Атом хлора, получив электрон, превращается в отрицательно заряженный ион хлора. Противоположно заряженные ионы под действием электрического притяжения стремятся соединиться. Именно это и предполагал Берцелиус столетие назад.

Приведенные рассуждения объясняют, почему валентность натрия должна быть равна 1. Натрий не может отдать больше одного электрона без нарушения устойчивой электронной структуры 2, 8. Атом хлора по той же причине не может принять больше одного электрона. В то же время кальций (электронная структура 2, 8, 8, 2) стремится отдать два электрона, а кислород (электронная структура 2, 6) стремится принять два электрона. У обоих этих элементов валентность равна 2.

Между прочим, в результате такого перехода электронов и происходит перенос заряда, и поэтому-то химические реакции могут служить источником электрического тока, как это показал Вольта более столетия назад.

В свете новых представлений о строении атома эквивалентная масса равна атомной массе элемента, деленной на его валентность, или, иными словами, деленном на число отдаваемых или принимаемых электронов.

Однако Абегг рассматривал только полный переход электронов от одного атома к другому, приводящий к образованию разноименно заряженных атомов, которые затем удерживаются вместе под действием электростатического притяжения, другими словами, Абегг рассматривал электровалентность [5]. Два американских химика Джильберт Ньютон Льюис (1875-1946) и Ирвинг Ленгмюр (1881-1957) в период после 1916 г. независимо друг от друга расширили это понятие. Они, в частности, объяснили строение молекулы хлора. В молекуле хлора два атома хлора прочно связаны друг с другом. Никаких причин для перехода электрона от одного атома к другому, несомненно, не существует, и атомы хлора не могут удерживаться вместе под действием обычного электростатического притяжения. Теории межатомного притяжения Берцелиуса и Абегга не объясняют, как образуется такая молекула.

Льюис и Ленгмюр предположили, что в данном случае может происходить обобществление электронов: каждый атом «представляет в совместное пользование по одному электрону». Эти электроны остаются на внешних электронных оболочках обоих атомов. Следовательно, распределение электронов в молекуле хлора можно изобразить следующим образом: 2, 8, 6_1^1, 6, 8, 2 ($_1^1$ - пара совместно используемых электронов, входящих в электронные оболочки каждого из атомов) В результате атом хлора, входящий в молекулу хлора, характеризуется более стабильным распределением электронов (2, 8, 8), чем у отдельного атома хлора (2, 8, 7). Именно по этой причине молекула хлора намного менее реакционноспособна, чем отдельные атомы хлора, которые быстро объединяются в двухатомную молекулу.

Для того чтобы обобществленные электроны оставались на внешних электронных оболочках атомов, эти атомы должны оставаться в контакте друг с другом. Чтобы оторвать один такой атом от другого, необходима значительная энергия. Каждый атом, который образует химическое соединение в результате обобществления пары электронов, обладает валентностью 1. Этот тип валентности получил наименование *ковалентность*.

Теория Льюиса - Ленгмюра позволяет объяснить, как образуются связи между атомами углерода или между атомами углерода и атомами водорода в органических соединениях.

Большинство органических молекул можно легко представить *электронными формулами*, в которых прежние штрихи формул Кекуле - это обобществленные пары электронов.

Действительно, английскому химику Нэвилу Винсенту Седжвику (1873-1955) в 20-х годах XX в. удалось распространить понятие ковалентности на неорганические соединения. В частности, он использовал его для координационных соединений Вернера, к которым было трудно применить обычные представления Кекуле.

Все подобные химические изменения затрагивают только электроны; протоны центрального ядра во всех случаях (кроме одного) надежно защищены. Исключение составляет лишь водород, ядро которого состоит из одного протона. Если атом водорода ионизуется в результате удаления единственного его электрона, то протон остается незащищенным.

В 1923 г. датский химик Иоганнес Николаус Бренстед (1879-1947) предложил новое определение кислот и оснований. Кислота, по определению Бренстеда, - это соединение, стремящееся отдать протон (или ион водорода), тогда как основание - это соединение, стремящееся присоединить протон. Эта новая точка зрения не только обобщила известные факты, удовлетворительно трактовавшиеся на основе старых представлений, но и позволила значительно расширить понятие кислот и оснований и использовать его в новых областях.

Физическая органическая химия

Начиная со времен Лавуазье химики могли предсказывать, в каком направлении пойдут те или иные быстрые ионные реакции относительно небольших молекул, и могли модифицировать эти реакции с целью их практического использования. Изучать сложные молекулы было гораздо труднее. Медленные реакции органических соединений также гораздо труднее поддавались анализу. Часто реакции могли идти несколькими путями, и направить реакцию по нужному пути химику позволяли его мастерство экспериментатора и интуиция, а не глубокое понимание процесса.

С появлением электронной модели атома химики-органики смогли по-новому взглянуть на область своих исследований. В конце 20-х годов XX в. английский химик Кристофер Ингольд (1893-1970) и ряд других химиков попытались подойти к органическим реакциям с позиций теории строения атома, объясняя взаимодействие молекул переходом

электронов. В органической химии начали интенсивно использоваться методы физической химии. Важной дисциплиной стала *физическая органическая химия*.

Однако попытки истолковать органические реакции только как результат перемещения электронов к особому успеху не привели.

В течение первой четверти XX в., с момента открытия электрона, считалось доказанным, что электрон представляет собой очень маленький жесткий шарик. Однако в 1923 г. французский физик Луи Виктор де Бройль (род. в 1892 г.) представил теоретическое обоснование того, что электроны (а также и все другие частицы) обладают волновыми свойствами. К концу 20-х годов XX в. эта гипотеза была подтверждена экспериментально.

Полинг (первым предположивший, что молекулы белков и нуклеиновых кислот имеют форму спирали) в начале 30-х годов разработал методы, позволившие при рассмотрении органических реакций учитывать волновую природу электронов.

Он предположил, что обобществление пары электронов (по Льюису и Ленгмюру) можно трактовать как взаимодействие волн или перекрывание электронных облаков. Химической связи, изображаемой в структурной теории Кекуле чертой, в новых представлениях соответствует область максимального перекрывания электронных облаков. При этом оказалось, что перекрывание электронных облаков иногда происходит не только в единственном направлении, изображаемом валентной связью в структурной формуле. Иначе говоря, истинную структуру молекулы нельзя представить даже приближенно никакой структурной формулой в отдельности. Ее можно, однако, рассматривать как промежуточную между несколькими гипотетическими структурами, как «резонансный гибрид» этих структур. Важно отметить, что энергия такой реальной молекулы ниже, чем можно было бы ожидать на основании любой отдельной резонансной «классической» структуры. Про такие молекулы говорят, что они «стабилизированы резонансом», хотя резонанс в данном случае, конечно, не реальное физическое явление, а удобная теоретическая концепция для объяснения устойчивости и свойств некоторых молекул.

Теория резонанса [6] оказалась особенно полезной для понимания строения бензола, еще со времен Кекуле приводившего химиков в замешательство. Формулу бензола обычно изображали в виде шестиугольника с чередующимися одинарными и двойными связями. Однако бензол почти полностью лишен свойств, характерных для соединений с

двойными связями [7].

Но для бензола можно написать вторую, совершенно равноценную формулу Кекуле, в которой простые и двойные связи поменяются местами по сравнению с первой формулой. Реальная молекула бензола описывается как резонансный гибрид двух структур Кекуле; электроны, ответственные за образование двойных связей, делокализованы, «размазаны» по кольцу, так что все связи между атомами углерода в бензоле равноценны и являются промежуточными между классическими одинарными и двойными связями. Именно в этом состоит причина повышенной стабильности и особенностей химического поведения бензола.

Кроме строения бензола представления о волновых свойствах электронов помогли объяснить и другие вопросы. Поскольку четыре электрона, находящиеся на внешней оболочке углеродного атома, энергетически не вполне эквивалентны, можно было бы допустить, что и связи, образующиеся между углеродным и соседними с ним атомами, несколько различаются в зависимости от того, какие из электронов участвуют в образовании той или иной связи.

Однако оказалось, что четыре электрона, подобно волнам, взаимодействуют друг с другом и образуют четыре «средние» связи, которые полностью эквивалентны и направлены к вершинам тетраэдра, как в тетраэдрическом атоме Вант-Гоффа - Ле Беля.

Одновременно резонанс помог объяснить строение группы необычных соединений, с которыми химики впервые столкнулись в начале XX в. В 1900 г. американский химик Мозес Гомберг (1866-1947) пытался получить гексафенилэтан - соединение, в молекуле которого два атома углерода соединены с шестью бензольными кольцами (по три на каждый атом углерода) [8].

Вместо этого соединения Гомберг получил окрашенный раствор какого-то весьма реакционноспособного соединения. По ряду причин Гомберг считал, что он получил *трифенилметил* - «полумолекулу», состоящую из углеродного атома и трех бензольных колец, в которой четвертая связь атома углерода ненасыщенна.

Это соединение напоминало один из тех радикалов, представление о которых было введено в XIX в. для объяснения строения органических соединений. Однако, в отличие от радикалов старой теории, обнаруженная Гомбергом молекула существовала в

изолированном виде, а не как фрагмент другого соединения, поэтому она была названа *свободным радикалом*.

С развитием электронных представлений о химической связи стало ясно, что в свободных радикалах, например в трифенилметиле, ненасыщенной связи (в терминах теории Кекуле) в рамках новых представлений соответствует неспаренный электрон. Обычно такие молекулы с неспаренным электроном исключительно реакционноспособны и быстро превращаются в другие вещества.

Однако если молекула плоская и симметричная (как молекула трифенилметила), то неспаренный электрон может «размазаться» по всей молекуле, что приведет к стабилизации радикала.

Когда к изучению органических реакций подошли с позиций теории электронного строения, стало очевидно, что реакции часто включают стадию образования свободных радикалов. Такие свободные радикалы, как правило, не стабилизированные за счет резонанса существуют только непродолжительное время и образуются всегда с трудом. Именно из-за сложности образования промежуточных свободных радикалов большинство органических реакций протекают так медленно.

Во второй четверти XX в. химики-органики стали все глубже проникать в суть органических реакций, и изучив механизм реакций, постигнув само существо процесса, смогли синтезировать такие молекулы, сложность которых поражала химиков более ранних поколений.

Однако представления теории резонанса применимы не только в органической химии. Основываясь на старых представлениях, нельзя, в частности, четко объяснить строение молекул бороводородов. У атома бора слишком мало валентных электронов, чтобы образовалось требуемое число связей. Если же принять, что электроны соответствующим образом «размазаны», то можно предложить приемлемую структуру молекул.

Хотя с момента открытия инертных газов считалось, что они ни в какие реакции не вступают, в 1932 г. Полинг высказал предположение, что атомы этих газов должны образовывать связи.

Первоначально это предположение Полинга прошло незамеченным, но в 1962 г. в результате реакции инертного газа ксенона с фтором был получен *фторид ксенона*. Вскоре вслед за ним был получен ряд других соединений ксенона с фтором и кислородом, а также соединения радона и криптона [9].

Период полураспада

Изучение строения атома привело к новому пониманию проблемы, но одновременно перед учеными встал ряд новых вопросов.

В 1900 г. Крукс обнаружил, что свежеприготовленные соединения чистого урана обладают только очень незначительной радиоактивностью и что с течением времени радиоактивность этих соединений усиливается. К 1902 г. Резерфорд и его сотрудник английский химик Фредерик Содди (1877-1956) [10] высказали предположение, что с испусканием альфа-частицы природа атома урана меняется и что образовавшийся новый атом дает более сильное излучение, чем сам уран (таким образом, здесь учитывалось наблюдение Крукса). Этот второй атом в свою очередь также расщепляется, образуя еще один атом. Действительно, атом урана порождает целую серию радиоактивных элементов - *радиоактивный ряд*, включающий радий и полоний и заканчивающийся свинцом, который не является радиоактивным. Именно по этой причине радий, полоний и другие редкие радиоактивные элементы можно найти в урановых минералах. Второй радиоактивный ряд также начинается с урана, тогда как третий радиоактивный ряд начинается с тория.

Уместно спросить, почему радиоактивные элементы, постоянно распадаясь, все же продолжают существовать? В 1904 г. этот вопрос разрешил Резерфорд. Изучая скорость радиоактивного распада, он показал, что после определенного периода, различного для разных элементов, распадается половина данного количества того или иного радиоактивного элемента. Этот период, характерный для каждого отдельного типа радиоактивного вещества, Резерфорд назвал *периодом полураспада*.

Период полураспада радия составляет, например, немногим менее 1600 лет. На протяжении геологических эпох любое количество радия в земной коре, конечно же, давно бы исчезло, если бы оно постоянно не пополнялось в результате распада урана. То же самое можно сказать и о других продуктах распада урана, в том числе и о таких, период полураспада которых измеряется долями секунды.

Период полураспада самого урана составляет 4 500 000 000 лет. Это громадный период времени, и за всю историю Земли распасться могла лишь часть первоначальных запасов урана. Торий распадается еще медленнее: его период полураспада составляет 14 000 000 000 лет.

Такие огромные промежутки времени можно определить только путем подсчета числа альфа-частиц, испускаемых данной массой урана (или тория). Резерфорд подсчитывал альфа-частицы, регистрируя небольшие вспышки, возникающие при соударении альфа-частиц с экраном из сульфида цинка (т.е. при помощи так называемого *сцинтилляционного счетчика*).

Появление каждой новой альфа-частицы означало, что распался еще один атом урана, так что Резерфорд мог определить, сколько атомов распадается в секунду. Исходя из используемой им массы урана, Резерфорд определил общее число атомов урана. Располагая такими данными, было уже нетрудно рассчитать время, необходимое для распада половины имеющегося количества урана. Как выяснилось, речь идет о миллиардах лет.

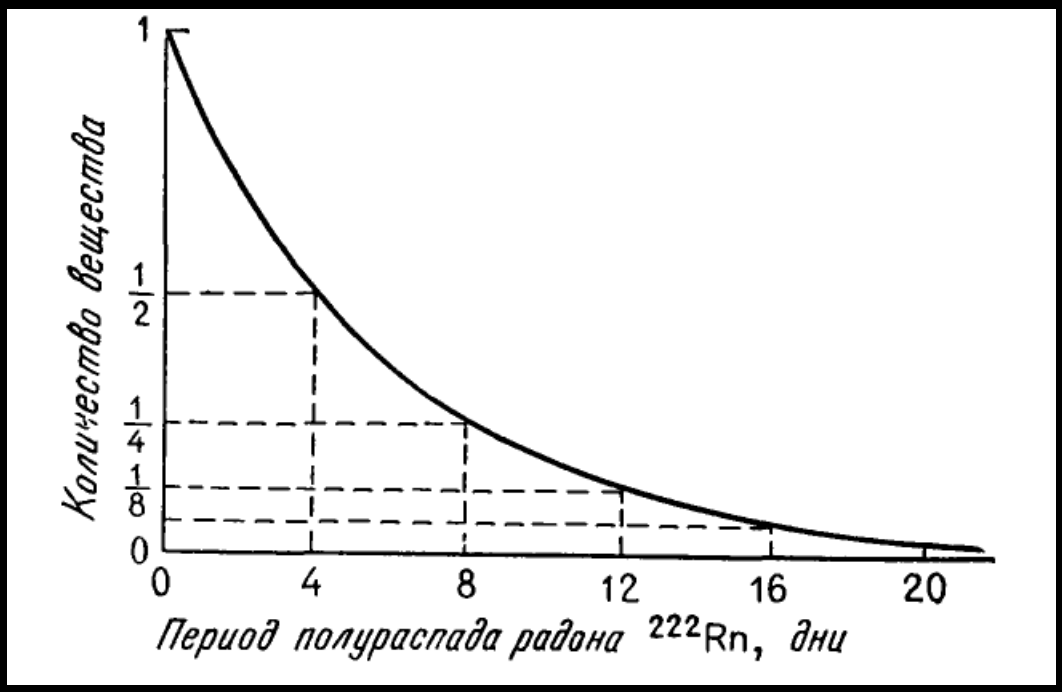
Распад урана - настолько постоянный и характерный процесс, что его можно использовать для определения возраста Земли. В 1907 г. американский химик Бертрам Борден Болтвуд (1870-1927) предположил, что при такого рода определениях можно руководствоваться содержанием свинца в урановых минералах. Если предположить, что весь свинец в минералах появился в результате распада урана, то легко вычислить, сколько на это потребовалось времени. С помощью этого метода удалось определить, что возраст твердой земной коры исчисляется по крайней мере четырьмя миллиардами лет.

Тем временем Содди продолжал описывать изменения атома, вызываемые отдачей им субатомных частиц. Если атом теряет альфа-частицу (заряд +2), общий заряд его ядра уменьшается на два и элемент перемещается в периодической таблице на две клетки влево.

Если атом теряет бета-частицу (электрон с зарядом -1), то ядро приобретает дополнительный положительный заряд [11] и элемент перемещается в периодической таблице на одну клетку вправо. Если атом испускает гамма-лучи (незаряженные), то запас энергии при этом меняется, но состав частиц не затрагивается, так что он остается

тем же самым элементом.

Руководствуясь этими правилами, химики смогли обстоятельно изучить многие радиоактивные ряды.



Период полураспада радона определяют, измеряя через равные промежутки времени количество оставшегося вещества. Полученная зависимость представляет собой «затухающую» экспоненциальную кривую $y=e^{-ax}$.

Изотопы

С открытием радиоактивных элементов перед учеными встала серьезная проблема: что делать с различными продуктами распада урана и тория? Их открывали десятками, а в периодической таблице оставалось максимум только девять мест (от полония с порядковым номером 84 до урана с порядковым номером 92), на которые их можно было бы поместить.

Так, атом урана (порядковый номер 92) испускает альфа-частицу. Порядковый номер нового элемента, согласно правилу Содди, 90. Это означает, что атом урана должен образовать атом тория. Однако период полураспада обычного тория измеряется 14 миллиардами лет, тогда как период полураспада тория, полученного из урана, составляет всего 24 дня.

Различия наблюдаются даже при получении нерадиоактивных элементов. Например, Ричардсу (специалисту по атомным массам) в 1913 г. удалось показать, что атомная

масса свинца, полученного в результате распада урана, несколько отличается от атомной массы обычного свинца.

У Содди хватило решимости предположить, что одному и тому же месту в периодической таблице может соответствовать более одного вида атомов. Место номер 90 могут занимать различные разновидности тория, место номер 82 - различные разновидности свинца и т.д. Содди назвал эти разновидности атомов, занимающие одно и то же место в таблице, *изотопами* (от греческого topos - место).

Изотопы, занимающие одно и то же место таблицы, должны иметь один и тот же порядковый номер и, следовательно, одно и то же число протонов в ядре и одно и то же число электронов на оболочках. Изотопы элемента должны обладать одинаковыми химическими свойствами, так как эти свойства зависят от числа и расположения в атомах электронов.

Но как в таком случае объяснить различие в радиоактивных свойствах и в атомных массах?

В прошлом веке Праут выдвинул свою знаменитую гипотезу, согласно которой все атомы составлены из водорода, так что все элементы должны иметь целочисленные атомные массы. Однако, как выяснилось, большинство атомных масс являются нецелочисленными, и этот факт, казалось, опровергал гипотезу.

Но, согласно новым представлениям о строении атома, атом имеет ядро, состоящее из протонов (и нейтронов). Протоны и нейтроны примерно равны по массе, и, следовательно, массы всех атомов должны быть кратными массе атома водорода (состоящего из одного протона). Гипотеза Праута возродилась, зато вновь возникли сомнения относительно того, какими должны быть атомные массы.

В 1912 г. Дж.Дж. Томсон (который, как мы уже говорили выше, открыл электрон) подверг лучи положительно заряженных ионов неона воздействию магнитного поля. Магнитное поле заставляло ионы отклоняться, и в результате этого они попадали на фотопластинку. Если бы все ионы были одинаковыми по массе, то они все отклонились бы магнитным полем на один и тот же угол, и на фотопленке появилось бы обесцвеченное пятно. Однако в результате этого эксперимента Томсон получил два пятна, одно из которых было примерно в десять раз темнее другого. Сотрудник Томсона Фрэнсис Уильям Астон

(1877-1945), усовершенствовавший позднее этот прибор, подтвердил правильность полученных данных. Аналогичные результаты были получены и для других элементов. Этот прибор, позволявший разделять химически подобные ионы на пучки ионов с разной массой, получил название *масс-спектрографа*.

Величина отклонения одинаково заряженных ионов в магнитном поле зависит от массы этих ионов; ионы с большей массой отклоняются меньше, и наоборот. Таким образом, опыты Томсона и Астона показали, что существуют два вида атомов неона. У одного типа атомов *массовое число* равно 20, у другого - 22. В результате определения относительной черноты пятен было установлено, что содержание неона-20 в 10 раз больше, чем неона-22. Позднее было обнаружено также наличие небольшого количества неона-21. Если, рассчитывая атомную массу неона, исходить из этих данных, то окажется, что она равна примерно 20.2.

Другими словами, масса отдельных атомов представляет собой целое число, кратное массе атома водорода [12], но атомная масса отдельного элемента - это среднее атомных масс составляющих его атомов, и поэтому она может и не быть целым числом.

Средняя атомная масса элемента с большим числом изотопов в некоторых случаях может оказаться больше, чем средняя атомная масса элемента с более высоким порядковым номером. Например, у теллура, порядковый номер которого 52, насчитывается семь изотопов. Из них два самых тяжелых изотопа - теллур-126 и теллур-128 - являются наиболее распространенными. Следовательно, атомная масса теллура приближается к 127.6. Порядковый номер йода 53, т.е. на единицу больше, чем у теллура. Но у йода только один изотоп - йод-127, и, следовательно, его атомная масса 127. Когда Менделеев в своей периодической таблице поместил йод за теллуром и тем нарушил порядок, диктуемый атомной массой, он, не зная этого, следовал зарядам ядер, т.е. физической сущности периодического закона.

Приведем еще один подобный пример. У калия (порядковый номер 19) три изотопа - калий-39, калий-40 и калий-41, но наиболее распространен самый легкий изотоп - калий-39. В результате атомная масса калия 39.1. Порядковый номер аргона 18, и у него также три изотопа - аргон-36, аргон-38 и аргон-40, однако наиболее распространен самый тяжелый изотоп - аргон-40. В результате атомная масса аргона равна примерно 40.

Пользуясь масс-спектрографом, можно измерять массы отдельных изотопов и

определять содержание этих изотопов. Получив же такие данные, можно рассчитать усредненную атомную массу элемента. Точность такого метода определения атомной массы намного выше, чем у химических методов.

Различные изотопы данного элемента имеют одинаковые заряды ядер, но разные массовые числа. Следовательно, в ядрах различных изотопов содержится одинаковое число протонов, но различное число нейтронов. У неона-20, неона-21 и неона-22 по 10 протонов в ядре, порядковый номер всех этих изотопов 10, и электроны распределены по оболочкам так: 2, 8. Однако в ядре неона-20 содержится 10 протонов плюс 10 нейтронов, в ядре неона-21 - 10 протонов плюс 11 нейтронов, а в ядре неона-22 -10 протонов плюс 12 нейтронов.

Большинство элементов (но не все) содержат изотопы. В 1935 г. американский физик Артур Джеффри Демпстер (1886-1950) установил, например, что природный уран, атомная масса которого (238.07) весьма близка целому числу, представляет собой смесь двух изотопов. Один из изотопов содержится в преобладающем (99.3%) количестве. Ядра этого изотопа состоят из 92 протонов и 146 нейтронов, т.е. общее массовое число равно 238. Это уран-238. Содержание другого изотопа, урана-235, составляет всего 0.7%; в ядре этого изотопа на три нейтрона меньше.

Поскольку радиоактивные свойства зависят от строения атомного ядра, а не от электронного окружения, изотопы одного элемента могут иметь похожие химические свойства и совершенно различную радиоактивность. В то время как период полураспада урана-238 равен 4 500 000 000 лет, период полураспада урана-235 составляет только 700 000 000 лет [13]. Оба эти элемента - первые элементы двух отдельных радиоактивных рядов.

Существовали теоретические предпосылки, позволяющие предположить, что и водород - простейший из элементов - также может иметь пару изотопов. Ядра обычных атомов водорода состоят из одного протона, т.е. обычный водород - это водород-1. В 1931 г. американский химик Гарольд Клэйтон Юри (1893-1980) предположил, что более тяжелый изотоп водорода, если он существует, должен кипеть при более высокой температуре, испаряться более медленно, накапливаясь в остатке.

Пытаясь обнаружить этот более тяжелый изотоп водорода, Юри начал медленно выпаривать четыре литра жидкого водорода. И в последнем кубическом сантиметре

водорода Юри действительно нашел несомненные признаки присутствия водорода-2 - изотопа, ядро которого содержит один протон и один нейтрон. Водород-2 был назван *дейтерием*.

Не составил исключения и кислород. В 1929 г. американскому химику Уильямсу Фрэнсису Джиоку (род. в 1895 г.) удалось показать, что кислород имеет три изотопа. Наиболее распространен кислород-16, на его долю приходится около 99.8% всех атомов. В ядре кислорода-16 8 протонов и 8 нейтронов. В ядре кислорода-18, второго по распространенности изотопа, 8 протонов и 10 нейтронов, в ядре кислорода-17, который обнаружен лишь в следовых количествах, 8 протонов и 9 нейтронов.

Это создало проблему. Еще со времен Берцелиуса атомные массы элементов рассчитывались при допущении, что атомная масса кислорода равна 16.0000. Но атомная масса кислорода могла быть только рассчитанной средней атомной массой трех изотопов, а соотношение изотопов кислорода могло от образца к образцу сильно меняться.

Физики начали определять атомные массы исходя из атомной массы кислорода-16, равной 16.0000. В результате был получен ряд величин (*физическая атомная масса*), которые на очень небольшую постоянную величину превышали те величины, которыми пользовались и которые постепенно уточняли на протяжении всего XIX в. (*химические атомные веса*).

В 1961 г. международные организации как химиков, так и физиков согласились принять за стандарт атомную массу углерода-12, приняв ее равной точно 12.0000. Атомные массы элементов, рассчитанные с учетом нового стандарта, почти точно совпадают со старыми химическими атомными весами, и, кроме того, новый стандарт связан только с одним изотопом, а не плеядой изотопов.

---

[1] См.: Трифонов Д.Н., Кривомазов А.Н., Лисневский Ю.И. Учение о периодичности и учение о радиоактивности. Комментированная хронология важнейших событий. - М.: Атомиздат, 1974.

[2] Эти значения основаны на допущении, согласно которому заряд протона произвольно установлен +1, а заряд электрона равен -1.

[3] От латинского nucleus - ядро.

[4] Положительные ионы образуются в результате потери электронов, а отрицательные ионы - в результате присоединения электронов. Следовательно, у иона натрия меньше электронов, чем у атома натрия, а у иона хлора их больше, чем у атома хлора.

[5] См.: Развитие учения о валентности. Сб. под ред. В.И. Кузнецова. - М.: Химия, 1977, 248 с.

[6] Здесь и далее автор чрезмерно преувеличивает роль концепции резонанса, не упоминая о ее недостатках. Критический анализ теории резонанса см.: Реутов О.А. Теоретические основы органической химии, изд. МГУ, 1964, стр. 94-98, а также Хюккель В. Химическая связь. Пер. с англ. - М.: ИЛ, 1959.

[7] Об историческом значении теории резонанса см.: Быков Г.В. История органической химии. Структурная теория. Физическая органическая химия. Расчетные методы. - М.: Химия, 1976, 360 с.

[8] См.: Кошкин Л.В., Мусабеков Ю.С. Возникновение и развитие представлений об органических свободных радикалах. - М.: Наука, 1967, 216 с.

[9] См.: Кривомазов А.Н. Фредерик Содди. 1877-1956. - М.: Наука, 1978, 208 с.

[10] См. также кн.: Быков Г.В. История электронных теорий органической химии. - М.: Изд-во АН СССР, 1963, 423 с.

[11] Во времена Содди считали, что в ядре имеются электроны и потеря ядром бета-частицы оставляет неуравновешенным дополнительный протон и, следовательно увеличивает положительный заряд. В настоящее время принято считать, что ядро содержит только протоны и нейтроны. Электрон же образуется и выталкивается, когда нейтрон преобразуется в протон, так как увеличение положительного заряда эквивалентно потере путем выбрасывания отрицательного заряда.

[12] В действительности масса атома не совсем кратна массе атома водорода. Небольшие отклонения в массе не имеют значения для химии, но имеют отношение к той огромной энергии, заключенной в ядрах, которая позволила создать атомную бомбу и перейти к атомной энергетике.

[13] Этими же причинами объясняется также различие в периодах полураспада природного тория (торий-232) и тория, полученного в результате распада урана (торий-234), о котором говорилось в начале главы.

Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

Айзек Азимов

Глава 14. Ядерные реакции

Новые превращения

После того как стало очевидно, что атом состоит из более мелких частиц, которые произвольно перегруппировываются при радиоактивных преобразованиях, следующий шаг казался почти предопределенным.

Человек научился с помощью обычных химических реакций по своему усмотрению перестраивать молекулы. Почему бы не попытаться перестраивать ядра атомов, используя *ядерные реакции*? Протоны и нейтроны связаны гораздо прочнее, чем атомы в молекуле, и обычные методы, используемые для проведения обычных химических реакций, естественно, к успеху не приведут. Но ведь можно попытаться разработать новые методы.

Первый шаг в этом направлении был сделан Резерфордом [1]; он бомбардировал различные газы альфа-частицами и обнаружил, что каждый раз, когда альфа-частица ударяет в ядро атома, она нарушает его структуру.

В 1919 г. Резерфорд уже смог показать, что альфа-частицы могут выбивать протоны из ядер азота и объединяться с тем, что останется от ядра. Наиболее распространенным изотопом азота является азот-14, в ядре которого содержится 7 протонов и 7 нейтронов. Если из этого ядра выбить протон и добавить 2 протона и 2 нейтрона альфа-частицы, то получится ядро с 8 протонами и 9 нейтронами, т.е. ядро кислорода-17. Альфа-частицу можно рассматривать как гелий-4, а протон - как водород-1. Таким образом, Резерфорд первым успешно провел искусственную ядерную реакцию:

Азот-14 + гелий-4 → кислород-17 + водород-1

Преобразовав один элемент в другой, он осуществил трансмутацию. Так, в XX в. осуществилась самая заветная мечта алхимиков.

В последующие пять лет Резерфорд провел серию других ядерных реакций с

использованием альфа-частиц. Однако возможности его были ограничены, поскольку радиоактивные элементы давали альфа-частицы только со средней энергией. Необходимы были частицы с гораздо большими энергиями.

Физики принялись за создание устройств, предназначенных для ускорения заряженных частиц в электрическом поле. Заставив частицы двигаться с ускорением, можно было повысить их энергию. Английский физик Джон Дуглас Кокрофт (1897-1967) совместно со своим сотрудником ирландским физиком Эрнестом Томасом Синтоном Уолтоном (род. в 1903 г.) первыми разработали идею ускорителя, позволявшего получать частицы с энергией, достаточной для осуществления ядерной реакции. В 1929 г. такой ускоритель был построен. Спустя три года эти же физики бомбардировали атомы лития ускоренными протонами и получили альфа-частицы. Эту ядерную реакцию можно записать следующим образом:

Водород-1 + литий-7 → гелий-4 + гелий-4

В ускорителе Кокрофта - Уолтона и ряде других подобных ускорителей частицы перемещались по прямолинейной траектории. Получить в таком ускорителе частицы с высокой энергией можно было только при достаточной длине пути частиц, поэтому ускорители такого типа были чрезвычайно громоздки. В 1930 г. американский физик Эрнест Орландо Лоуренс (1901-1958) предложил ускоритель, в котором частицы двигались по слабо расходящейся спирали. Этот относительно небольшой *циклотрон* мог давать частицы с крайне высокой энергией.

Первый очень маленький циклотрон Лоуренса является предшественником современных гигантских установок в полкилометра в окружности, которые используются в поисках ответов на сложнейшие вопросы, связанные со строением материи.

В 1930 г. английский физик Пауль Адриен Моррис Дирак (род. в 1902 г.) теоретически обосновал предположение о том, что и протоны и электроны должны иметь свои *античастицы*. *Антиэлектрон* должен обладать массой электрона, но должен быть заряжен положительно, *антипротон* должен обладать массой протона, но быть заряжен отрицательно.

Антиэлектрон был обнаружен в 1932 г. американским физиком Карлом Дэвидом Андерсоном (род. в 1905 г.) во время исследования космических лучей [2]. Когда космические лучи сталкиваются с ядрами атомов в атмосфере, то при этом образуются

частицы, которые отклоняются в магнитном поле на такой же угол, что и электроны, но в противоположном направлении. Частицы такого рода Андерсон назвал *позитронами*.

Антипротон не удавалось обнаружить еще в течение четверти столетия. Поскольку масса антипротона в 1836 раз больше массы антиэлектрона, то для образования антипротона требуется в 1836 раз больше энергии, и поэтому до 50-х годов XX в. это превращение было неосуществимо. В 1955 г. американским физикам Эмилио Сегре (род. в 1905 г.) и Оуэну Чемберлену (род. в 1920 г.) удалось, используя мощные ускорители, получить и обнаружить антипротон.

Было установлено, что могут существовать такие своеобразные атомы, у которых отрицательно заряженные ядра, содержащие антипротоны, окружены положительно заряженными позитронами. Естественно, что такое *антивещество* не может долго существовать ни на Земле, ни, вероятно, даже в пределах нашей Галактики, поскольку при контакте вещества с антивеществом они аннигилируют (уничтожаются), высвобождая огромное количество энергии. И все-таки астрономы задаются вопросом, не могут ли существовать Галактики, построенные из антивещества? Если такое возможно, то обнаружить такие Галактики будет очень трудно.

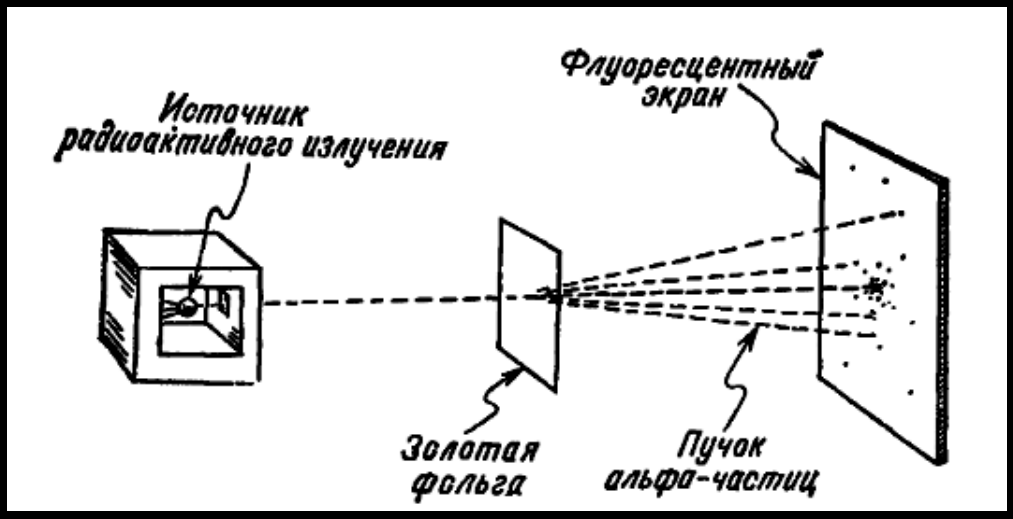


Схема опыта Резерфорда. Испускаемые альфа-частицы отклоняются при прохождении через золотую фольгу; величина отклонения фиксируется при соударении частиц с флуоресцентным экраном.

Искусственная радиоактивность

В результате успешного проведения первых ядерных реакций были получены уже известные, встречающиеся в природе изотопы. Однако полученные таким образом нейтронно-протонные комбинации могли отличаться от комбинаций, характерных для

природных изотопов. Ведь первые органические молекулы, синтезированные химиками, отличались от молекул природных соединений. Нейтронно-протонные комбинации нового типа были получены в 1934 г. французскими физиками супругами Фредериком Жолио-Кюри (1900-1958) и Ирен Жолио-Кюри (1897-1956) (дочь известных физиков супругов Кюри, прославившихся открытием радия).

Супруги Жолио-Кюри бомбардировали алюминий альфа-частицами, и при этом выяснили, что алюминий продолжает испускать частицы и после окончания бомбардировки. В результате проведенных исследований были открыты алюминий-27 (13 протонов плюс 14 нейтронов) и фосфор-30 (15 протонов плюс 15 нейтронов).

Но фосфор, встречающийся в природе, имеет только одну разновидность атомов - фосфор-31 (15 протонов плюс 16 нейтронов), следовательно, фосфор-30 - искусственный изотоп. Причина, по которой этот изотоп не встречается в природе, очевидна: период полураспада фосфора-31 составляет всего 14 дней. Излучение именно этого изотопа и наблюдали супруги Жолио-Кюри.

Супруги Жолио-Кюри первыми открыли явление *искусственной радиоактивности*. К настоящему времени получено более тысячи радиоактивных изотопов, не встречающихся в природе. У каждого элемента имеется один или несколько радиоактивных изотопов. Один радиоактивный изотоп имеется даже у водорода; период полураспада водорода-3, называемого также *тритием*, составляет 12 лет.

В 1940 г. американский химик Мартин Д. Камен (род. в 1913 г.) открыл необычный радиоактивный изотоп углерода - углерод-14. Некоторое количество этого изотопа образуется в атмосфере в результате бомбардировки азота космическими лучами. Это означает, что все живые существа, в том числе и мы, постоянно вдыхаем некоторое количество углерода-14, который потом попадает в ткани. Американский химик Уиллард Фрэнк Либби (род. в 1908 г.) предложил определять возраст археологических находок, исходя из содержания углерода-14. Аналогичный метод используется при определении возраста земной коры: его определяют, исходя из содержания урана и свинца. Таким образом, химия пришла на помощь историкам и археологам.

Осуществляя синтез химических веществ, можно часть обычных изотопов заменить на редкие стабильные изотопы. Например, водород-1 можно заменить на водород-2, углерод-12 - на углерод-13, азот-14 - на азот-15, а кислород-16 - на кислород-18. С

помощью таких *меченых соединений* можно изучать механизмы реакций, происходящих в живых тканях. Новатором в такого рода работе был американский биохимик Рудольф Шонхеймер (1898-1941), который, используя водород-2 и азот-15, провел важные исследования жиров и белков. После окончания второй мировой войны такие изотопы стали более доступны, что позволило провести более тщательное изучение механизмов реакций. Примером того, какую роль могут сыграть изотопы, служит работа американского биохимика Мелвина Келвина (род. в 1911 г.). В 50-х годах XX в. он применил углерод-14 для изучения механизма реакций фотосинтеза. Работу эту Келвин проделал с такой обстоятельностью, которая всего лишь двадцать лет назад считалась совершенно невозможной.

Вслед за искусственными изотопами физикам удалось получить и искусственные элементы. В 1937 г. изобретатель циклотрона Лоуренс провел бомбардировку образца молибдена (порядковый номер 42) дейтронами (ядра водорода-2), после чего отправил этот образец Сегре в Рим (Позднее Сегре переехал в США и уже там открыл антипротон.) Сегре тщательно изучил образец и обнаружил, что он содержит следы нового радиоактивного вещества - как впоследствии выяснилось, элемента с порядковым номером 43. К этому времени элемент еще не был открыт в природе (несмотря на несколько не подтвердившихся известий), и поэтому его назвали *технецием* (от греческого - искусственный).

Со временем были заполнены три оставшихся в периодической таблице пробела. В 1939 и 1940 гг. были открыты элементы номер 87 (*франций*) и номер 85 (*астат*), а в 1947 г. - элемент номер 61 (*прометий*). Все эти элементы радиоактивны.

Астат и франций образуются из урана в очень малых количествах; по-видимому, именно по этой причине их не удалось открыть раньше. Технеций и прометий образуются в еще меньших количествах. Это единственные элементы с порядковыми номерами меньше 84, не имеющие стабильных изотопов.

Трансурановые элементы

Вначале бомбардировка атомных ядер велась положительно заряженными частицами: протонами, дейтронами и альфа-частицами. Поскольку одноименно заряженные частицы отталкиваются, то положительно заряженные ядра атомов отталкивают положительно заряженные частицы, и заставить движущиеся с большей скоростью частицы преодолеть отталкивание и столкнуться с ядром, весьма сложно, так что ядерные реакции трудно

осуществимы.

С открытием нейтрона у химиков появились новые возможности. Нейтроны представляют собой незаряженные частицы, и атомные ядра их не отталкивают. Направив нейтрон в нужном направлении, его легко можно заставить столкнуться с ядром.

Итальянский физик Энрико Ферми (1901-1954) первым обстоятельно изучил бомбардировку нейтронами. Свою работу он начал почти сразу же, как только узнал об открытии нейтрона. Он обнаружил, что пучок нейтронов инициирует ядерные реакции особенно эффективно, если он проходит через воду или парафин. Легкие атомы этих веществ при каждом столкновении поглощают некоторое количество энергии нейтронов, но самих нейтронов при этом не поглощают. Следовательно, нейтроны замедляются настолько, что в конечном итоге движутся со скоростью обычных молекул, находящихся при комнатной температуре. Такие *тепловые нейтроны* находятся вблизи отдельных ядер в течение секунды или немногим более, следовательно, вероятность того, что ядро поглотит нейтрон, в этом случае выше, чем при бомбардировке быстрыми нейтронами.

Когда атомное ядро поглощает нейтрон, оно необязательно становится новым элементом; при этом может образоваться просто более тяжелый изотоп. Так, если кислород-16 приобретает нейтрон (массовое число 1), то он становится кислородом-17. Однако, присоединяя нейтрон, элемент может превратиться в радиоактивный изотоп. В этом случае элемент обычно распадается с излучением бета-частицы, а согласно правилу Содди, это означает, что он становится элементом, занимающим более высокое место в периодической таблице. Таким образом, если кислород-18 получает нейтрон, то он превращается в радиоактивный кислород-19. Этот изотоп излучает бета-частицу и становится стабильным фтором-19. Таким образом, бомбардируя кислород нейтронами, его можно превратить во фтор.

В 1934 г. Ферми занялся бомбардировкой урана нейтронами с тем, чтобы узнать, нельзя ли получить атомы с большей массой, чем уран (*трансурановые элементы*) [3]. В то время у урана был наибольший порядковый номер в периодической таблице, но возможно, что у элементов с большими порядковыми номерами слишком короткий период полураспада.

Сначала Ферми действительно подумал, что он синтезировал элемент с номером 93, но результаты эксперимента оказались очень запутанными и привели к еще более

драматическому повороту, что будет описано чуть позднее. Именно эти разработки отвлекли на несколько лет внимание ученых от изучения возможностей получения трансурановых элементов.

В 1940 г. американский физик Эдвин Маттисон Макмиллан (род. в 1907 г.) и его коллега химик Филипп Ходж Эйблсон (род. в 1913 г.), проводя нейтронную бомбардировку урана, действительно обнаружили новый тип атома - атом с порядковым номером 93, который они назвали *нептунием*. Период полураспада даже наиболее долгоживущего изотопа нептуния-237 составляет немногим более двух миллионов лет, т.е. содержавшийся когда-то в земной коре нептуний должен уже давно распасться. Нептуний-237 - первый элемент четвертого радиоактивного ряда.

Затем, в 1941 г., Макмиллан и американский физик Гленн Теодор Сиборг (род. в 1912 г.) получили и идентифицировали *плутоний* - элемент с порядковым номером 94. Группа ученых Калифорнийского университета, возглавляемая Сиборгом, на протяжении последующих десяти лет выделила более полудюжины элементов, в том числе *америций* (номер 95), *кюрий* (номер 96), *берклий* (номер 97), *калифорний* (номер 98), *эйнштейний* (номер 99) и *фермий* (номер 100).

Однако получать каждый следующий элемент становилось все труднее и труднее, и выделить его удавалось все в меньших и меньших количествах. Более того, период полураспада каждого последующего элемента оказывался короче, чем у предыдущего, так что каждый новый элемент после получения все быстрее и быстрее распадался. Несмотря на это в 1955 г. был получен *менделевий* (номер 101), в 1957 г. - *нобелий* (номер 102), в 1961 г. - *лоуренсий* (номер 103). В 1964 г. советские физики сообщили о получении (микроколичеств) элемента с порядковым номером 104 [4].

Сиборг и его группа установили, что трансурановые элементы похожи друг на друга, как похожи друг на друга редкоземельные элементы. Объясняется это сходство теми же самыми причинами: новые электроны размещаются на внутренних электронных оболочках, а внешняя электронная оболочка с тремя электронами остается неизменной. Первый ряд элементов, начинающийся с лантана (порядковый номер 57), получил название ряда *лантаноидов*, а более новый, начинающийся с актиния (порядковый номер 89) - рядом *актиноидов*.

С открытием лоуренсия были получены все актиноиды. Предполагалось, что элемент с

порядковым номером 104 будет значительно отличаться по химическим свойствам от актиноидов.

Ядерная бомба

Вернемся теперь к работе Ферми по бомбардировке урана нейтронами. Предположение о том, что в результате бомбардировки получен элемент с порядковым номером 93, в то время подтвердить не удалось, так как попытки выделить этот элемент успехом не увенчались.

Среди ученых, занимавшихся изучением результатов такой бомбардировки, были Ган и Мейтнер, открывшие двадцать лет назад протактиний. Эти исследователи обработали барием бомбардированный уран, в результате в осадок выпала какая-то фракция сильно радиоактивного вещества. Эта реакция заставила Гана и Мейтнер усомниться в том, что одним из продуктов бомбардировки был радий: элемент по своим химическим свойствам очень был похож на барий, и можно было ожидать, что радий сопровождает барий в любых химических превращениях. И тем не менее из этих барийсодержащих фракций получить радий не удалось.

Примерно в 1938 г. Ган предположил, что полученная фракция может быть радиоактивным изотопом самого бария, образовавшимся из урана. Такой радиоактивный барий может соединиться с обычным барием, и разделить их обычными химическими способами невозможно. Однако образование такого соединения представлялось весьма сомнительным. Все ядерные реакции, известные к 1938 г., приводили к изменению порядковых номеров элементов только на 1 и 2 единицы. Переход от урана к барию означал, что порядковый номер элемента уменьшился на 36 единиц. Это могло произойти только в том случае, если бы атом урана разделился примерно пополам (*расщепление ядра атома урана*). Ган не решался - по крайней мере публично - даже обсуждать возможность такого расщепления.

В 1938 г. нацистская Германия вторглась в Австрию и аннексировала ее. Австрийская гражданка Лизе Мейтнер вынуждена была эмигрировать в Швецию. В свете пережитого последствия возможной научной ошибки представлялись ей столь малозначащими, что она опубликовала теорию Гана о том, что атомные ядра урана при бомбардировке нейтронами подвергаются расщеплению.

Эта статья вызвала большой переполох, так как ученые сразу поняли, к каким ужасным

последствиям может привести это явление. Если атом урана после поглощения нейтрона распадается на два меньших атома, в ядрах которых меньше нейтронов, чем в ядре атома урана [5], то избыточные нейтроны должны излучаться, и если их поглотят другие атомы урана, то они в свою очередь также разделятся, что приведет к излучению еще большего числа нейтронов.

Расщепление одного атома урана приведет к расщеплению нескольких атомов. Результат *цепной ядерной реакции* окажется подобен результату обычной химической цепной реакции, например реакции водорода и хлора. Однако поскольку ядерные реакции связаны с обменом гораздо большими энергиями, чем химические реакции, то результаты ядерной цепной реакции окажутся несравнимо более мощными.

Мир стоял на пороге второй мировой войны. Правительство США, понимая, что смертоносная энергия атомных ядер может быть использована нацистами, приступило к реализации исследовательской программы создания цепной ядерной реакции и получения ядерного оружия.

Трудностей оказалось очень много. Прежде всего выяснилось, что цепная ядерная реакция возможна лишь при наличии некоторой довольно большой массы урана - так называемой *критической массы*. К моменту же начала работ ученые располагали незначительным количеством урана, так как до 1940 г. уран как таковой почти не применялся. Кроме того, нейтроны необходимо было замедлять с тем, чтобы вероятность их поглощения ураном увеличилась. В качестве таких *замедлителей*, как выяснилось, можно использовать блоки графита или тяжелую воду (воду, в которой водород заменен на дейтерий).

Другая трудность заключалась в том, что не каждый атом урана, поглотивший нейтрон, претерпевает ядерное расщепление. Ядерному расщеплению подвергается довольно редкий изотоп - уран-235. Поэтому необходимо было разработать способы отделения и накопления данного изотопа. Это была беспрецедентная задача: разделение изотопов в таких больших масштабах никогда ранее не проводилось. Исследования показали, что в этих целях можно использовать гексафторид урана, поэтому одновременно требовалось отрабатывать методику работы с соединениями фтора. После открытия плутония, который, как выяснилось, также подвергается ядерному расщеплению, было налажено производство его в больших количествах.

Возглавлял всю эту работу Ферми, который в 1938 г. покинул Италию и поселился в США. Второго декабря 1942 г. *атомный реактор*, работавший на уране, оксиде урана и графите, был приведен в «критическое состояние». В нем поддерживалась цепная реакция, и в результате деления атомного ядра урана была получена энергия.

К 1945 г. были изготовлены устройства, в которых при подрыве небольшого заряда взрывчатого вещества, происходило сближение двух порций урана. Суммарная масса этих двух порций урана превышала критическую. Благодаря воздействию космических лучей в атмосфере всегда имеются случайные нейтроны, так что в критической массе урана сразу же начиналась цепная ядерная реакция, которая сопровождалась взрывом неведомой до тех пор силы.

Первая такая «А-бомба», или «атомная бомба» (или правильнее *бомба расщепления*) была взорвана в июле 1945 г. в Аламогордо, шт. Нью-Мехико. К следующему месяцу были изготовлены еще две бомбы, которые в конце второй мировой войны были сброшены на японские города Хиросима и Нагасаки.

Однако деление ядра атома урана применяется не только с целью разрушения. Когда процесс получения энергии поддерживается на постоянном безопасном уровне, расщепление ядра можно использовать и в целях созидания. В пятидесятых - шестидесятых годах было построено большое число ядерных реакторов , предназначенных для получения электрической энергии [6].

Выделением большого количества энергии сопровождается не только деление тяжелых атомов, но и объединение двух легких ядер в одно более тяжелое (*термоядерный синтез*). Колоссальное количество энергии выделяется, например, при соединении ядер водорода, приводящем к образованию гелия.

Для того чтобы заставить объединиться атомы водорода, необходимо преодолеть заслон из электронного облака, что требует огромной энергии. Такие реакции происходят в глубинах Солнца и других звезд. Солнечная энергия (количество которой не уменьшается в течение миллиардов лет) является энергией ядерного синтеза.

В 50-х годах XX в. был разработан способ получения энергии, необходимой для ядерного синтеза. В качестве источника энергии была использована бомба расщепления, и в результате была получена ядерная бомба еще большей разрушительной силы, которую

называют по-разному: «водородная бомба», «Н-бомба», «термоядерная бомба», но более правильное название - *бомба термоядерного синтеза*.

Разработаны и испытаны бомбы термоядерного синтеза с потенциалом разрушения в тысячи раз большим, чем у первых бомб расщепления. Одна большая бомба термоядерного синтеза может полностью разрушить самый крупный город мира, а если взорвать все имеющиеся сейчас бомбы термоядерного синтеза, то взрывная волна, пожары и радиоактивные осадки уничтожат все живое на земле.

Однако термоядерный синтез можно (и должно!) использовать не для разрушения. Одной из наиболее важных экспериментальных работ, проводимых в настоящее время, является попытка получить чрезвычайно высокие температуры, в сотни миллионов градусов, управляемым способом (а не в центре взрывающейся бомбы расщепления) и поддерживать эти температуры достаточно долго, с тем чтобы началась реакция термоядерного синтеза [7].

Управляя скоростью такой реакции, можно создать фантастические запасы энергии. В качестве топлива пригоден дейтерий, или тяжелый водород, который в огромных количествах (вполне достаточных на миллионы лет) имеется в воде океанов.

Никогда раньше человечеству не грозило так реально полное уничтожение, но и никогда раньше человечество не могло рассчитывать на то процветание, которое возможно в случае отказа от применения термоядерного оружия. Но судьба человечества не может зависеть от прогресса только одной из областей науки.

Мы приобретаем знания. Эти знания дает нам наука.

Теперь мы должны быть еще и мудрыми!

_____

[1] См.: Старосельская-Никитина О.А. Эрнест Резерфорд (1871-1937). - М.: Наука, 1967, 316 с.

[2] Космические лучи состоят из частиц, проникающих в атмосферу Земли из космического пространства. Эти частицы, главным образом протоны, разгоняются до почти невообразимых энергий электрическими полями звезд и самой галактики.

[3] См.: Трифонов Д.Н. Структура и границы периодической системы. - М.: Атомиздат, 1969, 271 с.

[4] Имеется в виду резерфордий.

[5] Строго говоря, атом с большей массой имеет большее число нейтронов по отношению к его массовому числу. Таким образом, кальций-40 содержит 20 нейтронов, что составляет 0,5 от его массового числа, а уран-238 содержит 146 нейтронов, что составляет 0,65 его массового числа.

[6] СССР был первым государством, начавшим использовать атомную энергию в мирных целях. 27 июня 1954 г. в г. Обнинске была пущена первая в мире атомная электростанция мощностью в 5 МВт. 5 декабря 1957 г. в СССР было спущено на воду первое в мире судно гражданского назначения с ядерной силовой установкой - атомный ледокол «Ленин».

[7] В СССР велись широкие исследования по созданию установок по управляемому термоядерному синтезу.

Псилоцибин ч.1

Козьма Прутков

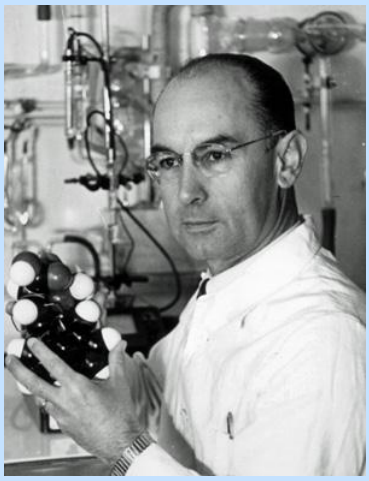
1. История открытия

(в статье использованы фрагменты книги А. Хоффман ЛСД - мой трудный ребенок.)



Чем глубже ты погружаешься в мир теонанакатль, тем больше вещей видишь. Ты видишь свое прошлое и будущее, которые уже находятся там вместе, как одна вещь, уже достигнутая, уже случившаяся… Я видела украденных лошадей и погребенные города, о существовании которых неизвестно, но вскоре станет известным. Я видела и познала миллионы вещей. Я видела и познала Бога: необъятные тикающие часы, медленно вращающиеся сферы, глубины звезд и земли, целую Вселенную, день и ночь, плач и смех, счастье и боль. Тот, кто познал до конца секрет теонанакатль, может увидеть этот бесконечный часовой механизм.

Мария Сабина



Альберт Хоффман. (11 января 1906 - 29 апреля 2008)
Выдающийся швейцарский химик и литератор, широко известный, как "отец" ЛСД и псилоцибина.

Священный гриб теонанакатль

В конце 1956 мое внимание привлекла газетная заметка. Американские ученые обнаружили грибы, используемые некоторыми индейскими племенами на юге Мексики, которые они поедали во время религиозных церемоний для получения опьянения, сопровождающегося галлюцинациями.

Поскольку, помимо мескалинового кактуса, опять-таки, родом из Мексики, в то время не было известно ни одного другого вещества, которое, как и ЛСД, вызывало бы галлюцинации, мне захотелось связаться с этими исследователями, чтобы узнать подробнее об этих галлюциногенных грибах. Но в короткой газетной статье не было ни имен, ни адресов, поэтому получить дальнейшую информацию было невозможно. Тем не менее, с тех пор я помнил об этих загадочных грибах, химическое исследование которых было весьма заманчивой проблемой.



Культура Psilocybe Mexicana (священные грибы индейцев Мексики)



Psilocybe Mexicana (Псилоцибе мексиканская)



Psilocybe Mexicana (Псилоцибе мексиканская)

Как выяснилось позже, ЛСД был причиной того, что в начале следующего года эти грибы и без моей помощи нашли дорогу в мою лабораторию.

При посредничестве доктора Ива Дюно, в то время директора парижского филиала Сандоз, в управление фармацевтических исследований в Базеле пришел запрос от профессора Роже Хайма, директора Лаборатории Криптогамии при Национальном Музее Естественной Истории в Париже, спрашивавшего, заинтересованы ли мы в проведении исследований мексиканских галлюциногенных грибов. С огромной радостью я объявил о своей готовности начать работу в своем отделе, в лаборатории исследования натуральных продуктов. Это стало бы моим вкладом в увлекательные исследования мексиканских священных грибов, которые уже далеко продвинулись в плане этномикологии и ботаники.

В течение долгого времени существование этих грибов оставалось загадкой. История их открытия заново представлена из первых рук в замечательном двухтомном труде по этномикологии "Грибы, Россия и История" (Pantheon Books, New York, 1957), его авторами, американскими исследователями Валентиной Павловной-Уоссон и ее мужем Р. Гордоном Уоссоном, сыгравшим решающую роль в их открытии. Следующие описания удивительной истории этих грибов взяты из книги Уоссона.

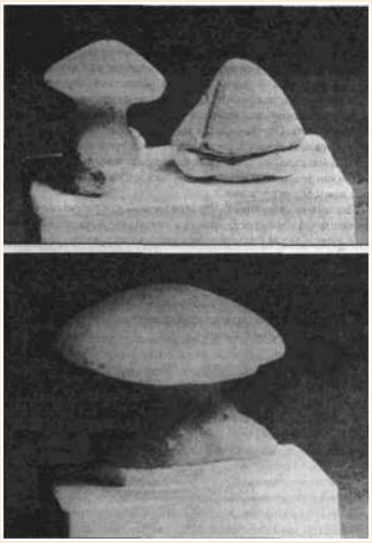
Первые письменные свидетельства об использовании этих грибов во время праздников, религиозных церемоний и магических целительских практик, встречаются у испанских летописцев и естествоиспытателей шестнадцатого века, которые прибыли в Мексику вскоре, после ее завоевания Эрнаном Кортесом. Наиболее важным из этих свидетелей является монах ордена Св. Франциска Бернардино де Саагун, который упоминает волшебные грибы и описывает их действие и использование в нескольких местах своего знаменитого исторического труда "Общая История Событий Новой Испании", написанного с 1529 по 1590. Так, например, он описывает, как торговцы празднуют возвращение домой из успешного торгового путешествия: В самом начале празднества они ели грибы, когда, как они говорили, наступал час игры на флейте. До этого они не принимали пищу; они пили только шоколад на протяжении ночи. И они ели грибы с медом. Когда грибы начинали действовать, они танцевали, они плакали… Некоторые видели, что умрут на войне. Некоторые видели, что их сожрут дикие звери… Некоторые видели, что станут богатыми и знатными. Некоторые видели, что купят рабов и станут рабовладельцами. Некоторые видели, что совершат прелюбодеяние, и им отрубят голову; что они обречены на смерть… Некоторые видели, что утонут. Некоторые видели, что обретут покой со смертью. Некоторые видели, что свалятся с крыши дома, упав навстречу своей смерти… Все это они видели… А после того как действие грибов кончалось, они беседовали друг с другом, говорили о своих видениях. В книге того же времени монах ордена Св Доминика Диего Дуран сообщает, что опьяняющие грибы ели на большом празднике по поводу восхождения на трон в 1502 Монтесумы II, знаменитого императора ацтеков. Отрывок из хроники семнадцатого века, написанной Доном Хасинто де ля Серна, относится к употреблению этих грибов в религиозных целях:

Случилось так, что (в деревню) пришел индеец… звали его Хуан Чичитон… и принес он рыжего цвета грибы, которые собрал в горах, и с ними совершил он великое идолопоклонство… В доме, где все собрались по поводу праздника святого… играл тепонастли (ударный инструмент ацтеков) и пение продолжалось всю ночь. После того, как ночь почти миновала, Хуан Чичитон, который был жрецом этого торжественного ритуала, всем присутствовавшим на фиесте раздал грибы, чтобы они их ели, и после такого Причастия, дал им выпить "пульке"… и все они лишились рассудка, и стыдно было видеть это. На языке ацтеков науатль эти грибы называются теонанакатль, что можно перевести как "священный гриб". (Здесь автор допускает неточность, в действительности теонанакатль означает "плоть богов")

Есть сведения, что церемониальное употребление этих грибов уходит далеко в доколумбовые времена. Так называемые каменные грибы найдены в Сальвадоре, Гватемале и прилегающих горных районах Мексики. Они представляют собой каменные скульптуры в форме гриба, на ножке которых высечено лицо, или образ божества, или демон-животное. Большинство из них высотой около 30 см. Самые старые экземпляры датируются археологами более 500 годами до нашей эры.



Ритуальные грибообразные статуэтки древних майя и ацтеков из Центральной Америки. Наскальные изображения человекоподобных мухоморов из Чукотского Заполярья



Зеленые камни в форме грибов из местечка Винца.
Из книги Марии Гимбутас "Богини и боги старой Европы" (Berkeley: University of California Press. 1982)

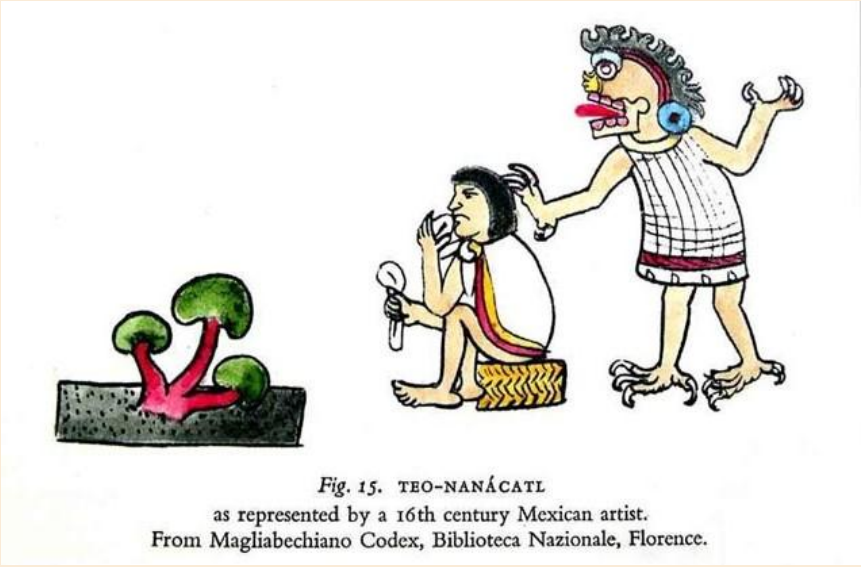
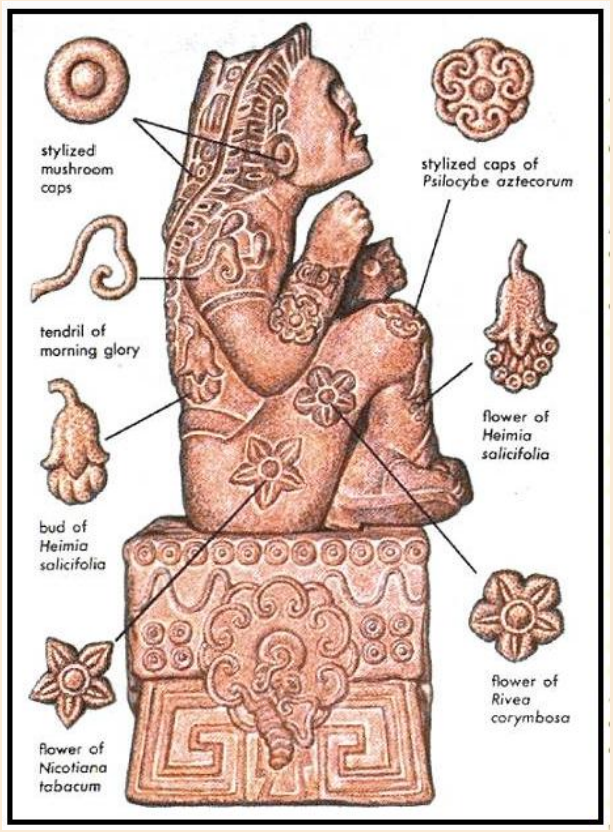


Fig. 15. TEO-NANÁCATL
as represented by a 16th century Mexican artist.
From Magliabechiano Codex, Biblioteca Nazionale, Florence.

Рисунок из ацтекского Кодекса Мальябекки (XVI в.) Изображен бог смерти Миктлантекутли и некто поедающий "плоть богов" - псилоцибинсодержащие грибы (теонанакатль)



Ксочипилли или Шочипилли /Xochipilli (xochitl "цветок" и pilli "принц" - "принц цветов") являлся ацтекским богом весны и лета, солнечного тепла, восходящего солнца, растительности, красоты, бабочек, музыки, танцев, песни, искусства, праздников, веселья, игры в мяч, сластолюбия и… наркотиков. Его культ был связан с употреблением священных психоактивных веществ, содержащихся в растениях, включая галлюциногенные грибы (Psilocybe aztecorum), табак (Nicotiana tabacum), хеймия (Heimia salicifolia), ипомея и т.д.

Р.Г. Уоссон весьма убедительно доказывает, что существует связь между этими каменными грибами и теонанакатлем. Если это так, то это означает, что использованию волшебных грибов в целительстве и религиозных церемониях уже больше двух тысяч лет.

Для христианских миссионеров опьяняющее и вызывающее видения и галлюцинации действие этих грибов казалось делом рук Дьявола. И они пытались, всеми доступными средствами, искоренить их употребление. Но это удалось им лишь отчасти, поскольку индейцы вплоть до наших дней продолжали тайно использовать теонанакатль, который они считали священным.

Очень странно, но сообщения старых хроник об употреблении волшебных грибов оставались незамеченными на протяжении последующих столетий, возможно потому, что они считались выдумкой тех суеверных времен.

Все следы существования "волшебных грибов" оказались под угрозой вечного исчезновения, когда в 1915 известный американский ботаник доктор У.Е. Саффорд в обращении к Ботаническому Обществу в Вашингтоне и в своих научных публикациях выдвинул тезис, что никаких волшебных грибов никогда не существовало: испанские летописцы приняли мескалиновый кактус за гриб! Это утверждение Саффорда, хотя оно и было неверным, способствовало привлечению внимания ученых со всего мира к загадке таинственных грибов.

Мексиканский врач доктор Блас Пабло Реко стал первым, кто открыто не согласился с объяснением Саффорда и кто обнаружил свидетельства тому, что грибы все еще используются в наше время в медицинских и религиозных церемониях в отдаленных горных районах Мексики. Только в 1938 году антрополог Роберт Дж. Вайтланер и доктор Ричард Эванс Шульц (Schultz), ботаник из Гарвардского Университета, действительно нашли в этой местности грибы, которые употреблялись в церемониальных целях; и только в 1938 группа молодых американских антропологов под руководством Джина Бассета Джонсона, впервые смогла присутствовать на тайной ночной церемонии с использованием грибов. Это произошло в Уаутла де Хименес, столице племени масатеков в штате Оахака. Но эти исследователи были лишь наблюдателями, им не разрешили принимать грибы. Джонсон описал это событие в одном шведском журнале (Этнологические Исследования №9, 1938).

Потом исследования волшебных грибов прервались. Началась Вторая Мировая Война. Шульцу, по приказу американского правительства, пришлось заняться производством каучука в районе Амазонки, а Джонсон был убит во время высадки союзнических войск в Северной Африке.

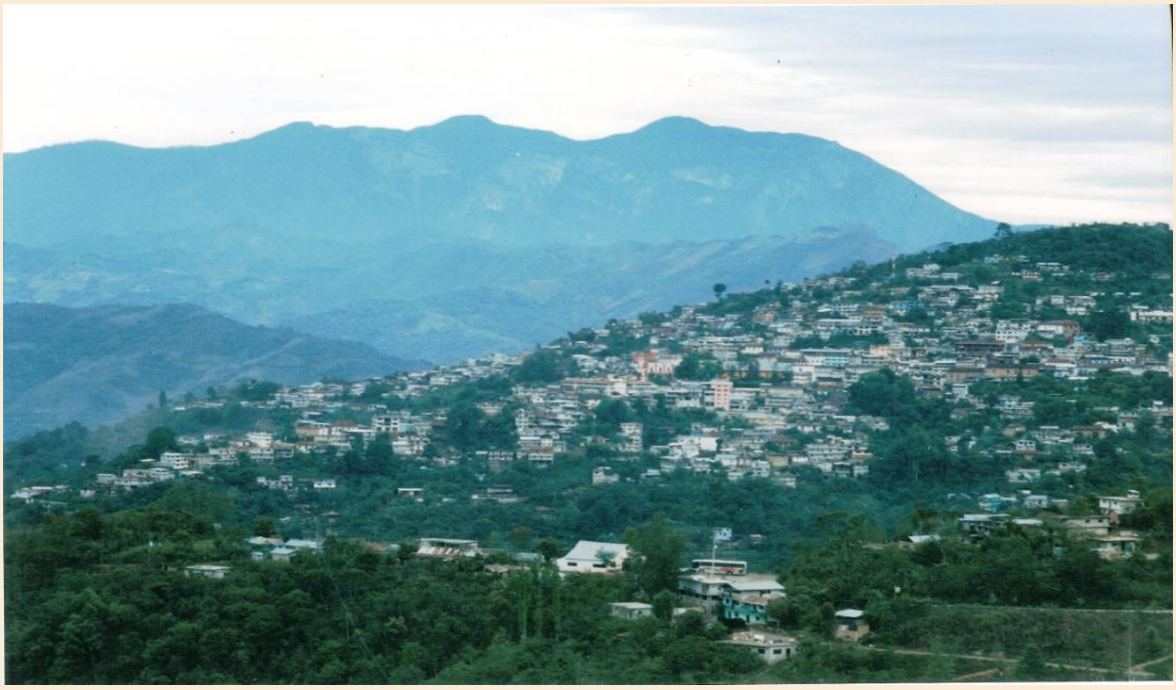
Американские ученые, супруги Валентина Павловна-Уоссон и ее муж Р.Г. Уоссон, продолжили эти исследования в сфере этнографии. Р.Г. Уоссон был банкиром, вице-президентом нью-йоркской Дж.П. Морган Компани. Его жена, которая умерла в 1958, была детским врачом. Супруги Уоссон начали свою работу в масатекской деревне Уаутла де Хименес (Huautla de Jimenez), где пятнадцать лет назад Дж.Б. Джонсон с коллегами обнаружили существующий поныне древний индейский культ гриба. Они получили особенно ценную информацию от Юнис В. Пайк, американской миссионерки, работавшей там, на протяжении многих лет. Благодаря ее знанию языка индейцев и ее связями с местным населением, Пайк владела никому другому не доступной информацией об использовании волшебных грибов. Во время неоднократного длительного пребывания в Уаутла и ее окрестностях супруги Уоссон смогли подробно изучить теперешнее использование грибов и сравнить его с описаниями старых хроник. Это показало, что вера в "священные грибы" все еще была широко распространена в этой местности. Однако индейцы держали свои верования в тайне от чужаков. Поэтому, понадобились большая тактичность и искусство, чтобы заработать доверие местного населения и получить возможность заглянуть в их тайны.



Уаутла де Хименес (Huautla de Jimenez)



Уаутла де Хименес (Huautla de Jimenez) - депортация хиппи



Уаутла де Хименес (Huautla de Jimenez) в наши дни

В современной форме грибного культа старые религиозные представления и обычаи смешались с понятиями христианства и христианской терминологией. Так, о грибах часто говорят как о крови Христа, поскольку они растут там, куда кровь Христа упала на землю. Согласно другому представлению, грибы вырастают, где капля слюны изо рта Христа смочила землю, и поэтому Иисус Христос сам говорит посредством этих грибов.

Грибная церемония придерживается формы консультации. Ищущий совета или больной, или его семья за скромную плату обращаются с вопросом к "знающему мужчине" или

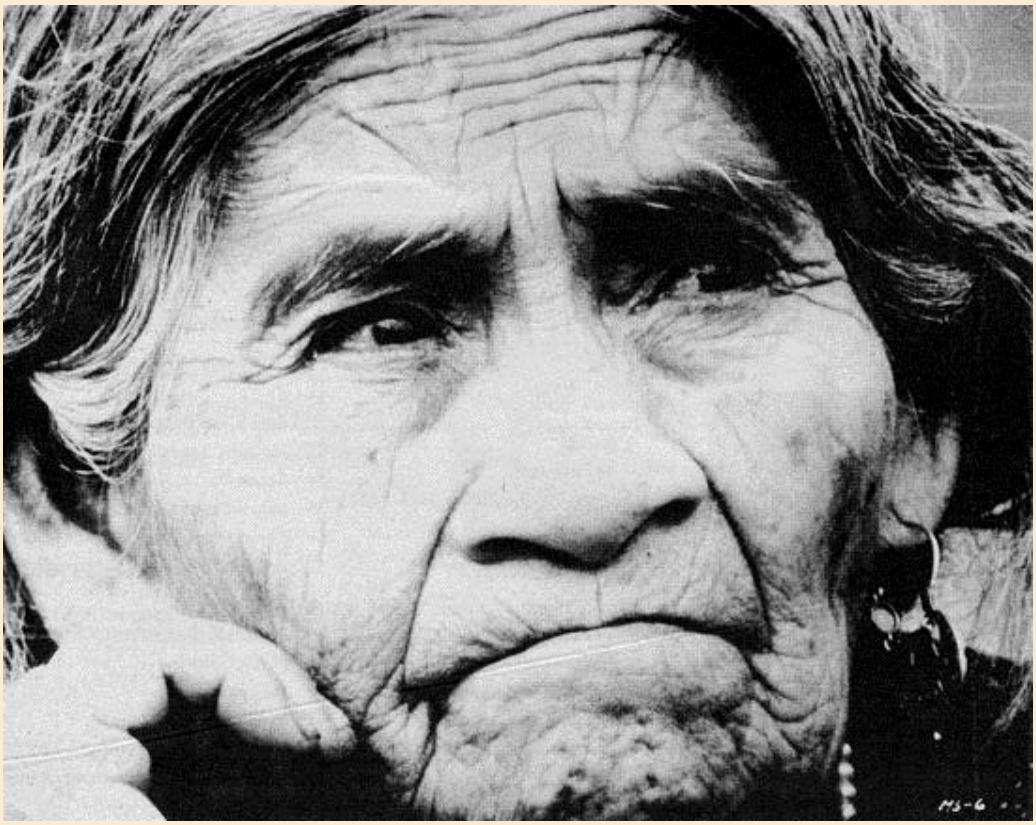
"знающей женщине", к асабио или асабии, или же иначе, к курандеро или курандере. Курандеро можно перевести как шаман-целитель, поскольку его действия подобны как действиям врача, так и священника, которых редко можно встретить в этих отдаленных краях. На языке племени масатек знахарь называется "котакине", что означает "тот, кто знает". Он ест грибы во время церемонии, которая всегда происходит ночью. Другие присутствующие на церемонии также могут получить грибы, но большая доза всегда принадлежит курандеро. Ритуал выполняется под аккомпанемент молитв и взываний, в то время как грибы быстро окуриваются над чашей, где варится копал (благовонная смола). В полной темноте, иногда при свечах, в то время как все присутствующие тихо лежат на циновках, курандеро, сидя или на коленях, молится и поет перед своего рода алтарем с распятием, образом святого, или другим предметом поклонения. Под воздействием священного гриба курандеро дает советы, находясь в состоянии провидения, в котором, в той или иной степени, могут находиться и пассивные наблюдатели. В монотонной песне курандеро, гриб теонанакатль дает ответы на поставленные вопросы. Он рассказывает, будет ли больной жить или умрет, какие травы следует употреблять при лечении; он раскрывает, кто убил какого-либо человека, или кто украл лошадь; или позволяет узнать, что происходит у далеко живущих родственников и так далее.

Грибная церемония не только является консультацией, подобной только что описанной, для индейцев она имеет значение, подобной Святому Причастию для верующих христиан. Из многих высказываний индейцев можно заключить, что они верят в то, что Бог дал им священный гриб, поскольку они бедны и не имеют врачей и лекарств; и, поскольку они не умеют читать, в данном случае Библию, Бог может напрямую разговаривать с ними через гриб. Миссионерка Юнис В. Пайк упоминает о сложностях, которые возникают при объяснении христианского учения, написанного в книгах, людям, которые верят, что обладают средством - конечно же, священным грибом - узнавать волю Бога непосредственно: да, гриб позволяет им видеть небеса и общаться с самим Богом.

О почтении индейцев к священному грибу свидетельствует также их вера в то, что грибы может есть только "чистый" человек. "Чистый" - означает здесь готовый для церемонии, и это подразумевает, среди прочего, сексуальное воздержание, по крайней мере, в течение двух дней до и после употребления грибов. Определенные правила следует также соблюдать при сборе грибов. При несоблюдении этих заповедей, гриб может свести с ума человека, который его ест, или даже убить его.

Супруги Уоссон предприняли свою первую экспедицию к масатекам в 1953 году, но до 1955 им не удавалось преодолеть осторожность и скрытность масатеков, с которыми они сдружились, до такой степени, чтобы им позволили быть активными участниками грибной церемонии. В конце июня 1955 Р.Г. Уоссон и его компаньон, фотограф Аллан Ричардсон приняли грибы во время ночной грибной церемонии. Таким образом, они стали первыми посторонними, первыми белыми людьми, которым довелось принимать теонанакатль.





Мария Сабина (1894 - 1985), первая курандера нарушившая табу и познакомившая европейцев с грибной церемонией (веладой)



Мария Сабина и Роберт Уоссон

Во второй части книги "Грибы, Россия и История" Уоссон с восторгом описывает, как гриб полностью овладел им, несмотря на то, что он пытался сопротивляться его действию, пытаясь оставаться объективным наблюдателем. Сначала он видел геометрические цветные узоры, которые затем приняли архитектурные очертания. Затем последовали видения великолепных колоннад, дворцов сверхъестественной красоты и величия, украшенных драгоценными камнями; триумфальных колесниц, запряженных сказочными существами, известными только из мифов; фантастических пейзажей. Отделенный от тела, его дух парил в безвременных фантазиях среди образов высшей реальности, наделенной более глубоким смыслом, чем обычный повседневный мир. Необъяснимый смысл жизни, казалось, был на грани раскрытия, но последнюю дверь так и не удалось открыть.

Этот опыт стал для Уоссона окончательным доказательством того, что волшебные свойства, приписываемые грибам, действительно существовали и не были пустыми предрассудками.

Чтобы предоставить грибы для научных исследований, Уоссон до этого установил контакт с микологом из Парижа профессором Роже Хаймом. Сопровождая Уоссона в следующих экспедициях к масатекам, Хайму удалось определить ботаническую принадлежность священных грибов. Он показал, что это были пластинчатые грибы из семейства Strophariaceae, и среди двенадцати видов, до этого неизвестных науке, большинство принадлежало к роду Psilocybe. Профессору Хайму также удалось вырастить эти виды в лаборатории. Гриб Psilocybe mexicana оказался наиболее пригодным для искусственного разведения.

Химические исследования волшебных грибов шли параллельно с ботаническими, их целью было выделение активных галлюциногенных веществ из тканей грибов и приготовления их в химически чистой форме. Эти исследования проводились по просьбе профессора Хайма в химической лаборатории при Национальном Музее Естественной Истории в Париже, а также этой проблемой занимались в США команды исследователей в лабораториях двух крупных фармацевтических компаниях: "Мерк" и "Смит, Кляйн энд Френч". Часть грибов американские лаборатории получили от Р.Г. Уоссона, другую часть собрали сами в горах Сьерра Масатека.



Старое здание лаборатории Сандоз (Sandoz Laboratories), где работал Альберт Хоффман, в настоящее время не сохранилось.



ЛСД (ЛСД-25, LSD) - диэтиламид d-лизергиновой кислоты

Поскольку химические исследования в Париже и Соединенных Штатах оказались безуспешными, профессор Хайм отправил этот материал в нашу фирму, как упоминалось в начале этой главы, потому что он чувствовал, что наш опыт относительно ЛСД, родственного грибам по своему действию, может оказаться полезным при попытках изоляции. Таким образом, именно ЛСД показал теонанакатлю дорогу в нашу лабораторию.

Будучи в то время директором отдела естественных продуктов химико-фармацевтических лабораторий Сандоз, я хотел поручить исследование волшебных грибов одному из своих сотрудников. Однако никто не изъявил большого желания взяться за эту проблему, поскольку было известно, что ЛСД и все с ним связанное, едва ли были популярной темой для высшего руководства. Поскольку энтузиазм, необходимый для успешных опытов, нельзя вызвать по приказу, и поскольку энтузиазм, относящийся к этой проблеме, у меня присутствовал, я решил провести эти исследования самостоятельно.

Для начала химического анализа я располагал около 100 г сушеных грибов вида Psilocybe mexicana, выращенных в лаборатории профессора Хайма. Мой лабораторный ассистент, Ханс Чертер, который на протяжении десятилетнего сотрудничества стал очень умелым помощником, в совершенстве знакомый с моей манерой работать, помог мне в опытах по экстракции и изоляции. Поскольку не существовало никаких сведений относительно действующего вещества, которое мы искали, опыты по изоляции следовало проводить, основываясь на свойствах фракций экстракта. Но не один из различных экстрактов не проявил четких эффектов, которые могли бы указать на присутствие галлюциногенных

веществ, ни у мышей, ни у собак. Поэтому возникло сомнение, что грибы, выращенные и высушенные в Париже, все еще действовали. Это можно было установить только путем испытания грибов на человеке. Как и в случае с ЛСД, я самостоятельно осуществил главный эксперимент, так как для исследователя неприемлемо просить кого-то другого провести эксперимент на себе, необходимый для его собственных исследований, особенно, если он влечет за собой, как в данном случае, определенный риск.

В этом эксперименте я съел 32 сушеных гриба Psilocybe mexicana, что составило 2.4 г. Это количество считалось средней дозой, используемой курандеро, согласно сообщениям Уоссона и Хайма. Как показывает следующий отрывок из отчета об эксперименте, грибы проявили сильное психотропное действие:

Спустя 30 минут после того, как я принял грибы, внешний мир претерпел странную трансформацию. Все приняло мексиканские черты. Поскольку я совершенно четко осознавал, что именно мое знание о мексиканском происхождении гриба привело меня к мексиканским сюжетам в моем воображении, я умышленно пытался увидеть окружавшее меня таким, каким я знал его в нормальном состоянии. Но все сознательные усилия увидеть вещи в их привычных формах и цветах оказались напрасными. С закрытыми или открытыми глазами я видел только мексиканские мотивы и цвета. Когда врач, наблюдавший за экспериментом, наклонился надо мной, чтобы измерить давление, он превратился в ацтекского жреца, и я не удивился, если бы он вытащил обсидиановый нож. Несмотря на серьезность ситуации, мне было смешно видеть, как германское лицо моего коллеги приобрело чисто индейское выражение. На самом пике интоксикации, примерно спустя 1.5 часа после приема грибов, натиск внутренних картин, состоявших в основном из абстрактных узоров, быстро менявших форму и цвет, достиг такой угрожающей степени, что я боялся, что меня засосет в этот водоворот цветов и форм, и я растворюсь в нем. После примерно шести часов этот сон закончился. Субъективно, я не имел понятия, сколько длилось это состояние. Я чувствовал, что мое возвращение к повседневной реальности было возвращением домой из странного фантастического, но в то же время реального, мира, в старый и знакомый мир. Этот эксперимент показал, что человек реагирует более чувствительно на психоактивные вещества, чем животные. Мы уже пришли к такому выводу после экспериментов с ЛСД над животными, как описывается в одной из предыдущих глав этой книги. То, что наши экстракты не действовали на мышей и собак, объяснялось не неактивностью грибов, а недостаточной реакцией лабораторных животных на этот вид активных соединений.

Поскольку испытание на людях было единственным методом, которым мы располагали, чтобы определить активные фракции экстракта, у нас не осталось другого выбора, как провести эти испытания на самих себе, чтобы продолжить нашу работу и довести ее до успешного завершения. В только что описанном эксперименте сильная реакция, длящаяся несколько часов, вызывалась 2.4 г сухих грибов. Поэтому, впоследствии мы использовали образцы, соответствующие только одной трети этого количества, а именно 0.8 г сушеных грибов. Если эти образцы содержали активное вещество, они производили только слабый эффект, который прерывал работу на небольшое время, но этот эффект был достаточно определенным, чтобы недвусмысленно отличать друг от друга фракции, содержащие активные вещества и неактивные фракции. Несколько сотрудников и коллег добровольно стали подопытными кроликами для этой серии тестов.

Благодаря этим достоверным испытаниям на людях мы смогли изолировать активные вещества, сконцентрировать их и превратить в химически чистую форму при помощи новейших методов сепарации. Два новых вещества, которые я назвал псилоцибин и псилоцин, были получены в форме бесцветных кристаллов.

Эти результаты были опубликованы в марте 1958 в журнале Experientia, в сотрудничестве с профессором Хаймом и моими коллегами доктором А. Браком и доктором Х. Кобелем, которые предоставили большое количество грибов для этих исследований после того, как они существенно улучшили методику выращивания грибов в лаборатории.

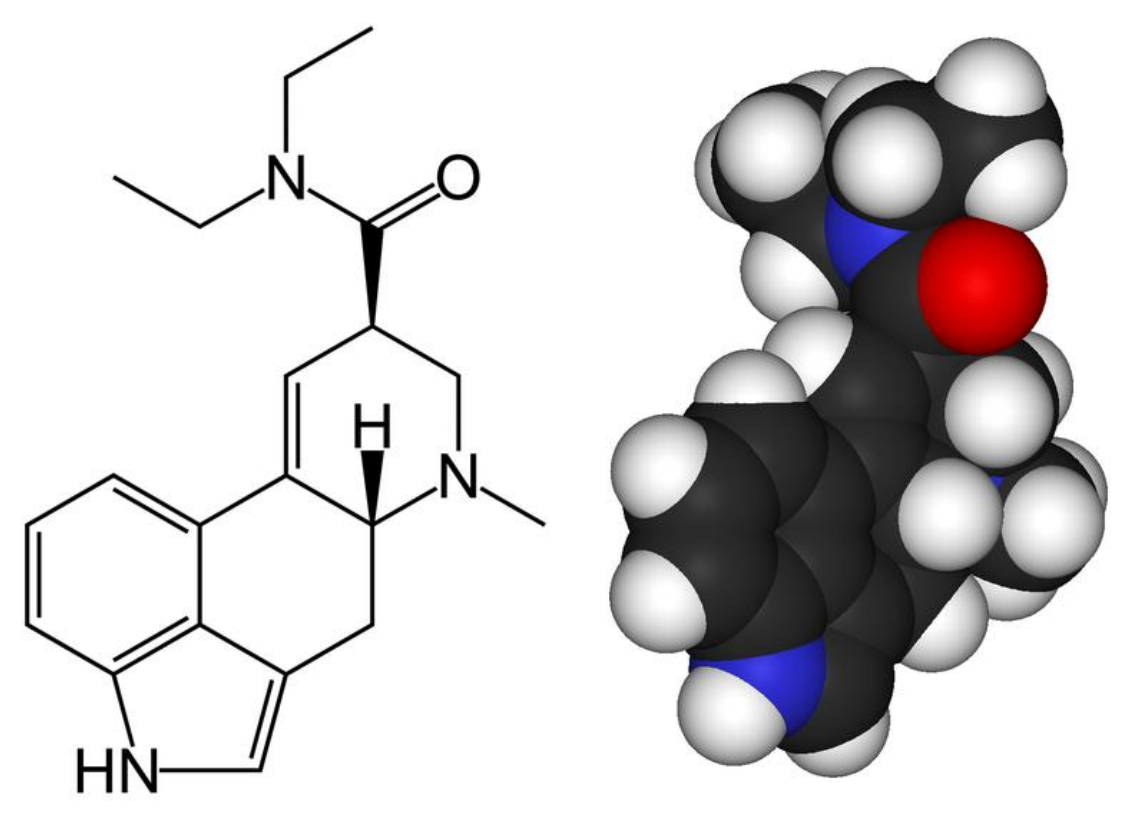
Некоторые из моих сотрудников - А.Й. Фрей, Х. Отт, Т. Петржилка и Ф. Трокслер - в дальнейшем участвовали в следующем этапе этих исследований, определении химического строения псилоцибина и псилоцина и последующем синтезе этих соединений, результаты которого были опубликованы в 1958 году в ноябрьском выпуске журнала Experientia. Химическое строение этих соединений заслуживает особого внимания в нескольких отношениях. Псилоцибин и псилоцин, как и ЛСД, принадлежат к индольным соединениям, биологически важному классу веществ, встречающихся в растительном и животном мире. Отдельные химические свойства, общие как для веществ, содержащихся в грибах, так и для ЛСД, указывают на то, что псилоцибин и псилоцин находятся в близком родстве с ЛСД, не только по своему психическому действию, но и по своей химической структуре. Псилоцибин является сложным эфиром фосфорной кислоты, таким образом, это первое и до сих пор единственное найденное в природе индольное соединение, содержащее фосфорную кислоту. Остаток фосфорной

кислоты никак не влияет на его активность, поскольку не содержащий фосфорной кислоты псилоцин проявляет такую же активность, как и псилоцибин, но этот остаток делает молекулу более стабильной. В то время как псилоцин легко разрушается кислородом воздуха, псилоцибин достаточно устойчив.

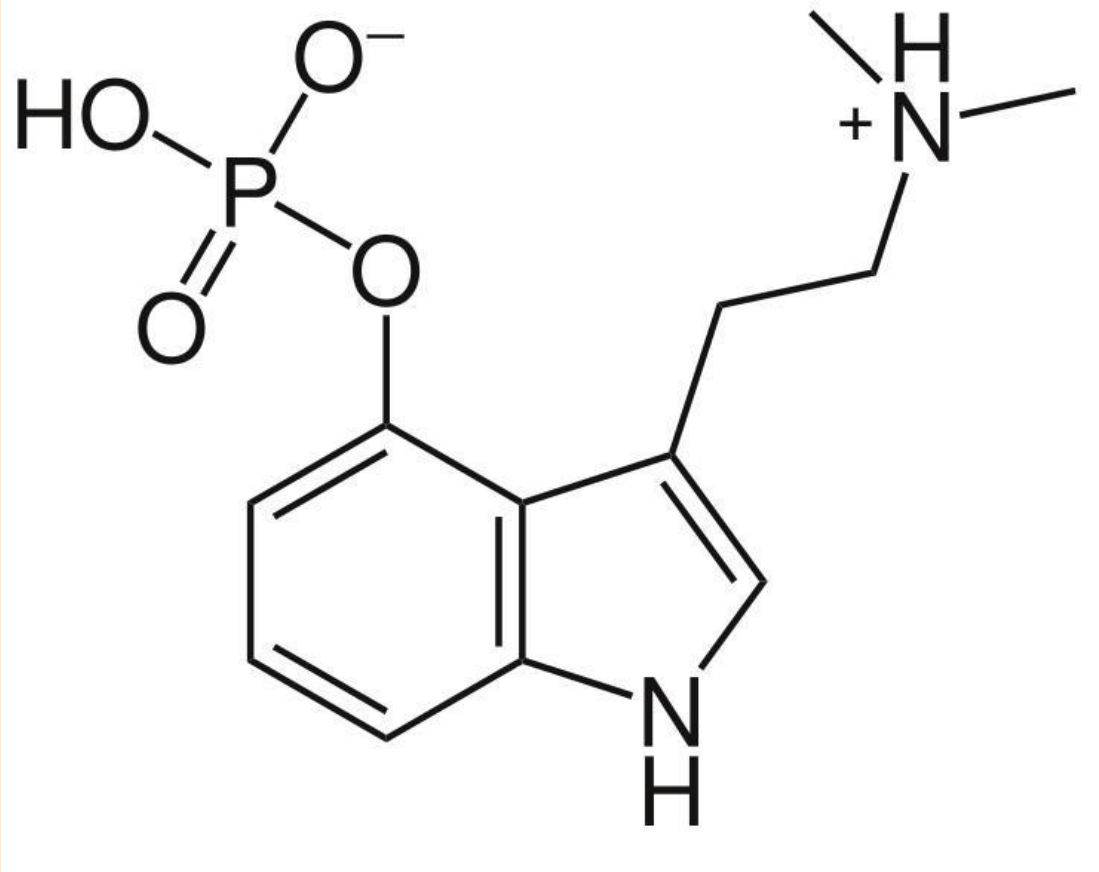
Псилоцибин и псилоцин обладают химическим строением, очень сходным с нейромедиатором серотонином. Как уже упоминалось в главе об опытах над животными и биологических исследованиях, серотонин играет важную роль в химическом регулировании функций мозга. Оба вещества, содержащиеся в грибах, так же как и ЛСД, в фармакологических экспериментах с различными органами блокируют эффекты серотонина. Другие фармакологические свойства псилоцибина и псилоцина тоже сходны с ЛСД. Основное различие состоит в количественной активности в экспериментах с человеком и животными. Средняя действующая доза псилоцибина или псилоцина для человека составляет 10 мг (0.01 г); соответственно эти вещества в 100 с лишним раз менее активны, чем ЛСД, для которого 0.1 мг считается высокой дозой. Более того, эффекты этих веществ длятся лишь от четырех до шести часов, что намного короче, чем эффекты ЛСД (восемь-двенадцать часов).

Полный синтез псилоцибина и псилоцина, без использования грибов, мог бы стать методом, позволяющим производить эти вещества в больших количествах. Синтетическое производство дешевле и целесообразнее, чем экстракция из грибов.

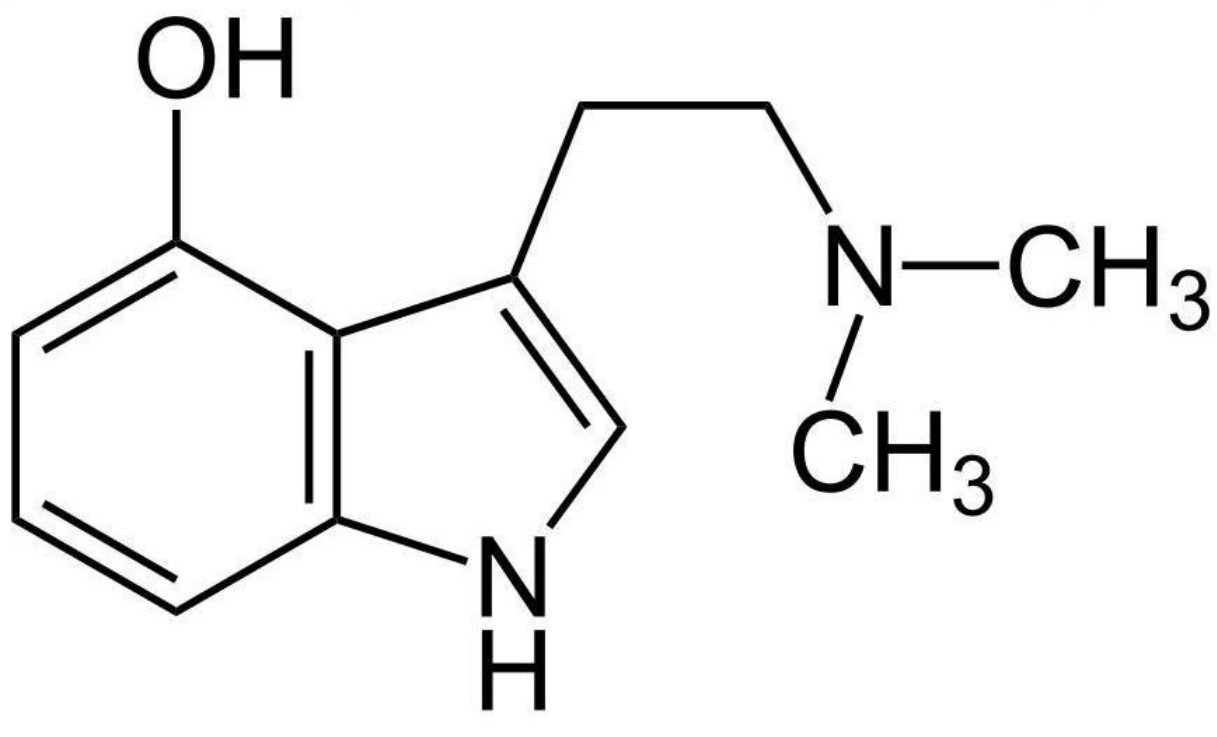
Поэтому и были осуществлены изоляция и синтез этих веществ, а с ними и разоблачение волшебных грибов. Было выяснено химическое строение и стало возможным синтетическое производство в пробирке тех соединений, чьи удивительные эффекты заставляли индейцев на протяжении тысячелетий верить, что в этих грибах пребывал Бог.



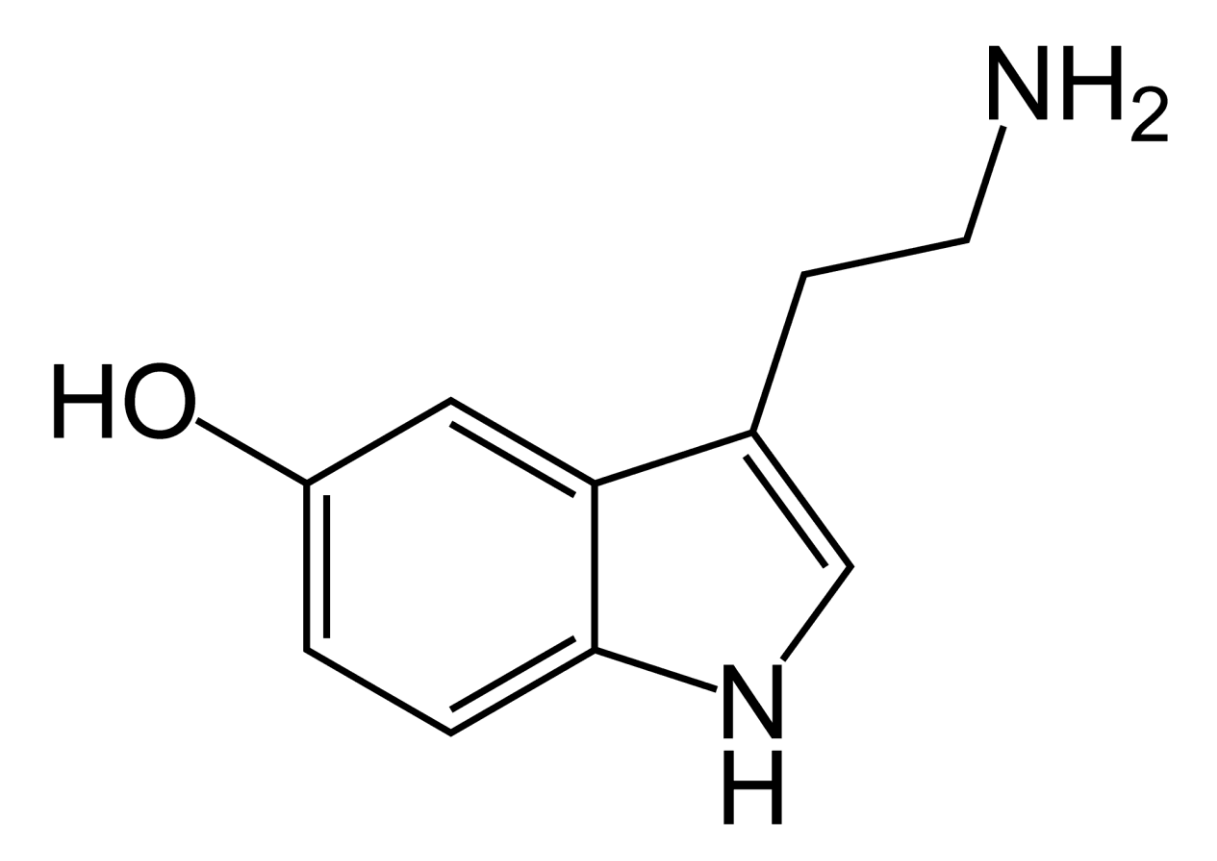
ЛСД (ЛСД-25, LSD) - диэтиламид d-лизергиновой кислоты



Псилоцибин (4-фосфорилокси-N,N-диметилтриптамин)



Псилоцин



Серотонин (5-гидрокситриптамин)

Псилоцибин ч.2

Козьма Прутков

2. Синтез псилоцибина

Синтез псилоцибина в общих чертах описан в монографии Франке З. по химии отравляющих веществ[1]. Приведем цитату:

Псилоцин (4-окси-N,N-диметилтриптамин) изомерен буфотенину. Наряду с псилоцибином (фосфат псилоцина), он был выделен Гофманом и Геймом из мексиканского ритуального гриба теонанкате (Psylocybe mexicana Heim). Этот гриб ацтеки употребляли в качестве наркотика при различных культовых обрядах. В ходе выполнения американской программы военно-химических исследований эти соединения были подробно изучены и их действие испытано на добровольцах. О масштабах эксперимента свидетельствует то, что в нем приняло участие 400 человек.

Оба соединения можно легко синтезировать. Исходным веществом для синтеза является 4-бензилоксииндол, из которого оксалилхлоридным методом получают 4-окси-N,N-диметилтриптамин (псилоцин). Последний этерифицируют дибензилхлорфосфинатом и после дебензилирования получают псилобицин.

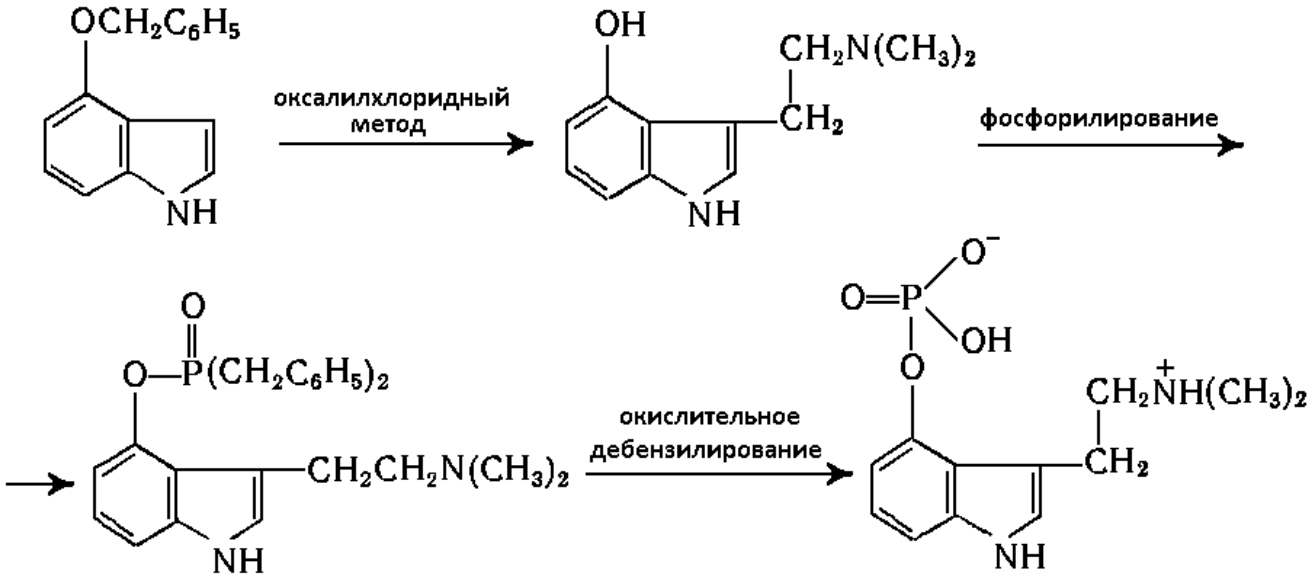
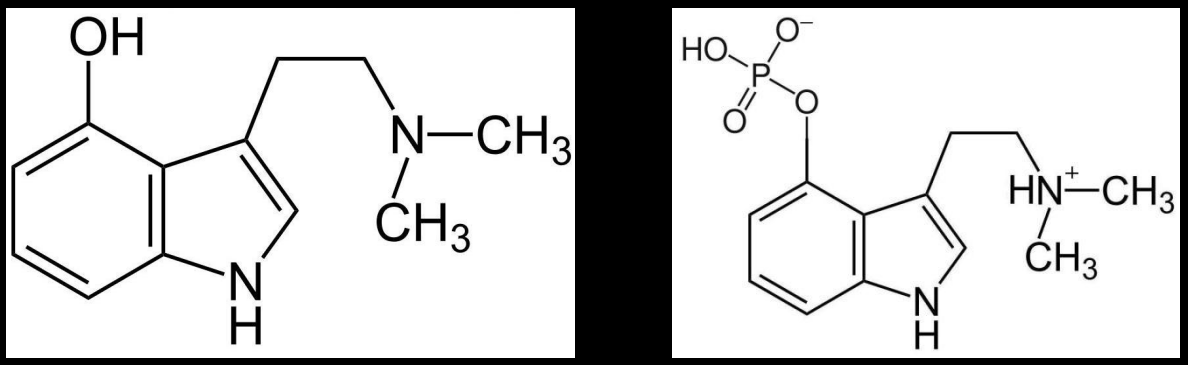


Схема синтеза псилоцибина

[1] Франке З. Химия отравляющих веществ. Т.1; Франке З.,Франц П., Варнке В. - Химия отравляющих веществ. Т.2 ссылка



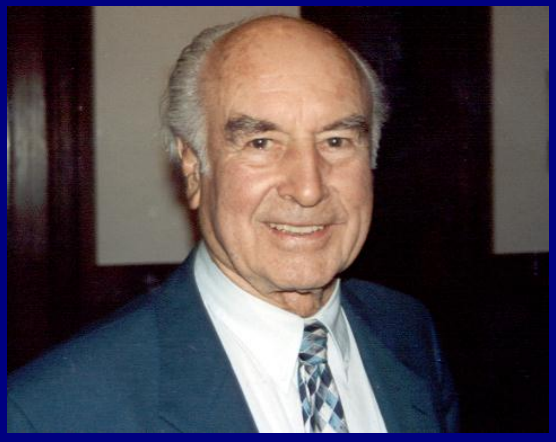
Псилоцин и псилоцибин

В 60-е швейцарская фармацевтическая компания Сандоз (где работал Хоффман) производила таблетки псилоцибина (по 2 мг) для экспериментальных исследований.

Псилоцибин, как и ЛСД, вероятно, официально производится и сейчас, однако, в ничтожных количествах. Впрочем, и нелегального ЛСД ввиду сложности процесса и дороговизны компонентов тоже производится немного. То, что на черном рынке выдается за ЛСД практически всегда психоактивные вещества фенилэтиламинового класса, дешевые и легко синтезируемые.



Легендарные таблетки Сандоз (псилоцибин)



Альберт Хоффман (фотография 1993 года)

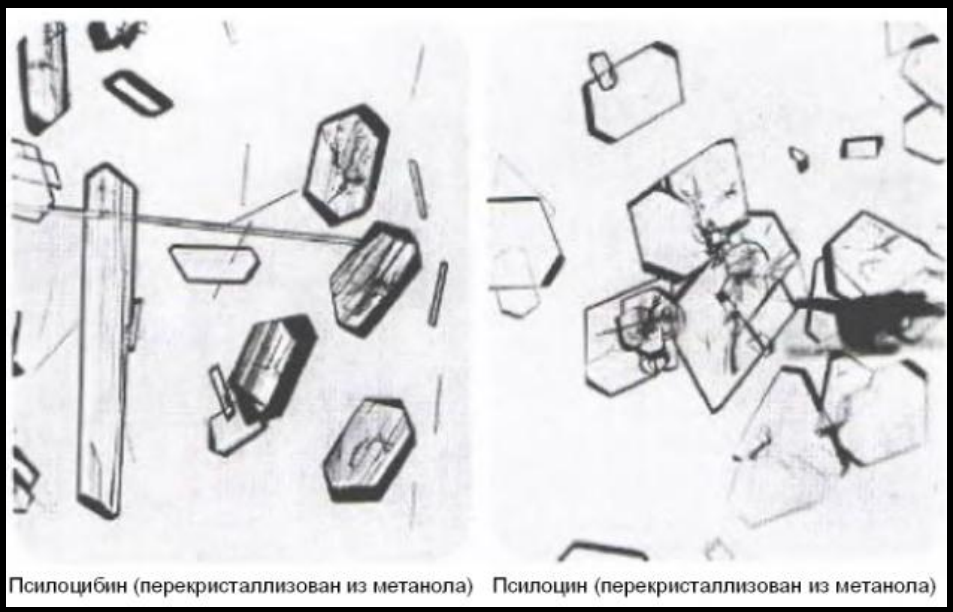
Псилоцибин ч.3

Козьма Прутков

3. Свойства псилоцибина, его нахождение в природе

Как уже отмечалось, псилоцибин представляет собой фосфорнокислый эфир 4-оксидиметилтриптамина. Путем дефосфорилирования псилоцибина образуется псилоцин (4-гидроксидиметилтриптамин).

Псилоцибин - белый кристаллический порошок, растворим в разбавленной уксусной кислоте, кипящей воде в соотношении 1:20, в кипящем метаноле - 1:120, нерастворим в хлороформе, бензоле. Температура плавления препарата - 220-228°С (из воды), 185-195°С (из метанола).



Псилоцибин (перекристаллизован из метанола) Псилоцин (перекристаллизован из метанола)

Кристаллы псилоцибина и псилоцина

Алкалоиды индольной природы содержатся в некоторых видах грибов (рода Psilocybe, Panaeolus), где они образуются путем ферментативного расщепления незаменимой аминокислоты триптофана. Таким образом, основой синтеза псилоцибина и псилоцина в грибной клетке служит триптофан. Следует отметить, что грибы отличаются от растений и животных повышенным относительным содержанием триптофана в белке, причем это относится не только к грибам, продуцирующим производные триптофана, но и ко всем представителям царства в целом. Напрашивается аргумент, что если псилоцибин и мог где-то зародиться в ходе эволюции, то только в царстве грибов; хотя известны редкие

растения, содержащие в своем составе производные триптофана с открытой боковой цепью, например DMT (диметилтриптамин).

Для полного превращения триптофана в псилоцибин субстрат должен пройти ряд превращений, под каждым из которых подразумевается действие фермента или мультиферментного комплекса. Необходимых ферментных превращений четыре: гидроксилирование в ядро, декарбоксилирование, метилирование аминогруппы и фосфорилирование гидроксила.

Классическая схема биосинтеза псилоцибина предполагает, что из триптофана синтезируется псилоцин (декарбоксилирование, метилирование, гидроксилирование), который затем фосфорилируется в псилоцибин. При этом декарбоксилирование обязательно предшествует гидроксилированию.

Классическая схема биосинтеза псилоцибина по Дэвику (Dewick):

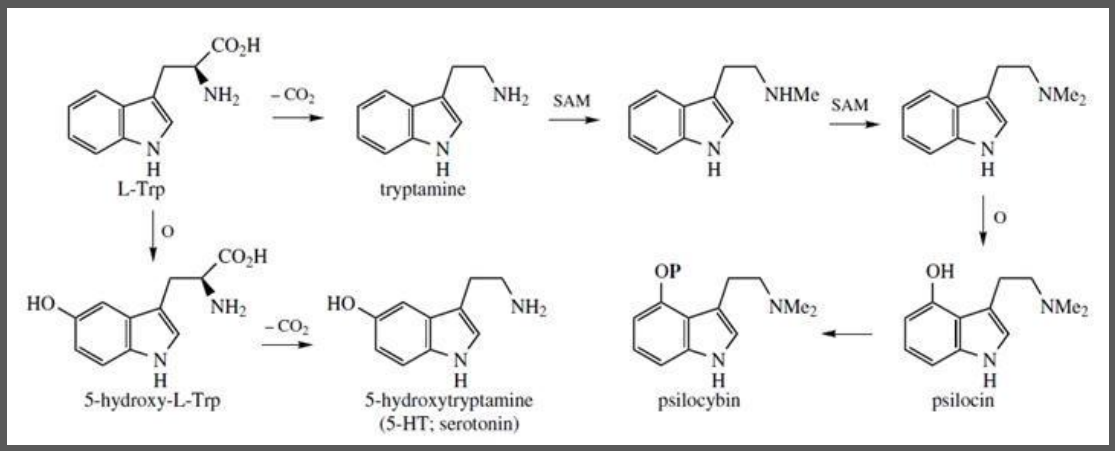


Схема биосинтеза псилоцибина

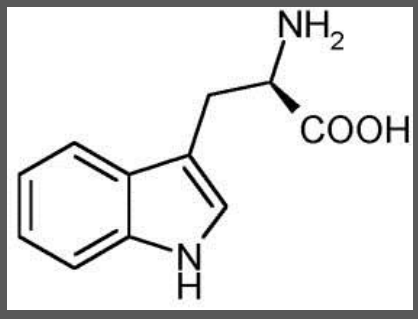
Содержание псилоцибина и псилоцина в грибах сильно варьирует. Из грибов, произрастающих в России, наиболее богат псилоцибином вид Псилоцибе полуланцетовидная (Psilocybe semilanceata). По данным J. Gartz, 1994 содержание псилоцибина составляет 0,98 % в пересчете на сухую массу грибов (метод выделения - экстракция метанолом).



Psilocybe semilanceata
(фото из книги М.В. Вишневский Несъедобные ядовитые и галлюциногенные грибы Московской области ссылка)



Сорванные плодовые тела Psilocybe semilanceata



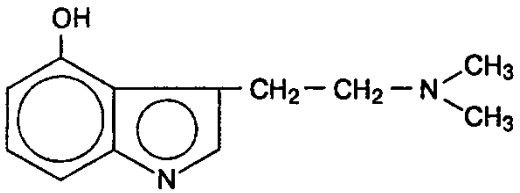
Триптофан

Псилоцибин ч.4

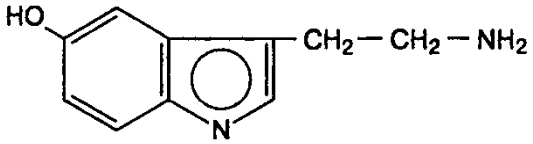
Козьма Прутков

4. Действие псилоцибина на человека и животных

Псилоцибин и псилоцин имеют структуру, сходную с серотонином (5-гидрокситриптамин), одним из важнейших нейромедиаторов - биологически-активным веществом, посредством которого осуществляется передача электрического импульса с нервной клетки через синаптическое пространство между нейронами.



Псилоцин



Серотонин

Механизм действия псилоцибина не до конца ясен. Наиболее вероятным представляется опосредованное действие через серотониновые (5-HT2) рецепторы. Однако замещение серотонина псилоцибином не может объяснить всех эффектов.

Псилоцибин и псилоцин обладают сильным психоактивным действием, минимальная доза вещества, оказывающая действие на человека - около 3 мг. LD 50 для крыс (внутрь) 280 мг/кг. LD 50 для мыши (псилоцин внутривенно) 5 мг/кг. Исследования на людях длительно употребляющих псилоцибин не проводились. Случаи смертельных отравлений человека неизвестны, т.к. слишком велика разница между эффективной и смертельной дозой. Создается внешнее впечатление отсутствия побочных последствий приема. Но, несомненно, длительное систематическое употребление псилоцибина наносит вред организму и психике. Для примера приведем фрагмент из статьи: *М.Г. Молдаван и др. Нейротропное действие экстрактов токсических грибов родов Amanita и Psilocybe (http://entheogen.ru)*

Многие виды грибов рода Psilocybe также содержат галлюциногенные алкалоиды индольной природы: псилоцибин (ПСБ) и псилоцин (ПС). Их сильные галлюциногенные свойства являются причиной возникновения психической зависимости у лиц, хронически

злоупотребляющих этими грибами. Первые исследования показали, что ПСБ слабо токсичен. Однако, по последним данным, употребление этих грибов вызывает неспецифические изменения во многих внутренних органах, которые характеризуются выраженными гемомикроциркуляторными расстройствами и внутриклеточными дистрофиями, оказывает токсическое действие на деятельность сердца, почек и печени, а также на нейроны гипоталамических ядер, неокортекса и гиппокампа. Действие этих веществ приводит к многофокусной церебральной демиелинизации и дистрофическому изменению невроцитов в зоне аммонового рога (гиппокампа).

Однако объективную оценку вреда для организма человека на основании имеющихся сейчас данных сделать трудно. Нерегулярное употребление небольших количеств, видимо, не наносит ощутимого вреда организму и психике, однако, это не повод к употреблению псилоцибина и псилоцина.

В России оба вещества (и даже плодовые тела грибов, их содержащие) входят в Список I - Наркотические средства и психотропные вещества, оборот которых в Российской Федерации запрещен в соответствии с законодательством Российской Федерации и международными договорами Российской Федерации.

Предупреждаем, что сбор содержащих псилоцибин грибов, хранение и использование плодовых тел с любыми целями противозаконны!

Самостоятельные эксперименты с приемом псилоцибина могут привести к плохим последствиям.

Наиболее подробно и обстоятельно действие псилоцибина описано в монографии Столяров Г.В. Лекарственные психозы и психотомиметические средства. (1964) ссылка. Среди литературы на русском это лучшая книга посвященная теме галлюциногенов.

Приведем наиболее интересный фрагмент главы, посвященной этому веществу. (Курсивом даны разъяснения специальных терминов).

Дача псилоцибина здоровым людям вызывает у них значительные и разнообразные соматические и психические нарушения.

Псилоцибин дают внутрь (4-14 мг) либо вводят подкожно или внутримышечно (3-15 мг).

Психические изменения обычно появляются после приема внутрь через 30-60 минут, после парентерального введения *(способ введения, минующий пищеварительный тракт - например, инъекции)* они развиваются быстрее - через 10-15 минут и обычно более выражены, чем после приема внутрь.

В сфере восприятия отмечается, прежде всего, большая яркость восприятия - цвета окружающих предметов кажутся более яркими и чистыми. Появляются иллюзии и галлюцинации, преимущественно зрительные. Предметы приходят в движение, лица окружающих меняются, появляются различные цветные узоры, геометрические фигуры, ковры, мозаика. Более сложные галлюцинации - предметы - наблюдаются реже, сценоподобный характер галлюцинаций обычно отсутствует, но может быть ревизуализация прошлого. Иллюзии и галлюцинации обычно ярки, подвижны, возникают преимущественно при закрытых глазах, обычно носят приятный, реже - устрашающий характер. Нарушения слухового восприятия наблюдаются реже, обычно ограничиваются гиперакузией (*гиперакузия - извращенное восприятие звуков, при котором относительно слабые звуки воспринимаются как чрезмерно интенсивные*), иногда элементарными иллюзиями и галлюцинациями слуха. Нам удалось обнаружить лишь одно наблюдение, в котором испытуемый после приема псилоцибина испытывал сложные галлюцинации слуха - слышал музыку Генделя и Моцарта. Могут развиваться также вкусовые и обонятельные иллюзии и галлюцинации, которые, однако, отступают на задний план по сравнению с нарушениями зрительного восприятия.

Часто нарушается восприятие времени и пространства. Субъективное течение времени может, как ускоряться, так и замедляться вплоть до появления чувства остановки времени, чаще, однако течение времени замедляется. Изменяется перспектива, комната, в которой находятся испытуемые, увеличивается, уменьшается, вытягивается в длину, стены то приближаются, то отступают. Изменяются форма и очертания предметов (метаморфопсии). Может наблюдаться чувство нереальности - человек как будто оказывается в другом мире, - хотя формальная ориентировка не нарушается.

Расстройства схемы тела, деперсонализация также нередки, хотя наблюдаются далеко не во всех случаях. Собственное тело или отдельные его части становятся более тяжелыми или легкими, увеличенными или уменьшенными, форма их изменяется и т.д. При более выраженных нарушениях тело становится чужим, испытуемые чувствуют, что они как бы удвоились, распались на отдельные элементы, тело утрачивает границы, сливается с окружающим миром, исчезает, собственный голос доносится со стороны,

нарушается связь мира с "Я" испытуемого. Один из испытуемых, описанный Деле и сотр. созерцал себя самого, как актера, играющего комедию, причем он сам являлся одновременно и актером и зрителем (деперсонализация).

Наряду с нарушениями восприятия отмечаются и нарушения мышления. Появляется чувство пустоты в голове, остановка и отсутствие мыслей, замедление или ускорение темпа мышления и речи. Выполнение психологических тестов обычно ухудшается, при этом может наблюдаться чрезмерная генерализация; символизация; в обычных фразах или картинках, предъявляемых для толкования, испытуемые замечают скрытый намек или угрозу. Отчасти затруднения в выполнении тестов могут быть связаны с нарушениями внимания, сконцентрированного на собственных переживаниях, отсутствием интереса к эксперименту, желания возможно лучше справиться с заданием. Нередки и идеи отношения и преследования, содержание которых чаще связано с экспериментом: испытуемые считают, что их обманули, дали вместо обещанного лекарства с какой-то целью яд, экспериментатор хочет погубить их здоровье, может быть умертвить и т.п.

Для эмоциональных изменений, вызываемых псилоцибином, наиболее характерны чувство безразличия, утрата интереса к окружающему, внутреннее спокойствие ("токсическая интраверзия" по де Бору) и эйфория, которые часто сочетаются между собой. Испытуемые ощущают полную внутреннюю гармонию, глубокое удовлетворение, которые иногда достигают степени экстаза, когда им открывается "чистая красота", кажется, что постигнуты "основные истины". В то же время все происходящее вокруг утрачивает свое значение, все проблемы, личные и общественные, мысли и чувства окружающих перестают волновать испытуемых, они порой утрачивают способность сочувствовать людям и хотя могут понимать смысл происходящего, следить за ведущейся в их присутствии беседой и даже участвовать в ней, но для этого им приходится делать над собой усилие, так как все это не представляет для испытуемых никакого интереса. Эйфория может носить как характер созерцательной радости, так и напоминать гипоманиакальное состояние. В этих случаях испытуемые наряду с повышенным настроением обнаруживают болтливость, повышенную потребность в движении, ускорение течения мыслей, отвлекаемость внимания, беспричинный смех. Наконец, эйфория может быть чуждой личности, как бы навязанной извне, или же наблюдается лишь внешнее выражение повышенного настроения, тогда как само чувство радости и веселья отсутствует. Однако повышенное настроение сравнительно редко сохраняется на всем протяжении экспериментального психоза. Чаще оно чередуется с

чувством тоски, тревоги, страха. В меньшем числе случаев повышенное настроение может отсутствовать, а на первый план выступают чувства тревоги, страха, недовольства, беспричинной тоски, реже - амбивалентность *(амбивалентность - двойственность чувственного переживания, выражающаяся в том, что один и тот же объект вызывает к себе у человека одновременно два противоположных чувства, например удовольствия и неудовольствия, любви и ненависти, симпатии и антипатии.)* Двигательная и волевая активность чаще уменьшаются, в более редких случаях усиливаются. Обычно погружение в мир своих переживаний, снижение или утрата интереса к происходящему вокруг делают испытуемых менее доступными, аутичными, но может наблюдаться и чрезмерная откровенность, когда испытуемые охотно и без всякой к тому необходимости делятся своими сокровенными переживаниями, планами, надеждами. Французский писатель Мишо, испытавший на себе действие псилоцибина и подробно описавший свои переживания, связывал эту откровенность с тем, что будущее в этом состоянии потеряло для него всякое значение.

Ориентировка в месте, времени и собственной личности обычно не страдает, испытуемые могут контролировать свое поведение. Однако Деле и сотр. отмечают возможность развития онейроидных эпизодов (*онейроидный синдром - психопатологический синдром, характеризующийся особым видом качественного нарушения сознания (онейроидная, грезоподобная дезориентировка) с наличием развернутых картин фантастических сновидных и псевдогаллюцинаторных переживаний, переплетающихся с реальностью*), обычно непродолжительных. При этом окружающее кажется странным, нереальным, приобретает символическое значение, независимое от логики, появляется чувство проникновения в абсолютную истину, недоступную другим. Нарушается восприятие времени, схемы тела, речь становится непонятной, символичной. Исчезает критика к своему состоянию. По окончании экспериментального психоза эти периоды выпадают из памяти.

По-видимому, речь идет в значительной степени о различной трактовке одних и тех же явлений, т.к. другие исследователи описывают сходные нарушения, но не трактуют их как синдромы нарушенного сознания.

Таким образом, прием псилоцибина здоровыми людьми вызывает психоз, протекающий обычно на фоне неизмененного сознания и характеризующийся двумя основными картинами: аутизмом (*термин "аутизм" (от греческого autos - сам) был введен психиатром Е. Блейлером и означает "оторванность ассоциаций от данных опыта,*

игнорирование действительных отношений") с богатыми внутренними переживаниями (иллюзиями зрения, реже - слуха, обоняния и вкуса, нарушениями восприятия времени и пространства, изменениями схемы тела, деперсонализацией *(деперсонализация (лат. de, лат. persona - личность) - состояние, сопровождающееся изменением или потерей чувства собственного "Я" [диссоциативное расстройство])*, нарушениями мышления, уменьшением активности и побуждений, иногда идеями отношения) и гипоманиакальным состоянием.

Весьма разнообразны и соматические *(телесные)* нарушения, вызываемые псилоцибином. Нередко, особенно в начальном периоде интоксикации, наблюдается тошнота. Наиболее постоянным симптомом является мидриаз *(расширение зрачка)*, часто, хотя и не всегда, отмечаются замедление пульса (реже - тахикардия *(увеличение частоты сердечных сокращений от 90 ударов в минуту)*), колебания его частоты, оживление сухожильных рефлексов. Менее постоянны, но все же наблюдаются более чем у 1/2 испытуемых головокружения, потливость, покраснение лица, реже - рук, иногда сопровождающееся чувством жара или холода, разнообразные нарушения дыхания (его ускорение, замедление, неустойчивость). К более редким симптомам относятся головные боли, чувство легкости или давления в голове, повышенная чувствительность к свету, парестезии *(ощущения онемения, чувства покалывания, "ползания мурашек")*, тремор, дизметрия и нарушения походки, повышение или ослабление кожной чувствительности, чувство онемения или ползания мурашек в конечностях, преходящая гипо- или гипертензия, сухость во рту. <...>

Большинство исследователей ограничивается лишь описанием соматических изменений, не пытаясь сопоставить их с изменениями психики. Все же Деле и сотр. удалось отметить, что тахикардия обычно связана с чувством тревоги, а наибольшая выраженность вазомоторных изменений совпадает с периодом наиболее выраженных психических изменений, в частности - с эйфорией.

Зависимость между характером психических нарушений и дозой псилоцибина прослежена в опытах на здоровых людях Гнирссом. После подкожного введения 3 мг псилоцибина он наблюдал легкую апатию, сменяющуюся эйфорией (иногда - недовольно-недоверчивым настроением), уменьшение потока мыслей, чувство внутренней расслабленности, отдаление от внешнего мира, интенсификацию цветов окружающих предметов. Испытуемые бесцельно отдаются мыслям о повседневных событиях. Соматические нарушения обычно отсутствуют. Увеличение дозы псилоцибина до 5-6 мг

ведет к усилению психических и появлению соматических нарушений. Субъективно испытуемые ощущают головокружения, чувство жара, сдавления в голове и в шее, объективно отмечаются мидриаз, потливость, замедленное и углубленное дыхание, брадикардия, повышение артериального давления, легкая атаксия, десинхронизация на ЭЭГ *(электроэнцефалограмма)*. В психическом состоянии преобладают аспонтанность, пустое довольство, склонность к шуткам, иногда - беспричинный смех, безразличие к общим и личным проблемам.

Наконец, введение 10 мг псилоцибина (самонаблюдение автора) вызвала наиболее значительные психические нарушения: яркие иллюзии зрения, окружающее то приближаюсь, то удалялось; стены, пол, потолок переходили друг в друга, нарушались чувство времени, схема тела, мышление (мысли становились отрывочными, окружающие предметы расценивались как символ того, что происходит с автором, он сам как бы превращался и распадался на отдельные причудливые элементы, казалось, что им управляют извне), наблюдались короткие эпизоды помрачения сознания. Эти переживания сопровождались дисфорией, боязливостью, критика к ним была утрачена и восстановилась только по миновании психотического эпизода.

Роль дозы псилоцибина подтверждают и другие исследователи. Как выраженность психических нарушений, так и неврологическая симптоматика - нарушение координации движений, атаксия, нарушение артикуляции становятся тем более выраженными, чем больше доза псилоцибина, хотя далеко не всегда возможно предсказать характер психических нарушений на основании одной лишь дозы псилоцибина. В общем, чем выше доза, тем больше картина приближается к токсическому делирию.

Хейман, исследуя 12 здоровых людей (25 опытов) с применением, наряду с непосредственным наблюдением, киносъемки и записи речи, выделил 3 фазы действия псилоцибина. В 1-ой фазе, начинающейся через 15-25 минут после введения псилоцибина, испытуемые как бы со вниманием прислушиваются к самим себе, лицо становится спокойным, задумчивым, жесты более скупыми, речь - тише и мелодичнее. Появляются своеобразные, с трудом поддающиеся словесному определению, ощущения в теле, иногда - чувство полета или погружения. 2-я фаза начинается через 30-60 минут. В это время испытуемые подвижны, внимание их сосредоточено на ближайшем окружении, но ограничивается только им - остальное теряет свое значение. Речь приобретает характер монолога, появляются зрительные иллюзии и галлюцинации. При относительно небольших дозах псилоцибина вызываемые им изменения ограничиваются

описанными двумя фазами. Если же доза составляет 0,146-0,19 мг на 1 кг веса, то развивается и 3-я фаза, наступающая через 1,5-2 часа и позже. Для этой фазы характерны отсутствующий взгляд, отрывочная, тихая и монотонная речь, концентрация внимания на собственных переживаниях, дереализация, деперсонализация, чувство замедления или остановки времени, расщепления "Я", нечеткие границы между "Я" и внешним миром. Исчезает интерес к людям, способность чувствовать и понимать чувства других. <...>

Большинство исследователей указывает, что психические нарушения сохраняются несколько часов, обычно 4-5, после дачи внутрь или парентерального введения псилоцибина, по миновании этих нарушений неприятные ощущения отсутствуют, испытуемые сохраняют ясное воспоминание о своих переживаниях. Иногда психические нарушения могут затягиваться до многих часов, редко - до нескольких дней, хотя и в этих случаях они наиболее выражены через 2-4 часа после в ведения псилоцибина. Нарушения сознания, если они имели место, исчезают быстрее, чем эмоциональные нарушения. Воспоминание на период расстроенного сознания отрывочны, искажены, может наблюдаться частичная амнезия. По миновании психических нарушений в течение 24-48 часов, иногда и дольше, может сохраняться астеническое состояние с головными болями, отсутствием аппетита, болями в животе, изредка - парестезиями и синестезиями.

В отличие от ДЛК *(ЛСД)* и мескалина при повторных введениях псилоцибина привыкание к нему не наступает, выраженность реакции чаще остается у одного и того же лица одинаковой (при равных дозах псилоцибина); после нескольких дней приема ДЛК введение псилоцибина не оказывает обычного действия. Но предварительный прием псилоцибина не предотвращает или только ослабляет реакцию на последующую дачу ДЛК.

Зависимость характера реакции на псилоцибин от особенностей личности не исследовалась, возможно, потому, что опыт изучения других психотомиметиков - мескалина и ДЛК показал, что установить такую зависимость не удается. <...>

Фармакологические свойства и обмен псилоцибина изучались, главным образом, на животных. Эти данные лишь частично могут быть использованы для изучения действия псилоцибина на человека. Выше уже отмечалось, что выделить псилоцибин удалось только, исследуя действие различных фракций гриба на человека, тогда как эксперименты на животных не дали убедительных результатов. Различные виды

животных обнаруживают разную чувствительность к псилоцибину - мыши и собаки менее чувствительны к нему, чем крысы, кролики и обезьяны. Таким образом, нельзя установить параллелизм между сложностью высшей нервной деятельности животного и его чувствительностью к псилоцибину. Вместе с тем можно отметить известное сходство между действием псилоцибина на животных и на человека. При введении крысам, кроликам, собакам и обезьянам псилоцибин оказывает преимущественно симпатотоническое действие, вызывая мидриаз, пилоэрекцию *(сокращение мышц, поднимающих волосы)*, учащение дыхания, повышение температуры, подъем артериального давления, сокращение мигательной перепонки, гипергликемию. Менее постоянно действие на частоту пульса - отмечены как тахикардия, так и брадикардия *(снижение частоты сердечных сокращений)*. Вместе с тем, двигательная активность животных чаще либо не меняется, либо несколько уменьшена. Иногда может наблюдаться двигательное возбуждение, чередующееся с сонливостью. Несмотря на седативное действие псилоцибина, реакция животных на внешние раздражения не меняется или даже усиливается".

В заключении отметим, что антидотами, т.е. веществами позволяющими снять или ослабить симптомы "опьянения" псилоцибином, являются лекарственные препараты - антагонисты серотониновых рецепторов. Конечно, данные лекарства не предназначены именно для этой цели, поэтому являются неспецифическими антидотами. Примером может служить кетансерин (суфроксал) - гипотензивное средство (снижающее давление) препарат "скорой помощи" при гипертоническом кризе. Имеются сведения, что одновременный прием внутрь 40 мг кетансерина совместно с псилоцибином позволяет в значительной мере ослабить влияние последнего. Однако, если пострадавший - гипотоник (пониженное артериальное давление), давление может упасть до опасных значений. В случае гипотоников можно использовать неселективный антагонист серотониновых рецепторов - противорвотный препарат ондансетрон (синонимы: эметрон, сетронон). Применение антидотов - крайняя мера и обычно в ней нет потребности.

Напоминаем, что в подобных случаях крайне желательно, чтобы рядом постоянно находился ассистент, который в случае необходимости сможет уберечь "экспериментатора" от неадекватных поступков. Под действием псилоцибина могут возникать навязчивые мысли о том, что состояние "опьянения" затянется или вообще никогда не прекратиться. Однако заранее настройтесь, что это не так, попытайтесь отвлечься и подумать о другом. При умеренных дозах после двух часов довольно

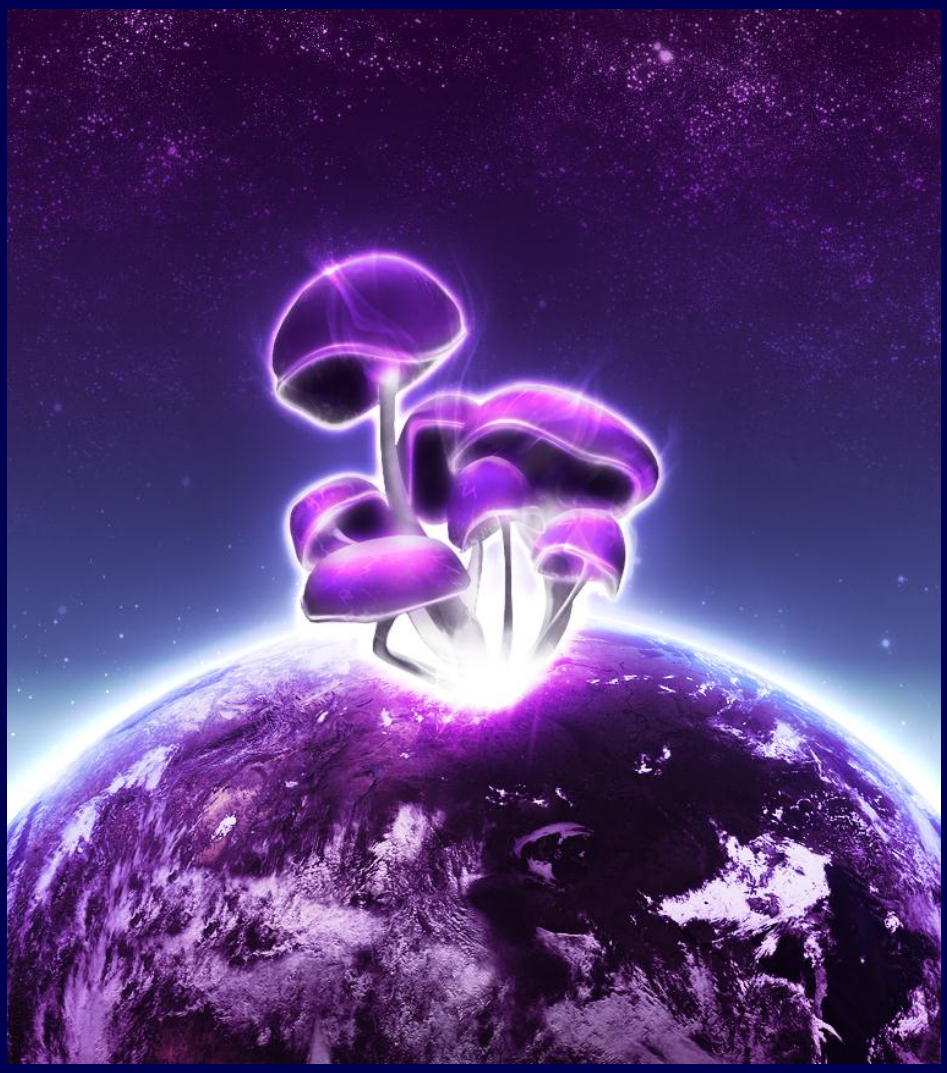
равномерного состояния сильно измененного сознания наступает быстрый спад симптомов "опьянения" и возвращение к нормальному восприятию.









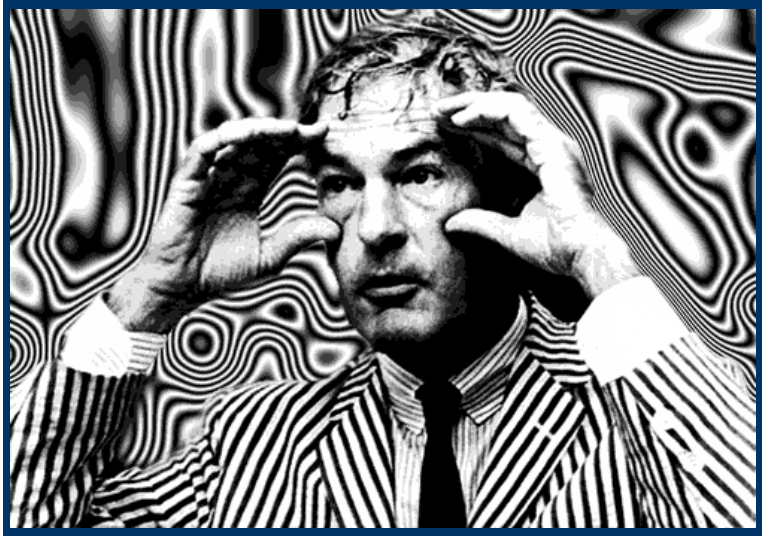



ВЕРУЮ
www.kravda.net
Атеист! Сначала поешь грибов
А потом говори, что бога нет..

Псилоцибин ч.5

Козьма Прутков

5. Исследовательские программы, связанные с псилоцибином



Я узнал за шесть часов больше, чем за последние шестнадцать лет. Изменяется визуальное восприятие. Исчезают все механизмы восприятия, отвечающие за то, как мы видим реальность. Изменяется сознание. Исчезают все умственные механизмы, разбивающие мир на мелкие кусочки, состоящие из абстракций и понятий. Исчезают механизмы, заставляющие нас жить в плену собственных амбиций и глупых желаний.

Тимоти Лири (о своем первом опыте приема содержащих псилоцибин грибов)

Первой программой исследования псилоцибина стал проект Гарвардского университета, продлившийся с осени 1960 г - до марта 1962. Руководителями программы исследований стали доктор психологии Тимоти Лири и позднее профессор психологии Ричард Альперт. Во время своего отпуска Лири попробовал мексиканских священных грибов. Их воздействие столь поразило его, что он заказал в фирме Сандоз синтетический активный компонент мексиканских грибов, выпускавшийся под торговой маркой "псилоцибин".

В первом эксперименте было исследовано воздействие псилоцибина на 175 добровольцах различных профессий. Более половины участников утверждали, что узнали много нового о себе и псилоцибин изменил их жизнь к лучшему. В дальнейшем опыты Лири привлекли большинство аспирантов университета. Постепенно опыты все чаще превращались в коллективный прием псилоцибина, что вызвало недовольство руководства и в дальнейшем привело к свертыванию программы. Лири и Альперт были уволены из университета, не прекратив своих опытов и став затем лидерами движения контркультуры и пропагандистами психоделических веществ.

Желающим познакомиться с историей исследования псилоцибина и ЛСД, историей злоупотребления психотропными средствами, учеными, деятелями контркультуры и другими людьми, связанными с этими веществами, рекомендуем очень хорошую книгу Джей Стивенс - Штурмуя небеса. ЛСД и американская мечта ссылка, незаслуженно причисленную к литературе, пропагандирующей наркотики. Кроме всего прочего, эта книга поможет проникнуться атмосферой 60-х годов[1].

Интересны также воспоминания участника этих событий Ральфа Метцнера, приведенные ниже.

На наш взгляд наиболее интересный опыт из всей гарвардской программы - это эксперимент Good Friday/Страстная Пятница, придуманный Уолтером Панке (Walter Pahnke, 1931-1971).

20 апреля 1962 года 20 студентов-богословов разделили на две группы: первой дали по 30 мг псилоцибина, а второй активное плацебо - витамин B3 (никотиновая кислота), не обладающий психоактивным действием, но вызывающий соматические явления. Девять студентов из первой группы сообщили о религиозно-мистическом опыте, из второй лишь один испытал похожее состояние.

Приведем описания этого опыта, сделанные двумя разными людьми.

---

[1] Читателям, интересующимся данной тематикой, мы рекомендуем также фильм телекомпании BBC: *LSD - The Beyond Within / ЛСД - Внутренний беспредел (1987).* По нашему мнению фильм достаточно объективен, он содержит множество уникальных документальных кадров и интервью с людьми, которые так или иначе связанны с психоделиками.



Уолтер Панке (Walter Pahnke, 1931-1971)

Воспоминания Ральфа Метцнера: *Из Гарварда в Сиуатанехо*
(из сборника Тимоти Лири *Искушение будущим*)

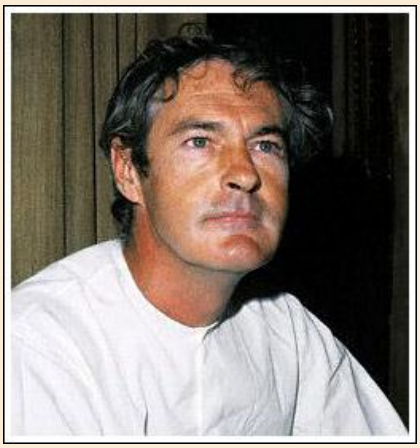
Потом приехал Уолтер Панке и начал свою знаменитую "Страстную пятницу", первый и до сегодняшнего дня единственный полностью контролируемый, чистый эксперимент по изучению мистического опыта. Уолтер был доктором медицины со Среднего Запада и рукоположенным священником. Он собирался защитить диссертацию на степень доктора философии по истории религии в Гарварде. Его идея состояла в том, чтобы дать псилоцибин студентам-теологам во время церковной службы в часовне в Страстную пятницу. Он понял теорию "set and setting" и хотел максимизировать все факторы для достижения религиозного опыта. Контрольная группа должна была получить плацебо в то же время, в том же месте, и ни один из участников эксперимента не должен был знать, кто получил наркотик, а кто пустышку.

Это даже для нас казалось безумной и экстравагантной идеей, и мы не думали, что из этого выйдет что-то путное. Но Уолтер был положительный, преуспевающий, чистый и аккуратный мужчина бойскаутского типа, с прекрасными рекомендациями и солидным положением в обществе. Дьякон Ховард Турман из Школы богословия Бостонского университета согласился предоставить свою часовню для службы. Уолтер Кларк договорился с Семинарией Эндовера-Ньютона, что она предоставит добровольцев из числа своих проверенных и идеалистически настроенных студентов. Гарвардский университет должен был предоставить опытных руководителей из числа участников Псилоцибинового проекта, которые будут работать с двадцатью добровольцами, разбитыми на малые группы.

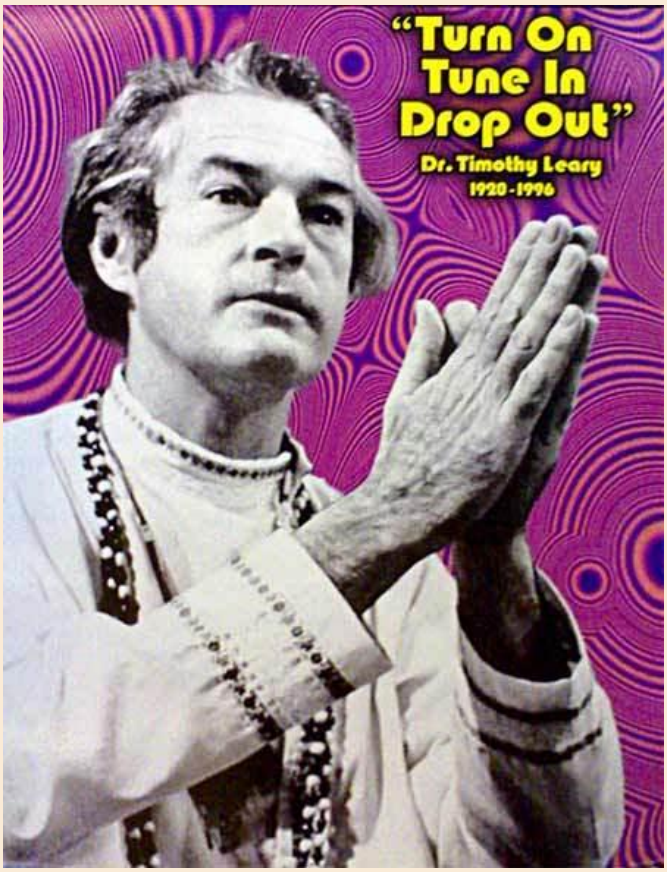
Хьюстон Смит из MIT будет осуществлять врачебный контроль. Уолтер Панке не хотел внимать нашим настоятельным рекомендациям сначала попробовать наркотик самому. Он считал, что если он не соблюдет свою психоделическую невинность до эксперимента, его смогут обвинить в предвзятости, а эксперимент не сможет считаться чистым.

Эксперимент оказался полностью успешным. Уолтер выбрал девять критериев из литературы, посвященной религиозному опыту, преимущественно из работ У.Т. Стэйса. В рамках этих критериев псилоцибиновые состояния и уровни сознания, которых достигли участники эксперимента, были практически неотличимы от классических мистических опытов. В то же время контрольная группа не испытала ничего экстраординарного.

Эксперимент стал широко известен в медицинских и религиозных кругах и широко освещался в прессе. Уолтер получил степень доктора философии.



Тимоти Лири (Timothy Leary, 1920-1996)
Известный психолог, исследователь псилоцибина и ЛСД, в дальнейшем скандально-известный общественный деятель эпохи молодежных движений 1960-х гг



Лири в роли гуру психоделического движения и его знаменитый лозунг

Из книги *Джей Стивенс Штурмуя небеса. ЛСД и Американская Мечта*

Тиму, в конце концов, удалось договориться об эксперименте, который с точки зрения Уоттса был почти идеален. Побудил их к этому один медик, который потом стал доктором теологии. Его звали Уолтер Панке. Он собирался подтвердить тезисы докторской

диссертации и для этого дать псилоцибин двадцати студентам с факультета теологии, а затем сверить полученные результаты с девятиступенчатой моделью мистического опыта, которую он взял из работы принстонского философа У.Т. Стейса.

Поначалу Лири отказался, но вскоре был покорен сочетанием "живого энтузиазма", который излучал Панке, и четко спланированной аккуратной схемы проведения эксперимента. Панке предполагал разделить двадцать студентов на пять групп, за каждой из которых будут присматривать по два человека из псилоцибинового проекта. Никто - ни студенты, ни Панке, ни аспиранты - не знал бы, кто получил псилоцибин, а кто плацебо. Впоследствии студенты заполнили бы анкетный опрос с 147 пунктами и еще один вопросник - спустя полгода. Для оценки их ответов Панке хотел привлечь домохозяек, которые были в прошлом школьными учительницами. Таким образом, обеспечивалась бы беспристрастность оценок. Это был самый научный подход из всех, что предпринимались за все время существования программы изучения псилоцибина. К сожалению, Гарвард отказался выдать псилоцибин.

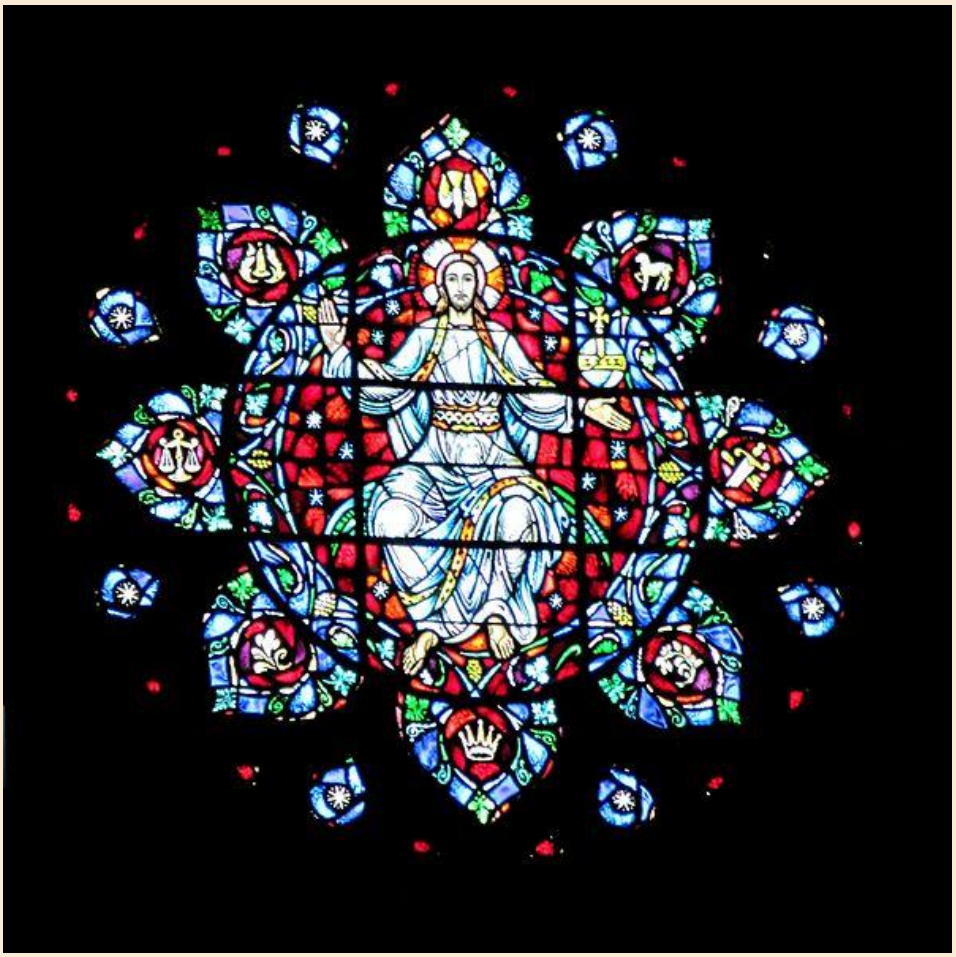
Созданный месяц назад комитет считал, что им нужно больше времени, чтобы обдумать этот запрос. Это рассердило Лири, хотя он прекрасно знал, что цель комитета как раз и заключалась в том, чтобы тем или иным способом прикрыть все проекты, связанные с псилоцибином. Хотя на словах они продолжали уверять, что научные исследования будут продолжаться. Однако если уж их не удовлетворила научная схема Панке, то вряд ли их могло удовлетворить что бы, то ни было. Крайне раздосадованный и чувствуя себя виноватым перед Панке, Лири где-то умудрился добыть нужное количество псилоцибина и на Страстную пятницу отправился в часовню Бостонского университета с двадцатью студентами из Эндовер-Ньютона (их собрал Уолтер Хьюстон Кларк). Эксперимент начался. Половина юных теологов получила псилоцибин, остальные - не влияющую на сознание никотиновую кислоту. Единственный эффект, который она могла вызвать, - это временный прилив крови к лицу, больше ничего. Никто не был в курсе того, кто что принял. Однако не прошло и часа, как разница стала очень заметна. В то время как половина студентов сидела и внимательно слушала службу, которая началась в главной церкви, их товарищи явно находились где-то в другом месте - они либо лежали на скамейках, периодически издавая стоны, либо бродили вокруг, с напряжением вглядываясь в висящие на стенах картины религиозного содержания. Один сел за орган и стал извлекать из него "странные будоражащие звуки". Из тех десяти человек, которым досталась никотиновая кислота, лишь один участник пережил нечто, что можно было отнести к одной из девяти категорий мистического опыта, используемых Панке. Из тех же,

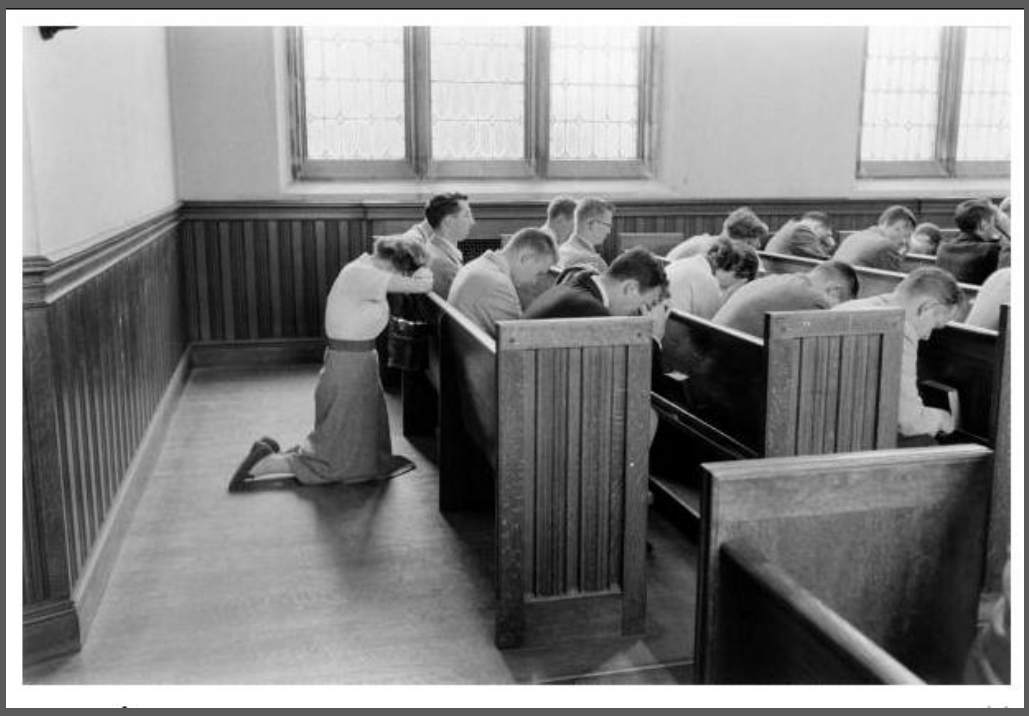
кто принял псилоцибин, девять человек испытали четыре или более степеней мистического опыта.



Болотная часовня Бостонского университета (Marsh Chapel)

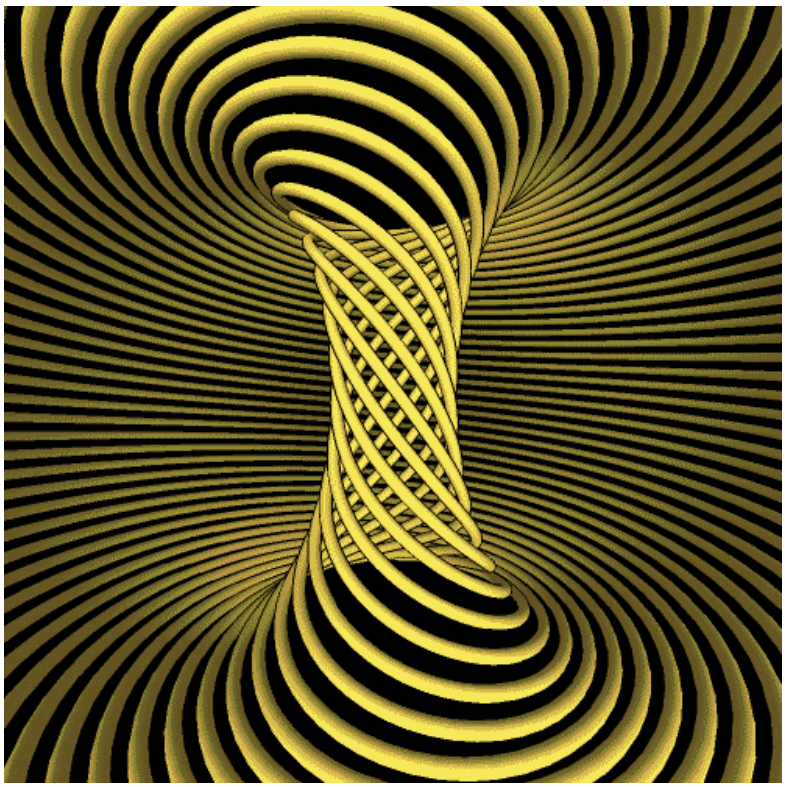






Эксперимент "Страстная Пятница"

В недалеком прошлом (2006, 2008 г) эксперименты с псилоцибином проводил (а возможно проводит и в настоящее время) Роланд Гриффитс с кафедры медицины Университета Джонса Хопкинса в Балтиморе, однако результаты, как и методика проведения, ничем не отличается от гарвардских экспериментов, осуществленных Тимоти Лири с коллегами в 60-е. Желающие узнать подробности исследований могут обратиться к сообщениям в СМИ.



Псилоцибин ч.6

Козьма Прутков

6. Описания субъективных эффектов псилоцибина

1. Эксперимент с грибами Psilocybe mexicana

Альберт Хоффман[1]

В этом эксперименте я съел 32 сушеных гриба Psilocybe mexicana, что составило 2.4 г. Это количество считалось средней дозой, используемой курандеро, согласно сообщениям Уоссона и Хайма. Как показывает следующий отрывок из отчета об эксперименте, грибы проявили сильное психотропное действие:

Спустя 30 минут после того, как я принял грибы, внешний мир претерпел странную трансформацию. Все приняло мексиканские черты. Поскольку я совершенно четко осознавал, что именно мое знание о мексиканском происхождении гриба привело меня к мексиканским сюжетам в моем воображении, я умышленно пытался увидеть окружавшее меня таким, каким я знал его в нормальном состоянии. Но все сознательные усилия увидеть вещи в их привычных формах и цветах оказались напрасными. С закрытыми или открытыми глазами я видел только мексиканские мотивы и цвета. Когда врач, наблюдавший за экспериментом, наклонился надо мной, чтобы измерить давление, он превратился в ацтекского жреца, и я не удивился, если бы он вытащил обсидиановый нож. Несмотря на серьезность ситуации, мне было смешно видеть, как германское лицо моего коллеги приобрело чисто индейское выражение. На самом пике интоксикации, примерно спустя 1.5 часа после приема грибов, натиск внутренних картин, состоявших в основном из абстрактных узоров, быстро менявших форму и цвет, достиг такой угрожающей степени, что я боялся, что меня засосет в этот водоворот цветов и форм, и я растворюсь в нем. После примерно шести часов этот сон закончился. Субъективно, я не имел понятия, сколько длилось это состояние. Я чувствовал, что мое возвращение к повседневной реальности было возвращением домой из странного фантастического, но в то же время реального, мира в старый и знакомый мир.

---

[1] В пунктах 1-3 использованы фрагменты автобиографической книги А. Хоффман ЛСД - мой трудный ребенок



2. Эксперимент с псилоцибином, 10 мг

доктор Рудольф Гелпке (ученый-востоковед)

Было принято 10 мг псилоцибина, начало: 6 апреля 1961, 10:20.

Эффекты начались после примерно 20 минут: безмятежность, безмолвие, легкое приятное головокружение, и "приятно глубокое дыхание".

10:50 Сильное головокружение, не могу сконцентрироваться.

10:55 Возбуждение, интенсивные цвета: все розовое и красное.

11:05 Мир сконцентрировался посередине стола. Очень яркие цвета.

11:10 Беспрецедентное разделение существа, - как я могу описать ощущения от подобного состояния? Меня контролируют волны других "Я".

Сразу же после этой записи я вышел из-за стола, где я, доктор Х. и наши жены завтракали, на улицу, и прилег на газоне. Опьянение быстро достигло высшей точки. Хотя я твердо решил постоянно записывать, теперь бесконечно медленные движения

записывания казались мне пустой тратой времени, а возможность словесного выражения ничтожно жалкой по сравнению с наплывом внутренних восприятий, которыми я был переполнен, и которые угрожали взорвать меня. Мне казалось, что полноту восприятия одной минуты следует приравнять к 100 годам. Вначале преобладали визуальные образы: я с восторгом наблюдал бесконечные последовательные ряды деревьев в соседнем лесу. Затем рваные облака быстро заполонили солнечное небо, безмолвно, с захватывающи дух величием, наложились друг на друга тысячами слоев - небо на небе - и я замер, ожидая, что вот-вот, в следующий миг нечто великое, неслыханное, доселе не существующее должно появиться или произойти - может я увижу бога? Но осталось лишь ожидание, нависшее предчувствие, "на пороге предельного ощущения"… Потом я ушел подальше (близость других тревожила меня) и лег в укромном уголке сада на нагретую солнцем колоду дров - мои пальцы поглаживали дерево с переполнившей меня животной чувственной привязанностью. В то же время это был апогей: меня охватило чувство блаженства, полного счастья - с закрытыми глазами я оказался в неком углублении с узором из красного кирпича, и, в то же время, в "центре вселенной, полной тишины". Я знал, что все было добро - причиной и началом всего было добро. Но в тот же миг я осознал страдание и отвращение, подавленность и непонимание обычной жизни: той, что никогда не бывает "целостной", а всегда разрезанной на кусочки, разбитой на крошечные фрагменты секунд, минут, часов, дней, недель: в той, где мы находимся в рабстве у времени Молоха, который постепенно пожирает нас; мы обречены на запинание, ошибки и обрывочность; каждый из нас должен нести с собой совершенство и абсолют, единство всех вещей; неизменный момент золотой эры, этой первоначальной основы бытия - который, несмотря ни на что, длился и будет длиться вечно - нести в наше повседневное существование, как болезненную рану в глубине нашей души, как напоминание о никогда не выполненном обещании, как Фата Моргану потерянного и завещанного рая; сквозь лихорадочный сон "сегодня", сквозь приговоренное "вчера" в заоблачное "завтра". Я понял это. Это стало космическим полетом, но не обычного, а внутреннего человека, и на мгновение я воспринял реальность из места, которое находиться за пределами гравитации и времени.

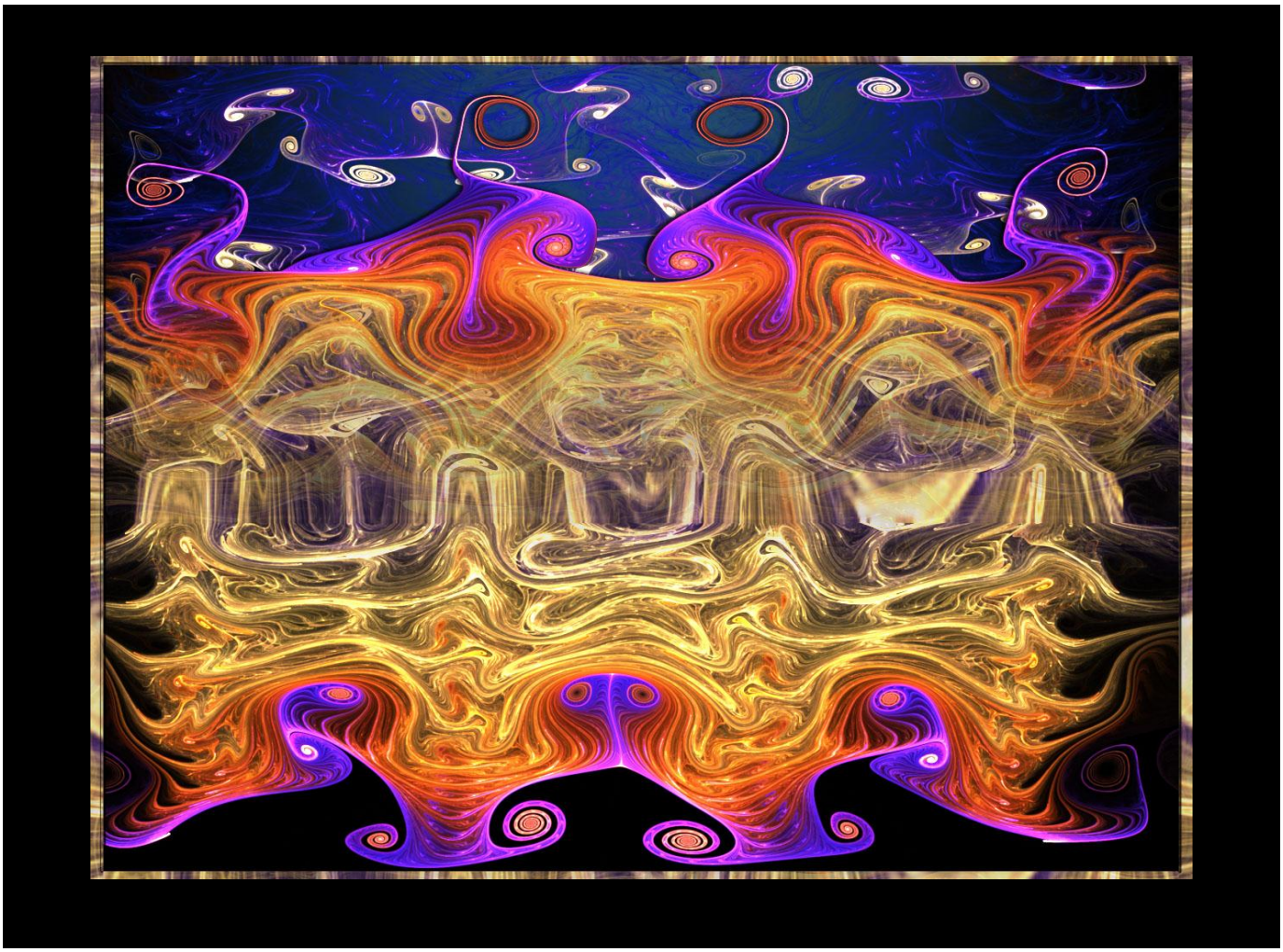
И когда я снова почувствовал силу притяжения, я достаточно наивно попытался оттянуть возвращение, приняв новую дозу, 6 мг псилоцибина в 11:45, и 4 мг в 14:30. Эффект был ничтожным и в любом случае не стоит упоминания.

Госпожа Ли Гелпке, художница, также участвовала в этой серии экспериментов, три раза принимала ЛСД и псилоцибин. Вот, что она написала о рисунке, который она сделала во

время эксперимента:

Ничто в этом рисунке не выдумано нарочно. Когда я работала над ним, воспоминания (о пережитом под псилоцибином) снова стали реальностью, и направляли каждый мои штрих. Поэтому эта картина также многослойна, как и это воспоминание, и тот образ в нижнем правом углу действительно взят из этого сна… Когда, тремя неделями позже, в мои руки попали книги по мексиканскому искусству, я с испугом увидела там мотивы из моих видений…

Обратите внимание, что Альберт Хоффман отмечал присутствие мексиканских мотивов во время воздействия псилоцибина в его первом эксперименте с сушеными грибами Psilocybe mexicana (см. п.1). Точно такой же феномен произошел с Р. Гордоном Уоссоном. Исходя из этих наблюдений, он выдвинул предположение, что искусство древней Мексики находилось под влиянием образов из видений, вызываемых грибами.



3. Эксперимент с псилоцибином, 20 мг

Хоффман, Гелпке, Концетт, Юнгер

Эта теоретическая дискуссия о волшебных снадобьях была дополнена практическими экспериментами. Один из таких экспериментов, послуживший сравнением ЛСД и псилоцибина, имел место весной 1962. Случилось так, что это произошло в принадлежавшем семье Юнгер бывшем доме главного лесничего замка Штауфенберг в Вильфингене. Мои друзья, фармаколог профессор Хериберт Концетт и ученый-исламист доктор Рудольф Гелпке, также приняли участи в этом симпозиуме по грибам.

Старые хроники описывали, как Ацтеки пили чоколатль перед тем, как съесть теонанакатль. Поэтому госпожа Лизелотта Юнгер тоже подала нам горячий шоколад для поднятия настроения. Затем она покинула четырех мужчин, предоставив их судьбе.

Мы собрались в стильной комнате с темным деревянным потолком, выложенной плиткой печью, старинной мебелью, французскими гравюрами на стенах и пышным букетом тюльпанов на столе. Эрнст Юнгер был одет в длинный, широкий восточный халат с темно-синими полосками, который он привез из Египта; Хериберт Концетт был великолепен в ярко вышитой мантии мандарина; Рудольф Гелпке и я надели домашние халаты. Повседневную реальность следовало отложить в сторону, вместе с повседневной одеждой.

Вскоре после захода солнца мы приняли наркотик, не грибы, а только их действующее начало, по 20 мг псилоцибина каждый. Это соответствовало примерно двум третьим от очень сильной дозы, которую принимала курандера Мария Сабина в форме грибов рода псилоцибе.

Спустя час, я все еще не замечал никакого действия, в то время как мои товарищи уже глубоко погрузились в путешествие. Я надеялся, что во время действия грибов мне удастся воскресить некоторые образы, эйфорические моменты из моего детства, которые остались в моей памяти переживаниями счастья: луг, покрытый хризантемами, слегка колыхавшимися под ветром раннего лета; розовый куст в вечернем свете после грозы; голубые ирисы, свисавшие со стены виноградника. Но, когда вещество гриба, наконец, начало действовать, вместо этих ярких образов дома моего детства, появились странные сцены. Наполовину ошеломленный, я погрузился глубже, проходя через совсем опустевшие города с какой-то мексиканской экзотикой и мертвенным великолепием.

Испуганный, я попытался удержаться на поверхности, сконцентрироваться на внешнем мире, на окружении. На какое-то время мне это удалось. Затем я посмотрел на громадного Эрнста Юнгера, ходившего взад-вперед, могущественного волшебника. Хериберт Концетт в блестящем шелковом халате казался коварным китайским шутом. Даже Рудольф Гелпке казался мне зловещим: длинный, худой, таинственный.

С углублением опьянения, все становилось еще более странным. Я сам чувствовал себя странным. Когда я закрывал глаза, я попадал в чудные, холодные, глупые и пустынные местности, освещенные тусклым светом. Окружающая среда тоже казалась призрачной и лишенной всякого смысла, когда я открывал глаза и пытался зацепиться за внешний мир. Совершенная пустота угрожала затянуть меня в абсолютное небытие. Я помню, как я схватил за руку Рудольфа Гелпке, когда он проходил мимо моего кресла, и держался за него, чтобы не погрузиться в темное небытие. Мной овладел страх смерти и бесконечное желание вернуться в обычный мир, в реальность мира людей. После вечного страха я медленно возвращался в комнату. Я видел и слышал великого волшебника, рассказывавшего ясным, громким голосом про Шопенгауэра, Канта, Гегеля, и говорившего о старой Гаа, любимой мамочке. Хериберт Концетт и Рудольф Гелпке уже совсем спустились на землю, в то время как я только-только с большим трудом обретал опору.

Для меня этот визит в мир гриба был испытанием, столкновением с миром смерти и пустоты. Эксперимент протекал не так, как я того ожидал. Тем не менее, встречу с пустотой тоже можно расценивать как пользу. После этого существование мироздания кажется гораздо более удивительным.

Полночь миновала, и мы собрались за столом, который хозяйка дома накрыла на верхнем этаже. Мы отпраздновали возвращение изысканным ужином и музыкой Моцарта. Беседа, во время которой мы обменивались своими впечатлениями, продолжалась почти до утра.

Эрнст Юнгер описал то, что он пережил в этом путешествии, в своей книге Annaherndrogen und Rausch (Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1970) [Подходящие наркотики и интоксикация], в главе "Ein Pilz-Symposium" [Симпозиум по грибам]. Далее следует отрывок из этой работы:

Как обычно, полчаса или чуть больше прошли в тишине. Потом возникли первые

признаки: цветы на столе вспыхнули и засверкали. Было время, когда уходят с работы; снаружи подметали улицы, как обычно по выходным. Шарканье метлы болезненно проникало в тишину. Этот звук, снова и снова, как и лязг, грохот, тряска и удары случайным образом являлся симптомом, вроде тех признаков, что обозначают начало болезни. Снова и снова это играет определенную роль в истории магических практик.

К этому времени гриб начал действовать; весенний букет отсвечивал темнотой. Это не был естественный свет. Тени зашевелились в углах, как будто обретая форму. Я стал беспокойным, даже озябшим, несмотря на тепло, исходившее от плиток. Я растянулся на диване и натянул покрывало на голову.

Все стало кожей, к которой прикасались, даже сетчаткой, контактировавшей со светом. Это свет был многоцветным; он проявлялся в виде струн, которые качались взад-вперед; вроде стеклянных бус, которые на востоке вешают в дверном проеме. Они образовывали двери, словно проходы во сне, занавеси желания и опасности. Ветер качал их, словно одежду. Они также падали с пояса танцовщицы, раскрывались и свертывались с движением бедер, и от этих бус в обостренное сознание струились волны самых нежных звуков. Звон серебряных колец на лодыжках и запястьях стал слишком громок. Пахнет потом, кровью, табаком, стриженым конским волосом, дешевыми розовыми духами. Кто знает, что происходит в конюшне?

Это, должно быть, огромный мавританский дворец, нехорошее место. Ряд комнат ведет от этого танцевального зала на нижний этаж. Повсюду были занавески, сверкающие, сияющие радиоактивным свечением. И еще звон стеклянных инструментов с их манящим, завлекающим домогательством: "Пойдешь со мной, красавчик?" Он то угасал, то снова появлялся, еще более назойливо, более навязчиво, почти уже уверенный в согласии.

Теперь появились исторические коллажи, vox humana, крик кукушки. Или это была шлюха из Санта Лючии, которая выставила свои груди в окно? Потом игра разрушилась. Она танцевала; янтарное ожерелье излучало искры и заставляло соски набухать. Что только не делают ради чьего-то Йоханнеса? (в данном случае Йоханнес означает пенис, как в английском Дик или Питер). Черт возьми, это отвратительная пошлость исходила не от меня, она нашептывалась мне через занавес.

Змеи были грязными, едва живыми, они валялись на полу на ковриках. Они были

украшены бриллиантовыми чешуйками. Некоторые глядели с пола красными и зелеными глазами. Они сверкали и шептались, шипели и искрились, словно маленькие серпы перед священной жатвой. Затем все стихло, затем снова возникло, бледнее, ближе. Я был в их руках. "Затем мы тотчас же поняли друг друга".

Мадам пришла из-за занавески: она была занята, и прошла мимо меня, не заметив. Я увидел ботинки с рыжими каблуками. Подвязки стягивали толстую середину, там, где выпячивалась плоть. Огромные груди, темная дельта Амазонки, попугаи, пираньи, полудрагоценные камни повсюду. Вот она пошла на кухню - или, может, тут еще есть погреб? Сверкание и шепот, шипение и мерцание больше не различались; все как будто сконцентрировалось, в полном надежды величественном веселье.

Стало жарко и невыносимо; я сбросил покрывало. Комната была слабо освещена; фармаколог стоял у окна в белом платье мандарина, которое послужило мне незадолго до этого на карнавале в Ротвайле. Востоковед сидел рядом с выложенной плиткой печью; он стонал, как будто видел кошмар. Я понял; это был первый раунд, и скоро это начнется снова. Время еще не вышло. Я уже видел любимую мамочку при других обстоятельствах. Но даже экскременты являются землей, и как золото, принадлежат к измененной до неузнаваемости материи. С этим надо согласиться, не вдаваясь в подробности.

Грибы были земными. Больше света сокрыто в темных зернышках, что произрастают на злаках, еще больше в зеленом соке кактуса на горячих склонах Мексики… (Юнгер имеет в виду ЛСД, производное спорыньи, и мескалин, получаемый из мексиканского кактуса пейотля.)

Путешествие пошло неудачно - наверное, мне стоит обратиться к грибам еще раз. И действительно, шепот вернулся, вспышки, искры - рыба клюнула на наживку. Как только задается мотив, он запечатляется, как на пластинке, каждый новый оборот повторяет мелодию. Игра не вышла за пределы этой мрачности.

Я не знаю, сколько раз это повторилось, и не хочу задерживаться на этом. К тому же есть вещи, которые лучше держать при себе. В любом случае полночь миновала…

Мы поднялись вверх по лестнице; стол был накрыт. Сознание все еще было обостренным и Двери Восприятия открыты. Свет волнами исходил от красного вина в графине; по краям вздымалась пена. Мы слушали концерт для флейты. Для остальных тоже не было

ничего лучше: "Как прекрасно снова быть среди людей" - сказал Альберт Хоффман.

Востоковед, с другой стороны, побывал в Самарканде, где Тимур покоится в нефритовом гробу. Он проследил победные вступления в города, где данью служил котел наполненный глазами. Потом он долго стоял перед пирамидами черепов, которые возвел ужасный Тимур, и во множестве отрубленных голов увидел и свою. Она была инкрустирована самоцветами.

Фармаколог озарился светом, когда об этом услышал: "Теперь я знаю, почему вы сидели в кресле без головы" - Я был поражен; Я знал, что это не сон.

Я не знаю, стоит ли вдаваться в детали, поскольку это граничит с областью историй о призраках. Вещество гриба переместило всех нас четверых не на сияющие высоты, а скорее в темнеющие глубины. Кажется, действие псилоцибина окрашено более мрачно, чем большинство случаев воздействия ЛСД. Влияние этих двух активных веществ, конечно, различается у разных людей. Лично для меня в опытах с ЛСД было больше света, чем в экспериментах с более земным грибом, как в предыдущем отчете уже отметил Эрнст Юнгер.



Эрнст Юнгер (1895-1998) - немецкий писатель, мыслитель



4. Эксперимент с грибами псилоцибе полуланцетовидная (13 г сушеных грибов)

(фрагмент книги Г. Хэнкок Сверхъестественное. Боги и демоны эволюции)

Я поместил крохотные грибы в кастрюлю с водой и, дав им закипеть, варил около получаса. В результате в моем распоряжении оказалось около литра темно-коричневой жидкости. Я поднял со дна кашицу из грибов, положил ее в сито и выжал оттуда как можно больше жидкости. Затем я съел эту массу и выпил весь настой (который, кстати, оказался не так уж плох на вкус).

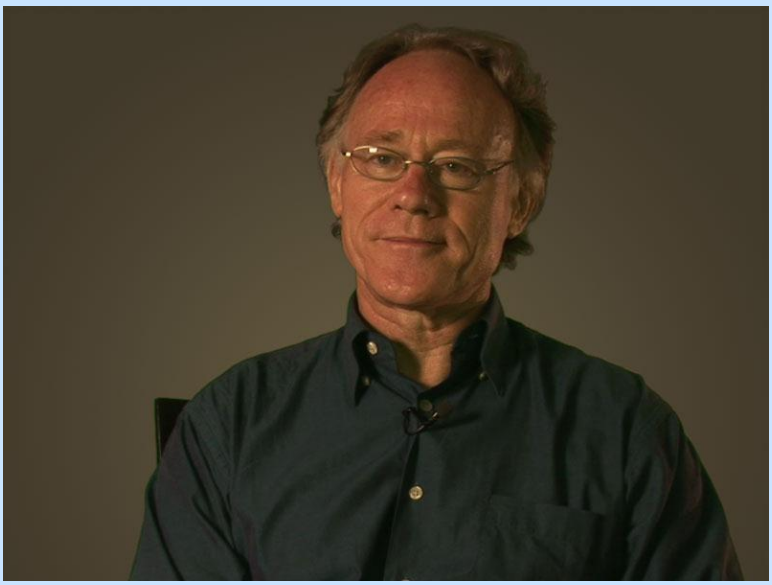
В течение примерно получаса перед моим взором непрерывно мелькал калейдоскоп цветов и энтоптических узоров. Понемногу, однако, картина стала меняться. Странная метаморфоза произошла и с моей комнатой, и с теми членами моей семьи, которые находились в комнате. Стены изогнулись и запульсировали, пол стал невероятно большим, лица людей исказились, а кожа их приобрела мертвенно-бледный оттенок. Такое чувство, что все в моем привычном мире сдвинулось на шаг в сторону и оттого стало каким-то нереальным. Но в то же время я отчетливо осознавал, кто я такой, где и с кем я нахожусь. И я понимал, что мои ощущения - всего лишь реакция на наркотик,

воздействие которого закончится через несколько часов.

Наша дочь Шанти заиграла на стареньком фортепьяно, и я стал вслушиваться в чудесные звуки музыки. Срываясь из-под ее пальцев, ноты словно бы обретали облик. Порой это были плотные занавеси света, напоминающие своими переливами северное сияние. Иногда ноты разлетались вокруг искрами фейерверков и вспышками звезд, а порой превращались в загадочных крылатых существ. Мое сознание то устремлялось за нотами в полет, то покачивалось на их волнах, убаюканное чудесными звуками.

Когда Шанти закончила играть, я встал и прошелся по комнате. Порой я поглядывал на свои ноги и обнаруживал их где-то далеко внизу - примерно этажа на два подо мной. Чуть позже я заметил, что вокруг моей левой руки появилась цветная, чуть размытая аура. Желая повнимательнее присмотреться к ней, я поднял руку и слегка расставил пальцы. И в этот момент я понял, что они практически в точности соответствуют тем негативным отпечаткам человеческих кистей, которые я видел на стенах древних европейских пещер.

Я почувствовал, что замерз, и лег на диван, закутавшись в теплое одеяло. Санта присела рядом со мной. Спустя некоторое время в комнату вошла наша дочь Лейла и рассказала душераздирающую историю о беременной самке шимпанзе, которую убили африканские охотники. Эта история наполнила меня невыразимой печалью, и следующий час я провел в слезах. К тому времени, когда я, наконец, обрел душевное равновесие, мое психоделическое путешествие было окончательно завершено.



Грэм Хэнкок (Graham Hancock; родился 2 августа 1950, Эдинбург, Шотландия) - британский писатель и журналист



5. Эксперимент с высокими дозами псилоцибина

Ральф Метцнер и др.

(из сборника Тимоти Лири Искушение будущим)

Несколько человек из нашей группы, имеющие двухлетний опыт знакомства с псилоцибином, решили провести сеанс с повышенными дозами, для того чтобы проверить, можно ли сравнить эффект с действием ЛСД, который мы тоже начали применять в последнее время. Некоторые приняли по 40 мг, я - 60 мг, а Джордж Литвин с его духом пионера-первопроходца решил принять 80 мг. Эти дозы, самые высокие из всех, которые мы ранее применяли, все равно были ниже токсического уровня. На этом сеансе, однако, я был наиболее близок к самоубийству за все годы работы с психоделиками.

Когда наркотик начал действовать, Джорджа жестоко затрясло. Я смотрел на него и видел, что его лицо странным образом исказилось, словно состояло из отдельных плоскостей, как на какой-нибудь причудливой картине Мориса Эшера. Когда он заговорил, его голос был каким-то нечеловеческим, словно его рот был набит металлом. Он говорил, что обнаружил кнопку, которая включает и выключает его сердце.

Когда я оглядел комнату, я увидел движущиеся потоки энергетических частиц, пронизывающие всю комнату, циркулируя между мною и другими людьми. Мы все были частью этого движения, обмениваясь потоками энергии. Они были знакомы мне по сеансам с грибами, когда я видел их как светящиеся, вибрирующие филигранные сети. Но на этот раз их интенсивность напугала меня. Когда страх усилился, энергетические потоки перестали двигаться и застыли, образовав решетку, наподобие тюремной. Внезапно я почувствовал себя пойманным в ловушку, как муха в гигантской металлической паутине. Я не мог произнести ни слова, чтобы рассказать о том, что со мной случилось, мой голос был словно парализован. Все в комнате, включая Джорджа (который больше не трясся), были словно заморожены до неподвижности этой металлической сетью-клеткой.

Я чувствовал, что мое сознание тоже парализовано. Я не мог заставить себя думать, чтобы понять, что же на самом деле происходило. Я не мог понять, было ли происходящее реальным или это было галлюцинацией, вызванной наркотиком (экспериментальная психиатрия называет это "дереализацией"). Я решил, что надо постараться заставить себя позвонить по телефону Тиму и попросить его о помощи. Гюнтер Вейль, чувствуя мои затруднения, вызвался помочь мне набрать номер.

Телефонный аппарат вибрировал и трясся, словно безумное рыбное желе. Каким-то образом мы дозвонились до Тима. Я хотел, чтобы он помог мне разобраться с "реальностью": "Скажи мне что-нибудь реальное, Тим. Что у вас там происходит?"

Тим немедленно все понял и ответил: "Ну, Джек сидит на столе и ест гамбургер, Сьюзи смотрит телевизор, с бигудями в голове, Майкл пьет пиво". Мне стало чуть легче. Это были послания от "реальности". Тем не менее, я сказал ему, что нам нужна помощь, и спросил его, не сможет ли он прийти.

В ожидании Тима я боролся с паникой, убеждая себя, что, когда он придет, он освободит нас из этой ужасной паучьей сети, в которую мы попали. Я чувствовал себя так, словно я ничего не слышу и не понимаю. Как будто из меня вынули душу, и я не то, что биологический организм, нет - я просто механическая кукла или машина.

Я так обрадовался, когда увидел, что Тим, наконец, пришел. Сквозь липкую металлическую паутину, которая меня опутывала, я увидел, как он входит в дом. Но тут я

с ужасом увидел, что его движения слабеют, становятся механическими, роботоподобными, голос его делается тоньше, и я опять впал в полное отчаяние, когда понял, что он тоже попался в эту паутину. Это было задолго до того, как мы научились помогать людям, попавшим в состояние острого психоза, устанавливать с ними контакт и выводить их из него. Тим с друзьями просто уложили меня на диван, надеясь на лучшее. Корки Литвин присела на край дивана и гладила меня по плечу, ободряя и успокаивая.

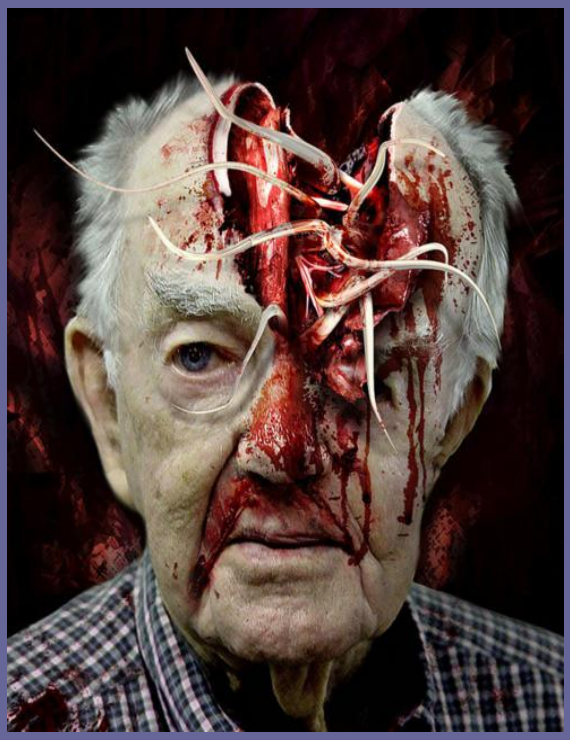
Через несколько часов объективного времени и адскую вечность времени субъективного, интенсивность опыта пошла постепенно на спад. Я помнил, что принял наркотик, и понимал, что действие его начинает проходить. Я опять чувствовал себя живым человеком, хотя меня еще потрясывало, когда я вспоминал о том, что мне пришлось испытать.



Ральф Метцнер (Ralph Metzner, родился 1936).
Доктор философии, психотерапевт и профессор психологии. В 60-е был одним из участников группы Лири, популяризовавшей психоделики.



Аллен Гинсберг, Тимоти Лири, Ральф Метцнер (справа) 1966 г



6. Эксперимент с псилоцибином, 12 мг

Ральф Метцнер и др.

(из сборника Тимоти Лири Искушение будущим)

Таким образом, 13 марта 1961 года я пережил свой первый психоделический опыт. Был прохладный воскресный день, когда я пришел в дом Тима. В сессии также участвовали два других дипломника, Понтер Вейль и Лин К., а также жена Понтера, Карин, тюремный психиатр, доктор Мэдисон Преснелл и его жена. После того как мы расположились в комнате, Тим дал каждому по шесть маленьких розовых таблеток, каждая из которых содержала по 2 мг псилоцибина. Сам он, возможно, принял меньшую дозу. У него уже выработалась политика не акцентировать роль гида или учителя, а работать сообща, как партнеры-исследователи. Тем не менее, на всех сессиях, в которых мы принимали участие, Тим в основном задавал общий тон эксперимента.

Моя первая реакция была довольно апатичной... Я лежал на полу и выжидал, чувствуя себя очень расслабленно, но при этом и настороженно. Тим говорил, что вначале будет период некоторой дезориентации. Какое-то время я чувствовал свое тело, словно подвешенным в каком-то лимбе... Внезапно я обнаружил себя в совершенно новом магическом мире. Маленькие зеленые нити грубого ковра плясали и извивались, словно масса червей, но смотреть на это было приятно. Огни, отражающиеся в стеклянной

поверхности кофейного столика, сияли влажным свечением. Мебель, стены, пол - все пульсировало и извивалось в медленных волнах, словно вся комната дышала. Я чувствовал себя словно внутри какой-то живой структуры, огромной клетки. При этом ритм волновых движений комнаты совпадал с ритмом моего дыхания.

В этих экстраординарных изменениях восприятия не было ничего пугающего, наоборот, это было очень приятно. Подспудно сохранялась уверенность, что все-таки эта комната имеет твердые стены и пол и т.д. Обычный мир не был отменен, он был расширен, продлен, оживлен и сделался бесконечно более интересным. К примеру, я был полностью поглощен разглядыванием мерцающих граней предметов и удивительно красивых световых узоров. Энергия пульсировала и вилась по краям предметов и изливалась из них. Телефон был подлинным чудом, кристаллической скульптурой, инкрустированной бриллиантами и жемчугом, и при этом он дышал, двигался, видоизменялся, словно живой.

Одновременно с этим необыкновенным праздником чувств Понтер и я включились в какое-то вербальное взаимодействие, серьезно-шутливый обмен философскими репликами, от которого нас сотрясали приступы смеха. Слова и идеи взрывались в мозгу, рождая многоуровневые волны значений, вызывая каскады чувств и физических ощущений. Глубокие философские вопросы рождались и растворялись в потоках парадоксов и абсурдных загадок, сопровождаясь конвульсивным смехом...

Когда я закрывал глаза, фантастически прекрасные и сложные геометрические узоры переплетались за моими веками, разворачиваясь, переплетаясь, двигаясь с большой скоростью. Время от времени появлялись образы прекрасных камней или каких-то частей тел, но ни один из образов не существовал достаточно долго, что бы стать чем-то определенным. Я чувствовал, будто мои глаза излучают белый горячий свет; мой рот, органы чувств на лице и на всем теле светились, вспыхивали, сверкали жидким светом, мои нервные окончания потрескивали белым свечением; кровь в моих венах кипела, как потоки лавы. Моя кожа обнимала меня, оборачивала меня, будучи при этом сухой и влажной одновременно, горячей и холодной, это было почти невыносимо приятное ощущение.

Момент паники, который я вскоре испытал, иллюстрирует мощную способность психоделика усиливать чувства. Когда я взглянул на лица окружающих, они были светлы, и сильны, и чисты. "Вот так, наверное, выглядят архангелы", - подумал я. Все были

словно обнажены, лишены оболочки из притворства, недомолвок и лицемерия. Каждый был честен перед самим собой и не испытывал стыда. Я смотрел на них без смущения и с искренним восхищением. В этот момент все лица были подсвечены мягким зеленоватым светом. Я посмотрел на Карин через комнату и сказал ей, что она прекрасна и что я люблю ее. Она, только молча, взглянула на меня в ответ. Потом она встала, намереваясь выйти из комнаты (возможно, в туалет). Я начал паниковать. Я стал умолять ее не уходить, убеждая, что могут случиться ужасные вещи, если она уйдет. Лин, которая сидела рядом со мной, сказала, что все будет в порядке, но я все больше и больше расстраивался, уговаривая Карин не выходить из комнаты. Карин сказала, что она сейчас вернется, но я сказал: "Нет, нет, не уходи!" Она спросила: "Что случится, если я уйду?" Я ответил голосом, полным отчаяния: "Случится что-то ужасное, я не знаю... музыка остановится". Тут она вышла из комнаты, и этот момент идентифицировался в моем сознании с сильнейшим чувством потерянности, которое я когда-либо испытывал - это был момент острой муки. Но когда она вышла, я внезапно успокоился и почувствовал себя прекрасно, сам этому удивившись. Я сказал Лин: "Она вышла, и все в порядке". И Лин ответила: "Да, все в порядке".

Затем, крепко обняв Лин, я почувствовал, что резко уменьшаюсь в размерах... Я быстро двигался назад во времени, к детскому сознанию.

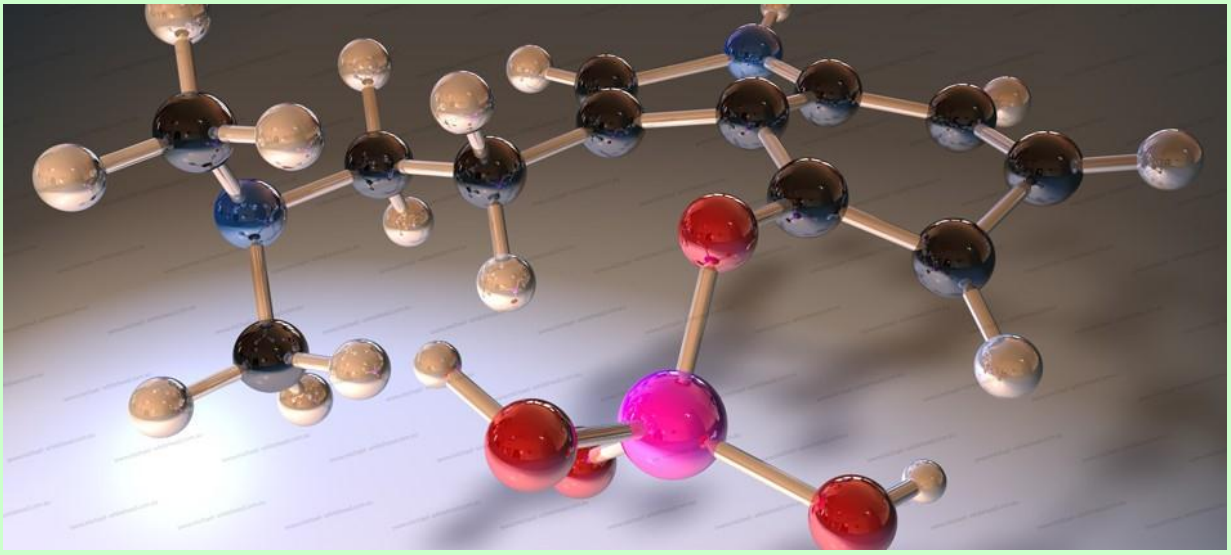
Я действительно на какой-то момент почувствовал себя ребенком, вплоть до ощущения детской бутылочки у себя во рту. И потом также быстро я вернулся во взрослое состояние настороженности.

В какой-то момент я заметил, что интенсивность переживаний идет на убыль, словно медленно сглаживается. Мое тело чувствовало приятное тепло и успокоенность. Я понял, что мое нормальное восприятие мира было задушено многими запретами, которые я каким-то образом принял. Например, я вышел на крыльцо и увидел там коробку. Я заглянул внутрь, обнаружил в ней мусор и немедленно отвернулся. Затем я понял, что не должен был отворачиваться, что это было нормально смотреть на ее содержимое, что у меня всегда есть выбор, что я не связан системой правил и запретов, определяющих, что можно, а что нельзя делать.

Это, возможно, было самое значимое откровение во всем этом опыте: открытие, что я был связан внутренними запретами, что то, что можно, а что нельзя, определялось не внешними силами и что свобода выбора остается за мной. Чтобы опробовать свою вновь

обретенную свободу, я принялся лепить снежки и бросать их в занавешенное окно комнаты, в которой находилась вся группа. Мне было очень весело. Тим, очевидно, понял мое настроение, он ухмыльнулся и принялся кидать какие-то маленькие оранжевые подушечки в окно, отвечая на мои снежки. Эта игра родила во мне ощущение свежести и внезапной чистоты, я чувствовал себя невероятно счастливым.

Этот первый опыт с псилоцибином оказал огромное влияние на мою жизнь. Я никогда раньше не испытывал ничего подобного, никогда не был ближе к своему истинному я и никогда раньше не испытывал такую остроту мыслей и чувств. Одновременно я внимательно наблюдал за людьми и предметами вокруг себя и не терял связи с той реальностью, которой является наш обычный мир. Наоборот, обыкновенное восприятие тоже усилилось и ожило. Это была полная чушь - называть эти наркотики "галлюциногенными", в том смысле, что галлюцинация это что-то, чего на самом деле нет.



Псилоцибин ч.7

Козьма Прутков

7. Наши эксперименты с грибами псилоцибе полуланцетовидная *(psilocybe semilanceata)*

Несмотря на очевидную опасность - как для здоровья, так и с точки зрения закона, мы взвесили возможный риск и решились попробовать психоактивные грибы. Чтобы расставить все точки над "i", отметим, что из-за нескольких граммов грибов и нескольких часов наблюдения за состоянием измененного сознания вы можете сломать себе жизнь, а также причинить много горя родным и близким людям (матери, отцу, жене, мужу, детям и т.д.). Очень значительная часть населения России, Украины и других стран постсоветского пространства находится за решеткой. Подавляющее большинство этих людей попали в тюрьму не за серьезные преступления, а за т.н. "мелкие нарушения" (в то время как большинство настоящих бандитов гуляет на свободе, многие из них занимают высокие должности). Эксперименты с запрещенными грибами могут стать причиной того, что и Вы - именно Вы - попадете за решетку, а тот, кто хоть раз попал в тюрьму, нередко "возвращается" туда снова.

Учитывая сказанное, мы не рекомендуем пробовать грибы, которые находятся под запретом - риск слишком велик и абсолютно неоправдан. В статье мы попытались дать объективную информацию. Пробовать или не пробовать - это исключительно ваш выбор.

Ощущения, которые возникают при употреблении грибов псилоцибе полуланцетовидная, очень сильные и необычные, не имеющие аналогов в повседневной жизни, а зачастую пугающие. Это таит дополнительную опасность для экспериментатора (кроме уже упомянутой опасности преследования со стороны закона).

Если Вы твердо решили испытать измененное состояние сознания и мистическое восприятие, несмотря на риски, лучше и намного безопаснее использовать веселящий газ (закись азота), одним из его достоинств помимо малой токсичности является чрезвычайная кратковременность действия. (Кроме того, закись азота на данный момент не запрещена). Начальная стадия действия грибов напоминала нам действие веселящего газа.

Пожалуй, не стоит давать подробностей насчет особенностей поиска грибов псилоцибе полуланцетовидная и ее внешнего вида. Интересующиеся легко найдут их в литературе, а также в интернете. Напоминаем, что места сбора вблизи крупных населенных пунктов регулярно подвергаются налетам сотрудниками полиции в штатском. **Сбор и хранение данных грибов - дело противозаконное.**

Итак, найденные грибы были быстро высушены над хлоридом кальция в эксикаторе-сушилке, специально разработанной автором для этой цели. В свежем виде грибы относительно быстро испортятся. Хранить сухие грибы следует в герметичной посуде из-за гигроскопичности, желательно над хлоридом кальция.



Сушка волшебных грибов



2.70 г сухих грибов *Psilocybe semilanceata*



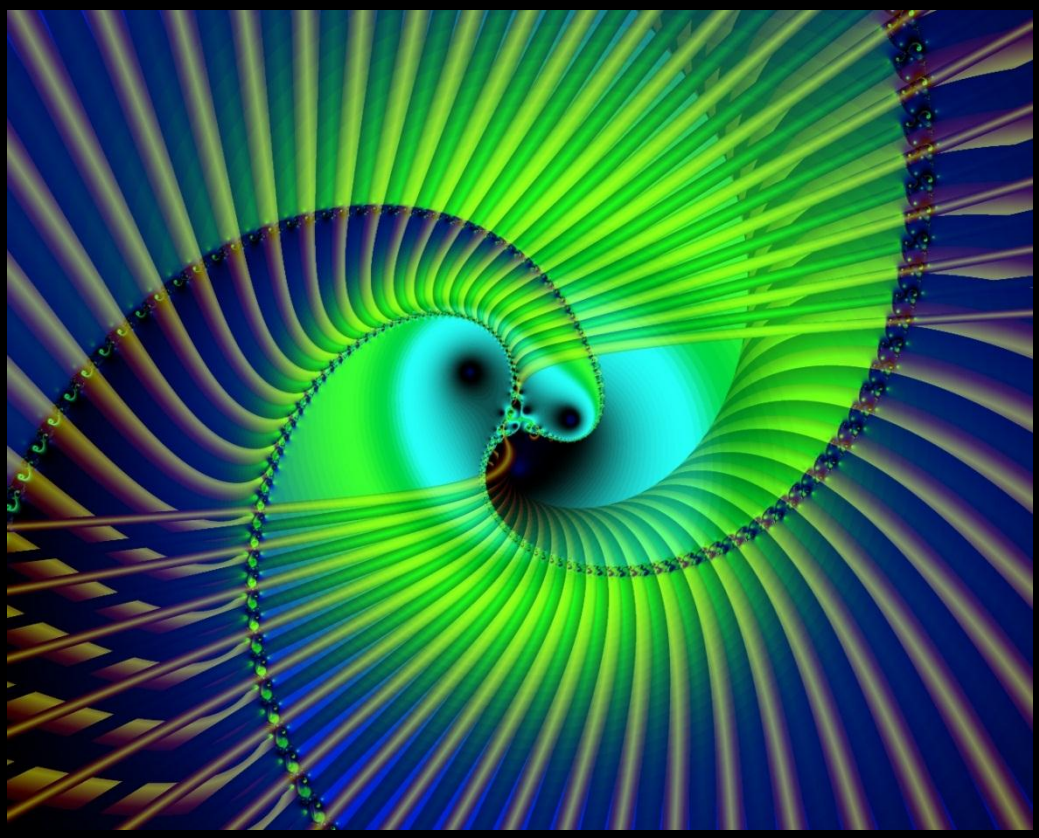
8 октября выдался день с хорошей погодой, и я решил провести эксперимент. Была выбрана умеренно сильная дозировка - 2.00 г сухих грибов псилоцибе

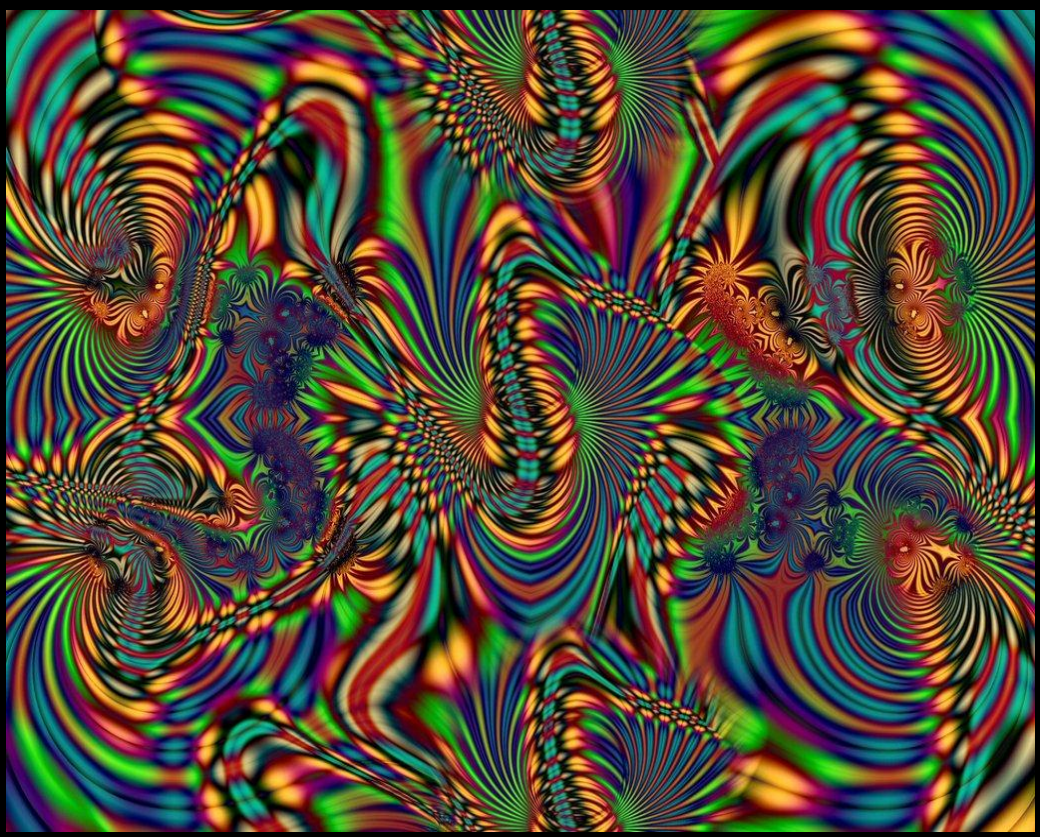
полуланцетовидная, грибы наверняка содержали не менее 10 мг псилоцибина. До этого за две недели автор попробовал 1.80 г грибов и уже имел представление, с чем столкнется. Выехав за город на велосипеде, решил остановиться в живописном месте вблизи села Б. Место помимо красоты и близости к природе относительно малолюдное. В 9 часов размочил грибы в стаканчике с водой с добавлением лимонного сока. Тщательно разжевав, запил водой. Принимал натощак. По вкусу грибы нейтрального оттенка со своеобразным привкусом. Начало действия наступает через 30-40 минут. Сперва появляются несколько неприятные соматические ощущения, напоминающие первые легкие симптомы морской болезни в автотранспорте (кто испытывал, поймет). Небольшое чувство тяжести в ногах, мурашки, ощущение пустоты внутри. Затем постепенно начинают появляться симптомы дереализации и искаженного восприятия. Они, как мне кажется, напоминают действие закиси азота, однако на обычное алкогольное опьянение не похожи. Далее восприятие реальности кардинально изменятся. Почувствовав первые симптомы действия, расположился на склоне балки, на высохшую траву постелил предусмотрительно захваченный коврик из пористого утеплителя, сел и стал ждать "просветления". С высоты открывался красивый вид, рядом меня окружала трава, стрекотали кузнечики - в общем обстановка была хорошей. Заранее я подготовил включенный диктофон, чтобы попутно комментировать ощущения, но, как оказалось, это невозможно. Нахлынул комплекс невообразимых переживаний, однако было полное безразличие к тому, чтобы их зафиксировать, т.к. осознавалась вся бессмысленность этого.

Вначале цвета воспринимаются ярче, причудливо меняются яркость и оттенки. Когда шел по грунтовой дороге, местность была очень похожа на пустыню - все в ярких желтых тонах, яркое солнце и какое-то мистическое чувство - было очень величественно и красиво. Сильно меняется оценка расстояний и времени, из-за дереализации трудно ориентироваться, крайне желательно находиться в знакомом месте, лучше всего - безлюдном. Однако, можно заблудиться даже в знакомой местности. Движение кажется замедленным, расстояния увеличиваются - это было заметно, когда я прошел участок грунтовой дороги. Когда идешь, кажется, что движешься очень медленно. Потом начинаются визуальные галлюцинации - при закрытых глазах меняющиеся цветные объемные узоры. На светлом фоне неба тоже видны белые геометрические линии в виде своеобразной неправильной сетки. Узоры очень красивы. Теория суперструн не нуждается в большем подтверждении,  - их видно невооруженным глазом. Цвета тоже причудливо усиливаются и изменяются. Я наблюдал светящуюся синим пуговицу куртки,

опавший сухой лист наполовину красный, светился, как флуоресцентный и т.п. Деревья кажутся яркими и как бы прорисованными.

Во рту появляется непонятный иллюзорный вкус, периодически наблюдалась зевота и отрыжка (сильных рвотных позывов не было). Организм испытывает сенсорную перегрузку. Запахи воспринимаются иначе, звуки причудливо изменяются, можно концентрироваться на одних звуках не слыша другие. Летящий в ясном небе самолет представляет феерическую картину, звук двигателей усиливался. Время останавливается, без часов оценить его совершенно невозможно. Выраженная эйфория, однако, есть много субъективно неприятных моментов. Становятся *совершенно понятны* термины "вечность" и "бесконечность". Время очень сильно замедляется, на пике интоксикации глядя на наручные часы (со стрелками) сложно сообразить сразу который час. Прошлое и будущее теряют смысл, объединяясь; были кратковременные моменты, когда трудно было сообразить какое сегодня число, день недели. Воспоминания из прошлого заново переосмысливаются. Логическое мышление отступает на задний план, хотя на всем периоде "опьянения" (за исключением кратковременных интервалов) осознаешь, что ощущения иллюзорны. Понятия и ценности совершенно меняются (*главным становится созерцание новой реальности*), в сознании совершенный хаос мыслей. Перестройку мировоззрения невозможно объяснить словами, аналогий в обычной жизни нет. Меняется чувство "Я", точнее есть моменты ощущения начала его утраты, это пугает. Сознание цепляется за основы "Я" - имя, фамилию, работу, семью, однако в непродолжительные моменты начинаешь сомневаться в себе и реальности. Временами похоже на сон наяву. Двигаться на пике интоксикации очень трудно, координация сильно нарушена. Пробовал несколько раз вставать и пройти несколько шагов, но приходилось большую часть времени сидеть или находиться полулежа. Периодически наступали кратковременные периоды сонливости. Поначалу новые ощущения приятны и необычны, но потом они постепенно надоедают, однако как-то повлиять на течение "путешествия" практически невозможно. Сильное действие грибов длилась около двух часов, но субъективная продолжительность его была *намного больше*. В какой-то момент (время - 13 часов 30 минут, т.е. через пять с половиной часов после начала) автор понял, что, несмотря на остающиеся тактильные иллюзии и небольшие симптомы дереализации, он начал возвращаться в привычное измерение. Оценив свои возможности, решил ехать на велосипеде домой. По пути наблюдалась спутанность мыслей, однако *возвращение в привычную реальность было крайне приятно*. Полное исчезновение всех симптомов произошло примерно в 18 часов, последними исчезают парестезии и искажение вкуса.



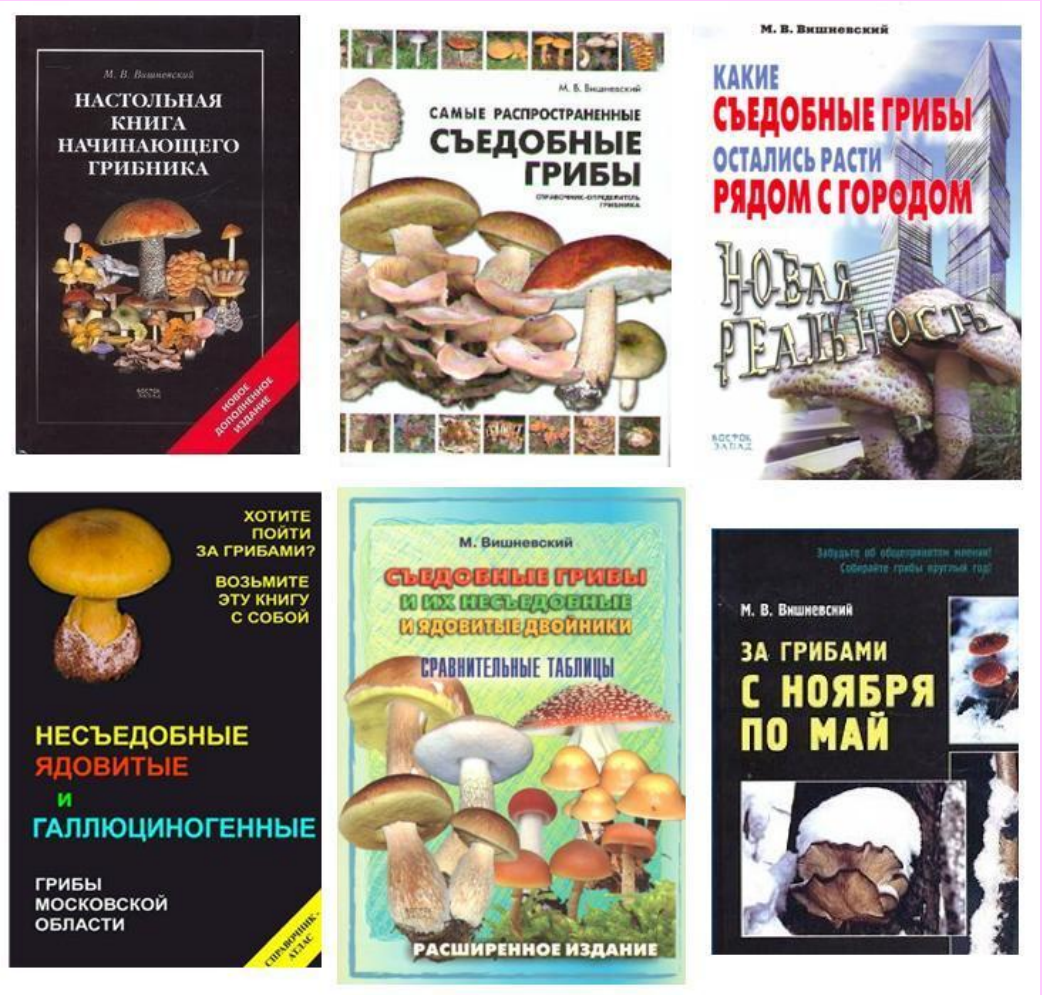


Псилоцибин ч.8

Козьма Прутков

8. Псилоцибе полуланцетовидная: эксперименты и размышления

Восьмую часть статьи написал Михаил Вишневский, кандидат биологических наук, миколог. Автор популярных руководств по грибам, в том числе легендарной настольной книги начинающего грибника.



Мне хотелось бы написать пару слов о ситуации в целом. Вообще "растительных божеств" в мировых религиях и культах не так уж и много. Наиболее известны индийский лотос и мексиканский кактус "пейотль" (Lophophora williamsii), менее - различные представители дурмана, галлюциногеносодержащие лианы с суккулентными корневищами и т.п. И мы точно знаем, что только псилоцибе и красный мухомор (Amanita muscaria) являются священными, обожествляемыми у разных народов представителями

грибного царства.

При этом если красный мухомор обладает свойствами не только психоделическими, но и является грибом среднеядовитым, то псилоцибе - чистый психоделик, настоящий оккультный гриб, не несущий в отличие от красного мухомора (при неправильном применении последнего) каких-либо значимых угроз здоровью человека.

С моей точки зрения, современное отношение к псилоцибин-содержащим грибам сильно разнится в зависимости от этноса и его культуры. В странах, незнакомых с культовым использованием псилоцибе (пусть даже эти грибы и произрастают там), наличествуют запрещательные тенденции. Как, например, в России. Запретны священные грибы и у народов-покорителей, не одобряющих местные культы (например, в США).

Интересна тенденция в полукоммунистических скандинавских странах, где вообще можно почти все, и уже выведены оконные сорта псилоцибе.

Разумеется, для России запрещать что-либо исключительно вредно, потому что запретный плод сладок, и о запрещенном грибе узнают даже те, кто никогда о нем не слышал и употреблением псилоцибе не интересовался. Ровно такая история наблюдается сейчас и с кактусом лофофорой, который запретили к выращиванию, и содержание его в коллекции светит двумя годами тюрьмы. И какая же это глупость, когда даже начинающему кактусисту ясно, что только пепелящее мексиканское солнце может дать священному растению ту дозу ультрафиолета, которая позволит выработать и накопить ему в своем теле заветный лофофорин. На нашем среднеполосном окошке об этом и мечтать не стоит…

Вообще Центральная Америка, и Мексика в частности, уникальны тем, что на их территории произрастает самое большое число видов энтеогенных растений, известных современной науке. Многие из этих растений традиционно использовались индейцами. Это не только кактус "пейотль" и галлюциногенные псилоцибе, но и семена растений "ололиуки" (Turbina corymbos и Ipomoea violacea), и так называемые "листья пастушки Марии" (Salvia divinorum). В последние десятилетия к этому списку можно прибавить получаемый из сока лианы Banisteriopsis caapi энтеоген "аяхуаска", распространенный в тропических лесах Южной Америки. Конечно при таком "роскошном" окружении индейцы просто обязаны были испытать на себе воздействие псилоцибина и обожествить его носителя.

Можно еще много написать о том, где и как понимается вредность или божественность псилоцибе, но в целом ясно, что это исключительно вопрос культурных традиций, а вовсе не знания или незнания самого предмета. В той же Скандинавии, традиционно знакомой с культовым использованием мухоморов, логично предположить добродушное в целом отношение как к псилоцибе в частности, так и к наркотикам в целом. А в России, где алкоголикам и табакокурильщикам ноздри рвали и причиняли прочие увечья, и лофофору на окошке не вырастишь.

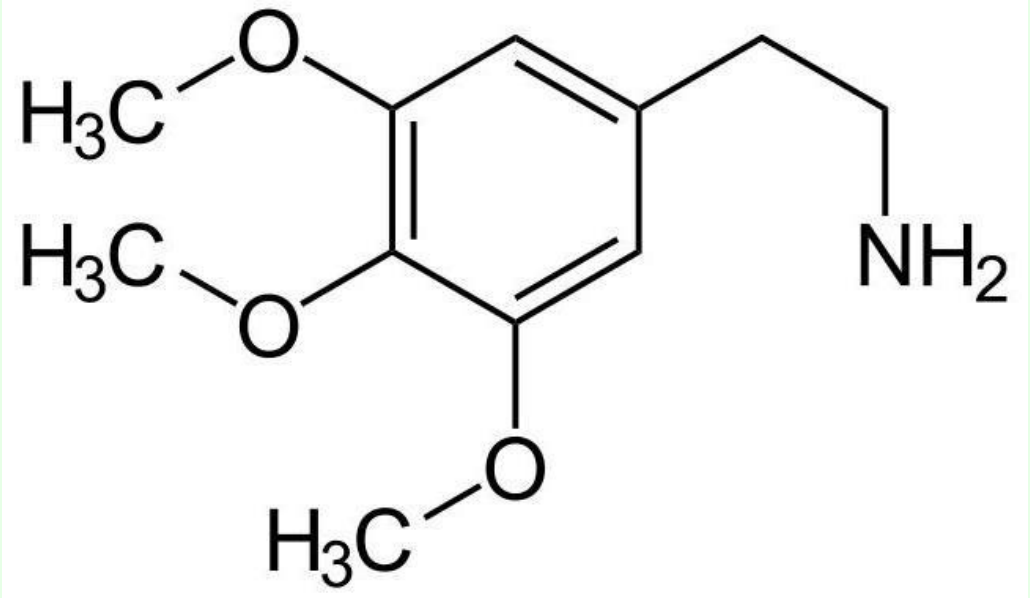
Псилоцибе характерна тем, что ее можно употребить для забавы, не "отягощая" себя какими-либо культовыми отправлениями. "Чистые глюки", как говорит молодежь. И это правда, хотя можно порассуждать о бессмысленности отрыва психоделика от его глубокого культурологического контекста. Ну, когда-то и "Кока-Кола" взаправду содержала экстракт листьев кокаинового куста… В мире возникло колоссальное молодежное (да и не только) движение, направленное на бытовое употребление псилоцибе, с торжественными групповыми выездами в северные регионы для сбора, употребления и заготовки галлюциногенных грибов. Это движение год от года ширится, и я с интересом наблюдаю усилия различных государств по его сдерживанию. Это не "Make love, no war" прошлого века, не протест, не идеология. Хорошая компания и чистые глюки, вот что дает гриб современным молодым людям. Хорошо это или плохо, как всегда покажет история. Но не очень быстро, может быть, и не на моем веку…



Лофофора Уильямса (Lophophora williamsii), она же - кактус "пейотль". Североамериканский кактус рода Лофофора. Известен, прежде всего, благодаря веществу мескалин, содержащемуся в мякоти стеблей дикорастущих лофофор



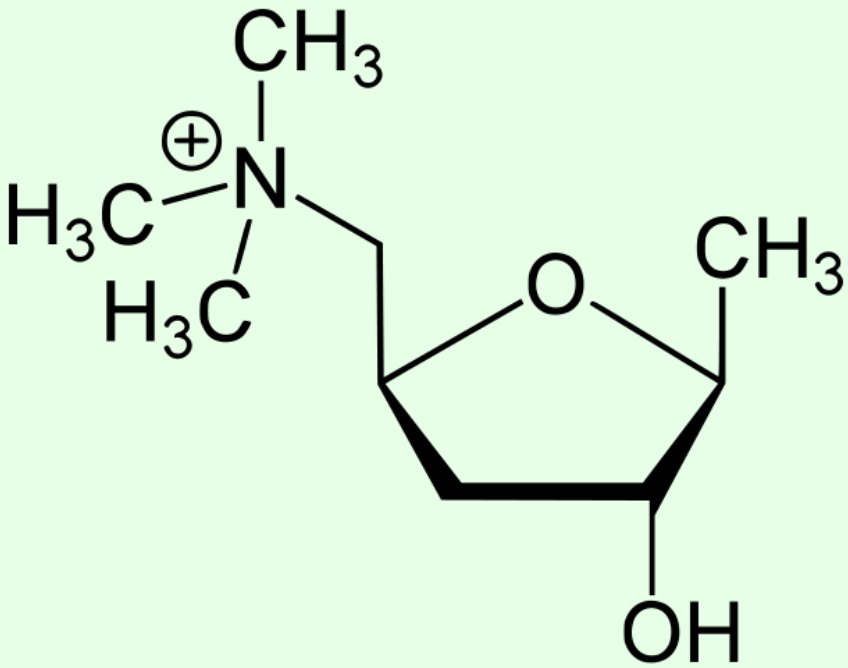
Цветущий кактус пейотль



Мескалин - алкалоид из группы фенилэтиламинов.
Содержится в кактусах рода Lophophora (Lophophora williamsii). В большинстве стран вещество находится под запретом.



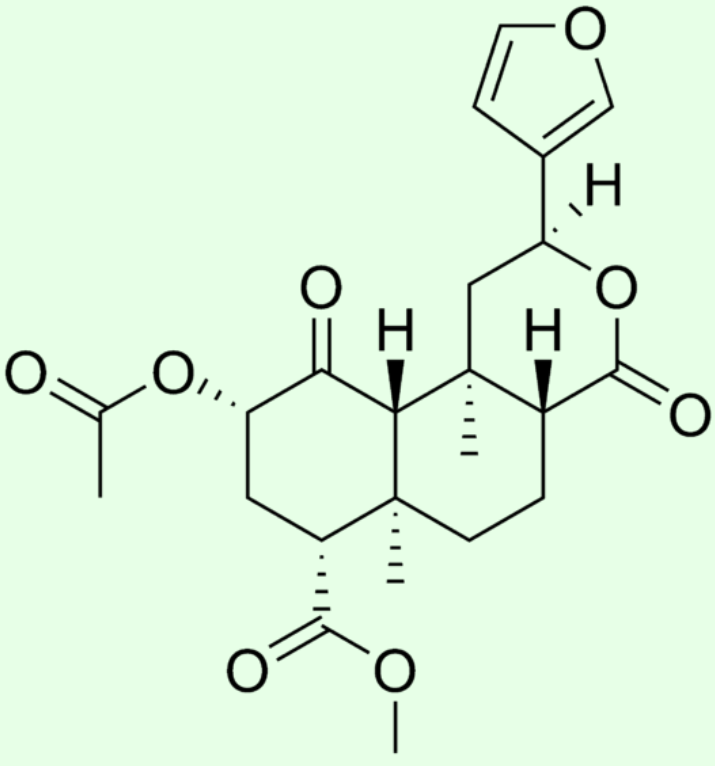
Мухомор красный (Amanita muscaria)



Мускарин - алкалоид, содержащийся в грибах.
Название происходит от латинского названия красного мухомора (Amanita muscaria)



Шалфей предсказателей или шалфей наркотический (Salvia divinorum)
Содержит психоактивный галлюциноген сальвинорин А

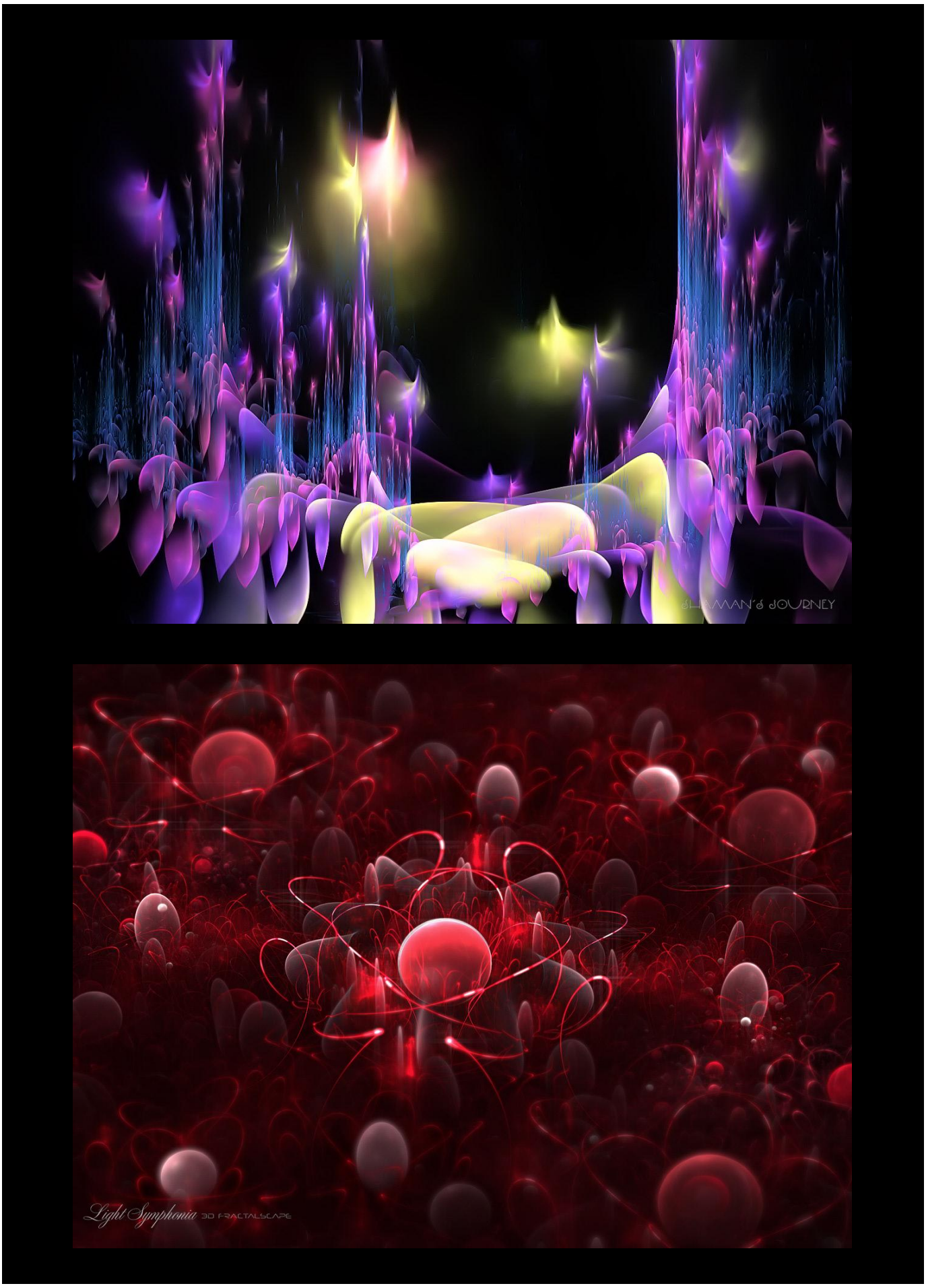


Сальвинорин А

Вчера я как раз вернулся из Владимирской области, ездил к отцу в деревню. И, памятуя об обещании поделиться опытом, решил опыт освежить. Сейчас вполне удачное время для сборов, и я задумал провести эксперимент, благо места знаю. В отличие от подавляющего большинства, я решил съесть грибы сырыми, без какой-либо обработки.

Не хотелось получать серьезную дозу, поэтому я решил, что один гриб на один год жизни (а также на пустой желудок) вполне эффективная, но не чрезмерная доза. Поскольку "проводником" я не располагал, то вместе с урожаем из 38 грибов устроился под старым дубом в хорошо знакомом мне участке леса. И не спеша употребил, тщательно разжевывая, один за другим, дав себе твердую установку сидеть смирно и не гулять. Первые эффекты проявились уже минут через 20. Мир "поплыл", нарушились пропорции предметов, исказились и взаимопроникли понятия объема, глубины, перспективы. Очень интересно, что где-то в самой глубине сознания я продолжал себя контролировать и не позволял себе встать и пойти "в мир". Хотя очень хотелось. Видимо, сказалась малая доза психоделика. Еще интереснее - в отличие от прошлых приемов не возникло никакой "мексиканскости" воздействия, разве что в виде периодически возникающих очень четко прорисованных контуров облаков и деревьев. Весь галлютинативный ряд был сведен к тому, что любая точка пространства на пике воздействия (минут через 40 после приема) приближалась ко мне по моему желанию, как бы притягиваемая взглядом, и обладала поразительной резкостью и качеством деталей. Я мог рассматривать жилки листика на вершине далекого дерева. Жучка, ползущего среди хвоинок в нескольких десятках метров от меня. Я мог при желании охватить взглядом почти круговую панораму, как фотообъектив "рыбий глаз". Поверьте, это был и, правда удивительный опыт в отличие от почти классических предыдущих с их деперсонификацией, приобщением, узорами, эйфорией, всепониманием и прочими атрибутами. Сейчас же наблюдалась только удивительная способность владеть восприятием, в первую очередь - зрением, с сохранением (хотя бы и частичным) самоконтроля, без эйфории, почти без каких-либо прочих эффектов. Возможно, я наткнулся на какую-то локальную расу гриба? Известно ведь, что психоативные свойства красного мухомора меняют как свою силу в зависимости от региона произрастания, так и несколько варьируют у его разных географических рас.

Скажу в итоге, что последний опыт с его нестандартным ходом воздействия оставил у меня наиболее благоприятное впечатление из всех имеющихся.


SHAMAN'S JOURNEY
Light Symphonia 3D FRACTALSCAPE

Псилоцибин ч.9

Козьма Прутков

9. Послесловие

Стоит ли пробовать?

Сказать трудно, это зависит от взглядов и убеждений читателей. Официальная позиция общества проста:

Нет - это вредно для психики и организма, приводит к психологической зависимости. Вообще собиратели психоактивных грибов - наркоманы и изгои общества, не сумевшие утвердиться в жизни, найти свое место и выбрать круг увлечений. Вещества с подобным псилоцибину действием не имеют никакого медицинского и практического применения и внесены в ***Список I*** *- наркотические средства и психотропные вещества.*

Но все ли так однозначно? Позволим себе высказать мнение, которое отличается от официального (не претендуя на его правильность).

Несомненно, длительное употребление больших количеств психоактивных средств явно не пойдет психике человека на пользу - не следует подвергать столь тонкий механизм столь серьезным испытаниям. Описаны затяжные психозы после приемов психоделиков, но создается впечатление, что психоактивные вещества лишь обостряют уже имеющиеся вялотекущие заболевания. Человек во время действия препаратов не вполне адекватен, как в случае псилоцибина или может быть совершенно неадекватным и не отвечать за свои действия (как в случае некоторых других препаратов). Без сомнения, такое состояние может привести к травмам (и физическим, и психическим), а также к другим печальным последствиям. Однако многие сообщения о подобных случаях, которые появились в СМИ, содержат явное преувеличение или неправдоподобный вымысел: в погоне за сенсациями и скандалами журналисты не брезгуют откровенной ложью.

Другими словами, опасность существует и она вполне реальна, но если вы хотите оценить ее степень, то следует в последнюю очередь обращаться к желтой прессе или скороговоркам официальной пропаганды (их составляют люди с уровнем интеллекта и

порядочности гораздо ниже среднего).

Теперь о ценности переживаний, полученных под действием псилоцибина. Как известно, официальная власть, а особенно - церковь считают, что подобные мистические переживания не имеют никакой ценности [1].

Однако мы рассматриваем свой субъективный опыт, полученный при употреблении грибов псилоцибе полуланцетовидная (psilocybe semilanceata), как ценный (а, кроме того - неповторимый и не имеющий аналогии в повседневной жизни). Но это ни в коей мере не означает, что мы призываем других людей попробовать эти грибы (или другие психоделические средства). Полученный опыт может показаться крайне неприятным, опасным и бессмысленным.

На первый взгляд возникает не совсем красивая ситуация: мол, сами пробуете, а другим - "не рекомендуете".

Попытаемся обратиться к аналогии, хотя подобрать ее очень трудно. Приятно или нет прыгнуть с парашютом? Стоит ли это делать? Одним это кажется очень интересным, дающим много волнующих чувств и позитивных, неповторимых эмоций. Другие никогда не согласятся прыгнуть и считают это глупой и опасной затеей. Существует ведь вполне реальный риск сломать ногу или вообще разбиться при отказе парашюта. Но даже если все закончится удачно, далеко не все получают от такого прыжка удовольствие.

Другой пример - занятие альпинизмом. Стоит ли подвергать жизнь постоянному риску ради "покорения" гор с некой крайне сомнительной для большинства (не альпинистов) целью. Вызывает ли это зависимость? У некоторых людей - несомненно вызывает, многие ведь всю жизнь посвящают этому занятию, "покорив" свою первую вершину.

Нам кажется, что очень интересно прикоснуться на время к той измененной реальности, используемой шаманами и целителями (например, индейцами масатеками) и, вероятно, сходной с достигаемой духовными практиками, вроде медитации и йоги. Состояние психоза тоже весьма любопытно. Читать или рассуждать об этом - одно, почувствовать - совершенно другое. Конечно, все психоделики не дают полного тождества с шизофренией, как это считалось раньше. В нашем случае был психоз с небольшими элементами паранойи.

Псилоцибин - не наркотик, что бы официально не утверждалось, но это сильное психоактивное вещество, причем явно не для обывательского развлечения (в отличие от алкоголя). Неспроста вокруг грибов возник древнейший культ и своеобразная религия, и кажется достойным название грибов теонанакатль - плоть Богов и их фактическое обожествление.

Для подростковой (а тем более - детской) психики употребление грибов, содержащих псилоцибин, - это слишком жесткое, а потому - недопустимое испытание. Взрослому с устоявшимся мировоззрением и без каких-либо психических заболеваний, в хорошей безопасной обстановке, желательно с внешним наблюдением, пожалуй, можно попробовать, если на то есть желание. Но помните, что это *не обычное опьянение*, которое мы привыкли ассоциировать с алкоголем, разве что последействие несколько напоминает легкое алкогольное отравление. Происходит перестройка не только ощущений, но и кардинальная перемена мировоззрения (в момент интоксикации) и осознания своей личности. На наш взгляд, *не следует придавать какой либо эзотерический смысл* этому химико-духовному опыту. Скорее это можно сравнить с кратковременной сменой настройки восприятия человека и всеми вытекающими отсюда последствиями. Позиция, высказанная Альбертом Хоффманом в книге ЛСД - мой трудный ребенок, кажется нам наиболее точной.

"Меня часто спрашивают, что произвело на меня наибольшее впечатление в моих экспериментах с ЛСД, и достиг ли я нового понимания благодаря этим опытам.

Самое большое значение для меня имело фундаментальное понимание, которое я вынес из всех своих опытов с ЛСД: то, что обычно принимают за "реальность", включая реальность собственной личности, ни в коем случае не является чем-то определенным, а скорее, наоборот, чем-то размытым - что существует не одна, а много реальностей, каждая из которых содержит в себе разное осознание собственного "Я".

К этому пониманию можно прийти и путем научных рассуждений. Проблема реальности с незапамятных времен была и остается главным вопросом философии. Тем не менее, есть существенная разница, подходить к этой проблеме рационально, логическими методами философии, или же эмоционально, через жизненный опыт. Первый запланированный эксперимент с ЛСД оказался столь глубоким и тревожным, потому что повседневная реальность, которую я до этого считал единственной реальностью, и "Я", воспринимающее ее, растворились, и незнакомое "Я" начало воспринимать незнакомую

реальность. Здесь возникает проблема нашей внутренней глубинной сути, которая, оставшись незатронутой, смогла зафиксировать эти внешние и внутренние изменения.

Реальность немыслима без воспринимающего субъекта, без эго. Она является производной внешнего мира, передатчика, в роли же приемника выступает эго, в самой глубине которого становятся осознанными эманации внешнего мира, зарегистрированные антеннами органов чувств. Если одно из двух отсутствует, то не возникает никакой реальности, музыка не играет и экран остается пустым.

Если развить концепцию реальности, как сочетания приемника и передатчика, то вхождение в другую реальность при помощи воздействия ЛСД можно объяснить тем, что мозг, то место, где находится приемник, изменяется биохимически. Таким образом, приемник настраивается на другую длину волны, отличную от обычной, повседневной реальности. Поскольку бесконечное многообразие вселенной соответствует бесконечному множеству различных настроек приемника, то в сознание вторгаются самые разнообразные реальности, каждая с соответствующим ей эго. Эти различные реальности, которые правильнее называть различными аспектами единой реальности, не взаимоисключают, а взаимодополняют друг друга, и все вместе составляют всеобъемлющую, вечную, трансцендентную реальность, в которой пребывает неизменная суть нашего самоосознания, способная запоминать различные эго.

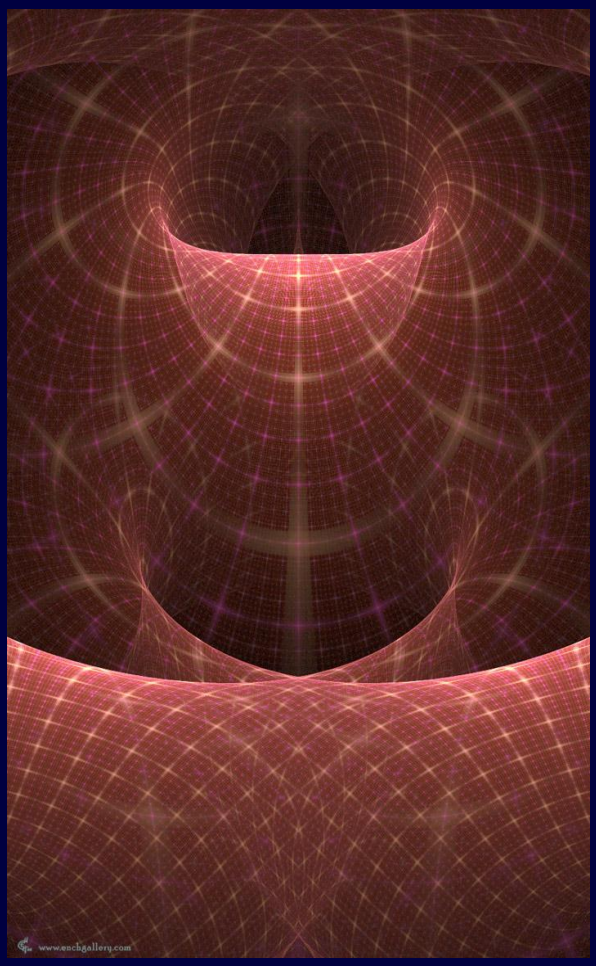
Истинная ценность ЛСД и родственных галлюциногенов состоит в их способности изменять настройку длины волны приемника "Я", и вызывать, таким образом, изменения в восприятии реальности. Исходя из способности вызывать к жизни различные новые картины реальности, этой истинно космогонической силы, становится понятным культовое поклонение галлюциногенным растениям, как священным".

В заключении скажем пару слов по поводу негативного отношения церкви к психоделикам. Весьма вероятной причиной такого положения дел было ревностное отношение церкви к нарушению ее монополии на мистические переживания: ведь оказалось, что для получения трансцендентального опыта совсем не обязательны жертвы, воздержание и поклонение. Достаточно миллиграммов (а иногда - и долей миллиграмма) химических веществ, обладающих соответствующей активностью.

Надеемся, что нам удалось дать объективную информацию о веществе, со столь необычным воздействием на психику человека.

[1] Один священник и ярый противник психоделиков даже принял мескалин, чтобы получить моральное право утверждать, что приобретенный при этом трансцендентальный опыт бесполезен.





Псилоцибин (приложение 1)

Козьма Прутков

"Сумасшедшая ванна" (камера сенсорной депривации)

Даже когда человек находится в состоянии практически полного покоя, органы чувств продолжают передавать в мозг информацию о состоянии человека и внешнего мира. Большая часть этой информации отсекается как несущественная, однако мы продолжаем ощущать тепло или холод, прикосновение, случайные звуки, положение и вес собственного тела и т.д.

А что случится, если человека максимально изолировать от внешних раздражителей? Подобный эксперимент можно провести с помощью т.н. камеры сенсорной депривации. Тело человека помещают в раствор соли высокой плотности, в котором оно не может утонуть. Температура воды регулируется так, чтобы она не казалась ни холодной, ни теплой. Максимально устраняются все возможные раздражители (свет, звуки, запахи и т.д.). Мозг человека практически лишается внешних импульсов. Впервые такая камера была разработана и использована Джоном Лилли *(John Cunningham Lilly)* в 1950-е годы.



Камера сенсорной депривации





Что чувствует испытуемый в таком состоянии? Ответ на этот вопрос можно получить не только из специальной литературы по психиатрии. Состояние и ощущения человека, который находится в камере сенсорной депривации, описаны в рассказе Станислав Лем - Условный рефлекс из цикла Рассказы о пилоте Пирксе. Главный герой учится на пилота космического корабля. В конце обучения ему предстоят не только экзамены, но и более серьезные испытания, одно из них - "сумасшедшая ванна", которая фактически и была камерой сенсорной депривации. Цель испытания - проверка психики будущих пилотов, которым предстоит работать в очень непростых условиях.

Читатель спросит: "А какое это имеет отношение к псилоцибину?"

Во-первых, и при действии псилоцибина, и при нахождении в камере сенсорной депривации наблюдается измененные состояния сознания. Конечно, в обоих случаях они далеко не идентичны, но состояние и ощущения пилота Пиркса из рассказа Условный рефлекс (когда он находился в "сумасшедшей ванне") в значительной мере напоминают состояние и ощущения человека, который находился под действием грибов *псилоцибе полуланцетовидная (psilocybe semilanceata)* - см. ч.7 ссылка.

Во-вторых, Станислав Лем перед тем как писать рассказ, безусловно, изучил литературу по экспериментальной психиатрии, где описываются переживания испытуемых в камере сенсорной депривации. Однако далеко не все переживания можно передать словами. Чтобы дать качественное описание ощущений испытуемого, автор рассказа Условный рефлекс должен был провести аналогичный эксперимент на себе - в противном случае было бы крайне трудно (а скорее всего - невозможно) передать состояние курсанта Пиркса. Каких-либо сведений о том, что Станислав Лем когда-либо находился в камере сенсорной депривации, мы не нашли. С другой стороны, в книге Лем Станислав - Размышления над сетью ссылка упоминается, что автор пробовал псилоцибин, чтобы ощутить измененное состояние сознания. Вполне вероятно, переживания Станислава Лема в ходе эксперимента с пислоцибином (вместе с данными из литературы по экспериментальной психиатрии) и легли в основу описания эффекта действия "сумасшедшей ванны" в рассказе Условный рефлекс [1].

Предлагаем вашему вниманию фрагмент рассказа Условный рефлекс.

...подошла пора сдавать экзамен профессору Меринусу, которого за глаза называли Мериносом. По правде сказать, Пиркс почти не боялся этого экзамена. Он всего лишь три раза наведывался в здание Института навигационной астродезии и астрогнозии, где у двери аудитории курсанты караулили выходящих от Мериноса не столько для того, чтобы отпраздновать их успех, сколько чтобы разузнать, какие новые каверзные вопросики придумал Зловещий Баран. Такова была вторая кличка сурового экзаменатора. Этот старик, который в жизни не ступал ногой не то что на Луну, а даже на порог ракеты! - благодаря теоретической эрудиции знал каждый камень в любом из кратеров Моря Дождей, скалистые хребты астероидов и самые неприступные районы на спутниках Юпитера; говорили, что ему прекрасно известны метеориты и кометы, которые будут открыты спустя тысячелетие, - он уже сейчас математически рассчитал их орбиты, предаваясь своему любимому занятию - анализу возмущения небесных тел. Необъятность собственной эрудиции сделала его придирчивым по отношению к

микроскопическому объему знаний курсантов.

Пиркс, однако, не боялся Меринуса, потому что подобрал к нему ключик. Старик ввел свою собственную терминологию, которой в специальной литературе никто другой не применял. Так вот. Пиркс, движимый врожденной сметливостью, заказал в библиотеке все труды Меринуса и - нет, вовсе он их не читал - попросту перелистал и выписал сотни две мериносовских словесных уродцев. Вызубрил их как следует и был уверен, что не провалится. Так оно и случилось. Профессор, уловив, в каком стиле Пиркс отвечает, встрепенулся, поднял лохматые брови и слушал Пиркса, как соловья. Тучи, обычно не сходившие с его чела, рассеялись. Он словно помолодел - ведь он слушал будто самого себя. А Пиркс, окрыленный этой переменой в профессоре и собственным нахальством, несся на всех парусах, и, хотя полностью засыпался на последнем вопросе (тут нужно было знать формулы и вся мериносовская риторика не могла помочь), профессор вывел жирную четверку и выразил сожаление, что не может поставить пять.

Так Пиркс укротил Мериноса. Взял его за рога. Куда больше страха он испытывал перед "сумасшедшей ванной" - очередным и последним этапом накануне выпускных экзаменов.

Когда дело доходило до "сумасшедшей ванны", тут уж не помогали никакие уловки. Прежде всего нужно было явиться к Альберту, который числился обычным служителем при кафедре экспериментальной астропсихологии, но фактически был правой рукой доцента, и слово его стоило больше, нежели мнение любого ассистента. Он был доверенным лицом еще у профессора Балло, вышедшего год назад на пенсию на радость курсантам и к огорчению служителя (ибо никто так хорошо не понимал его, как отставной профессор). Альберт вел испытуемого в подвал, где в тесной комнатке снимал с его лица парафиновый слепок. Затем полученная маска подвергалась небольшой операции: в носовые отверстия вставлялись две металлические трубки. На этом дело кончалось.

Затем испытуемый отправлялся на второй этаж, в "баню". Конечно, это была вовсе не баня, но, как известно, студенты никогда не называют вещи их подлинными именами. Это было просторное помещение с бассейном, полным воды. Испытуемый - на студенческом жаргоне "пациент" - раздевался и погружался в воду, которую нагревали до тех пор, пока он не переставал ощущать ее температуру. Это было индивидуально: для одних вода "переставала существовать" при двадцати девяти градусах, для других - лишь после тридцати двух. Но когда юноша, лежавший навзничь в воде, поднимал руку, воду

прекращали нагревать и один из ассистентов накладывал ему на лицо парафиновую маску. Затем в воду добавляли какую-то соль (но не цианистый калий, как всерьез уверяли те, кто уже искупался в "сумасшедшей ванне"), - кажется, простую поваренную соль. Ее добавляли до тех пор, пока "пациент" (он же "утопленник") не всплывал так, что тело его свободно держалось в воде, чуть пониже поверхности. Только металлические трубки высовывались наружу, и поэтому он мог свободно дышать. Вот, собственно, и все. На языке ученых этот опыт назывался "устранение афферентных импульсов". И в самом деле, лишенный зрения, слуха, обоняния, осязания (присутствие воды очень скоро становилось неощутимым), подобно египетской мумии, скрестив руки на груди, "утопленник" покоился в состоянии невесомости. Сколько времени? Сколько мог выдержать.

Как будто ничего особенного. Однако в таких случаях с человеком начинало твориться нечто странное. Конечно, о переживаниях "утопленников" можно было почитать в учебниках по экспериментальной психологии. Но в том-то и дело, что переживания эти были сугубо индивидуальны. Около трети испытуемых не выдерживали не то что шести или пяти, а даже и трех часов. И все же игра стоила свеч, так как направление на преддипломную практику зависело от оценки за выносливость: занявший первое место получал первоклассную практику, совсем не похожую на малоинтересное, в общем-то даже нудное пребывание на различных околоземных станциях. Невозможно было заранее предсказать, кто из курсантов окажется "железным", а кто сдастся: "ванна" подвергала нешуточному испытанию цельность и твердость характера.

Пиркс начал неплохо, если не считать того, что он без всякой нужды втянул голову под воду еще до того, как ассистент наложил ему маску; при этом он глотнул добрую порцию воды и получил возможность убедиться, что это самая обыкновенная соленая вода.

После того как наложили маску, Пиркс почувствовал легкий шум в ушах. Он находился в абсолютной темноте. Расслабил мускулы, как было предписано, и неподвижно повис в воде. Глаза он не мог открыть, даже если б захотел: мешал парафин, плотно прилегавший к щекам и ко лбу. Сначала зазудело в носу, потом зачесался правый глаз. Сквозь маску, конечно, почесаться было нельзя. О зуде ничего не говорилось в отчетах других "утопленников"; по-видимому, это был его личный вклад в экспериментальную психологию. Совершенно неподвижный, покоился он в воде, которая не согревала и не охлаждала его нагое тело. Через несколько минут он вообще перестал ее ощущать.

Разумеется, Пиркс мог пошевелить ногами или хоть пальцами и убедиться, что они скользкие и мокрые, но он знал, что с потолка за ним наблюдает глаз регистрирующей камеры; за каждое движение начислялись штрафные очки. Вслушавшись в самого себя, он начал вскоре различать тоны собственного сердца, необычно слабые и будто доносящиеся с огромного расстояния. Чувствовал он себя совсем не плохо. Зуд прекратился. Ничто его не стесняло. Альберт так ловко приладил трубки к маске, что Пиркс и забыл о них. Он вообще ничего не ощущал. Но эта пустота становилась тревожащей. Прежде всего он перестал ощущать положение собственного тела, рук, ног. Он еще помнил, в какой позе он лежит, но именно помнил, а не ощущал. Пиркс начал соображать, давно ли он находится под водой, с этим белым парафином на лице. И с удивлением понял, что он, обычно умевший без часов определять время с точностью до одной-двух минут, не имеет ни малейшего представления о том, сколько минут - или, может, десятков минут? - прошло после погружения в "сумасшедшую ванну".

Пока Пиркс удивлялся этому, он обнаружил, что у него уже нет ни туловища, ни головы - вообще ничего. Совсем так, будто его вообще нет. Такое чувство не назовешь приятным. Оно скорее пугало. Пиркс будто растворялся постепенно в этой воде, которую тоже совершенно перестал ощущать. Вот уже и сердца не слышно. Изо всех сил он напрягал слух - безрезультатно. Зато тишина, целиком наполнявшая его, сменилась глухим гулом, непрерывным белым шумом, таким неприятным, что прямо хотелось уши заткнуть. Мелькнула мысль, что прошло, наверное, немало времени и несколько штрафных очков не испортят общей оценки: ему хотелось шевельнуть рукой.

Нечем было шевельнуть: руки исчезли. Он даже не то чтобы испугался - скорее обалдел. Правда, он читал что-то о "потере ощущения тела", но кто мог бы подумать, что дело дойдет до такой крайности?

"По-видимому, так и должно быть, - успокаивал он себя. - Главное - не шевелиться; если хочешь занять хорошее место, надо вытерпеть все это". Эта мысль поддерживала его некоторое время. Сколько? Он не знал.

Потом стало еще хуже.

Темнота, в которой он находился, или, точнее, темнота - он сам, заполнилась слабо мерцающими кругами, плавающими где-то на границе поля зрения, - круги эти даже и не светились, а смутно белели. Он повел глазами, почувствовал это движение и

обрадовался. Но странно: после нескольких движений и глаза отказались повиноваться…

Но зрительные и слуховые феномены, эти мерцания, мелькания, шумы и гулы, были лишь безобидным прологом, игрушкой по сравнению с тем, что началось потом.

Он распадался. Уже даже и не тело - о теле и речи не было - оно перестало существовать с незапамятных времен, стало давно прошедшим, чем-то утраченным навсегда. А может, его и не было никогда?

Случается, что придавленная, лишенная притока крови рука отмирает на некоторое время, к ней можно прикоснуться другой, живой и чувствующей рукой, словно к обрубку дерева. Почти каждому знакомо это странное ощущение, неприятное, но, к счастью, быстро проходящее. Но человек при этом остается нормальным, способным ощущать, живым, лишь несколько пальцев или кисть руки омертвели, стали будто посторонней вещью, прикрепленной к его телу. А у Пиркса не осталось ничего, или, вернее, почти ничего, кроме страха.

Он распадался - не на какие-то там отдельные личности, а именно на страхи. Чего Пиркс боялся? Он понятия не имел. Он не жил ни наяву (какая может быть явь без тела?), ни во сне. Ведь не сон же это: он знал, где находится, что с ним делают. Это было нечто третье. И на опьянение абсолютно не похоже.

Он и об этом читал. Это называлось так: "Нарушение деятельности коры головного мозга, вызванное лишением внешних импульсов".

Звучало это не так уж плохо. Но на опыте…

Он был немного здесь, немного там, и все расползалось. Верх, низ, стороны - ничего не осталось. Он силился припомнить, где должен быть потолок. Но что думать о потолке, если нет ни тела, ни глаз?

- Сейчас, - сказал он себе, - наведем порядок. Пространство - размеры - направления…

Слова эти ничего не значили. Он подумал о времени, повторял "время, время", будто жевал комок бумаги. Скопление букв без всякого смысла. Уже не он повторял это слово, а некто другой, чужой, вселившийся в него. Нет, это он вселился в кого-то. И этот кто-то

раздувался. Распухал. Становился безграничным. Пиркс бродил по каким-то непонятным недрам, сделался громадным, как шар, стал немыслимым слоноподобным пальцем, он весь был пальцем, но не своим, не настоящим, а каким-то вымышленным, неизвестно откуда взявшимся. Этот палец обособлялся. Он становился чем-то угнетающим, неподвижным, согнутым укоризненно и вместе с тем нелепо, а Пиркс, сознание Пиркса возникало то по одну, то по другую сторону этой глыбы, неестественной, теплой, омерзительной, никакой…

Глыба исчезла. Он кружился. Вращался. Падал камнем, хотел крикнуть. Глазные орбиты без лица, округлые, вытаращенные, расплывающиеся, если пробовать им сопротивляться, наступали на него, лезли в него, распирали его изнутри, словно он резервуар из тонкой пленки, готовый вот-вот лопнуть.

И он взорвался…

Он распался на независимые друг от друга доли темноты, которые парили, как беспорядочно взлетающие клочки обуглившейся бумаги. И в этих мельканиях и взлетах было непонятное напряжение, усилие, будто при смертельной болезни, когда сквозь мглу и пустоту, прежде бывшие здоровым телом и превратившиеся в бесчувственную стынущую пустыню, что-то жаждет в последний раз отозваться, добраться до другого человека, увидеть его, прикоснуться к нему.

- Сейчас, - удивительно четко произнес кто-то, но это шло извне, это был не он. Может, какой-то добрый человек сжалился и заговорил с ним? С кем? Где? Но ведь он слышал. Нет, это был не настоящий голос.

- Сейчас. Другие-то прошли сквозь это. От этого не умирают. Нужно держаться.

Эти слова все повторялись. Пока не утратили смысл. Опять все расползалось, как размокшая серая промокашка. Как снежный сугроб на солнце. Его размывало, он, недвижимый, несся куда-то, исчезал.

"Сейчас меня не будет",- подумал он вполне серьезно, ибо это походило на смерть, а не на сон. Только одно он знал еще: это не сон. Его окружали со всех сторон. Нет, не его. Их. Их было несколько. Сколько? Он не мог сосчитать.

- Что я тут делаю? - спросило что-то в нем. - Где я? В океане? На Луне? Испытание…

Не верилось, что это испытание. Как же так: немного парафина, какая-то подсоленная вода - и человек перестает существовать? Пиркс решил покончить с этим во что бы ни стало. Он боролся, сам не зная с чем, будто приподнимал придавивший его огромный камень. Но не смог даже шелохнуться. В последнем проблеске сознания он собрал остатки сил и застонал. И услыхал этот стон - приглушенный, отдаленный, словно радиосигнал с другой планеты.

На какое-то мгновение он почти очнулся, сосредоточился - чтобы впасть в очередную агонию, еще более мрачную, все разрушающую.

Никакой боли он не ощущал. Э, если б была боль! Она сидела бы в теле, напоминала бы о нем, очерчивала бы какие-то границы, терзала бы нервы. Но это была безболезненная агония - мертвящий, нарастающий прилив небытия. Он почувствовал, как судорожно вдыхаемый воздух входит в него - не в легкие, а в эту массу трепещущих, скомканных обрывков сознания. Застонать, еще раз застонать, услышать себя…

- Если хочешь стонать, не мечтай о звездах, - послышался тот же неизвестный, близкий, но чужой голос.

Он одумался и не застонал. Впрочем, его уже не было. Он сам не знал, во что превратился: в него вливали какие-то липкие, холодные струи, а хуже всего было то - почему ни один болван даже не упомянул об этом? - что все шло через него насквозь. Он стал прозрачным. Он был дырой, решетом, извилистой цепью пещер и подземных переходов.

Потом и это распалось - остался только страх, который не рассеялся даже тогда, когда тьма задрожала, как в ознобе, от бледного мерцания - и исчезла.

Потом стало хуже, намного хуже. Об этом, однако, Пиркс не мог впоследствии ни рассказать, ни даже вспомнить отчетливо и подробно: для таких переживаний еще не найдены слова. Ничего он не смог из себя выдавить. Да, да, "утопленники" обогащались, вот именно обогащались еще одним дьявольским переживанием, которого профаны даже представить себе не могут. Другое дело, что завидовать тут нечему.

Пиркс прошел еще много состоянии. Некоторое время его не было, потом он снова появился, многократно умноженный; потом что-то выедало у него весь мозг, потом были какие-то путаные, невыразимые словами мучения - их объединял страх, переживший и тело, и время, и пространство. Все.

Страха-то он наглотался досыта.

Доктор Гротиус сказал:

- Первый раз вы застонали на сто тридцать восьмой минуте, второй раз - на двести двадцать седьмой. Всего три штрафных очка - и никаких судорог. Положите ногу на ногу. Проверим рефлексы… Как вам удалось продержаться так долго - об этом потом.

Пиркс сидел на сложенном вчетверо полотенце, чертовски шершавом и поэтому очень приятном. Ни дать ни взять - Лазарь. Не в том смысле, что он внешне был похож на Лазаря, но чувствовал он себя воистину воскресшим. Он выдержал семь часов. Занял первое место. За последние три часа тысячу раз умирал. Но не застонал. Когда его вытащили из воды, обтерли, промассировали, сделали укол, дали глоток коньяку и повели в лабораторию, где ждал доктор Гротиус, он мельком взглянул в зеркало. Он был совершенно оглушен, одурманен, будто не один месяц пролежал в горячке. Он знал, что все уже позади. И все же взглянул в зеркало. Не потому, что надеялся увидеть седину, а просто так. Увидел свою круглую физиономию, быстро отвернулся и зашагал дальше, оставляя на полу мокрые следы. Доктор Гротиус долго пытался вытянуть из него хоть какие-нибудь описания пережитого. Шутка сказать - семь часов! Доктор Гротиус теперь по-иному смотрел на Пиркса: не то чтобы с симпатией - скорее с любопытством, как энтомолог, открывший новый вид бабочки. Или очень редкую букашку. Возможно, он видел в нем тему будущего научного труда?

Нужно с сожалением признать, что Пиркс оказался не особенно благодарным объектом для исследования. Он сидел и придурковато хлопал глазами: все было плоское, двумерное; когда он тянулся к какому-нибудь предмету, тот оказывался ближе или дальше, чем рассчитывал Пиркс. Это было обычное явление. Но не очень-то обычным был ответ на вопрос ассистента, пытавшегося добиться каких-нибудь подробностей.

- Вы там лежали? - ответил он вопросом на вопрос.

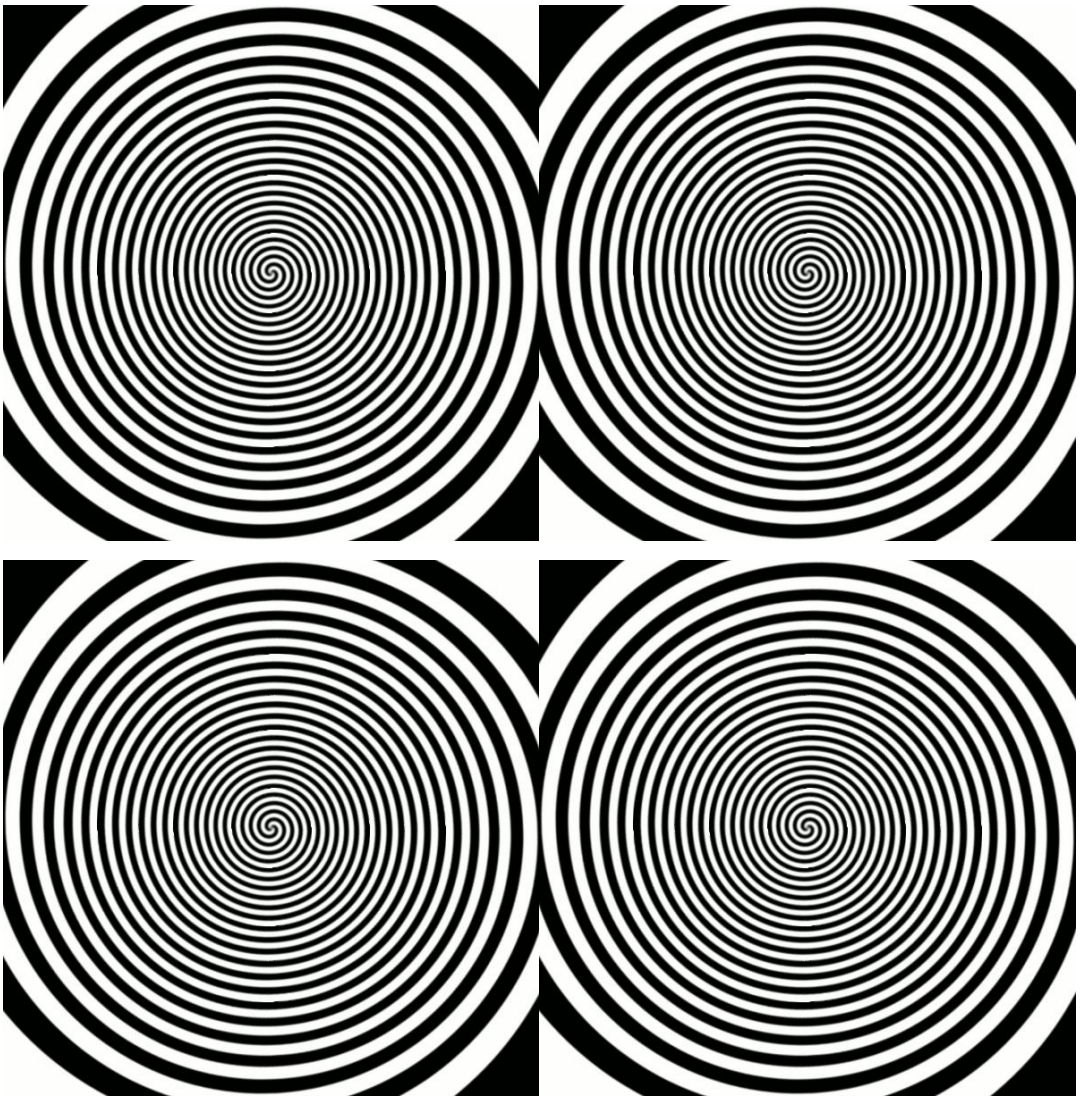
- Нет, - удивился доктор Гротиус, - а что?

- Так полежите, - предложил ему Пиркс, - тогда сами увидите, каково там.

На следующий день Пиркс чувствовал себя уже настолько хорошо, что мог даже острить по поводу "сумасшедшей ванны". Теперь он стал ежедневно наведываться в главное здание, где под стеклом на доске объявлений вывешивались списки с указанием места практики. Но до конца недели его фамилия так и не появилась...

---

[1] Справедливости ради следует отметить, что неизвестно происходил описанный эксперимент с псилоцибином до написания цикла рассказов о пилоте Пирксе или уже после. В любом случае, переживания Станислава Лема, вызванные псилоцибином, наложили отпечаток на ряд его книг - Сумма технологии, Футурологический конгресс, Мир на Земле, а, возможно, и на цикл Кибериада (Сказка о короле Мурдасе и др.).



Псилоцибин (приложение 2)

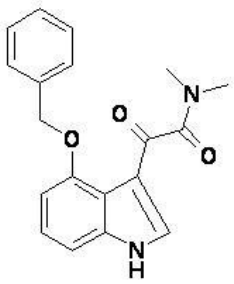
Козьма Прутков

Методика синтеза

Исключительно в ознакомительных целях мы решили привести методику синтеза псилоцина и псилоцибина. Честно говоря, у нас были серьезные сомнения, стоит ли давать методики синтеза данных веществ? Ведь даже общая схема синтеза (см. ч.2), взятая из открытого (и довольно известного) источника, вызвала неоднозначную реакцию.

Однако реальность такова, что синтез довольно сложный (даже в официальных медицинских экспериментах часто использовался не синтетический препарат, а вытяжка из соответствующих грибов). Тот, кто обладает достаточной квалификацией, чтобы повторить приведенную методику, без сомнения сможет найти первоисточник (который находится в общем доступе не один десяток лет). Для остальных же это будет только информация "для общего развития".

1. 2-(4-бензилокси-1H-индол-3-ил)-N,N-диметил-2-оксоацетамид

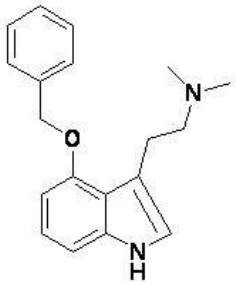


Готовят раствор из 50 г 4-бензилокси-индола в 1,2 л безводного сложного эфира, приливая его по каплям и осторожно перемешивая при температуре 1-5°C, добавляют 40 мл оксалил хлорида и перемешивают в течение часа при температуре 5-10°C; образуется оранжево-красный раствор. Затем смесь охлаждают до более низкой температуры (не выше 0… -5°C) с помощью льда и поваренной соли и добавляют по каплям смесь из 100 мл диметиламина растворенного в 100 мл эфира. После отстаивания в течение получаса осадок отфильтровывают, затем поочередно промывают эфиром, затем большим количеством дистиллированной воды и сушат под вакуумом. Сырой продукт, полученный после вакуумной сушки, растворяют в смеси 1:1 бензола и метанола и кристаллизуют, обработав дополнительными порциями петролейного эфира.

Продукт: призматические кристаллы с температурой плавления 146-150°С.

Выход: 52,6 г (73 %).

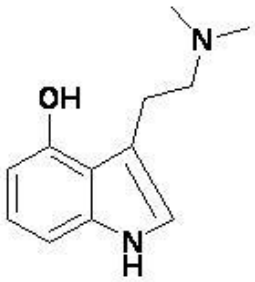
2. [2-(4-бензилокси-1Н-индол-3-ил)-этил]-диметиламин



Приготовьте раствор из 52,5 г 2-(4-бензилокси-1Н-индол-3-ил)-N,N-диметил-2-оксоацетамида в литре абсолютированного диоксана и добавляют по каплям в кипящий раствор 66 г $LiAlH_4$ в литре абсолютированного диоксана и перемешивают в течение 17 часов при этой же температуре. Затем к реакционной массе на ледяной бане добавляют 1л метанола, затем 500 мл насыщенного раствора сульфата натрия, отделяют осадок и промывают метанолом с диоксаном. Побочные продукты из фильтрата удаляют встряхиванием с этилацетатом. Затем фильтрат подщелачивают раствором гидроксида натрия и экстрагируют хлороформом. После экстракции хлороформом, осушения поташем и выпаривания до маленького объема, происходит кристаллизация тонких иголочек с температурой плавления 125-126°С, выход кристаллов 33 г. Из "маточного раствора" после очистки на колонке с 300 г оксида алюминия и элюентом бензол - 0,2 % этанола, было получено еще 7,7 г чистого продукта.

Общий выход продукта 85 %.

3. 3-(2-Диметиламино-этил)-1Н-индол-4-ол (Псилоцин)

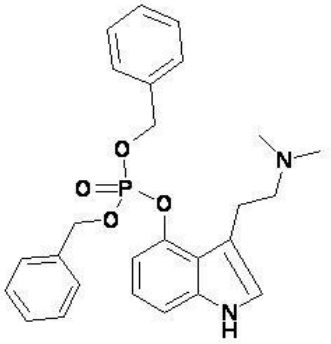


Раствор, приготовленный из 37,5 г [2-(4-бензилокси-1Н-индол-3-ил)-этил]-диметиламина в 1,2 л метанола, "сажают" на носитель из оксида алюминия с добавлением 20 г 5%-го палладиевого катализатора с водородом и элюируют метанолом, скорость процесса

около 3,2 л за 12 часов. Полученный раствор фильтруют от катализатора и упаривают до небольшого объема. Выпадают гексагональные кристаллы псилоцина в виде пластин с температурой плавления 173-176°С.

Выход 21 г. (81 %).

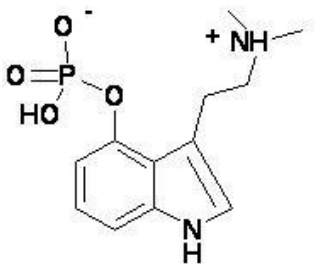
4. 4-дибензилфосфорулокси-3-N,N-диметилтриптамин



6,3 г псилоцина растворяют в 30,5 мл 1 N спиртовом растворе гидроксида натрия, образовавшийся осадок отфильтровывают и сушат 3 часа при высоком вакууме и 40° С. Затем осадок растворяют в 100 мл метилового спирта, к нему добавляют свежеприготовленный раствор дибензилфосфорил-хлорида в четыреххлористом углероде объемом 30 мл (приготовлен из 8,3 г дибензилфосфина). Реакционная масса интенсивно перемешивается 2 часа при комнатной температуре. Затем смесь кипятят 5-10 мин, образовавшийся осадок растворяют в хлороформе с этиловым спиртом, взятых в соотношении 9:1, отфильтровывают от хлорида натрия, а фильтрат пропустили через хроматографическую колонку с 750 г оксида алюминия.

Из хлороформно-спиртового раствора получены кристаллы с температурой плавления 238-240°С.

5. О-фосфорил 4-гидрокси-3-N,N-диметилтриптамин (Псилоцибин)



Готовят раствор, содержащий 6,8 г 4-дибензилфосфорулокси-3-N,N-диметилтриптамина в 100 мл метанола (см. п. 3), "сажают" на носитель из оксида алюминия с добавлением 5 г

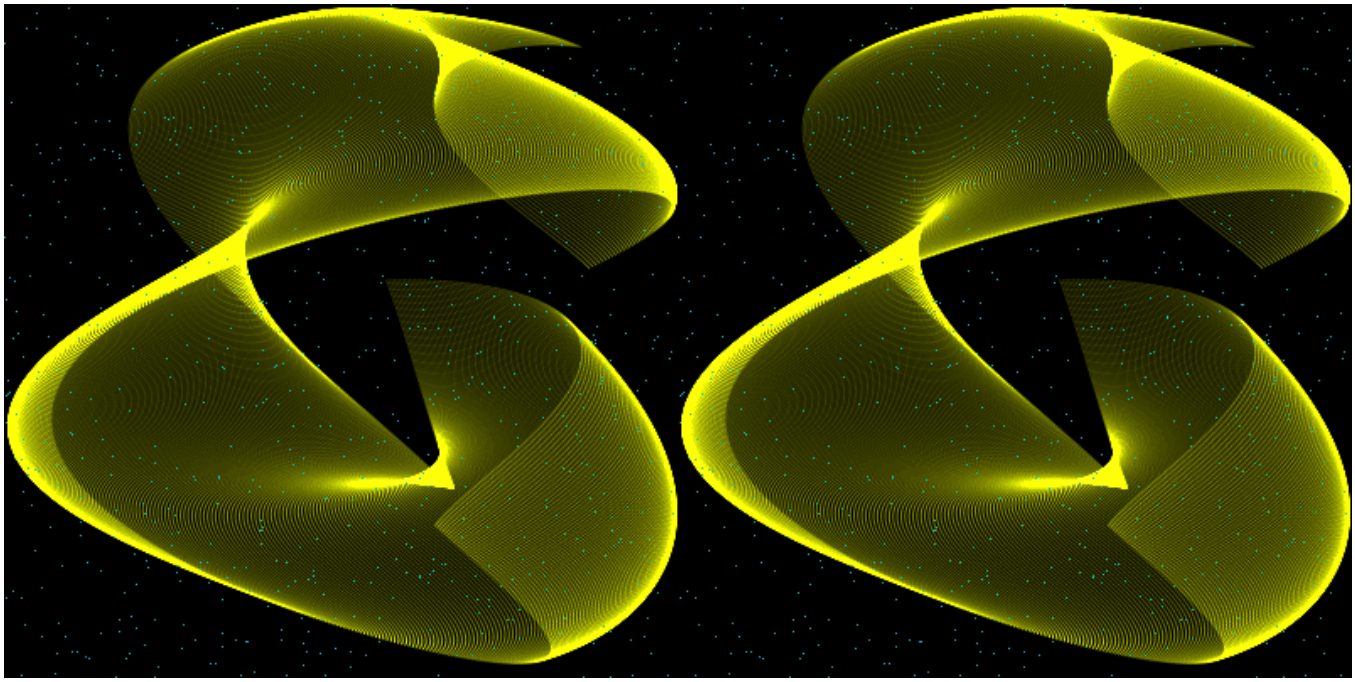
5 %-го палладиевого катализатора с водородом. Элюат упаривают до минимального объема. К выпавшему осадку приливают 200 мл воды и доводят раствор до кипения, нерастворимые побочные продукты отфильтровывают. Водный раствор упаривают досуха; остаток растворяют в малом количестве метанола, из которого псилоцибин выпадает в виде тонких призматических кристаллов. После неоднократной (3-х кратной) перекристаллизации получают мелкие игольчатые кристаллы с температурой плавления 220-228°C.

Выход 3,0 г (42 %).

Подлинность: метоловая проба - фиолетовая.

Литература:

Synthesis of Psilocin and Psylocybin, перевод: Rolf Von Eckartsburg; Hoffman, Heim, Brack, Kobel, Frey, Ott, Petrzilka, and Troxier, "Psilocybin and Psilocin, zwey psychotrope Wirkstroffe aus mexikanischen Rauschpilzen," Hevetica Chemica Acta, Vol. 42, pp. 1570-71, 1959.



Химические Реакторы

Ал. Ал. БЕРЛИН, Э. В. ПРУТ

CHEMICAL REACTORS

Al. Al. BERLIN, E. V. PRUT

The main models of chemical reactors and their action principles are considered. Special attention is given to the application of extruders as a reactor for carrying out a chemical reaction in viscous polymeric media. The possibility of use of extruders for the recycling of polymeric materials and for carrying out a chemical reaction of synthesis and modification of polymers in solid state is considered.

Проанализированы основные модели химических реакторов и принципы их работы. Особое внимание уделено применению экструдеров как реакторов для проведения химических реакций в вязких полимерных средах. Рассмотрена возможность применения экструдеров для измельчения полимерных материалов и проведения химических реакций синтеза и модификации полимеров в твердой фазе.

ВВЕДЕНИЕ

Человечество давно пользуется искусственными химическими веществами и материалами, для получения которых применяют специальные аппараты и оборудование. Конструкции химических реакторов весьма разнообразны и должны отвечать определенным требованиям для того, чтобы продукт получался с максимальной производительностью, высокого качества, минимальными затратами исходных веществ, энергии и труда.

Для создания реактора оптимальной конструкции необходимы, как говорят, исходные данные. В первую очередь следует знать кинетику химической реакции, то есть информацию об основной реакции, приводящей к целевому продукту, и о побочных процессах, приводящих к нерациональному расходу сырья и образованию ненужных, а иногда и вредных веществ (кинетика — наука о скоростях химических реакций). Далее требуются данные о теплоте, выделяющейся или поглощаемой в ходе реакции, и о предельной, возможной степени превращения исходных веществ в продукты. На эти вопросы отвечает химическая термодинамика. Поскольку для осуществления реакции молекулы исходных реагентов должны встретиться друг с другом, реакционную систему необходимо хорошо перемешивать. Эффективность смешения зависит от вязкостей компонентов, взаимной растворимости исходных веществ и продуктов, скоростей потоков, геометрии реактора и различного рода устройств ввода реагентов. Этими вопросами занимается наука, называемая гидродинамикой. Протекание химической реакции также влияет на смешение. Это изучает химическая гидродинамика. Наконец, температурный режим в реакторе следует поддерживать в соответствии с требованиями кинетики, чтобы оптимизировать скорости реакции и выход целевого и побочных продуктов. Наука, которая занимается описанием химических реакций с учетом процессов массо- и теплопереноса, получила название макрокинетика (макроскопическая кинетика). Этот термин предложил известный отечественный ученый Д.А. Франк-Каменецкий.

Таким образом, в общем виде задача расчета химического реактора чрезвычайно сложна. Однако проблему можно значительно упростить, используя некоторые предельные модели.

ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Реактор идеального смешения периодического действия (РИСПД). Кастрюля с борщом, стоящая на огне, — пример химического реактора идеального смешения периодического действия. Хороший повар знает, сколько времени варить борщ, чтобы он был вкусным. Одна из важнейших характеристик процесса — время пребывания реакционной смеси в реакторе, которое должно быть согласовано с кинетикой основной химической реакции. Если время меньше необходимого, будет мал выход продукта. Если время пребывания слишком велико, могут пойти нежелательные побочные реакции. Предположим, что интересующий нас целевой продукт является промежуточным в серии последовательных реакций. Например, получим монохлорбензол, используя в качестве исходных реагентов бензол и хлор. Схематически реакцию можно представить в виде

$$C_6H_6 + Cl_2 \rightarrow C_6H_5Cl + HCl,$$

$$C_6H_5Cl + Cl_2 \rightarrow C_6H_4Cl_2 + HCl,$$

$$C_6H_4Cl_2 + Cl_2 \rightarrow C_6H_3Cl_3 + HCl$$

В этом случае количество монохлорбензола (целевой продукт) проходит через максимум от времени, и время пребывания должно соответствовать этому максимуму.

Вторая важная характеристика такого реактора — эффективность смешения. В промышленности существуют различные методы смешения реагентов и перемешивания реакционной смеси. Чаще всего для этих целей используют вращающиеся мешалки различной конфигурации. Каждый реактор со своим перемешивающим устройством можно охарактеризовать некоторым средним временем смешения $\tau_{см}$. Измерить $\tau_{см}$ можно следующим образом. В какое-то место реактора вводится окрашенное вещество (индикатор). Затем, отбирая пробы в разных точках, определяют, за какое время весь объем реактора станет равномерно окрашенным. Реактор идеального смешения — это такой реактор, в котором выполняется условие

$$\tau_{см} << \tau_{хим} \qquad (1)$$

где $\tau_{хим}$ — характерное время химической реакции. При этом концентрации всех веществ в любой момент времени будут одинаковы во всех точках реактора.

В некоторых случаях в реактор сначала вводится часть реагентов, а затем постепенно добавляется наиболее реакционноспособный реагент. Так, при получении хлорбензола в

реактор с бензолом медленно вводится газообразный хлор. Если при этом также выполняется условие (1), то реактор носит название реактора идеального смешения полупериодического действия. Заметим, что в этом случае особенно важно, что критерием идеальности смешения является соотношение времени смешения и времени химической реакции, а не времени пребывания, которое может значительно превышать время химической реакции.

Реактор идеального вытеснения (РИВ). Химическую реакцию можно проводить в трубчатом реакторе, при этом предварительно перемешанные реагенты вводятся с одной стороны реактора, а конечная смесь выводится с другой. Такой реактор называется реактором идеального вытеснения. Если нет перемешивания вдоль реактора и линейная скорость перемещения реакционной массы вдоль реактора υ постоянна: реагирующая смесь как бы (или на самом деле) вытесняется поршнем. Тогда время пребывания реагирующей смеси в реакторе длиной L равно L/υ и одинаково для любой ее части. Такой реактор работает в непрерывном режиме, а каждый элемент реакционной смеси проходит такой же путь, что и в РИСПД. Поэтому описание работы обоих реакторов полностью идентично, причем параметр L/υ для РИВ просто соответствует времени реакции для РИСПД. Один из вариантов получения полиэтилена является примером промышленного процесса с РИВ.

Реактор идеального смешения непрерывного действия (РИСНД). Схема РИСНД приведена на рис. 1. В реактор непрерывно вводятся реагенты, а реакционная смесь, содержащая продукты и исходные вещества, интенсивно перемешивается и постоянно выводится из реактора. Среднее время пребывания реакционной смеси в таком реакторе равно V/W, где V — объем реактора, а W — суммарная объемная скорость подачи всех реагентов.

В отличие от рассмотренных РИСПД и РИВ в РИСНД существует широкое распределение по временам пребывания, то есть одни молекулы, попав в реактор, находятся в нем длительное время, а другие быстро его покидают. Концентрации всех веществ в этом реакторе постоянны.

Интересно проиллюстрировать различие реакторов на примере так называемой живущей полимеризации. В раствор с мономером вводится инициатор, к которому последовательно присоединяются молекулы мономера, образуя полимерную цепь. Если такую реакцию проводить в РИСПД, в РИВ или обычной лабораторной колбе с мешалкой,

то все макромолекулы будут иметь практически одну и ту же длину (молекулярную массу). Если тот же самый процесс проводить в РИСНД, то полимерный продукт будет состоять из набора молекул различной молекулярной массы. Другими словами, структура и свойства полимера зависят от того, в каком реакторе он получен.

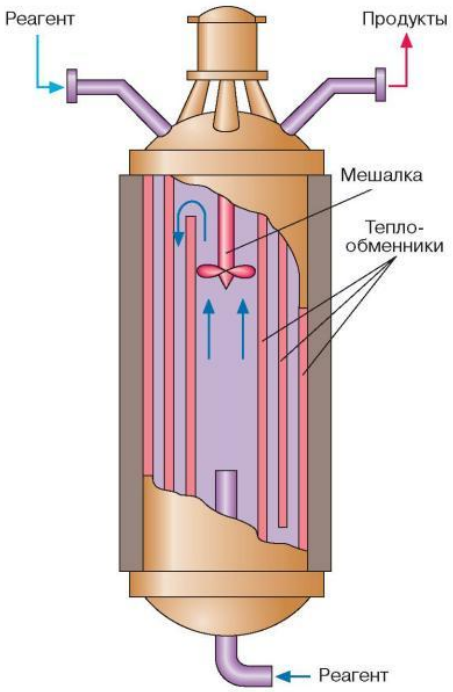


Рис. 1. Схема реактора идеального смешения непрерывного действия

Условие идеальности смешения для РИСНД то же, что и для реактора идеального смешения периодического действия (1). Существенное значение для производительности реактора и особенно для качества продукта имеют тепловой режим работы реактора, температура и температурные поля в нем.

Для РИСПД и РИВ можно выделить два предельных режима. Первый изотермический, когда все тепло реакции (если реакция экзотермическая) отводится от реакционной смеси. Второй адиабатический, при котором все тепло, выделяющееся в ходе реакции, расходуется на нагрев реагирующей массы. Возможны и любые промежуточные режимы, когда часть тепла отводится, а часть идет на нагрев или когда температуру в реакторе принудительно изменяют во времени для РИСПД или по длине реактора (для РИВ).

Рассмотрим установившийся тепловой режим в РИСНД. Установившимся или стационарным называется такой режим работы РИСНД, когда концентрации всех веществ и температура в реакторе постоянны по объему и не меняются во времени. Такой режим обычно наступает спустя некоторое время после начала его работы. Для определения температуры в РИСНД следует рассмотреть тепловой баланс. Скорость выделения тепла за счет химической реакции равна

$$VQ\omega_{хим} = VQk[A][B] = VQk_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)[A][B], \quad (2)$$

где V — объем реактора, Q — теплота реакции, $\omega_{хим}$ — скорость реакции, k — константа скорости, k_0 и E — предэкспоненциальный множитель и энергия активации, [A] и [B] — концентрации реагентов. Выражение для скорости реакции записано в предположении

бимолекулярного процесса $A + B \rightarrow C$. Тепло расходуется на нагрев исходных реагентов от начальной температуры T_0 до температуры T в реакторе. Скорость расхода тепла на нагрев равна $Wc_p(T - T_0)$, где c_p — средняя теплоемкость реакционной массы. Кроме того, часть тепла отводится из реактора через стенки к теплоносителю со скоростью $S\chi(T - T_1)$, где χ — коэффициент теплопередачи через стенку, T_1 — температура теплоносителя. Приравнивая приход и расход тепла и разделив на V, имеем

$$Qk_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)[A][B] = \left(\frac{W}{V}\right)c_p(T - T_0) + \left(\frac{S}{V}\right)\chi(T - T_1). \quad (3)$$

На рис. 2 представлены схематически левая (рис. 2, *1*) и правая (рис. 2, *2*) части уравнения (3). Точки пересечения — решения уравнения (3), то есть значения температур в стационарных условиях. В принципе могут существовать два устойчивых режима, соответствующие нижней и верхней точкам пересечения кривой *1* и прямой *2*. Третья средняя точка пересечения, если она существует, отвечает неустойчивому состоянию. При эффективном теплоотводе или большой скорости подачи реагентов прямая *2* имеет большой угол наклона к горизонтальной оси и существует единственная точка пересечения. В этом случае работа реактора совершенно устойчива при различных температурах T_0 и T_1. Если прямая *2* касается кривой *1*, то реактор может устойчиво работать только при высоких температурах. Если теплоотвод через стенки отсутствует и все тепло реакции идет на нагрев реакционной смеси ($\chi = 0$), то такой режим работы РИСНД называется автотермическим.

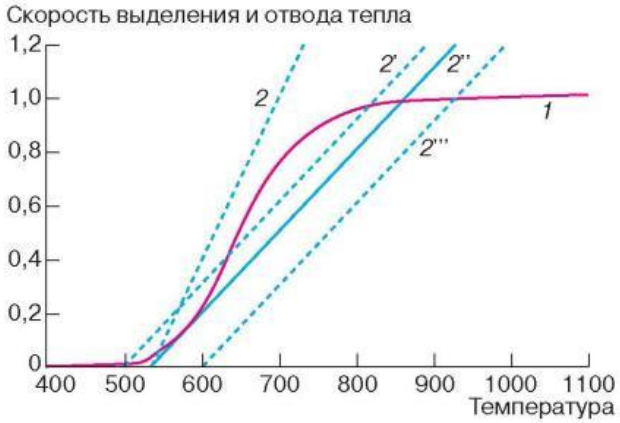


Рис. 2. Зависимость скорости выделения (*1*) и скорости отвода тепла (*2*–*2'''*) для РИСНД

Часто используют каскады реакторов, например два или три последовательно соединенных РИСНД. В таком каскаде удобно проводить многоступенчатый химический процесс, подбирая оптимальные условия проведения каждой стадии.

Однако реальные реакторы отличаются от идеальных моделей. Так, в реакторах смешения существуют застойные зоны, в которых время пребывания, температура и концентрации веществ отличаются от средних. В трубчатых реакторах вытеснения профиль скоростей может быть неплоским, распределение по временам пребывания расширяется и т.д.

Остановимся несколько подробнее на трубчатых реакторах. При ламинарном течении жидкости и постоянной температуре в гладкой трубе устанавливается параболический профиль скоростей — в центре на оси реактора самая высокая скорость течения (о ламинарном и турбулентном режимах течения см. [6]). Это обстоятельство приводит к расширению распределения по временам пребывания (при турбулентном течении фронт течения становится более плоским [5]). Ситуация усугубляется при попытке провести в таком реакторе химическую реакцию получения высокомолекулярного продукта — полимера. Обычно в реакциях полимеризации выделяется большое количество тепла, которое в трубчатом реакторе должно отводиться через внешнюю стенку. Из-за высокой вязкости и низкой теплопроводности реакционной системы температура в реакторе повышается, причем в центре температура выше, у стенок ниже. Поскольку с ростом температуры молекулярная масса образующегося полимера практически всегда уменьшается (это общее свойство большинства процессов синтеза полимеров), вязкость реакционной массы в центре снижается и профиль скоростей течения еще более вытягивается, так что при определенных условиях наблюдается проскок почти непрореагировавшего вещества по центральной части реактора. Как избавиться от нежелательного эффекта? Есть разные способы. Самый простой — обеспечить перемешивание вязкой реакционной массы поперек потока, то есть приблизиться к модели реактора идеального вытеснения. Хорошее перемешивание очень вязких полимеров уже было реализовано в процессах их переработки в экструдерах (рис. 3), напоминающих мясорубку. В этом случае удается получить однородное распределение компонентов и их высокую дисперсность при смешении. Исходные реагенты в экструдер можно вводить в любой точке по длине экструдера, тем самым контролируя время их пребывание в реакторе и препятствуя протеканию побочных реакций.

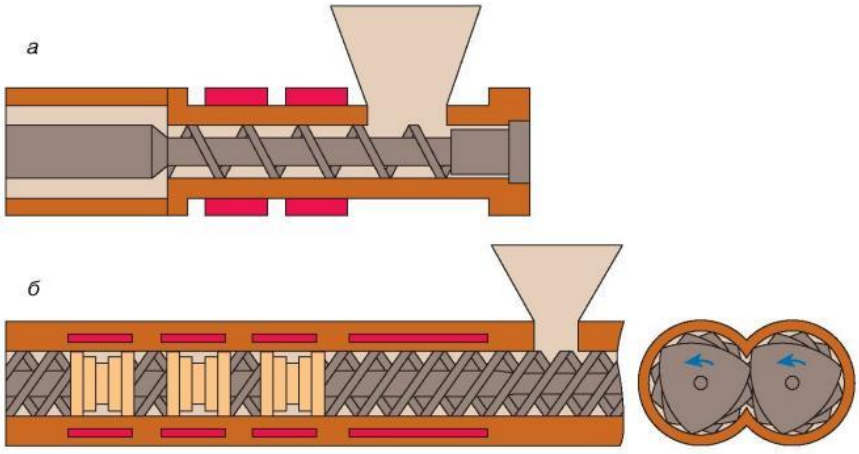


Рис. 3. Схемы одношнекового (*а*) и двухшнекового (*б*) экструдеров

Экструдеры изготавливают двух типов: одно- и двухшнековые. Одношнековый экструдер (рис. 3, *а*) состоит из шнека, вращающегося внутри обогреваемого цилиндрического корпуса. Материал в виде гранул или порошка поступает через бункер загрузки в цилиндр машины. Вращающийся шнек захватывает материал, поступающий из бункера, продвигает его вдоль экструдера, плавит и равномерно нагнетает гомогенный расплав в головку.

Аналогично сконструирован двухшнековый экструдер, в котором два шнека установлены параллельно в одном общем корпусе (рис. 3, *б*). При этом шнеки могут вращаться либо в одном, либо в противоположных направлениях. Двухшнековые экструдеры обладают преимуществами по сравнению с одношнековыми. Одношнековые экструдеры не обеспечивают однородного смешения из-за низкого уровня сдвиговых напряжений и наличия застойных зон. Двухшнековые экструдеры дают превосходное однородное смешение и позволяют контролировать времена пребывания компонентов и реакционной смеси в экструдере. Поэтому одношнековые экструдеры удобно использовать для простых операций, таких как плавление, получение пленок, труб. Двухшнековые экструдеры должны применяться для более сложных операций, таких, как гомогенизация, диспергирование различных добавок, реакционного смешения, полимеризации.

За последние 20 лет интенсивно развиваются процессы химического формования, в которых сочетаются химические реакции (синтез полимеров, их модификация) с переработкой в готовые изделия. Следовательно, химические реакции, приводящие к формированию конечной молекулярной структуры материала, во времени и пространстве совмещаются с механическими операциями придания этому материалу формы целевого изделия, обладающего требуемыми качествами. Данные процессы называются совмещенными. Такое оформление процесса дает возможность сократить число стадий, минуя производство полуфабрикатов и получая сразу готовые изделия. Уменьшение числа стадий приводит к снижению суммарной энергоемкости и продолжительности всего цикла изготовления конечного продукта благодаря устранению необходимости повторных изменений температуры (нагрева и охлаждения), а также исключению транспортных операций. Другим фактором является уменьшение объема отходов за счет упрощения изготовления изделий сложной конфигурации. Это приводит к экономии исходных материалов и улучшению экологии. Одной из важнейших проблем при синтезе полимеров или их химической модификации является высокая вязкость, вследствие чего данные процессы проводят либо в растворителях, либо в разбавителях — в суспензии или эмульсии. При проведении реакции в экструдерах можно избежать применения

растворителей или разбавителей. Это экологическое преимущество экструзионной технологии, так как отсутствует необходимость удаления растворителя (разбавителя) и последующей его регенерации. Помимо решения экологической задачи сокращаются также энергетические затраты. Таким образом, энергетические, сырьевые и экологические факторы определяют экономическую целесообразность (а в некоторых областях техническую необходимость) перехода к совмещенной технологии.

В совмещенных процессах в экструдер в его определенных точках вводят исходные реагенты и другие реакционноспособные агенты, которые гомогенизируются, реагируют друг с другом и образуют требуемые соединения. Реакционная смесь продвигается вдоль шнека, и реакция протекает до желаемой степени конверсии, которая определяется временем пребывания в экструдере (см. рис. 3). Примеры типичных совмещенных процессов приведены в табл. 1.

Было установлено, что следующие типы реакций могут быть проведены в экструдере: 1) радикальная, анионная, катионная и координационная полимеризация; 2) поликонденсация, полиприсоединение; 3) направленная деструкция и сшивание полимеров с целью получения продукта с необходимым молекулярно-массовым распределением и образованием реакционных групп для последующей прививочной и других реакций; 4) образование функциональных групп на полимере; 5) модификация полимеров путем прививки мономеров или смеси мономеров на основную полимерную цепь с применением радикальных инициаторов или ионизирующего излучения; 6) межцепные реакции с получением сополимеров; 7) реакции полимера и полифункциональных агентов с получением разветвленных полимеров; 8) получение термоэластопластов методом динамической вулканизации; 9) измельчение полимерных отходов, резин и пр.

Таблица 1

Тип реакции	Реагенты	Продукт
Ионная полимеризация	Капролактам	Найлон-6
Полиприсоединение	Полиол + диизоцианат + ароматический диамин	Полиуретан
Поликонденсация	Преконденсат	Полиамид
Радикальная сополимеризация	Стирол + акрилонитрильный преполимер	Стирол-акрилонитрильный сополимер
Анионная сополимеризация	1,3-Диен + ароматическое виниловое соединение	Блок-сополимеры 1,3-диена и ароматического винилового соединения
Прививочная полимеризация	Полистирол + малеиновый ангидрид	Полистирол-малеиновый ангидридный аддукт
Гидролиз	Полиуретановые отходы	Полиол, амины

Одним из интенсивно развивающихся процессов реакционного смешения является процесс динамической вулканизации для получения термопластичных эластомеров (ТПЭ). В данном процессе при смешении термопластичных полимеров (полиолефины, полиамид и др.) и эластомеров (тройной этилен-пропилен-диеновый сополимер, полиизопреновый каучук) происходят диспергирование эластомерной фазы до частиц размером 0,1-5 мкм и одновременно реакция вулканизации, то есть сшивка линейных макромолекул каучука в трехмерную структуру резины. При этом получается материал, который состоит из однородно распределенного завулканизованного эластомера (дисперсная фаза) и термопластичного полимера (матрица). Такие материалы обладают резиноподобными свойствами при комнатных температурах, а перерабатываются как термопластичные полимеры. Их производство и переработка являются экологически более чистыми процессами по сравнению с традиционной переработкой резин. Основной метод переработки резин в изделия — это прессование при высоких температурах в течение достаточно большого времени. Переработка ТПЭ проводится на оборудовании, которое широко применяется для переработки термопластов (литье под давлением, экструзия). Кроме того, изделия и отходы из термопластичных эластомеров могут перерабатываться многократно без ухудшения механических характеристик. Для получения ТПЭ с наилучшими свойствами необходимо создать условия для формирования оптимальной структуры эластомеров, которая существенно зависит от степени вулканизации, являющейся функцией многих параметров. Скорость сшивания определяется природой компонентов смеси, температурой и временем теплового воздействия. Особенно перспективным является вариант, когда весь процесс динамической вулканизации протекает в одном экструдере-реакторе.

Теперь еще об одном применении экструдера — высокотемпературном сдвиговом измельчении полимерных материалов, резин. Если расплав полиэтилена охлаждать в экструдере, то при определенной температуре высыпается тонкий порошок твердого полиэтилена. Что очень важно, оказались невелики затраты энергии на процесс измельчения. Заметим, что обычно для измельчения таких мягких материалов, как полимеры, их принято замораживать, после чего они становятся хрупкими, легко разбиваются и могут быть превращены в порошок под действием обычных ударных мельниц. При этом много энергии тратится на замораживание исходного материала, и процесс в экструдере оказался энергетически более выгодным. Эксперименты показали, что в экструдере или других специально сконструированных для этих целей аппаратах можно измельчать множество различных материалов: резину, старые шины, зерно, целлюлозу, термореактивные и термопластичные полимеры, смеси полимеров,

полимеров с металлами и пр. Этот способ особенно перспективен для вторичной переработки полимерных материалов. Исследования также показали, что в экструдере могут идти химические реакции, даже если исходные вещества и продукты находятся в твердом состоянии. Под действием давления и сдвиговых деформаций, осуществляющихся в аппаратах типа экструдера, мельниц, вещества перемешиваются на молекулярном уровне и между ними возможно химическое взаимодействие. Примеры химических реакций полимеров в таких условиях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип реакции	Исходные вещества	Реактор	Продукты
Присоединение	1. *бис*-Фурановые соединения, *бис*-малеимиды	Экструдер, наковальни Бриджмена	Олигоимиды
	2. Соли аммония, α,β-непредельные кислоты	Наковальни Бриджмена, шаровая мельница	α-Аминокислоты
Этерификация	Полисахариды (хитозан, целлюлоза)	Наковальни Бриджмена	Сложные эфиры
	Органические кислоты	Экструдер	Полиэфиры
Комплексообразование	1.Соли аммония, оксиды меди, железа, хрома, никеля	Шаровая мельница	Аммиакаты металлов
	2. Соли аммония, оксиды меди, железа, хрома, никеля, полимеры (ПЭ, ПП, ПС)	Экструдер	Металлсодержащие полимеры
Обмен	Сульфат аммония, оксиды щелочноземельных металлов (CaO · BaO)	Шаровая мельница	Аммиак, сульфаты металлов

Подробно о различного типа механохимических реакциях в твердой фазе рассказано в статье В.В. Болдырева [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, подбор реактора для конкретного химического процесса, его расчет, оптимизация конструкции и условий проведения — задача очень сложная, требующая глубоких знаний в различных областях физики и химии. Применение идеальных моделей химических реакторов, конечно, значительно упрощает расчеты, однако требует внимательного и осторожного подхода, поскольку необходимо следить за соблюдением условий идеальности в каждом конкретном случае. Особые трудности возникают при проведении реакций в сильно вязких средах, где значительно ухудшаются условия массо- и теплообмена. Глубокий научный подход, с одной стороны, и случайные открытия — с другой, играют большую роль в развитии современной химической технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крамере Х., Веетертел К.* Химические реакторы. М.: Химия, 1967. 264 с.

2. *Денбиг К.Г.* Теория химических реакторов. М.: Наука, 1968. 120 с.

3. *Берлин Ал.Ал., Вольфеон С.А.* Кинетический метод в синтезе полимеров. М.: Химия, 1973. 360 с.

4. *Гуль. В.Е.,АкутинМ.С*. Основы переработки пластмасс. М.: Химия, 1985.400 с.

5. *Берлин Ал.Ал.* Макрокинетика // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. № 3. С. 48-54.

6. *Гершуни Г.З.* Гидродинамическая неустойчивость: Изотермические течения//Там же. 1997. № 2. С. 99—106.

7. *Болдырев В.В.* Использование механохимии в создании "сухих" технологических процессов//Там же. № 12. С. 48—52

Соросовский образовательный журнал

ХИМИЯ АЦЕТИЛЕНА
Свойства, строение и реакционная способность алкинов

О.Н. ТЕМКИН

THE CHEMISTRY OF ACETYLENE. Properties, electronic structure and reactivity of alkynes

O.N. TEMKIN

Based on the physical properties and electronic structure of alkynes, their reactivity toward electrophiles, nucleophiles, and metal complexes is described. The contemporary understanding of the nature of chemical bonds in metal π-complexes of alkynes is discussed.

На основе физических свойств и электронного строения алкинов, рассмотрены проблемы реакционной способности алкинов по отношению к электрофилам, нуклеофилам и комплексам металлов. Изложены современные представления о природе химических связей в π-комплексах алкинов с металлами.

ВВЕДЕНИЕ

Ацетилен HC≡CH является простейшим углеводородом, содержащим тройную связь углерод-углерод. Впервые ацетилен был получен Э. Дэви в 1836 году действием воды на ацетиленид (карбид) калия. В 1862 году М. Бертло получил C_2H_2 в электрической дуге из углерода и водорода. После открытия в 1892 году электротермического метода получения карбида кальция А. Муассоном и Т.Л. Уилсоном по реакции (1) появилась возможность промышленного производства ацетилена из CaC_2 по реакции (2):

$$CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO \qquad (1)$$

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2 \qquad (2)$$

В начале XX века ацетилен использовали как горючий газ для освещения (уличные фонари, автомобильные фары, маяки), для сварки и резки металлов и для получения различных сортов сажи. Вместе с тем появление доступного ацетилена дало начало промышленному органическому синтезу, который развивался в первой половине века главным образом на основе ацетилена как углехимический синтез (C → CaC_2 → C_2H_2 → органические продукты). Первыми промышленными продуктами были тетрахлорэтан, ацетальдегид, уксусная кислота, ацетон, этиловый спирт. Затем были разработаны методы получения таких важнейших мономеров, как изопрен, винилхлорид, винилацетат, акрилонитрил, хлоропрен и акрилаты. Возникновение промышленной химии ацетилена связано с именами М.Г. Кучерова, А.Е. Фаворского, Ф. Клаттэ, Ю. Ньюленда, У. Карозерса, В. Реппе, А.Л. Клебанского и многих других исследователей [1-3].

В связи с высокими затратами электроэнергии на 1 т CaC_2 по реакции (1) получили развитие методы производства ацетилена из природного газа и легких углеводородов. Ацетилен образуется в результате пиролиза метана (и легких углеводородов)при температурах ~1500°С и термоокислительного пиролиза метана по реакции (3) (вместе с этиленом):

$$6CH_4 + 4O_2 \rightarrow C_2H_2 + 8H_2 + 3CO + CO_2 + 3H_2O \qquad (3)$$

Для получения ацетилена используют также электродуговые и плазмохимические методы. Особенно эффективен электрокрекинг жидких углеводородов (метод Н.С. Печуро), позволяющий использовать любые СН-содержащие соединения (отходы химических производств) для получения ацетилена, этилена, водорода и сажи [4]. Хотя затраты энергии на получение 1 т ацетилена из природного газа и нефтяного сырья значительно ниже, чем в карбидном методе, в конце 50-х годов ацетилен не смог конкурировать по стоимости с олефинами (в основном этиленом и пропиленом), получаемыми из относительно дешевой в то время нефти (нефтяных фракций). К тому же в начале 60-х годов уже были разарботаны альтернативные методы получения основных мономеров полупродуктов на основе олефинового сырья (см. [5, 6]). Все это привело к сокращению мирового производства ацетилена и его доли в промышленном синтезе. Однако энергетический кризис в середине 70-х годов привел к росту цен на нефть (в 9-10 раз), природный газ (в 4-5 раз) и уголь (в 2-3 раза), что существенно сказалось на себестоимости олефинов. Эта тенденция показывает, что в перспективе ацетилен может вновь стать важнейшим альтернативным сырьем для органического синтеза наряду с синтез-газом ($CO + H_2$). Серьезное внимание привлекают и гомологи ацетилена: $CH_3C{\equiv}CH$ и его изомер $CH_2{=}C{=}CH_2$ (аллен), винилацетилен, диацетилен, которые образуются в процессах окислительного пиролиза метана, электрокрекинга углеводородов и пиролиза нефтяных фракций в производстве этилена и пропилена. На базе этих гомологов может быть построена интересная промышленная химия [7].

СВОЙСТВА И СТРОЕНИЕ АЦЕТИЛЕНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

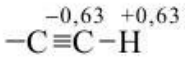
Высокая эндотермичность реакции образования ацетилена из элементов ($\Delta H°_{298}$ = 226,7 кДж/моль)

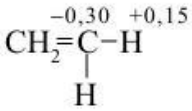
$$2C_{(тв)} + H_{2(г)} = C_2H_{2(г)} - 226{,}7 \text{ кДж/моль} \qquad (4)$$

делает ацетилен одним из самых богатых энергией углеводородов. Реакция образования этилена из элементов значительно менее эндотермична ($\Delta H°_{298}$ = 52 кДж/моль). Соответственно велика вероятность инициированного цепного разложения ацетилена на элементы по реакции, обратной (4), с выделением тепла, которое и лежит в основе взрыва, детонации и самовоспламенения ацетилена. Количество тепла, выделяемого при разложении 1 кг ацетилена, примерно в 1,5 раза больше, чем при разложении 1 кг нитроглицерина, и вдвое больше, чем для такого же количества тротила. Существующие нормы и технологические приемы позволяют тем не менее создавать взрывобезопасные процессы переработки ацетилена [8]. Например, в случае 100% ацетилена при давлении ниже 0,65 Па взрыв не вызывается при любых энергиях инициирования взрыва.

Высокая эндотермичность ацетилена приводит к высокой экзотермичности всех реакций присоединения по тройной связи. Энергия разрыва C≡C- и ≡C–H-связей составляют 961,4 и ~543 кДж/моль соответственно. При этом связь ≡C–H- является самой прочной среди любых C–H-связей в органических молекулах.

Спектры ядерного магнитного резонанса (на ядрах ^{1}H и ^{13}C), характеризующие степень экранирования этих ядер электронами, свидетельствуют о сильном смещении электронной плотности атома H к атому углерода. Об этом же говорят сравнение дипольных моментов связей ≡C–H (1D) и =C–H (0,6D) и результаты квантово-химического расчета эффективных (частичных) зарядов в молекулах C_2H_2 и C_2H_4:





Большую полярность ацетиленовой C–H-связи объясняют более заметным вкладом *s*-орбиталей в гибридную орбиталь атома углерода в ацетилене (*sp*-гибридизация), чем в этилене (sp^2-гибридизация). Известно, что *s*-орбиталь является более электроотрицательной, чем *p*-орбиталь (выше сродство этой орбитали к электрону). Приведенные выше особенности строения алкинов проявляются в такой характерной

черте ацетилена и монозамещенных алкинов, как повышенная по сравнению с другими углеводородами кислотность (значение pK_a алкинов находится в интервале 21-28):

$$RC{\equiv}CH \rightleftharpoons RC{\equiv}C^-: + H^+$$

На рис. 1 представлена энергетическая диаграмма граничных мелекулярных орбиталей молекул ацетилена и этилена (о методе молекулярных орбиталей (МО) см. [9]). Молекула ацетилена содержит две одинаковые по энергии (вырожденные) высшие занятые π-МО (ВЗМО) и две низшие свободные МО (НСМО) разрыхляющего типа. Потенциал ионизации ацетилена (переход к катион-радикалу $C_2H_2^{+\bullet}$) составляет 11,4 эВ и выше, чем у этилена, на 1 эВ. Сродство к электрону ацетилена (переход к анион-радикалу $C_2H_2^{-\bullet}$) ниже, чем этилена, то есть ацетилен является более слабым донором и более слабым акцептором электрона, чем этилен.

Ацетилен реагирует с электроноакцепторными реагентами (электрофилами, E), электронодонорными реагентами - ионами и молекулами (нуклеофилами, Nu), с радикалами ($H^\bullet$, $CH_3^\bullet$), атомами и комплексами металлов.

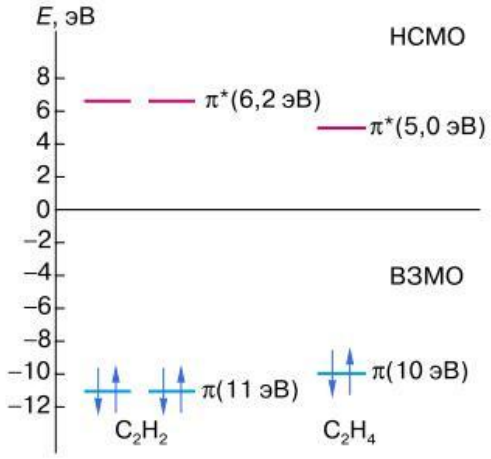


Рис. 1. Энергетические уровни π-МО и π*-МО ацетилена и этилена

РЕАКЦИИ АЛКИНОВ С ЭЛЕКТРОФИЛАМИ, НУКЛЕОФИЛАМИ И РАДИКАЛАМИ

Простейший электрофил H^+ присоединяется в газовой фазе к алкинам с выделением тепла и образованием винильного карбокатиона ($RC^+{=}CH_2$) практически с нулевой энергией активации. В связи с этим большая реакционная способность алкенов по сравнению с ацетиленами по отношению к H^+ (и другим электрофилам) объясняется термодинамическими причинами: более высоким положением ВЗМО в алкене (алкен - лучший донор электронов) и соответственно по сравнению с ацетиленами:

$$C_2H_2 + H^+ \rightarrow C_2H_3^+ + 631{,}2 \text{ кДж/моль},$$

$$C_2H_4 + H^+ \rightarrow C_2H_5^+ + 668{,}8 \text{ кДж/моль}.$$

На первой стадии взаимодействия E^+ (H^+ или другого электрофила, например иона HgX^+) с ацетиленом (схема 1) образуется симметричный π-комплекс, который:

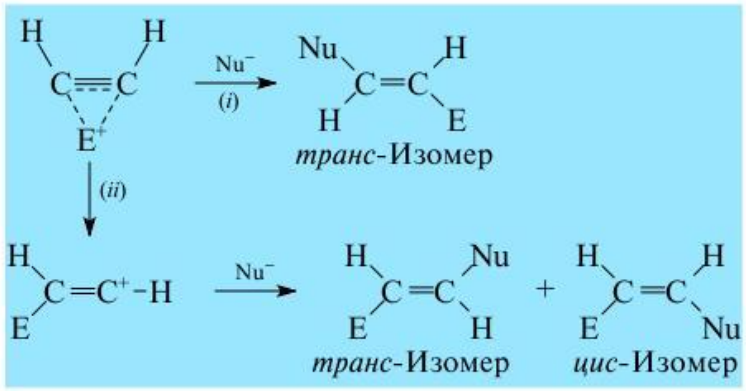
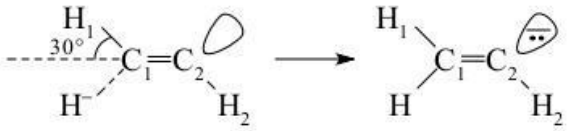


Схема 1

(*i*) - взаимодействует с Nu^- с образованием продукта *транс*-присоединения частиц E^+ и Nu^- или (*ii*) - изомеризуется в классический ион карбения, присоединяющий Nu^- с образованием смеси *транс*- и *цис*-изомеров. В π-комплексе H^+ с алкинами наблюдается очень слабое *цис*-искажение алкина и очень незначительное изменение углов С–С–Н и длин связей С–С.

В отличие от реакции с электрофилами нуклеофильные реагенты быстрее присоединяются к ацетилену (алкинам), чем к этилену (алкенам). Этот экспериментальный факт, давно отмеченный химиками, явно противоречит распределениям зарядов, положению НСМО и значениям сродства к электрону в случае этих молекул. Загадка разрешилась очень просто (Р. Хоук, 1979 год). Обсуждая реакционную способность ацетилена в реакции присоединения к нему Nu, не следует рассматривать характеристики молекулы ацетилена в исходном состоянии, так как присоединение частицы с парой электронов (Nu) к богатой электронами тройной связи из-за сильного отталкивания электронов не может происходить без энергии активации и должно вызывать сильную перестройку молекулы алкина. Действительно, оказалось, что по мере приближения к тройной связи самого простого нуклеофила H^- молекула ацетилена сильно изгибается и приобретает *транс*-конфигурацию:



энергия НСМО снижается, заряд с атакуемого атома C_1 вытесняется на C_2 и H_2, причем на молекулу ацетилена переносится значительная часть электронной плотности с нуклеофила (с H^-). Таким образом, молекула C_2H_2 (слабый электрофил в исходном состоянии) становится сильным электрофилом в процессе взаимодействия с Nu вдоль пути реакции, причем более сильныи электрофилом, чем этилен, который незначительно меняет свою геометрию до барьера. Может иметь место также и сильное *цис*-искажение ацетилена в случае тех же нуклеофилов, но с существенно большей величиной энергетического барьера, и потому оно менее вероятно. Образующийся в результате присоединения нуклеофила винильный карбоанион уже в переходном состоянии может стабилизироваться противоионом (катионом) или электрофильной частью молекулы Nu–E. Например, ацетилен присоединяет молекулу воды в присутствии катализатора водного раствора NaOH (15 атм, 150°C) с участием двух вероятных переходных состояний (или активированных комплексов) (А) и (Б) (схема 2).

Присоединение электрона к молекуле C_2H_2 и радикалов ($H^{\bullet}$, $CH_3^{\bullet}$) также происходит с *транс*-изгибом молекулы алкина, при этом радикальные частицы присоединяются к алкенам с несколько меньшей энергией активации, чем нуклеофилы.

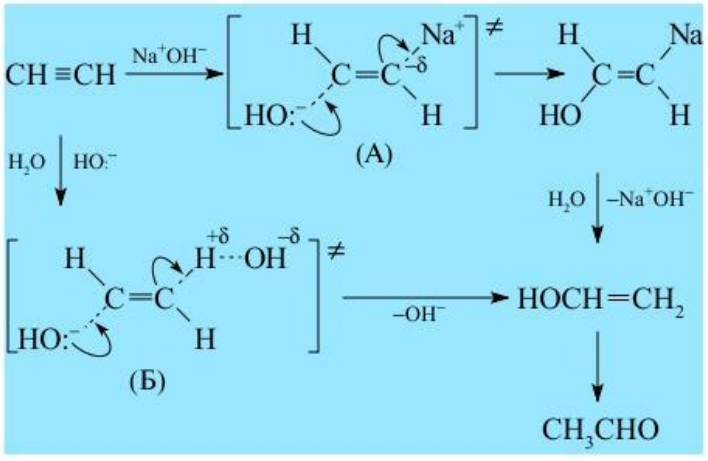
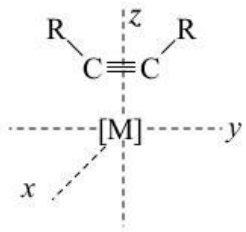


Схема 2

РЕАКЦИИ АЛКИНОВ С КОМПЛЕКСАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Взаимодействуя с комплексами переходных металлов и ртути (II), ацетилены образуют огромное семейство π-комплексов, играющих важную роль в химии металлоорганических соединений и катализе [8] (см. также [10]). Количество молекул алкина (А) и атомов металла (или металлсодержащих фрагментов [M] меняется в π-комплексах в весьма широких пределах: $[M]_m(A)_n$, где m = 1-7, n = 1-4. Ацетиленовый лиганд во всех

комплексах имеет *цис*-конфигурацию. Строение комплекса [M]–(A) (*m* = 1, *n* = 1) может быть представлено структурой (I), где [M]–ML_q (L - неацетиленовые лиганды):



(I)

Длина связи C–C в координированном алкине в комплексах $[M](A)_n$ увеличивается ($l_{C–C}$ = 0,124-0,135 нм), а угол δ (∠C–C–R) изменяется в интервале 128-165°. Напомним, что длина связи C–C в олефине (алкене) составляет ~0,134 нм, а угол δ равен ~120°. Таким образом, воздействие металла на алкин приводит к тому, что заметно меняется гибридизация электронов у атома углерода и алкин (*sp*-гибридизация) по своей геометрии приближается к алкену (sp^2-гибридизация). *Цис*-искажение алкина в π-комплексе не только делает более удобной координацию алкина металлом, поскольку заместители при тройной связи не мешают физически лигандам, связанным с металлом (ML_q), но и приводит к повышению донорных и акцепторных свойств алкина. При *цис*-искажении геометрии алкина в π-комплексе (так же как и в циклоалкинах: циклогептине, циклооктине) снимается вырождение π- и π^*-МО ив результате повышается энергия ВЗМО и снижается энергия НСМО (рис. 2). Таким образом, алкин в π-комплексе может быть донором двух пар π-электронов ($\pi_\perp$ и $\pi_\parallel$) на подходящие по симметрии орбитали металла с образованием двух донорно-акцепторных связей $[M]\leftarrows A$ и акцептором двух пар *d*-электронов с подходящих по симметрии *d*-орбиталей металла с образованием двух так называемых дативных связей $[M]\rightarrows A$. Заштрихованные и незаштрихованные части граничных поверхностей орбиталей, из которых посторены МО *цис*-алкина на рис. 2, обозначают различные знаки (±) угловой части волновой функции электронов в различных областях пространства. Напомним, что в атомах *d*-элементов (IV-VI периоды Периодической системы элементов Sc→Zn, Y→Cd и Lu→Hg) имеются пять *d*-орбиталей, на которых может быть расположено максимально 10 *d*-электронов (d^{10}). Граничные поверхности *d*-орбиталей, то есть поверхности, охватывающие области наибольшей электронной плотности, приведены на рис. 3 (координаты *x, y, z* структуры I). Комплексы металлов начала переходных серий, имеющие d^2-d^6 электронов, не участвуют в образовании связей с другими (кроме A)

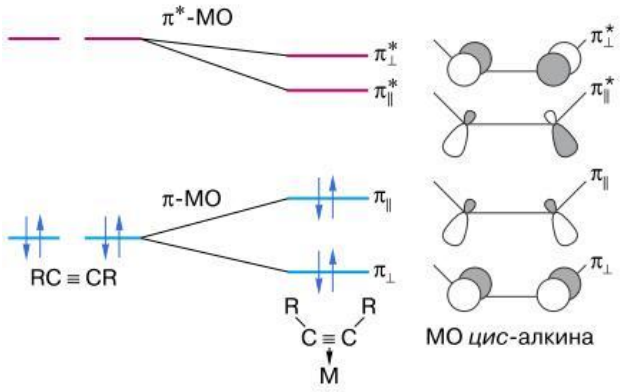


Рис. 2. ВЗМО и НСМО линейного и *цис*-искаженного ацетилена

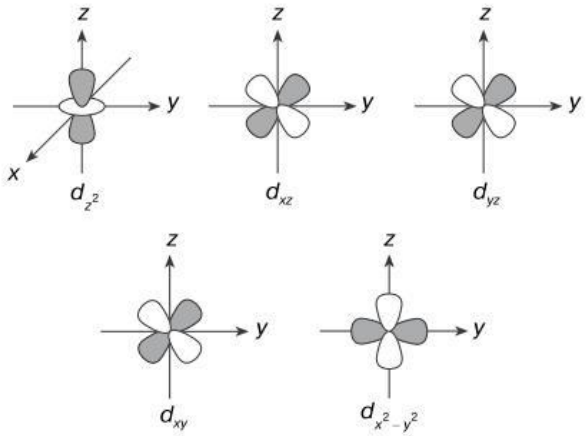
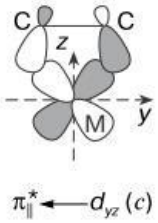
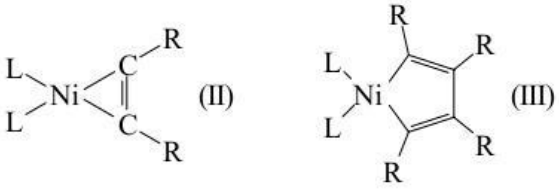


Рис. 3. Граничные поверхности *d*-орбиталей

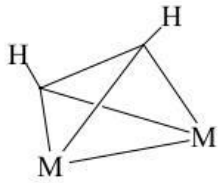
лигандами (несвязывающая d^2-d^6-конфигурация металла), образуют наиболее устойчивые π-комплексы за счет связей $\pi_\perp \rightarrow d_{xz}$ (*a*), $\pi_\parallel \rightarrow d_z^2$ (*b*) и $\pi_\parallel^* \leftarrow d_{yz}$ (*c*) (см. рис. 2 и 3). Например, образование связи *c*-типа (перекрывание занятой *d*-электронами d_{yz}-орбитали металла с разрыхляющей вакантной $\pi_\parallel^*$-МО *цис*-алкина) представлено диаграммой:



Комплексы металлов конца переходных серий образуются за счет связей *b*- и *c*-типа, причем вакантной орбиталью металла могут быть (вместо d_z^2) *dsp*-, *dp*- и *s*-орбитали. При этом в π-комплексах Ni(II), Pd(II), Pt(II), Cu(I), Ag(I), Au(I) и, вероятно, Hg(II) основной вклад в энергию связи вносит перенос M ← A (*b*-тип), а в π-комплексах Fe(0,II), Co(0,I), Ni(0), Rh(I), Pd(0), Os(0,I), Ir(I), Pt(0) основной вклад определяется переносом M → A (*c*-тип). Преимущественное направление переноса заряда определяет поляризацию координированного ацетилена. Так, в случае *b*-типа ацетилен становится лучшим электрофилом, его H-атомы становятся более кислыми. В случае *c*-типа (дативная связь) на ацетилене появляется избыточная электронна плотность - в пределе образуется металлоцикл (металлациклопропен) с двумя σ-связями MC (структура (II) (анион $R_2C_2^{2-}$ и катион L_2Ni^{2+}):



Естественно, такой алкин будет легче реагировать с электрофильными частицами (H^+) или другими ненасыщеными молекулами (например, алкинами) с образованием структуры (III) как типичный металлоорганический реагент, содержащий группу M–R и способный внедрять алкин по связи M–C. Чем больше атомов металла в π-комплексе со связями M–M (кластеры, см. [11]), тем сильнее воздействие на ацетилен, тем сильнее меняются его геометрия, энергетические характеристики и реакционная способность. В таких комплексах алкин является мостиком между 2, 3 и 4 атомами металла (обозначается приставкой μ_2-, μ_3- и μ_4-). Угол C–C–R достигает 114°, а длина C≡C-связи приближается к длине простой связи C–C (0,145 нм). π-Комплексы состава $M_2(\mu_2–A)$ могут в пределе иметь структуру диметаллатетраэдрана (IV), например $W_2(OR)_6Py_2(C_2H_2)$ (l_{C-C} = 0,141 нм):



(IV)

Образование дативных связей (M → A) для активации алкина особенно важно, поскольку перенос M → A не только упрочняет сам π-комплекс и меняет поляризацию алкина, но, кроме того, сильно дестабилизирует, активирует алкин, вовлекая во взаимодействие разрыхляющую π^*-МО алкина [3]. Известние пути превращения ацетиленовых π-комплексов, в которых и происходит активация C≡C- и ≡C–H-связей, и строение образующихся металлоорганических соединений приведены на схеме 3. Направление реакций определяется природой металл, его мтепенью окисления, природой лигандов, группы X и других реагентов (E, Nu, S, B).

Среди продуктов превращения первичных π-комплексов мы видим соединения, образующиеся при *транс*-присоединении Nu (2*а*), E (2*в*) и *цис*-присоединении нуклеофильного реагента X, связанного с металлом (2*б*). В ряде случаев σ-винильное производное металла (*2*) превращается в металлациклопропеновый продукт (*3*), содержащий карбеновый (винилидиеновый) лиганд. Образование этинильных соединений происходит в результате кислотной диссоциации ≡C–H-связи и замещения иона водорода ионом металла (если металл является акцептором электронов и повышает положительный эффективный заряд на H-атоме) (*1а*) или в результате окислительного присоединения алкина к комплексу металла с разрывом ≡C–H-связи (*1б*). Изомеризация ацетилена в винилиден (CH_2=C:) - процесс эндотермический. Энергия перехода в синглетный винилиден (все электроны спарены) (реакция (5)) составляет ~175 кДж/моль,

$$HC{\equiv}CH \rightarrow CH_2{=}C{:} - 175\ кДж/моль, \qquad (5)$$

поэтому в свободном состоянии такие молекулы практически не существуют. Однако в координационной сфере π-комплекса происходит стабилизация винилиденовой группы, и такие соединения (*5*) легко образуются и участвуют в каталитических реакциях. Образование металлоциклов (на примере моноядерных по металлу соединений) представлено реакциями внедрения молекул S (алкин, алкен, CO_2, RNCO, CO, RNC и др.) по связи M–C π-комплексов со структурой II (*4а*) и присоединения алкинов к карбеновым (*4б*) или карбиновым (*4в*) лигандам X. Характерной реакцией для π-комплексов Pd(II), Ni(II), Fe(0) и других металлов является образование π-циклобутадиеновых комплексов (*4г*). Подробнее механизмы образования и превращений этих соединений описаны в работе [8]. π-Комплексы и σ-металлоорганические соединения алкинов возникают и при взаимодействии алкинов с поверхностью металлов (металлических катализаторов) [8, 12]. Физическими методами обнаружены π-комплексы с одним, тремя и четырьмя атомами металла на поверхности, этинильные (RC≡C–M) и винилиденовые (CH_2=C=M) фрагменты. Все образующиеся из π-комплексов соединения встречаются в качестве промежуточных продуктов в металлоорганических и каталитических синтезах с участием алкинов.

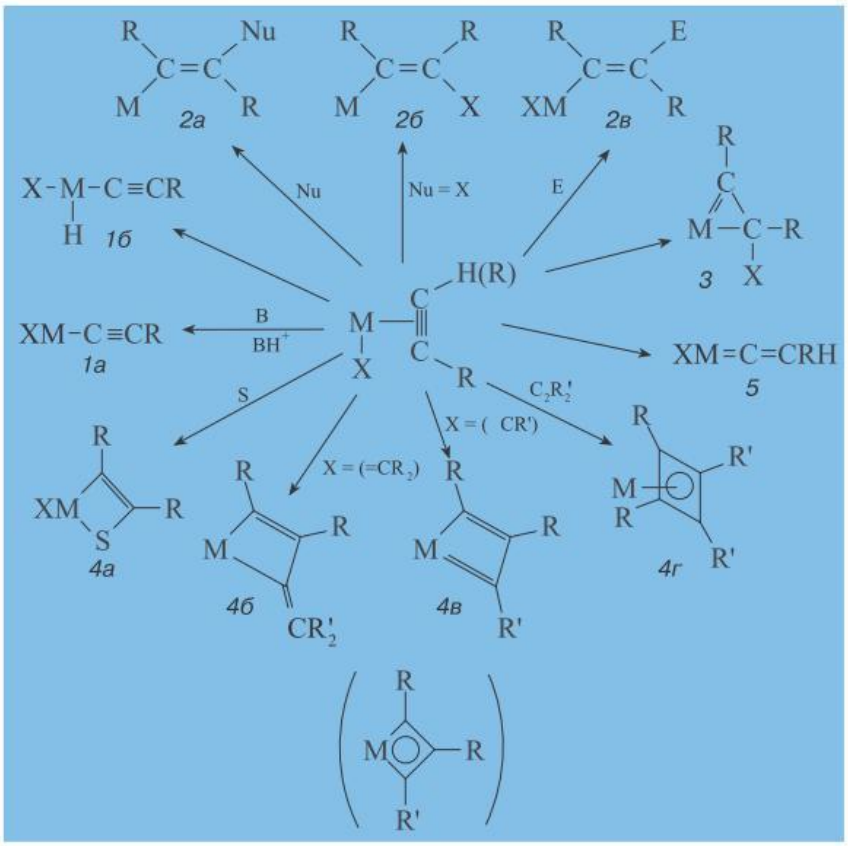


Схема 3

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кнунянц И.Л.* Ацетилен // Хим. энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1998. Т.1.

2. *Ньюленд Ю., Фогт Р.* Химия ацетилена. М.: Изд-во иностр. лит., 1947. 400с.

3. *Темкин О.Н., Флид Р.М.* Каталитические превращения ацетиленовых соединений в растворах комплексов металлов. М.: Наука, 1968. 212 с.

4. *Печуро Н.С., Песин О.Ю.*// Итоги науки и техники. Технология орган. веществ. 1984. Т.9. С. 60-120.

5. *Караханов Э.А.*Что такое нефтехимия // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. №2. С. 65-73.

6. *Темкин О.Н.* Промышленный катализ и экологически безопасные технологии // Там же. №10. С. 42-50.

7. Новые процессы органического синтеза / Под ред. С.П. Черных. М.: Химия, 1989. 399с.

8. *Темкин О.Н., Шестаков Г.К., Трегер Ю.А.* Ацетилен: Химия. Механизмы реакций. Технология. М.: Химия, 1991. 416с.

9. *Витковская Н.М.* Метод молекулярных орбиталей: Основные идеи и важные следствия // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. №6. С. 58-64.

10. *Штейнгарц В.Д.* Координационный катализ в химии ненасыщенных соединений // Там же. №7. С. 47-58.

11. *Темкин О.Н.* Каталитическая химия // Там же. №1. С. 57-65.

12. *Zaera F.*// Chem. Rev. 1995. Vol. 95. P. 2651-2693.

* * *

Соросовский образовательный журнал



Практическая Химия и Физика



Зажгите лампу спичкой (электропроводность стекла)

В.Н. Витер



Стеклянная палочка

Опыт описан в книге О. Ольгин Опыты без взрывов ссылка. Суть его проста: в твердом состоянии ионные вещества не проводят ток, но в жидком состоянии они являются проводниками. Если между двумя электродами поместить калиевую селитру или стекло, лампа (включенная в электрическую цепь последовательно) гореть не будет. Но стоит селитру или стекло нагреть до плавления, как между электродами начинает течь ток и лампочка загорается.

Подобный опыт с калиевой селитрой был описан в первом номере журнала за этот год ссылка.

В этот раз мы проделали аналогичные опыты со стеклом. Между двумя электродами (расстояние в первом опыте 2 см, в последующих - примерно 1.5 см) положили кусочек стеклянной палочки. Электроды подключили к осветительной сети (напряжение 220 В) последовательно с лампочкой. Разумеется, лампа не загорелась.

Стекло начали нагревать газовой горелкой. Когда стекло размякло, лампочка стала тускло гореть, по мере нагрева накал усиливался, потом стекло прогнулось и контакт нарушился: кусочек палочки разделился на две половинки. Лампа погасла.

На следующий день мы немного усложнили эксперимент. Размышления были следующими. В аналогичном опыте с калиевой селитрой лампа загорается, когда селитра между электродами плавится, но если прекратить нагрев лампа не гаснет, поскольку селитра поддерживается в расплавленном состоянии за счет тепла, которое выделяется

при прохождении электрического тока. Логично предположить, что подобное будет и со стеклом: после прекращения внешнего нагрева стекло будет находиться в расплавленном (вернее - в размякшем) состоянии за счет омического тепла.

На этот раз между электродами положили сразу два кусочка стеклянной палочки и стали нагревать. Когда стекло размякло, лампочка тускло загорелась, нагрев был прекращен, но два куска стеклянной палочки повели себя по-разному.

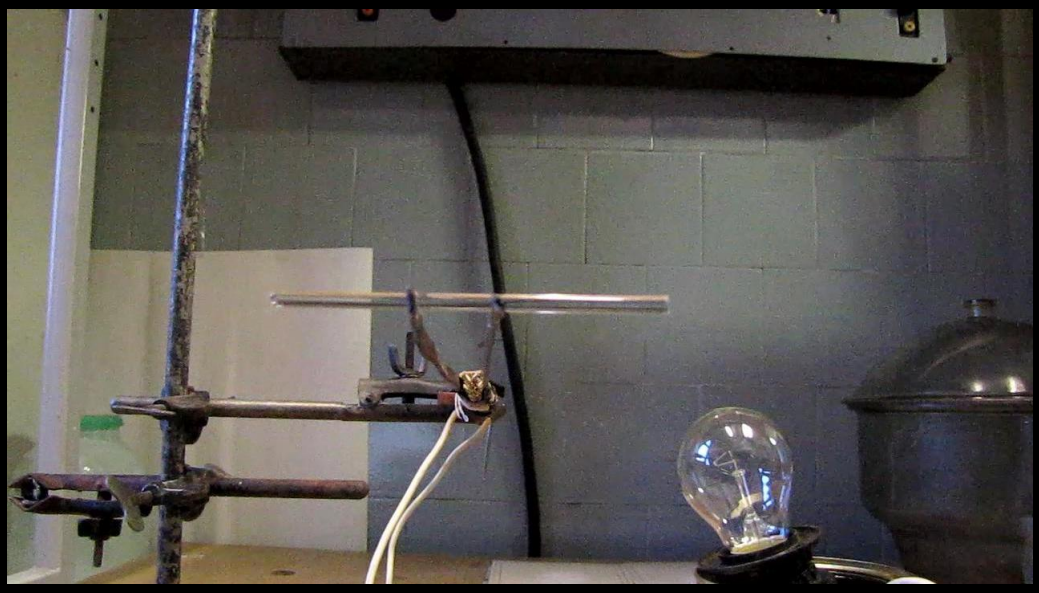
Ближайший к пламени кусочек нагрелся сильнее. Он стал прогибаться, образовалось утончение. В этом месте стекло раскалилось сначала до желтого, потом до белого цвета. Нагрев обусловлен тем, что в более узком месте сопротивление выше, следовательно, больше и выделение тепла. В результате стекло нагревалось, становилось все менее вязким, прогибалось и становилось все более тонким. Когда контакт нарушился, между кусочками жидкого стекла вспыхнула яркая дуга, это вызвало плавление и окончательное размыкание контакта.

Лампа погасла, но только на мгновение: ток потек по другому кусочку палочки. Лампа снова загорелась.

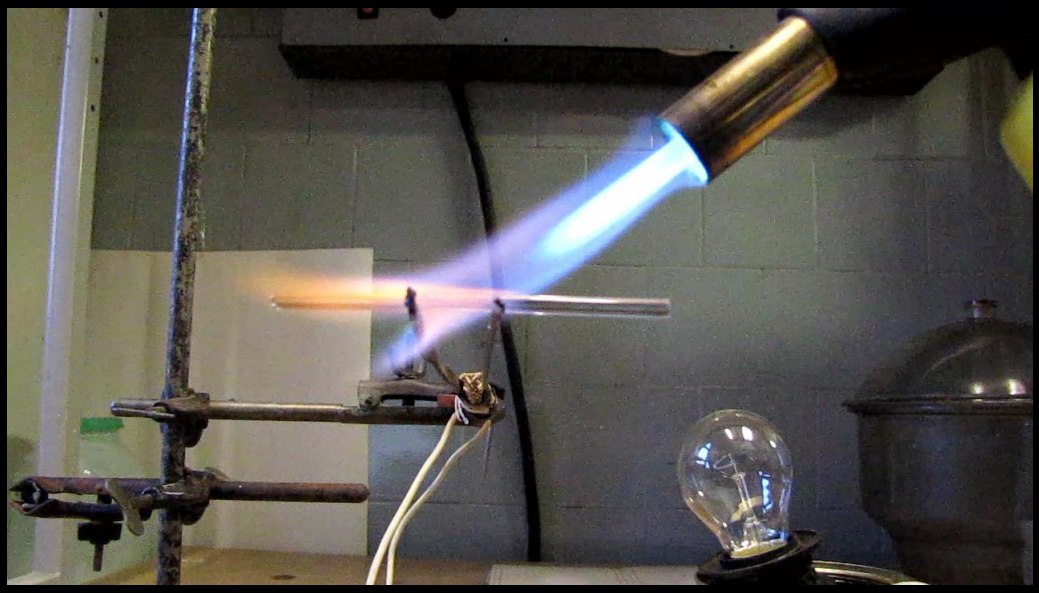
Другой кусочек стеклянной палочки повел себя по-иному. Он нагревался слабее, и в нем не образовалась перемычка, стекло осталось гораздо более вязким, но именно за счет этого куска палочки лампа продолжала гореть. Было заметно, что в месте контакта металлических электродов со стеклом горят две миниатюрные электрические дуги, и за счет этого стекло поддерживается в размякшем состоянии. В данномом опыте лампочка прогорела минуту, пока контакт не ослаб и стекло не остыло, но в одном из последующих экспериментов лампа горела пять минут (пока опыт не был прекращен).

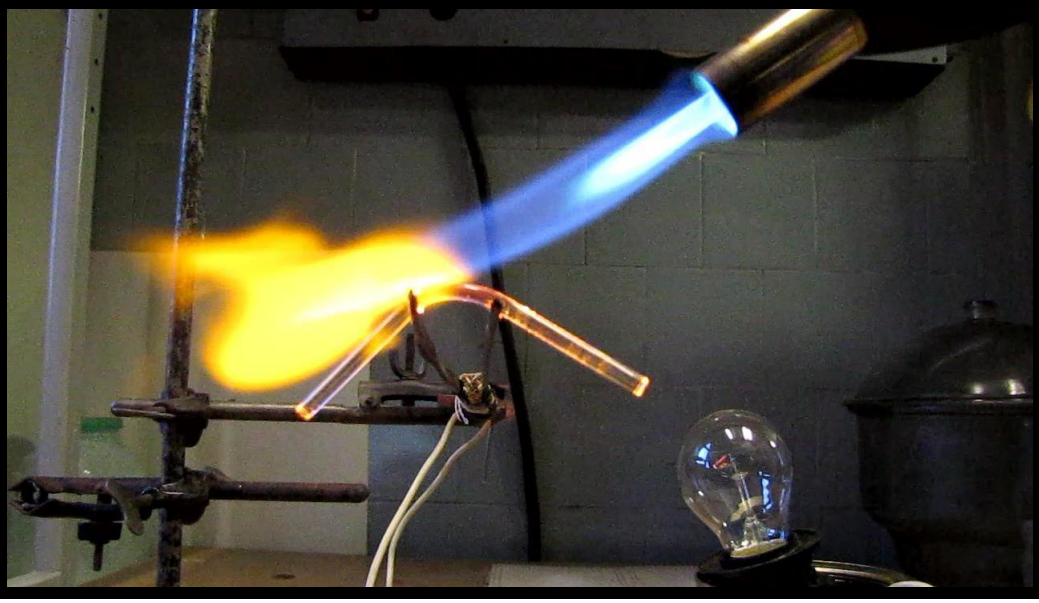
Если находящееся в таком состоянии стекло дополнительно нагреть горелкой, оно размякало, прогибалось, формировалась перемычка, которая раскалялась и разрывалась с образованием дуги. Чтобы продемонстрировать свечение самого стекла, лампу целесообразно временно заслонить от камеры (зрителей), но исключать ее из цепи не следует, поскольку она защищает от короткого замыкания при случайном контакте электродов.

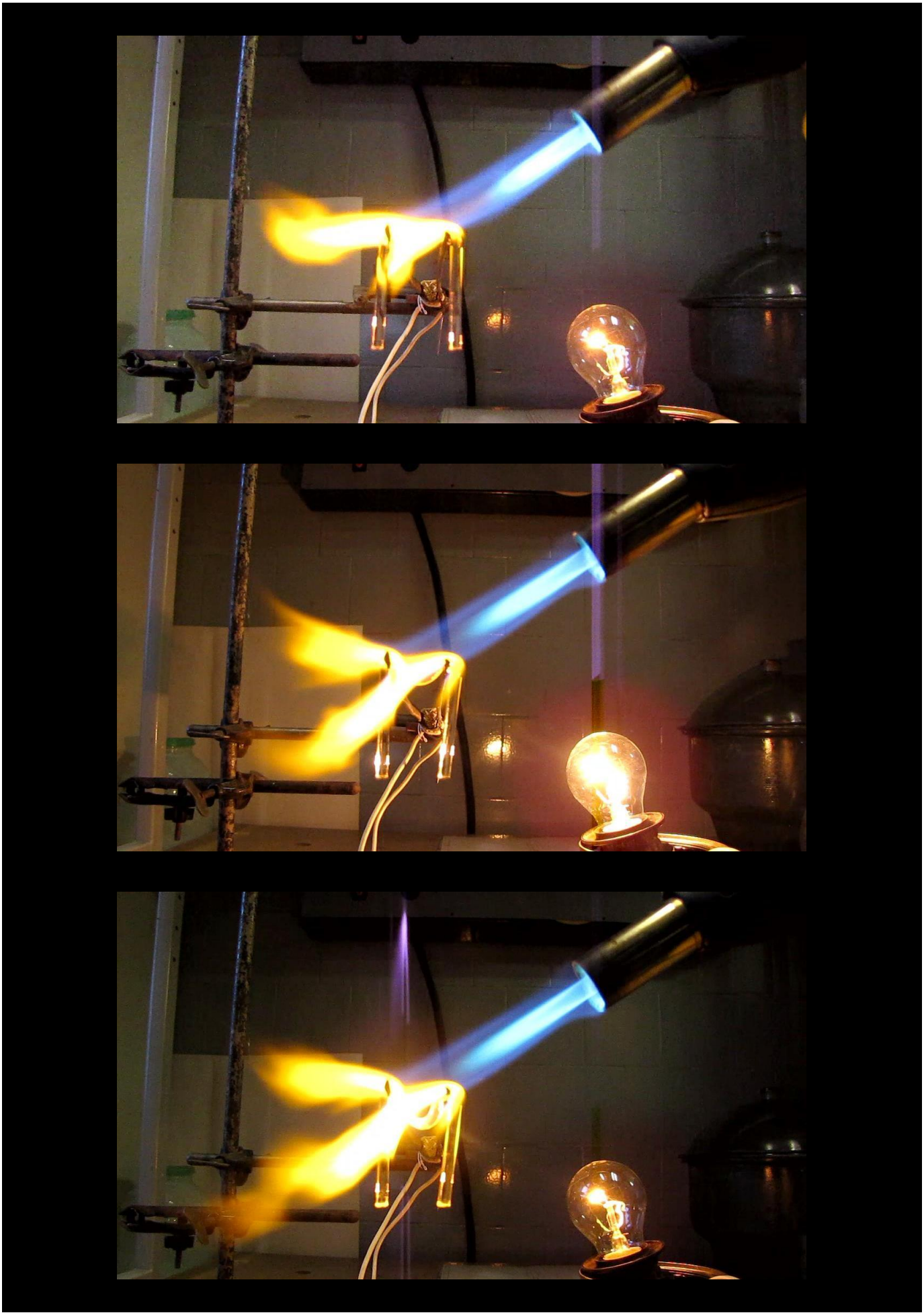
Смотреть Видео 1 (83 Мб, .avi)**Смотреть Видео 2** (53 Мб, .avi)
Смотреть Видео 3 (85 Мб, .avi)**Смотреть Видео 4** (41 Мб, .avi)
Смотреть Видео 5 (68 Мб, .avi)

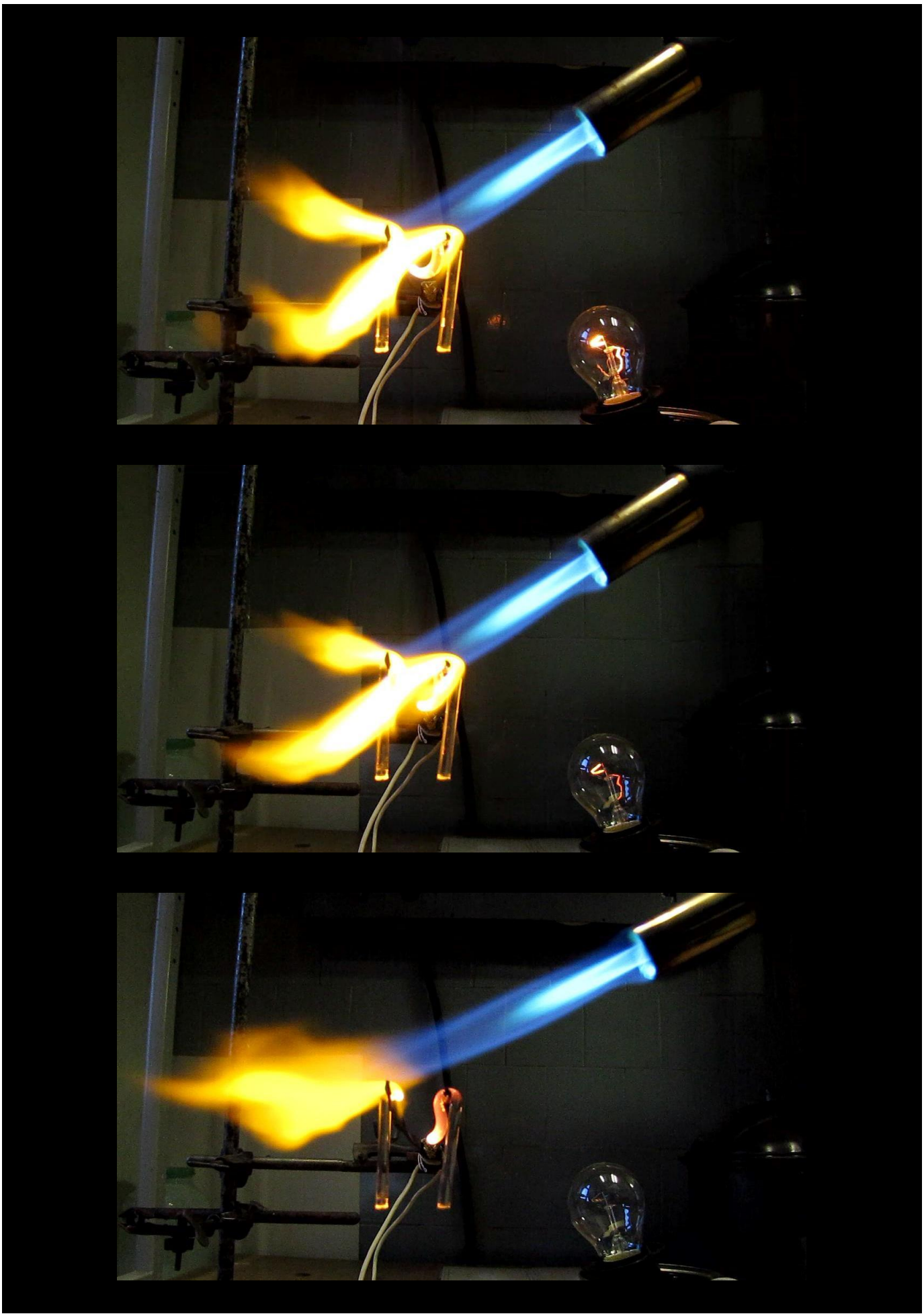


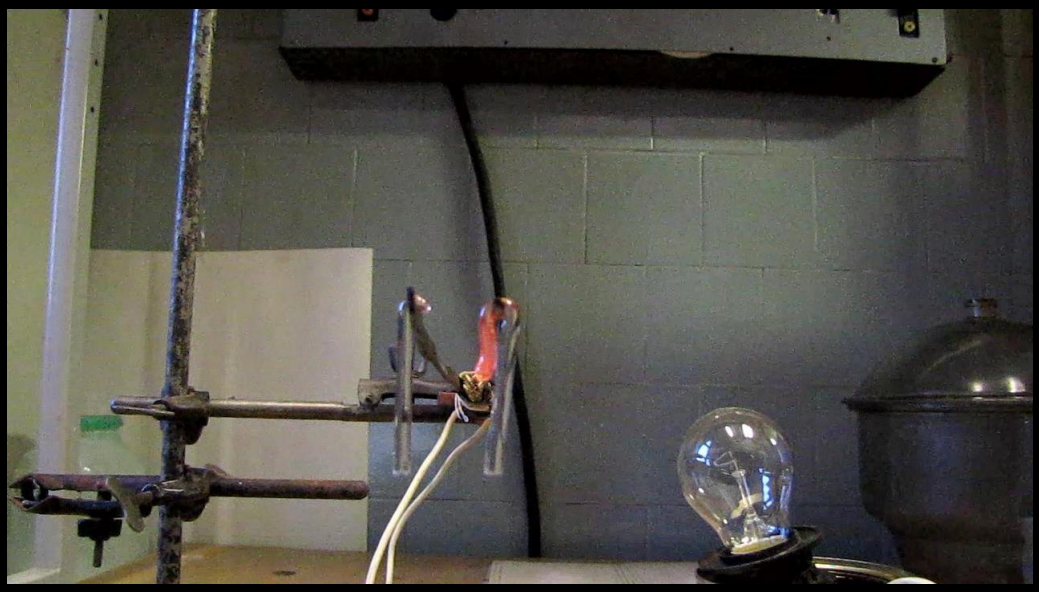
Зажгите лампу спичкой (электропроводность стекла)



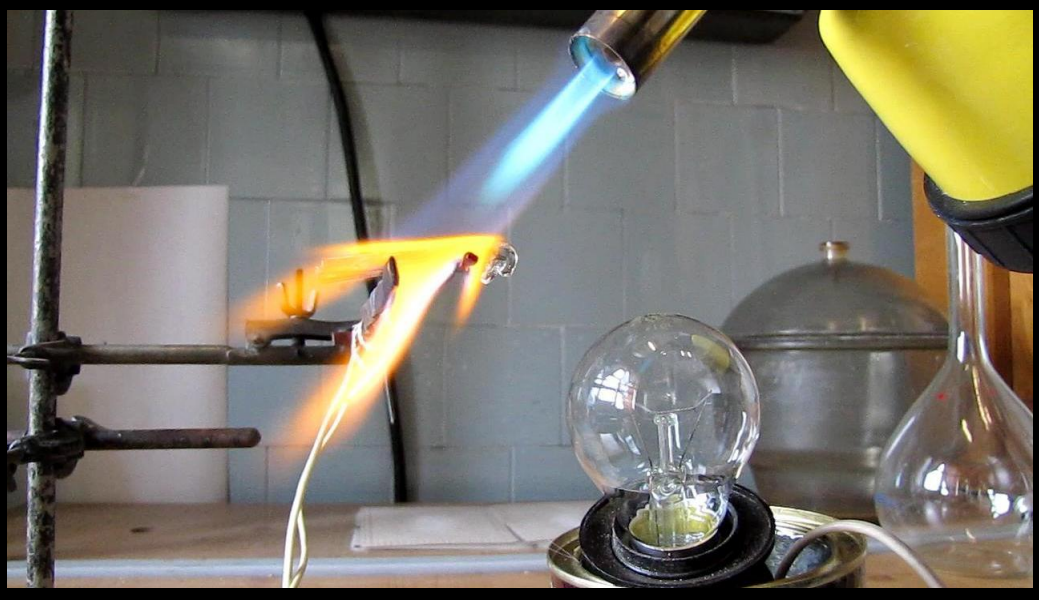


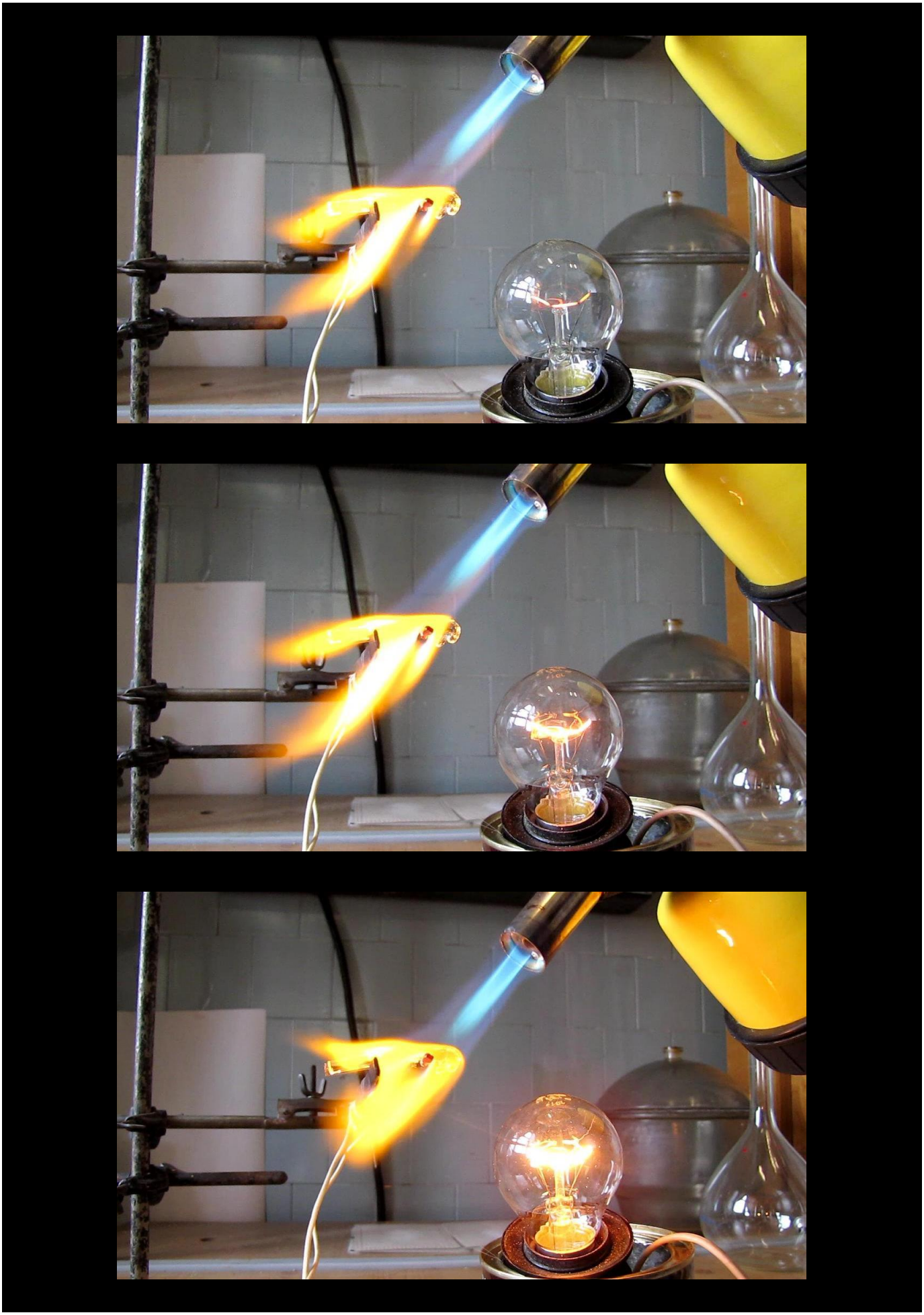


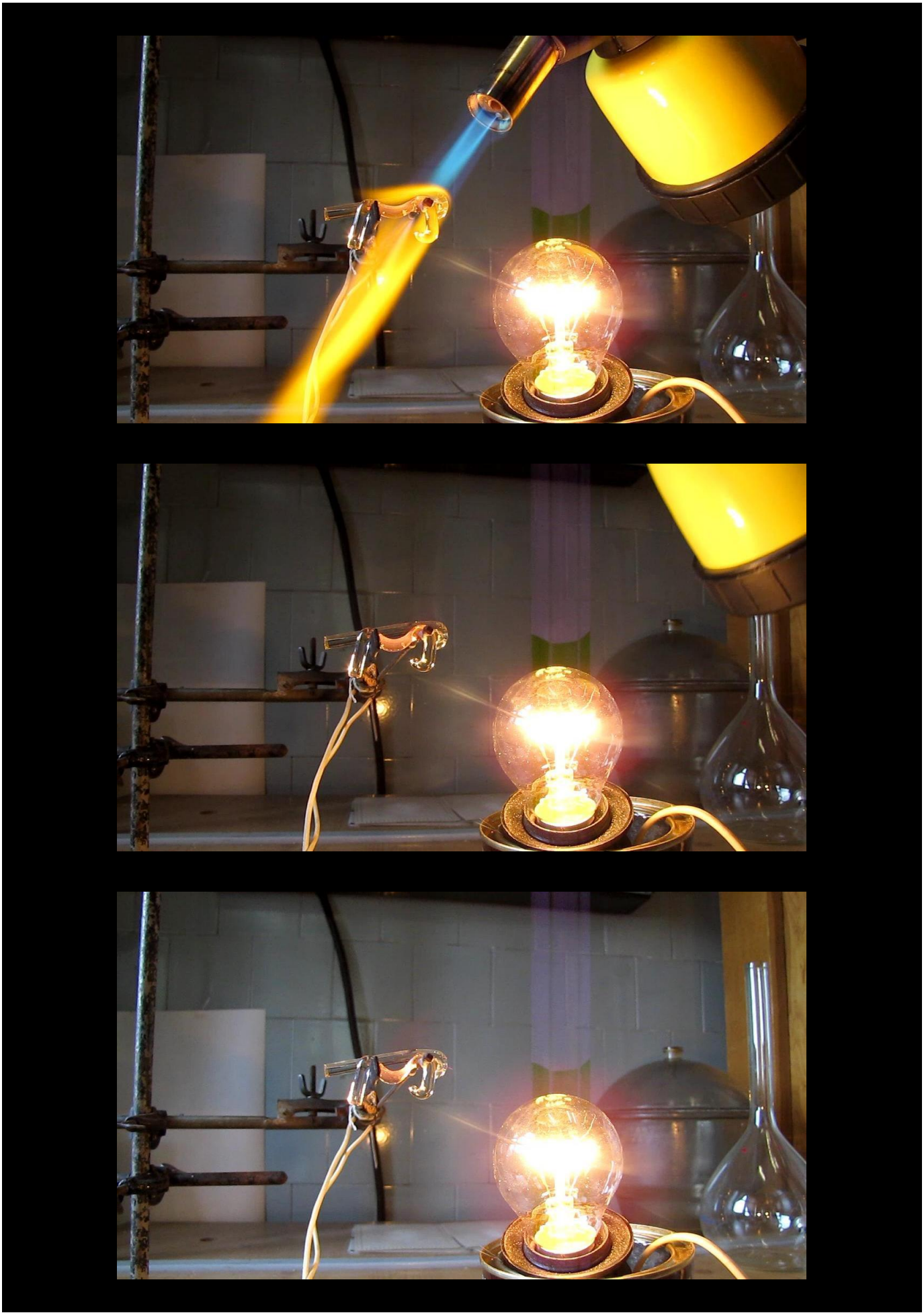


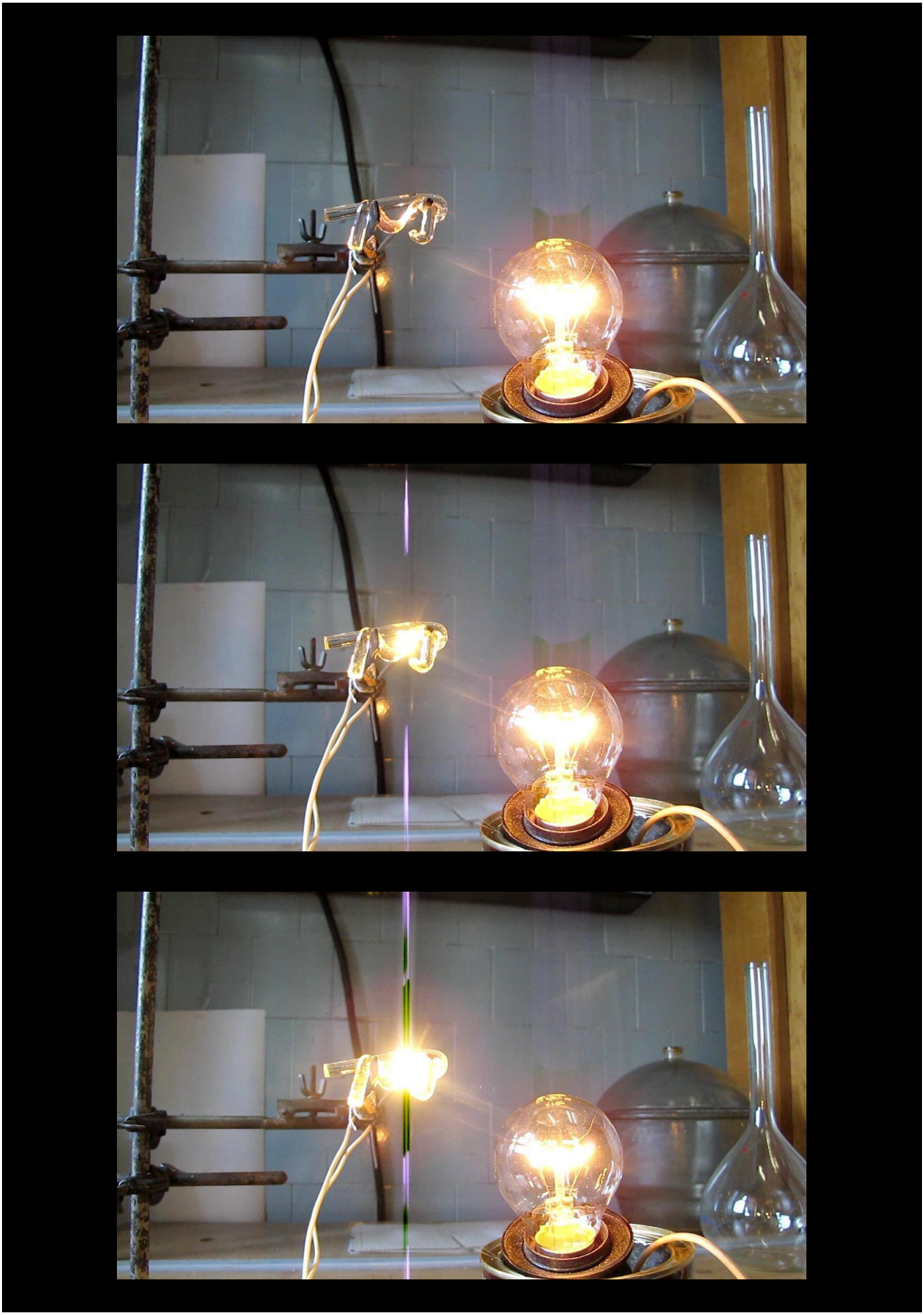


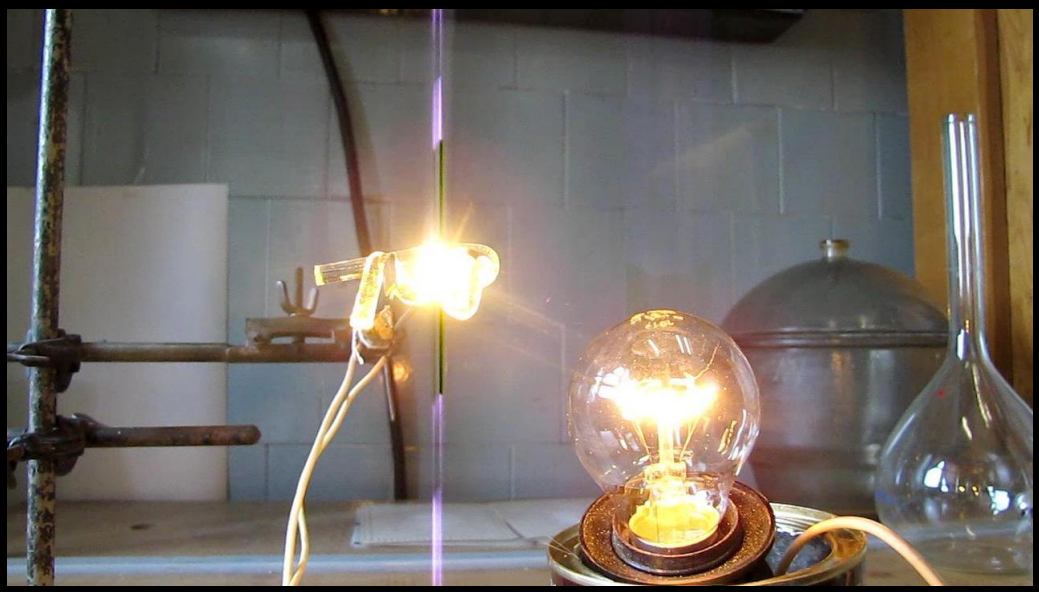






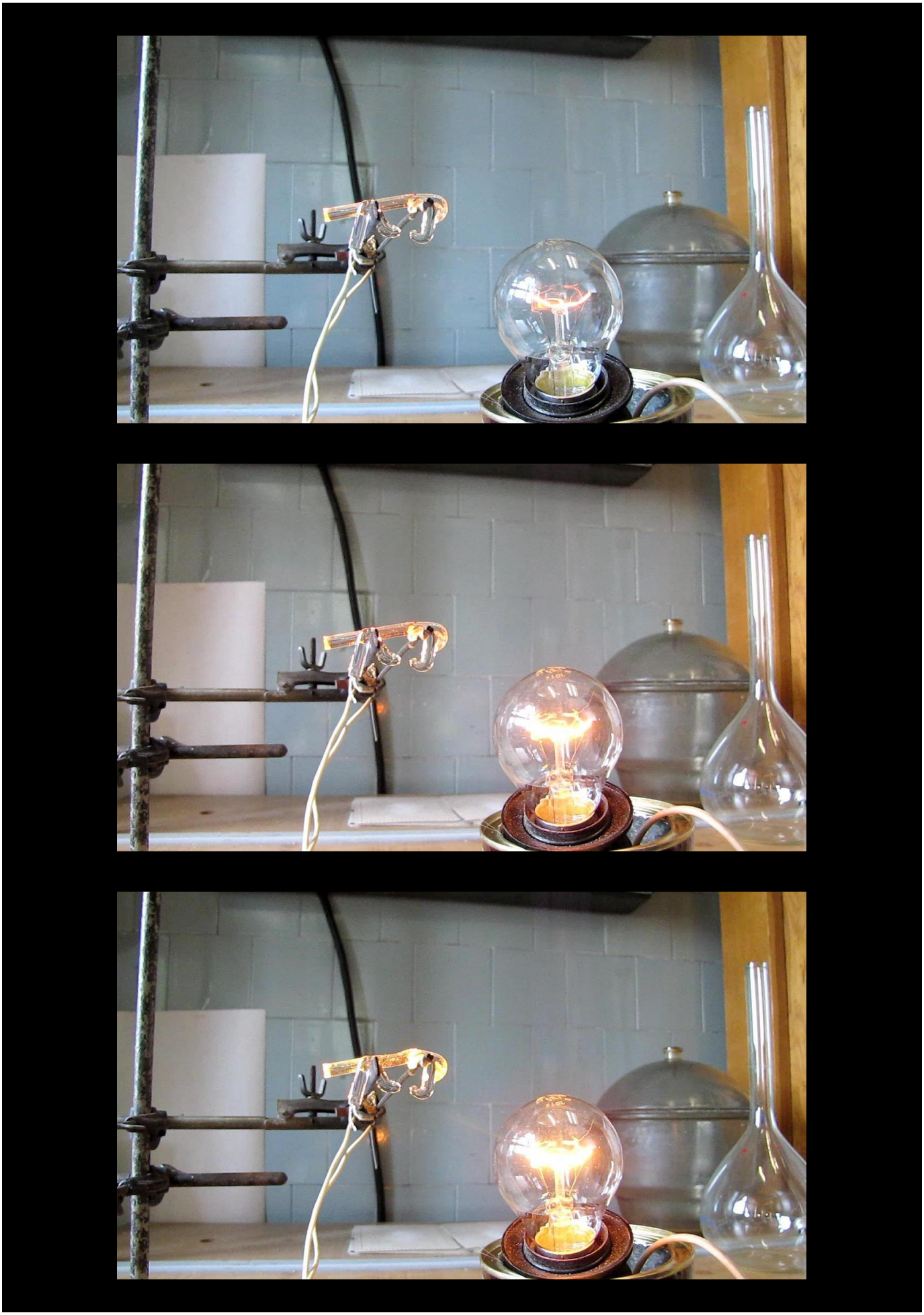


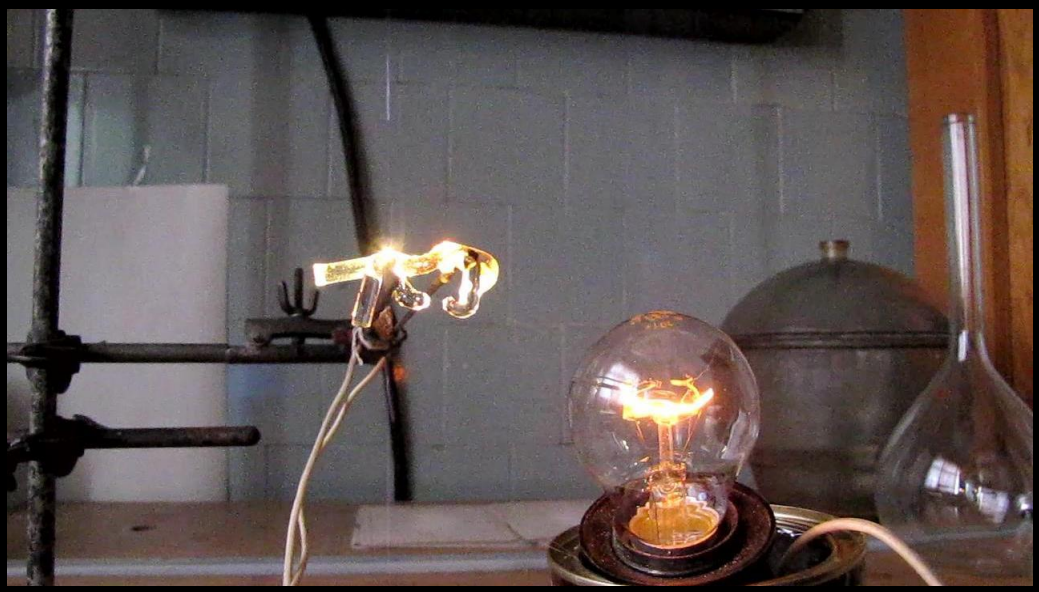


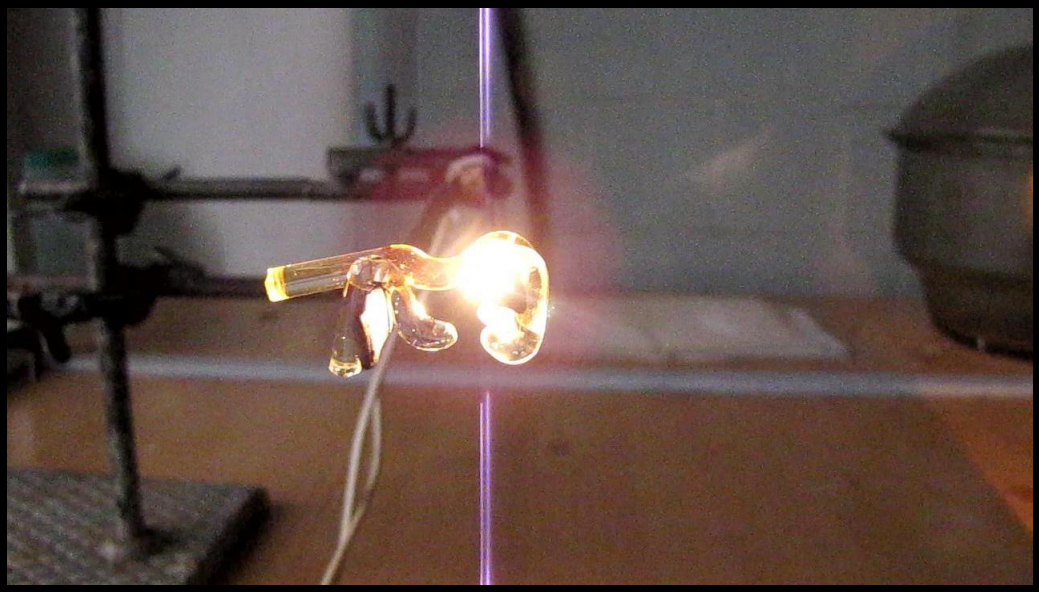


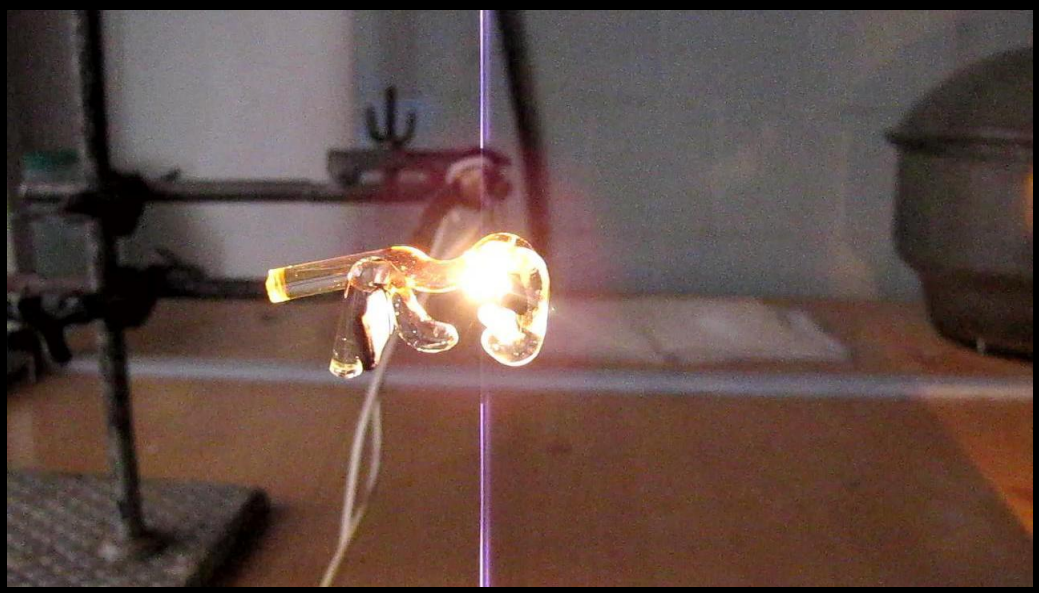


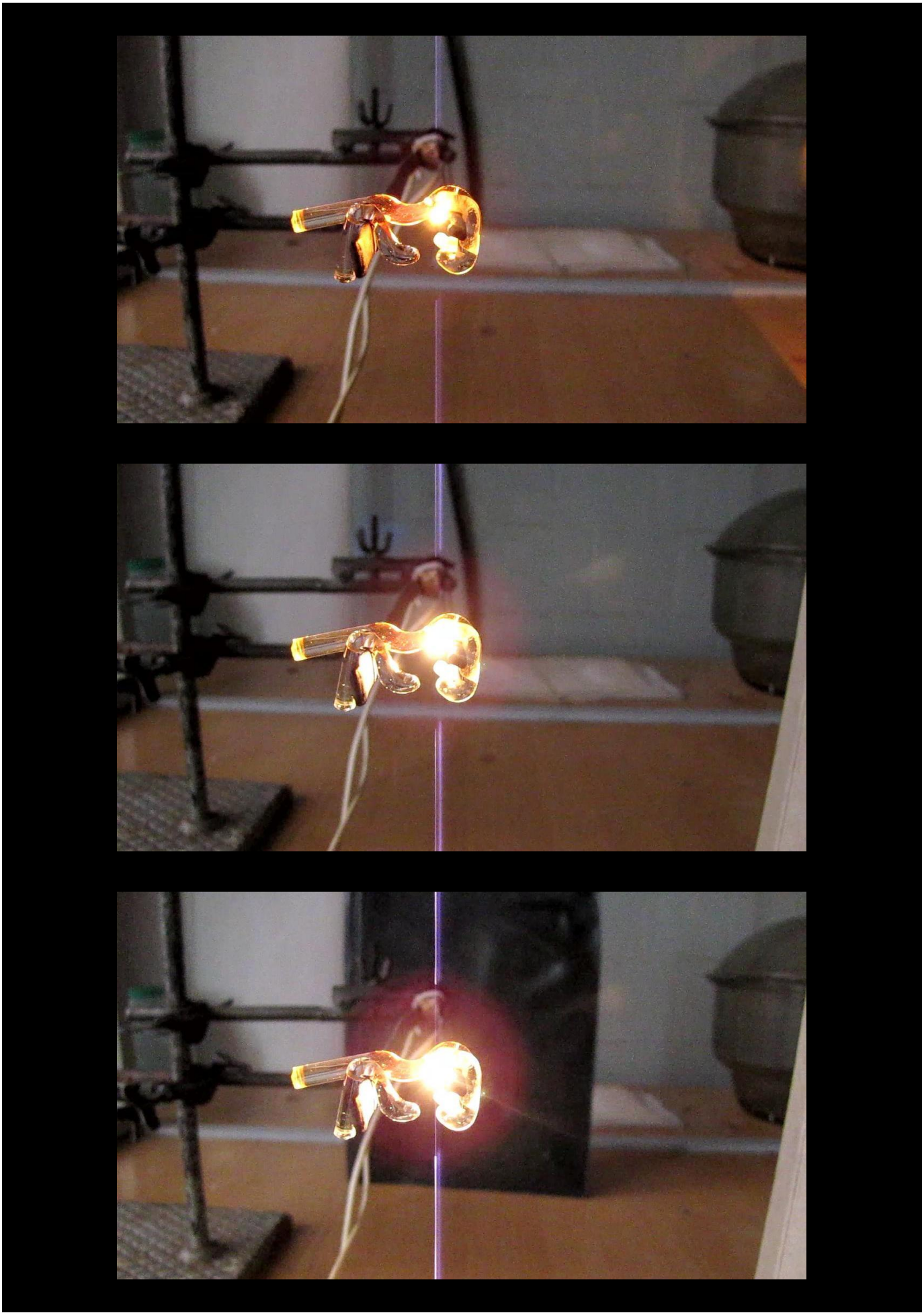


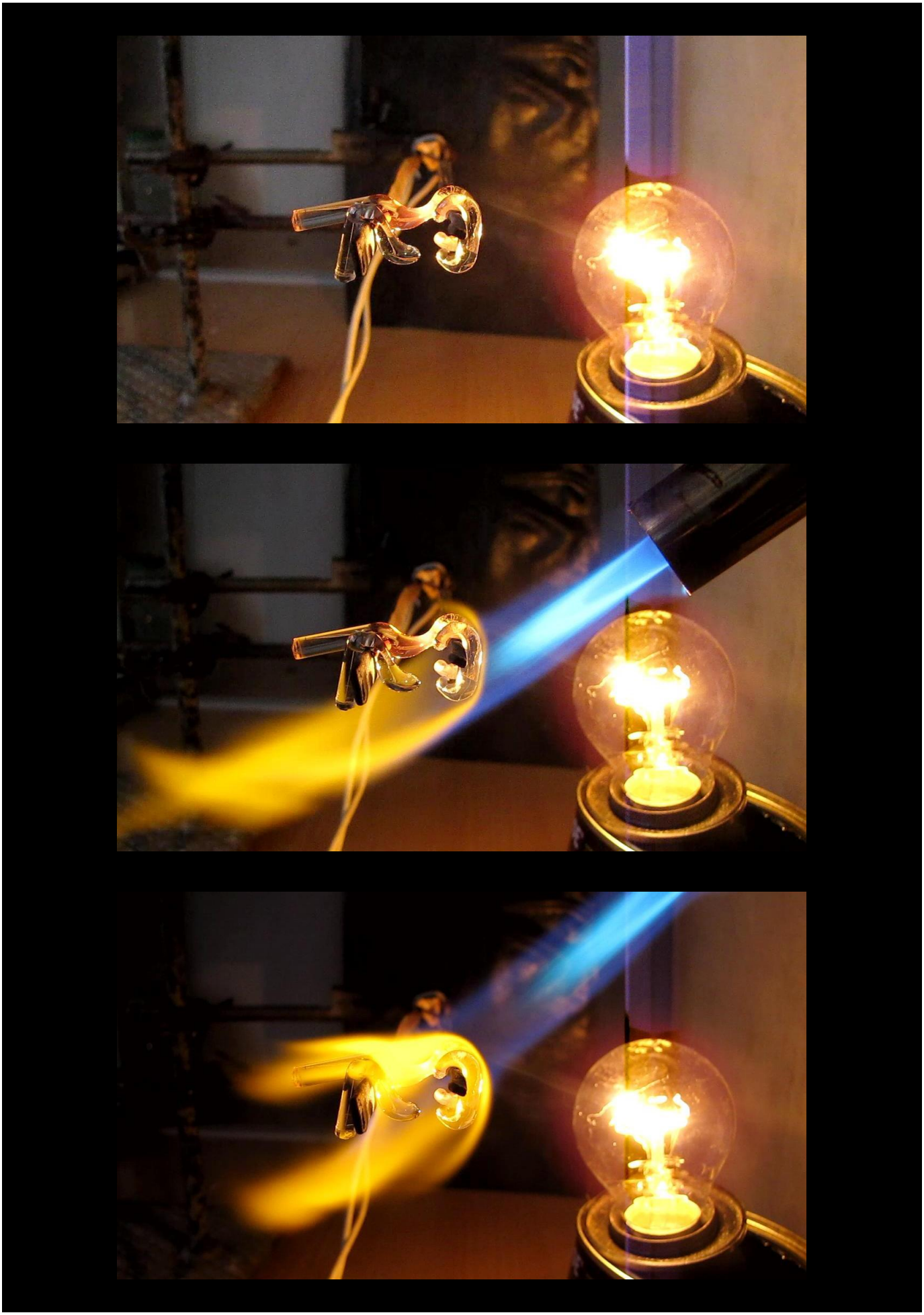


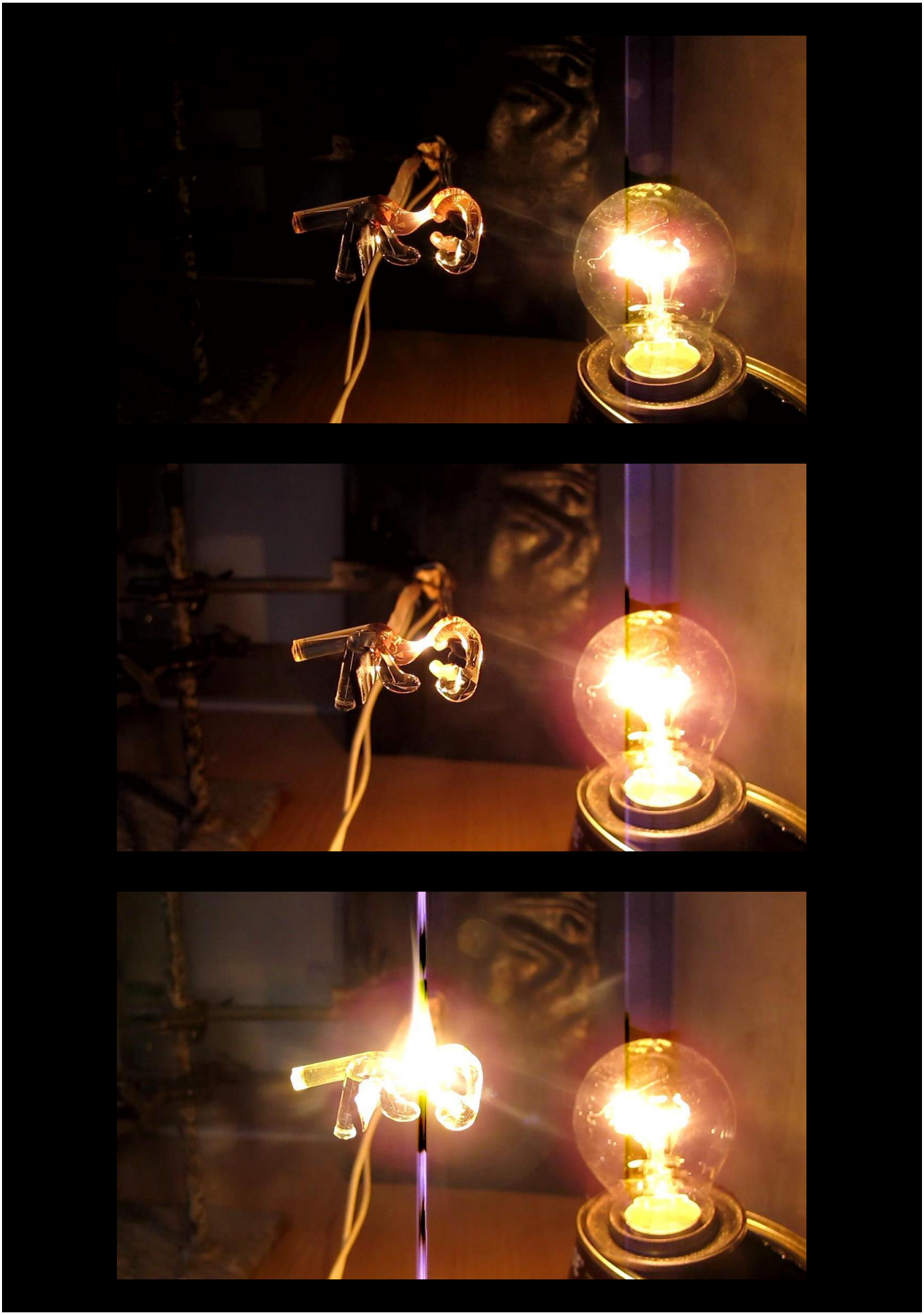


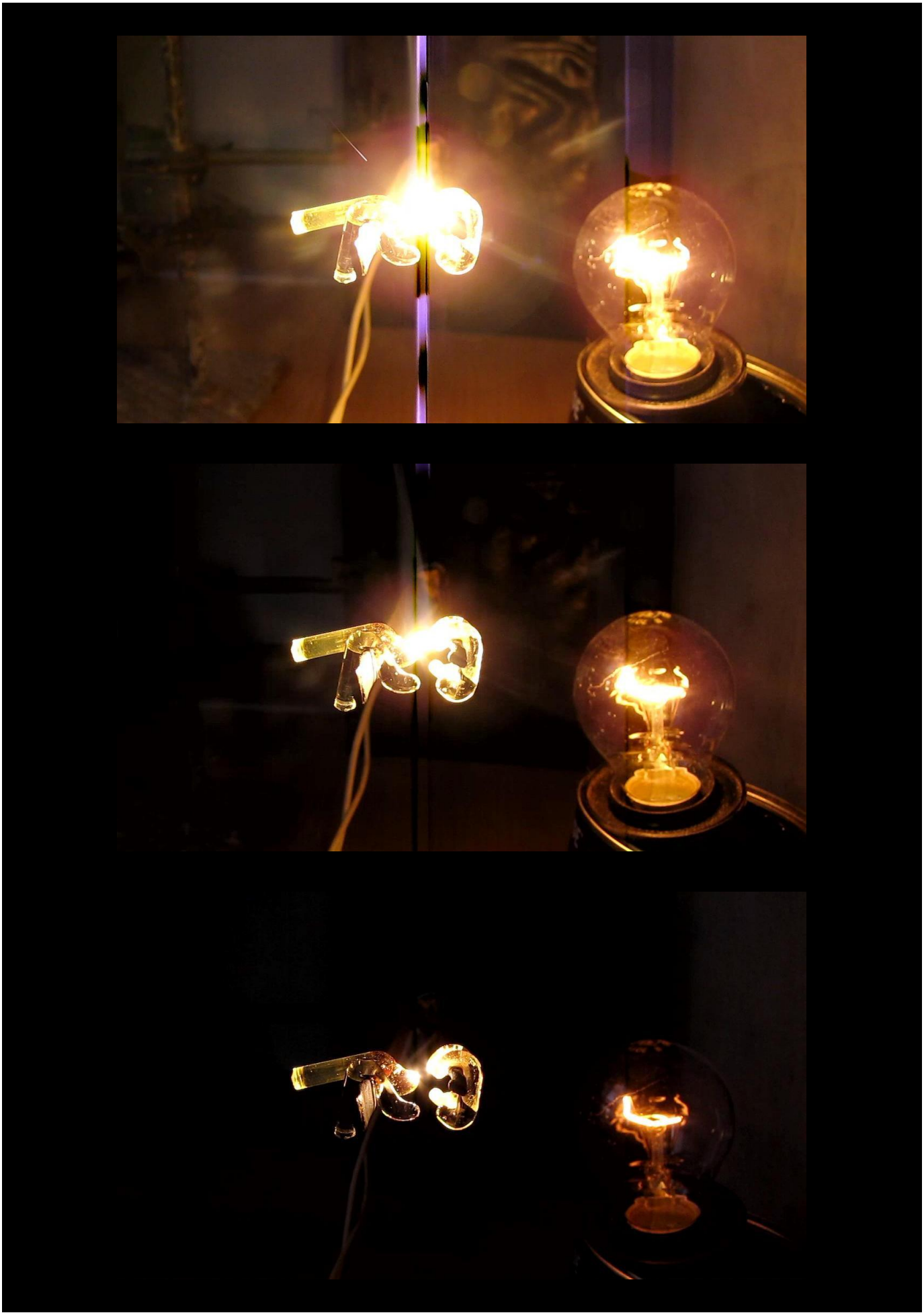


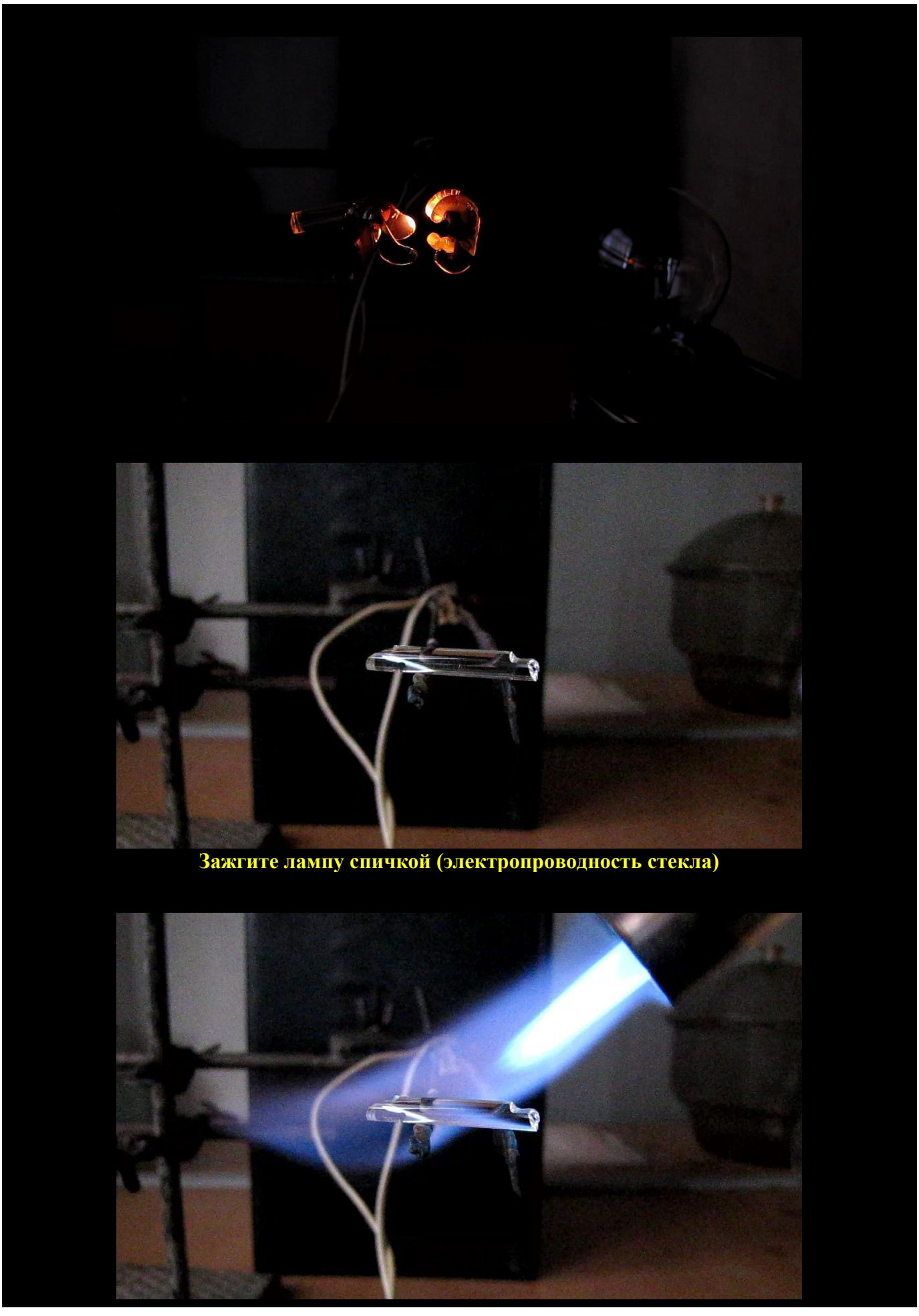




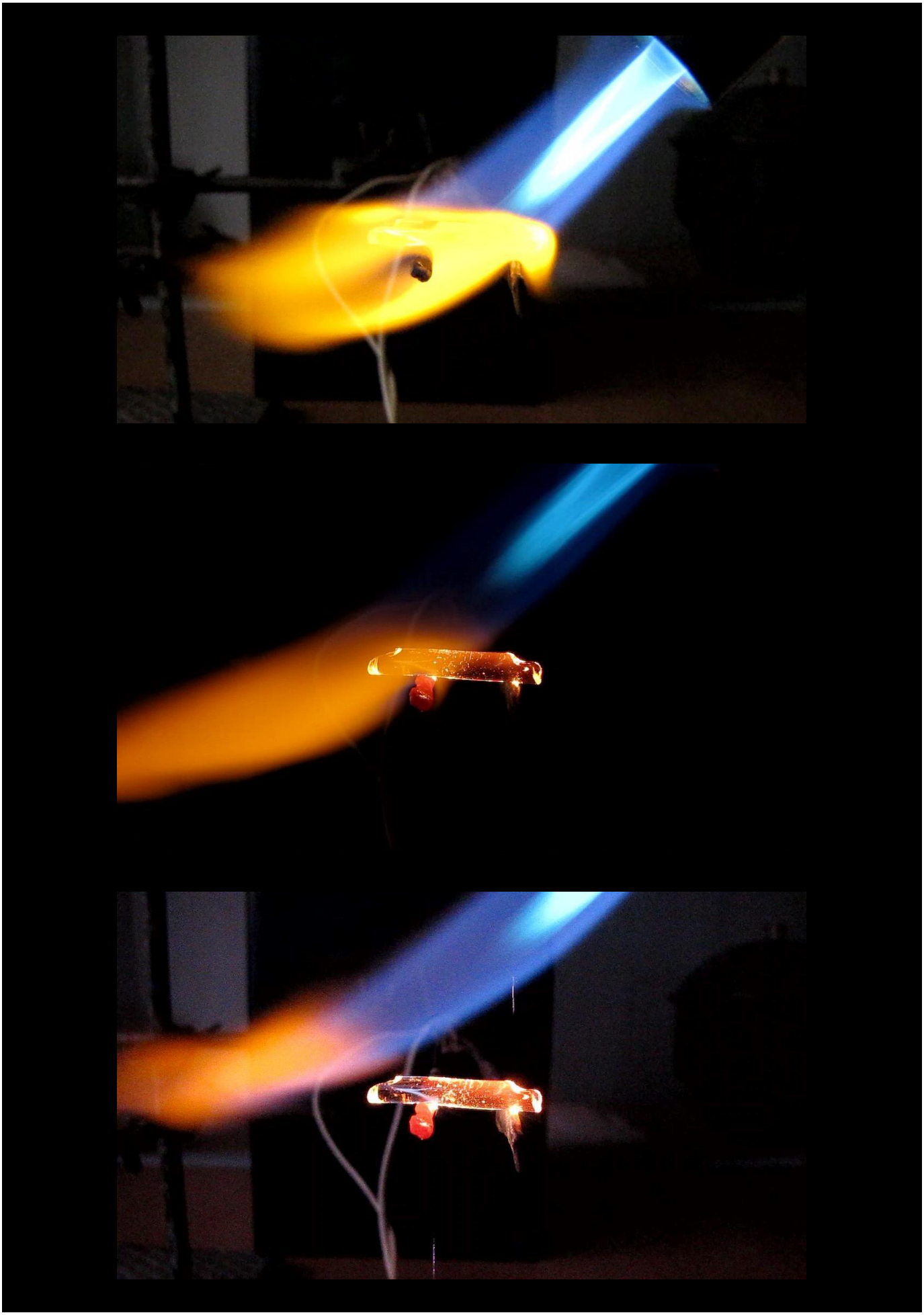


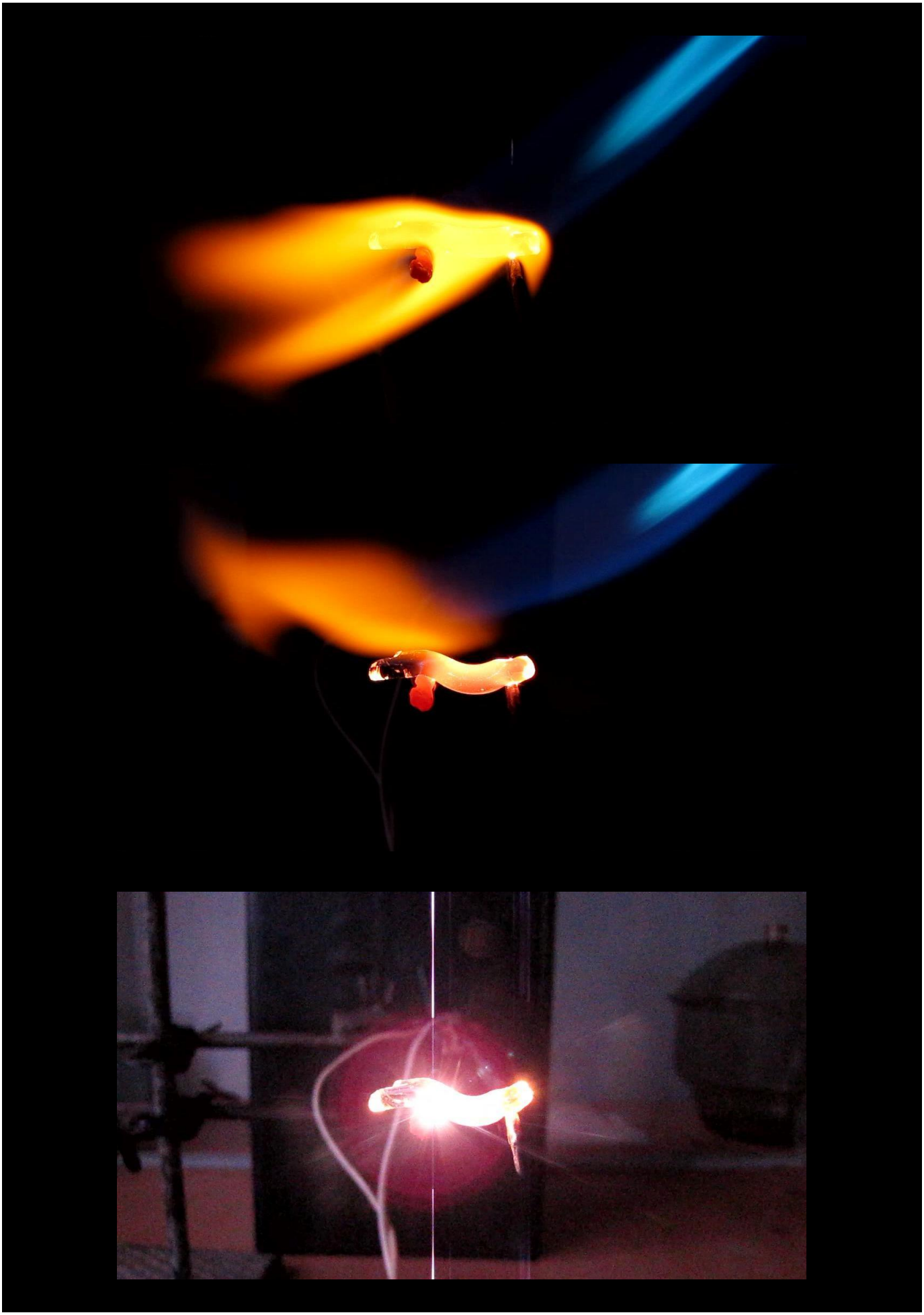


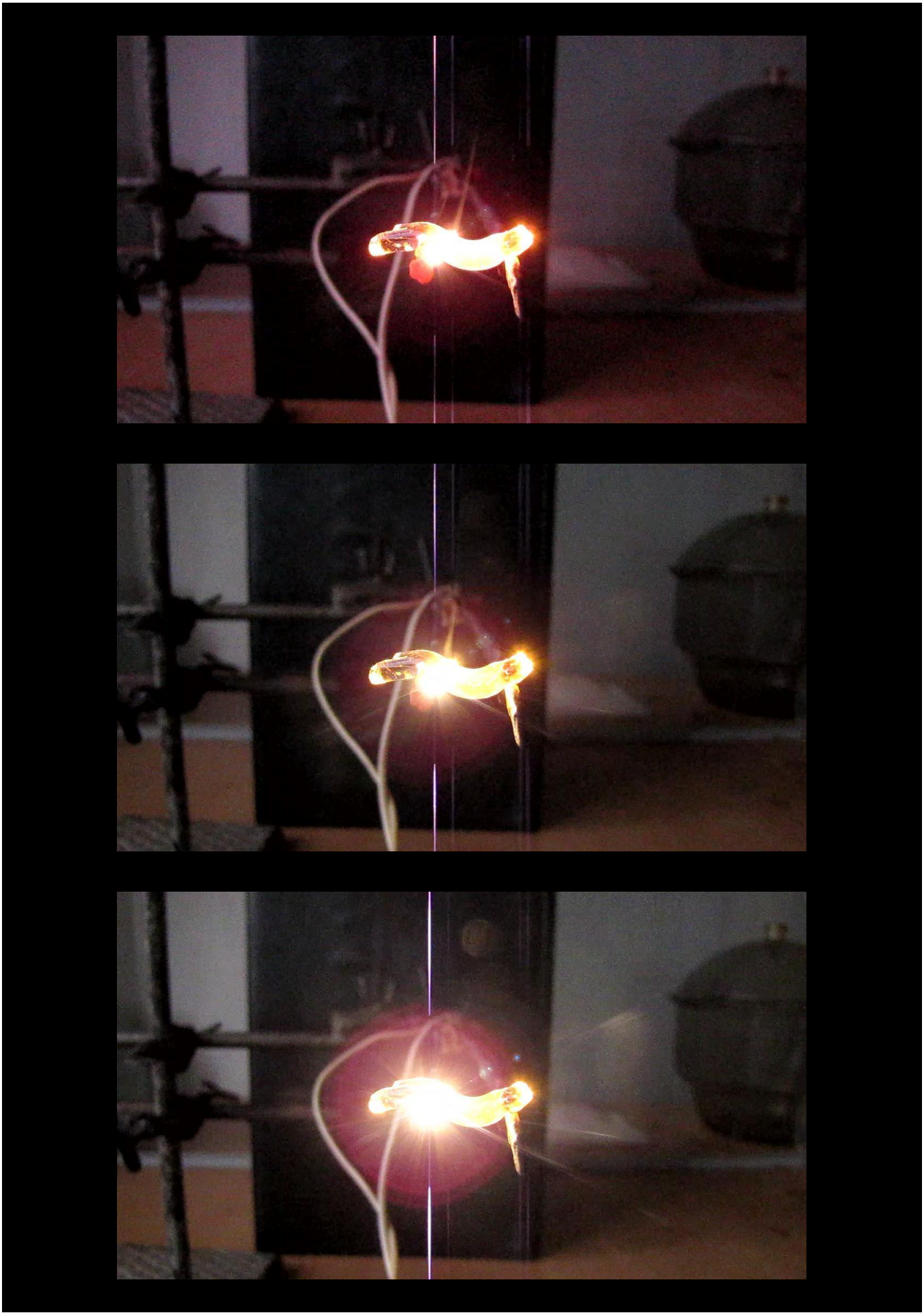


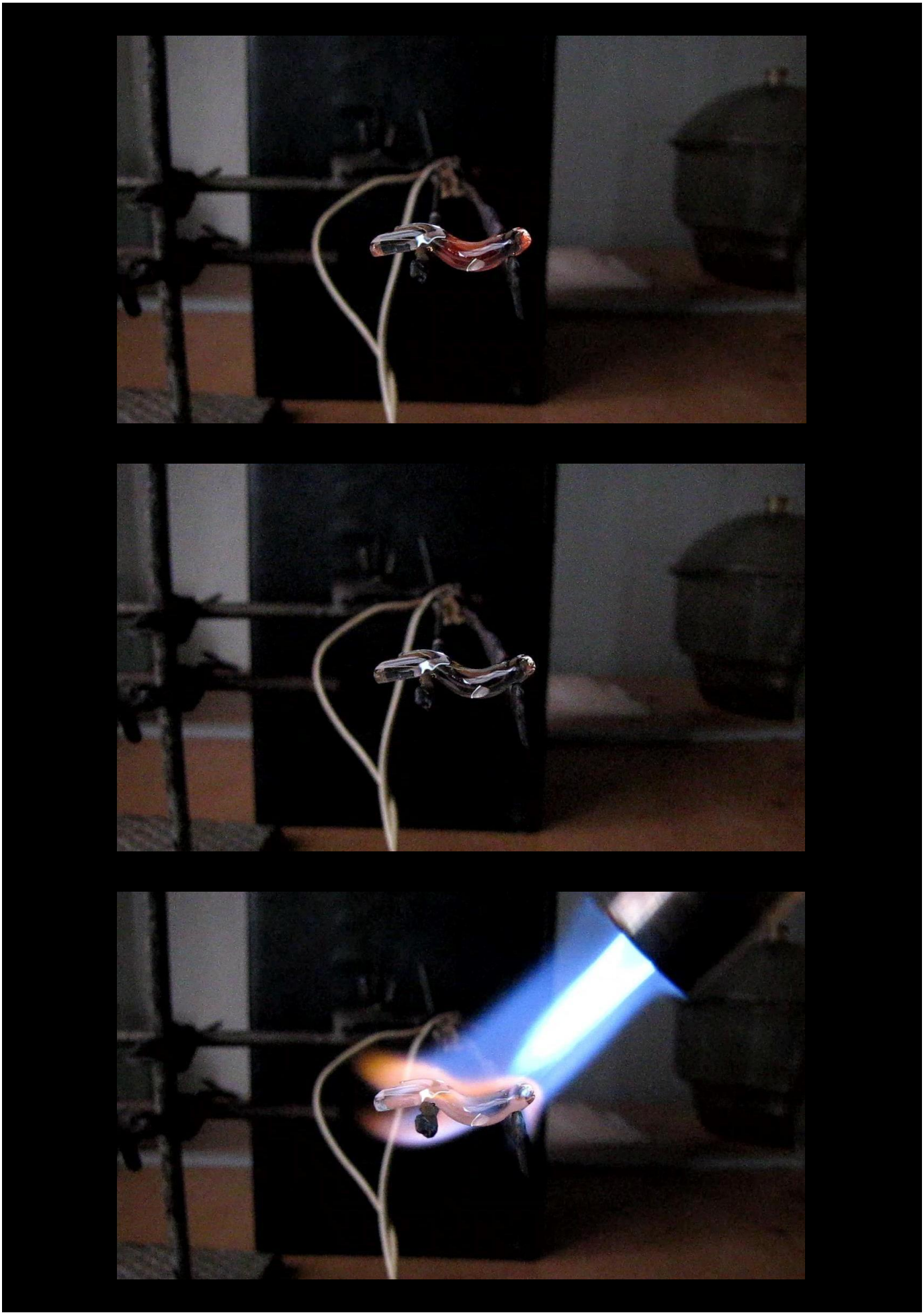


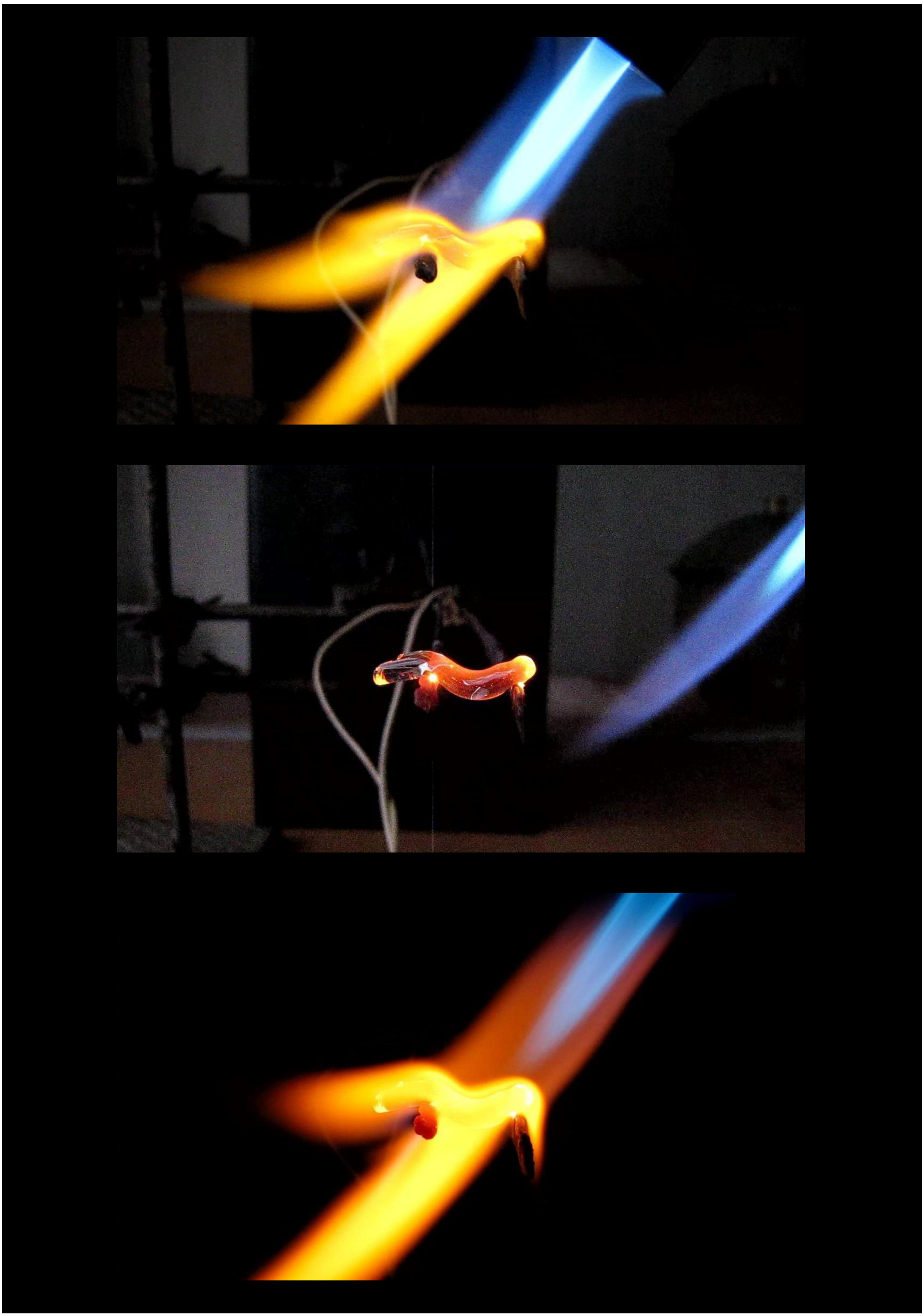
Зажгите лампу спичкой (электропроводность стекла)

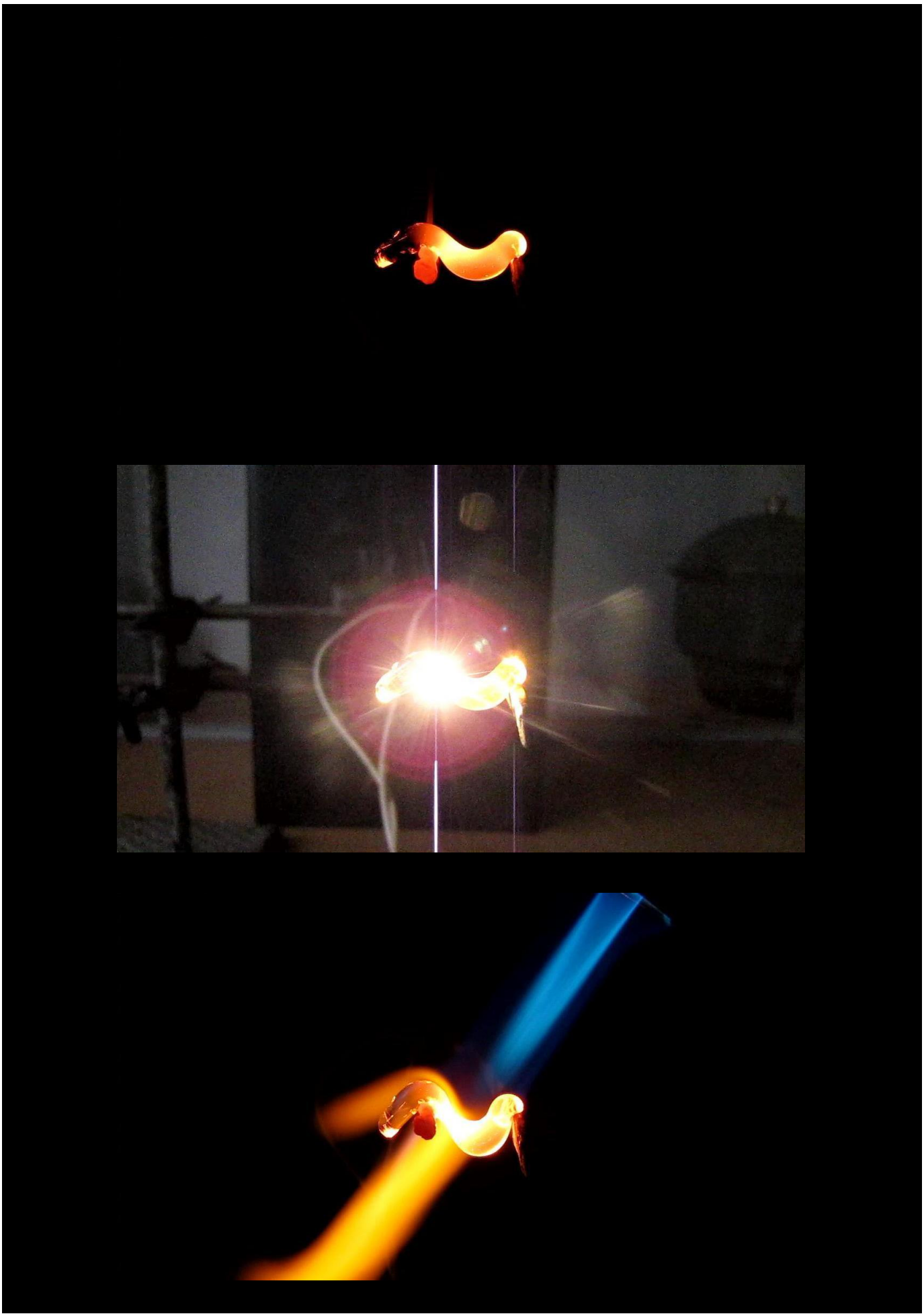


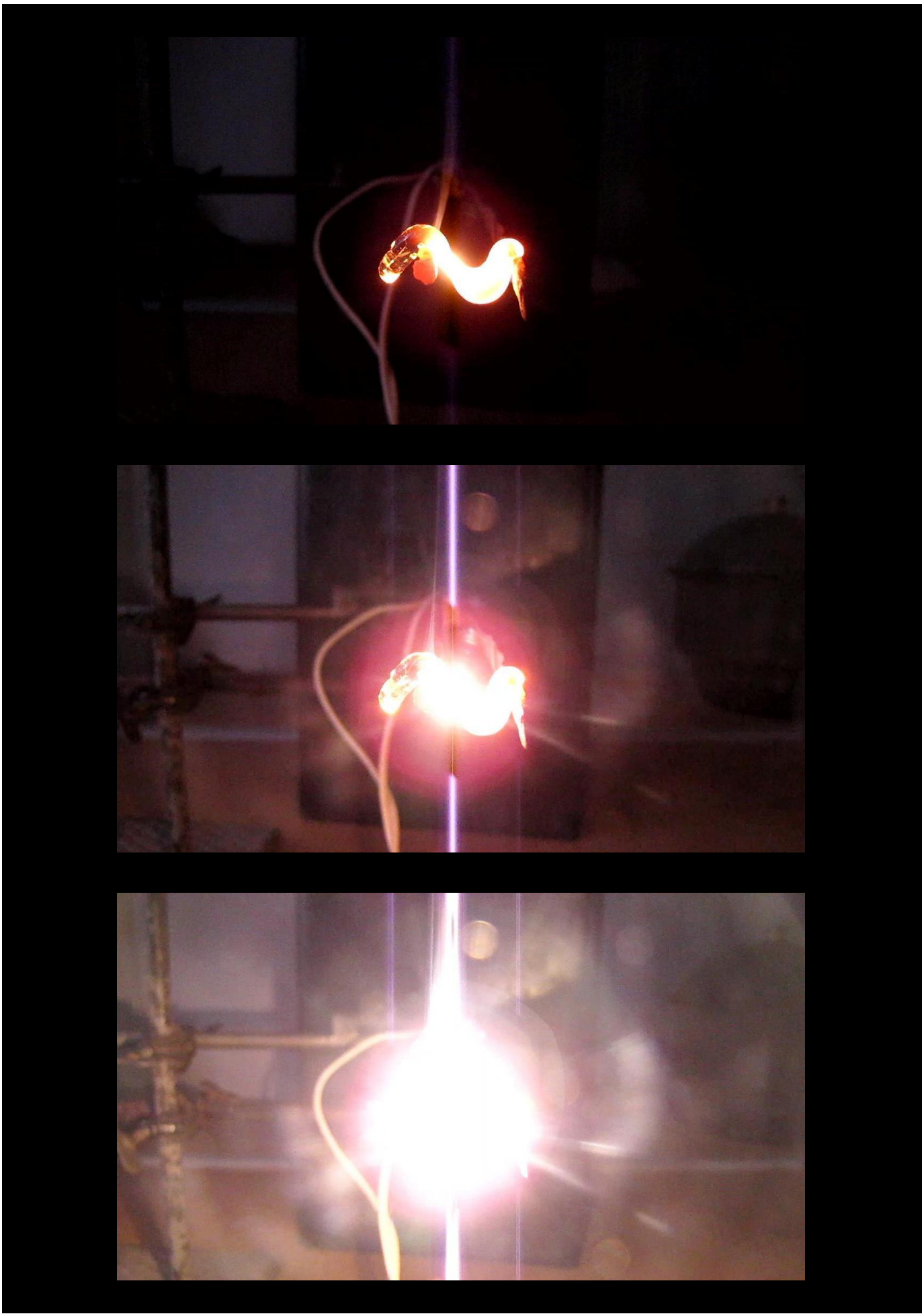


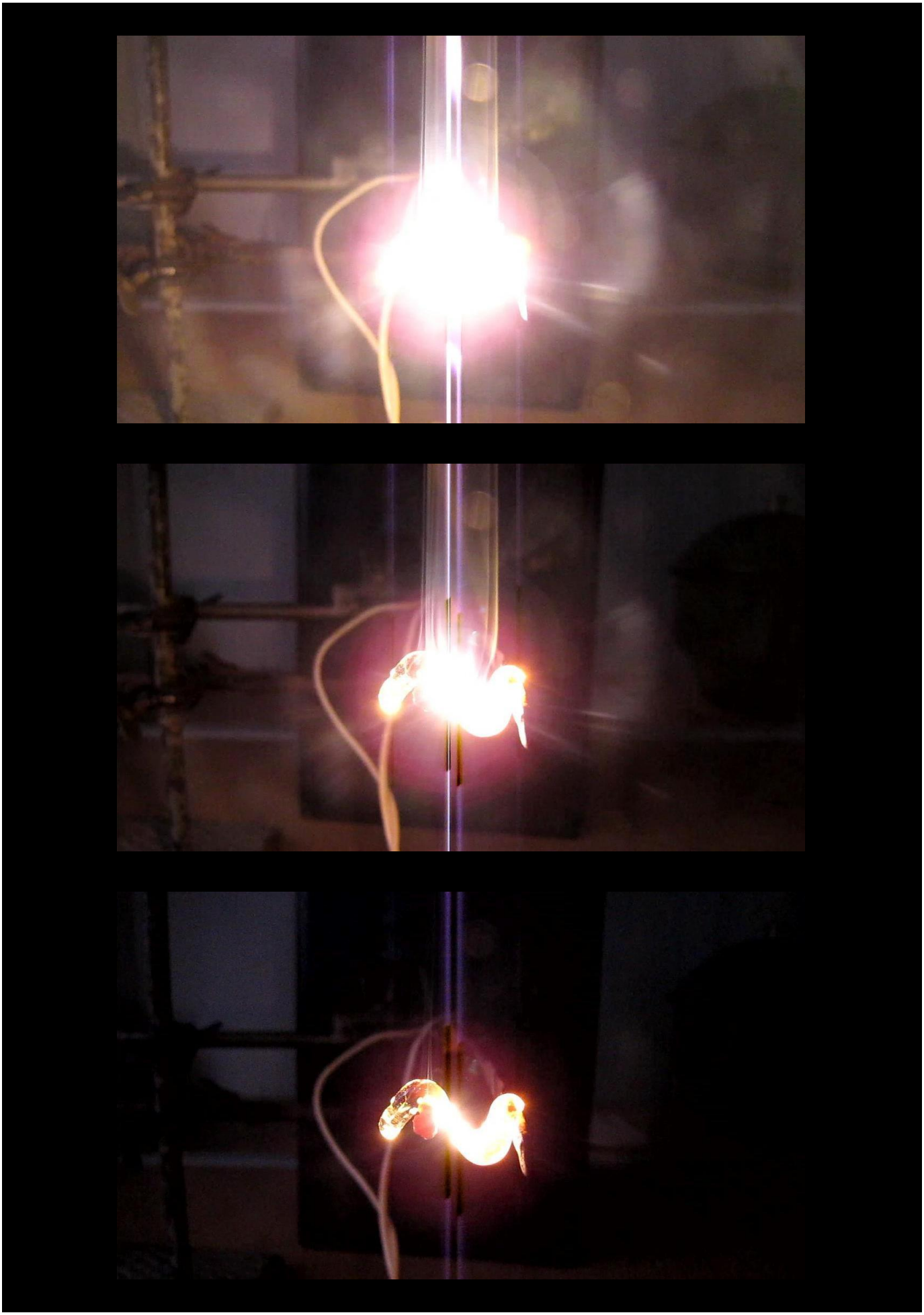


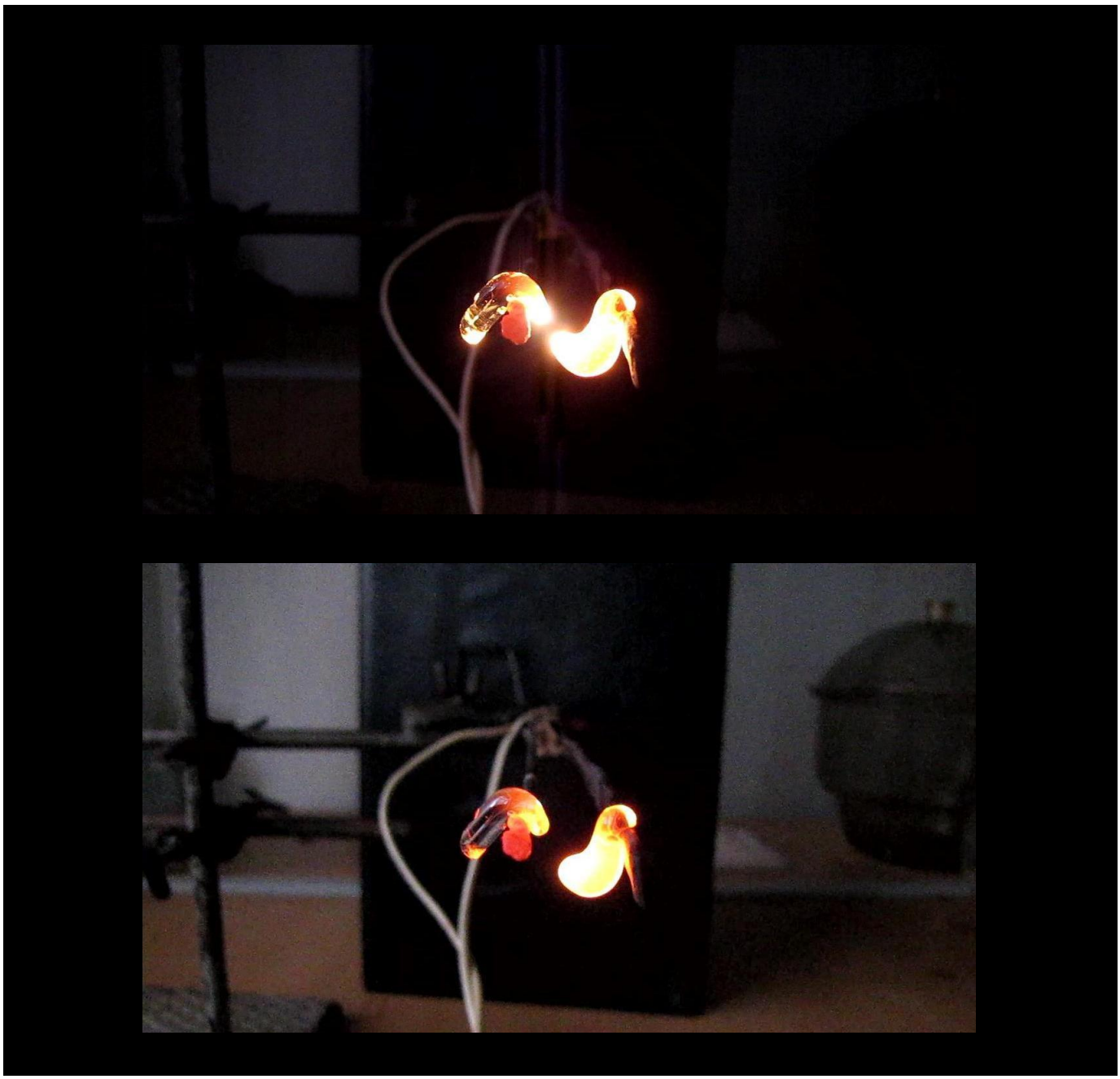












Не забывайте о технике безопасности: в эксперименте оголенные электроды находятся под напряжением 220 В. Очень желательно использовать резиновые перчатки и стоять на резиновом коврике. Ни в коем случае нельзя прикасаться к заземленным предметам: если вы одновременно коснетесь оголенных проводов, ток пойдет через ваше тело, а это может плохо кончиться[1].

Во время опытов экспериментатор дважды умудрился коснуться пальцами электродов, которые были под напряжением 220 В (одновременно обоих). В результате наблюдалось непроизвольное сокращение мышц (как дрожь от холода). Хорошо, что электроды были покрыты оксидной пленкой, и он стоял на резиновом коврике.

Перед экспериментом тщательно проверьте установку на надежность контактов. Для этого замкните металлическим предметом (с **заизолированной ручкой!**) электроды: лампа должна загореться. Если этого не произошло - **выключите ток** и установите, где потерян контакт.

---

[1] Если человек находится под действием электрического тока и не может самостоятельно освободиться, необходимо немедленно **отсоединить** его от источника тока. Самый простой способ - выключить рубильник, если рубильник далеко или недоступен, существуют другие способы. Прежде всего, следует помнить, что пострадавший **находится под напряжением** и, прикоснувшись к нему, вы рискуете разделить его судьбу.

Итак, необходимо прекратить действие тока, не прикасаясь к потерпевшему. Например, можно взять доску или любой другой непроводящий ток предмет и сбросить с пострадавшего провод или взять топор и перерубить провод. Если это невозможно, человека оттаскивают за одежду (желательно обмотать руку полотенцем или собственной одеждой).

Профессиональные электрики в таких случаях нередко отталкивают пострадавшего от провода или щитка ударом (толчком) ноги: так, чтобы с телом соприкасалась только подошва (желательно толстая).

Знакомый рассказал интересный случай. Физик "копался" в электрическом щитке, неожиданно его начало передергивать, другой физик, недолго думая, ударил его ногой, чтобы прекратить действие тока. Пострадавший отлетел, причем от удара ему чуть не сломало ребра. Оказалось, что первый физик "пошутил", изображая из себя пораженного током. Получив сильный пинок, он понял, что с такими вещами не шутят.

Другая важная мораль: не работайте с электричеством самостоятельно, всегда рядом должен находиться человек, способный подстраховать. Электрический ток вызывает непроизвольное сокращение мышц. Начиная с определенной силы тока это сокращение нельзя преодолеть усилием воли: в результате, если вы случайно схватили провод под напряжением, вы не сможете сами разжать руку.



Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.1

В.Н. Витер

Огненное дыхание

Суть эксперимента проста. Мы взяли полуторалитровую бутылку из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) со срезанным дном. Бутылку поставили горлышком вниз, заткнули горлышко большим пальцем и наполнили ее пропан-бутановой смесью (из баллона). Далее возле срезанного дна смесь подожгли, горлышко бутылки быстро взяли в рот[1], бутылке придали горизонтальное положение и сильно дунули в горлышко.

Из бутылки ударило желтое пламя, огонь образовал горящее облако, которое поднялось вверх. После этого в бутылке можно было наблюдать синее пламя угарного газа (окиси углерода (II)). От горения газа бутылка морщилась, но в большинстве случаев ее удавалось использовать для эксперимента несколько раз.

В заключение поговорим о технике безопасности. Не лишним будет напомнить, что подобные эксперименты связаны с повышенным риском пожара. Необходимо быть готовым к тому, что опыт может выйти из-под контроля и держать под рукой средства борьбы с огнем. Разумеется, поблизости не должно быть никаких горючих материалов.

Данный эксперимент имеет также и специфическую особенность, от выполнения которой зависит **ваше здоровье**: во время опыта воздух следует с силой **выдыхать** из легких, но **не вздумайте** сделать вдох - вы можете втянуть пламя, которое сожжет ваши легкие.

Кроме того, в результате неполного сгорания углеводородов образуется оксид углерода (II) (угарный газ), который не имеет цвета и запаха, но очень ядовит. Отравление угарным газом начинается незаметно, однако может привести к очень тяжелым последствиям (угарный газ связывается с гемоглобином крови и блокирует перенос кислорода). После опытов необходимо хорошо проветрить помещение.

---

[1] Горлышко не должно оставаться открытым - иначе вытечет газ! В некоторых случаях отверстие бутылки просто закрывали нижней губой, ставили бутылку вертикально и в таком положении набирали в нее пропан-бутановую смесь.

Смотреть Видео (25 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (28 Мб, .avi)

Смотреть Видео 3 (22 Мб, .avi)



Огненное дыхание











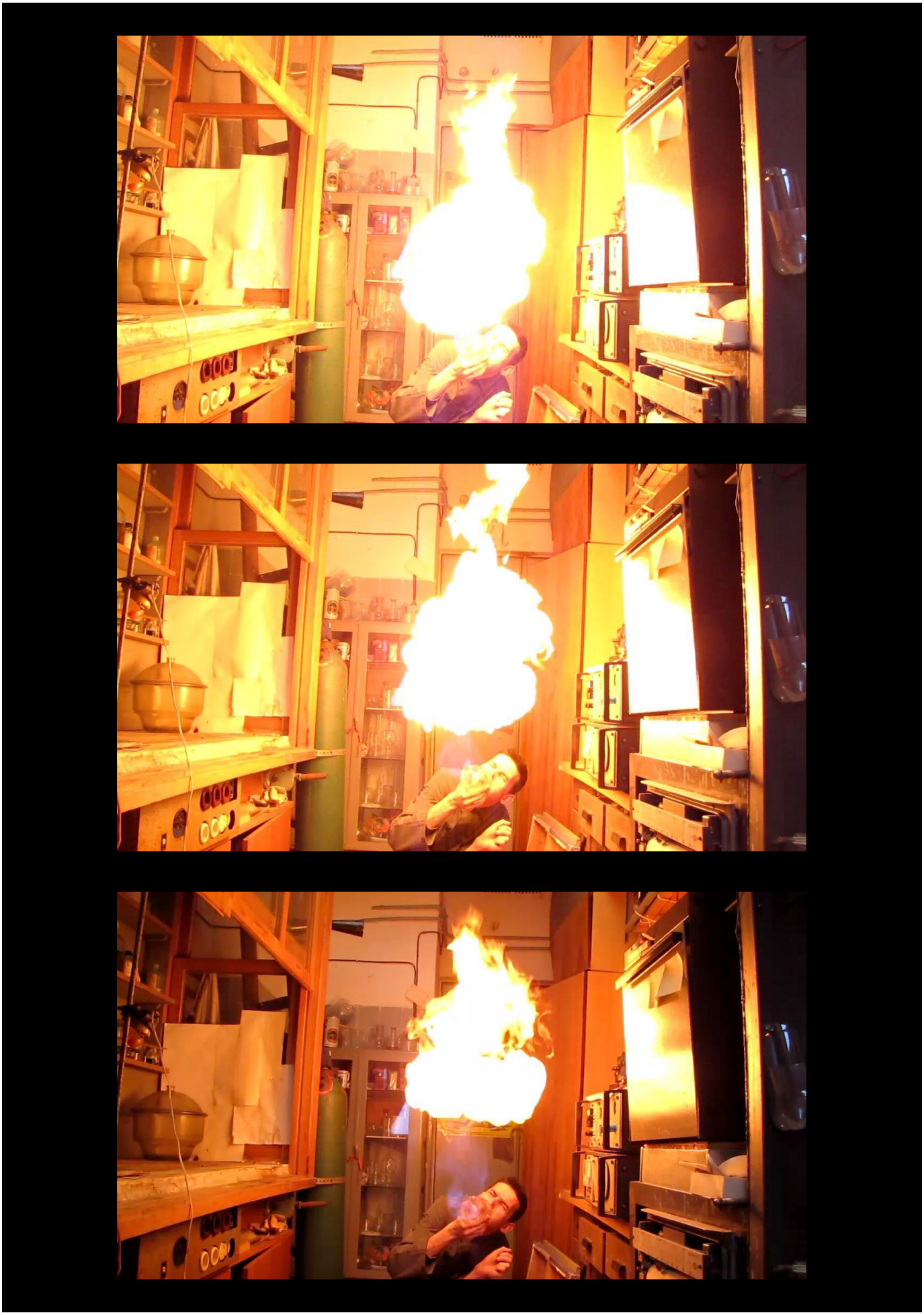


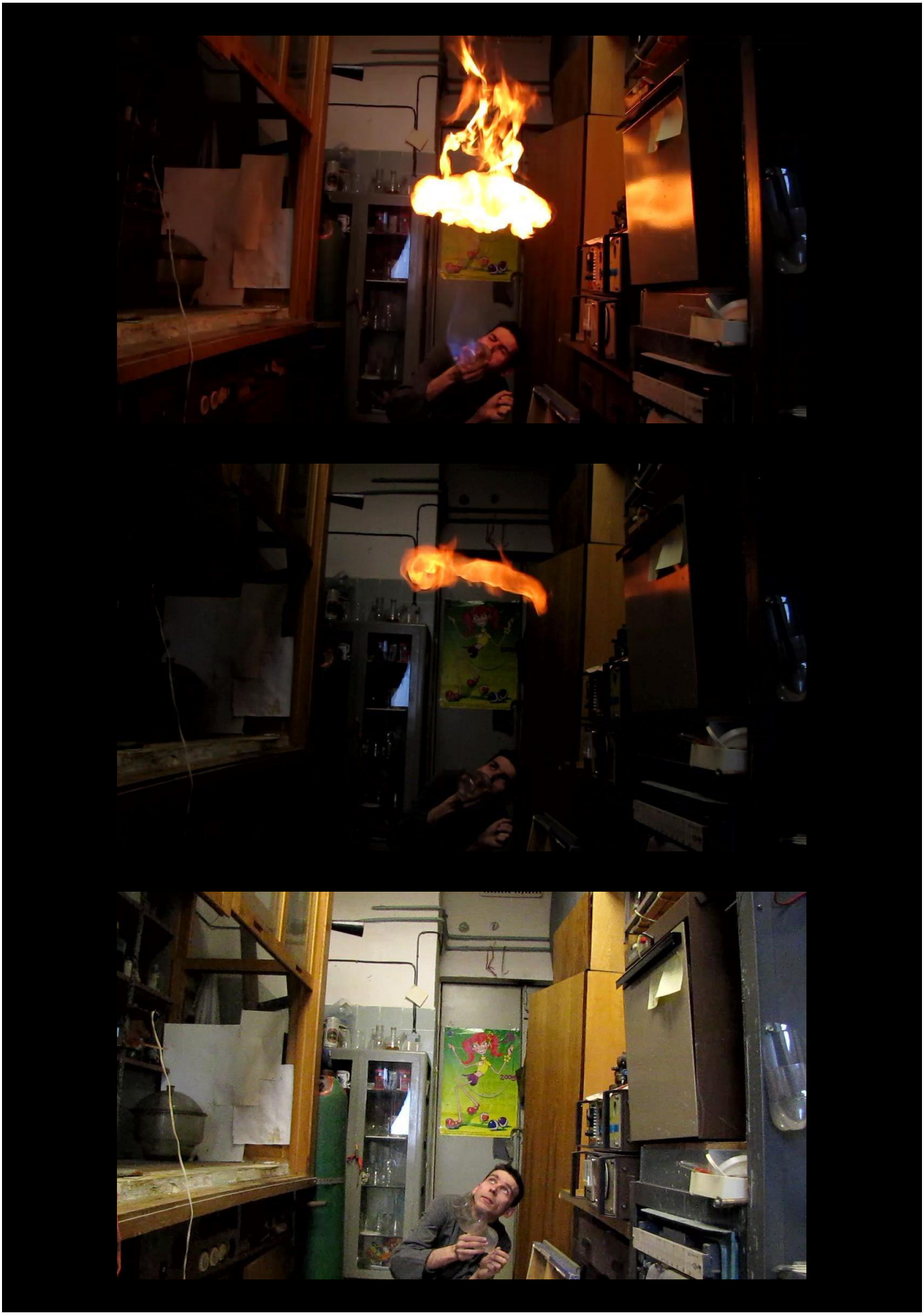


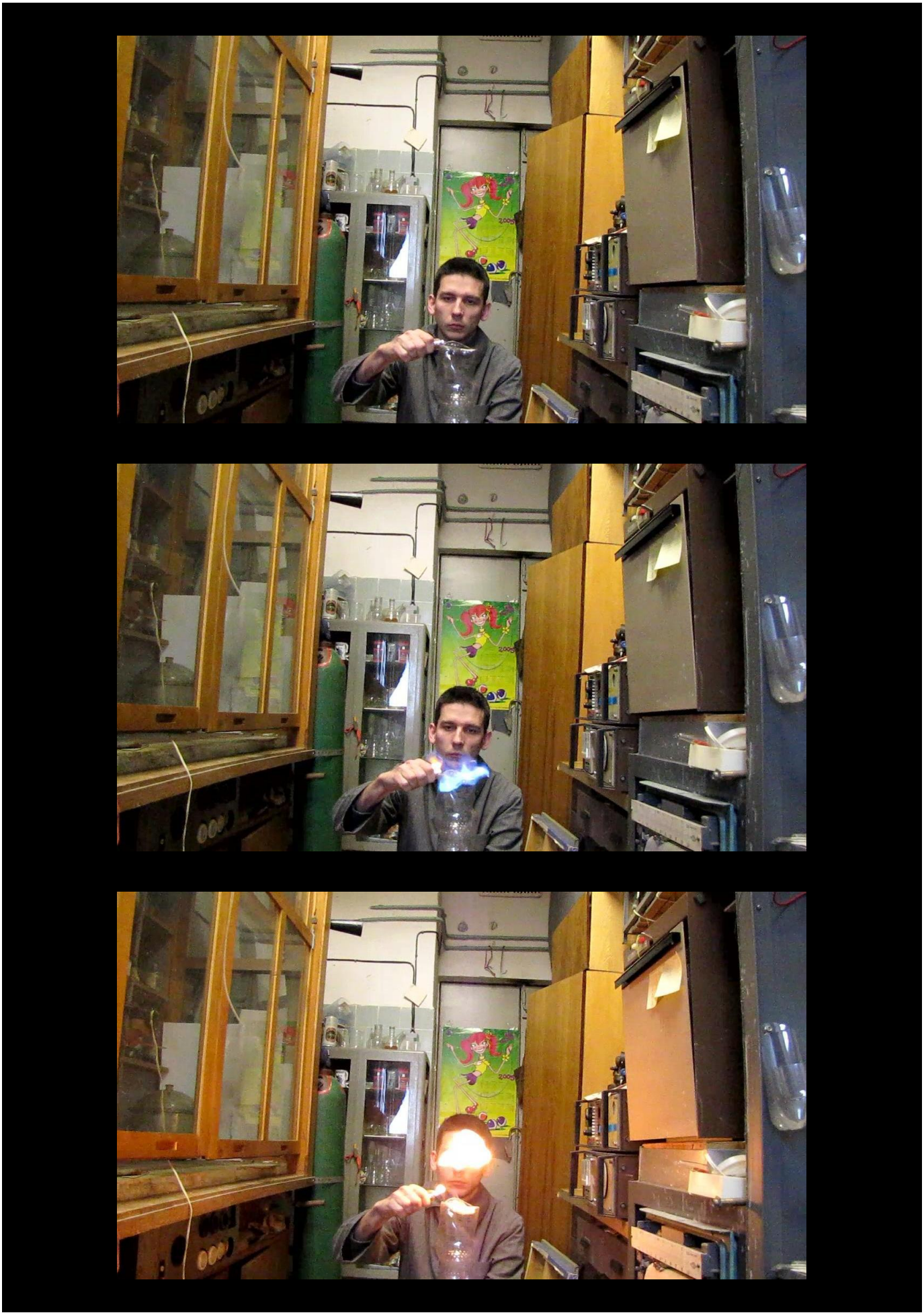






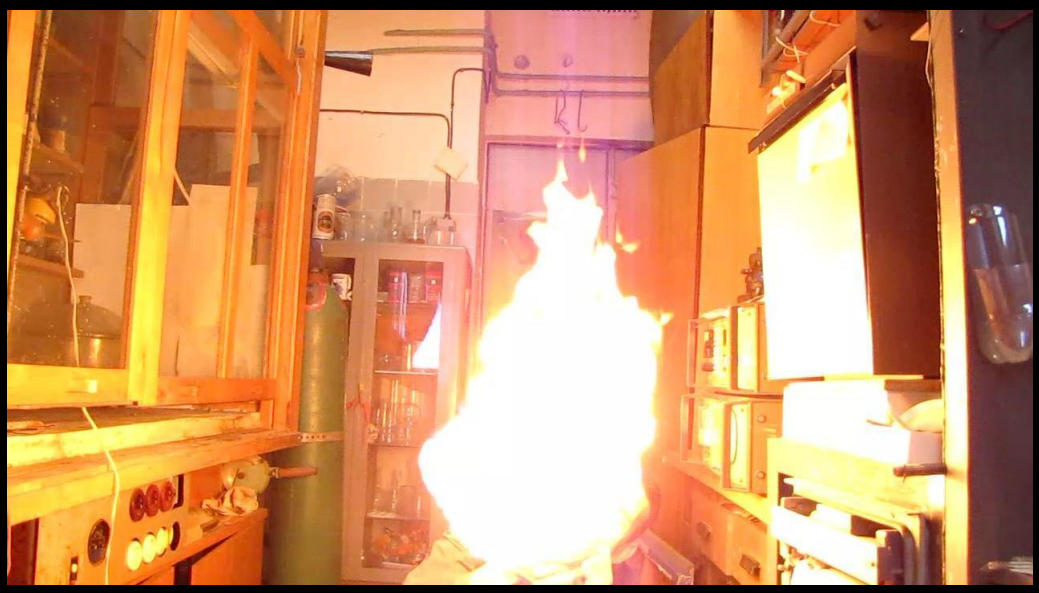


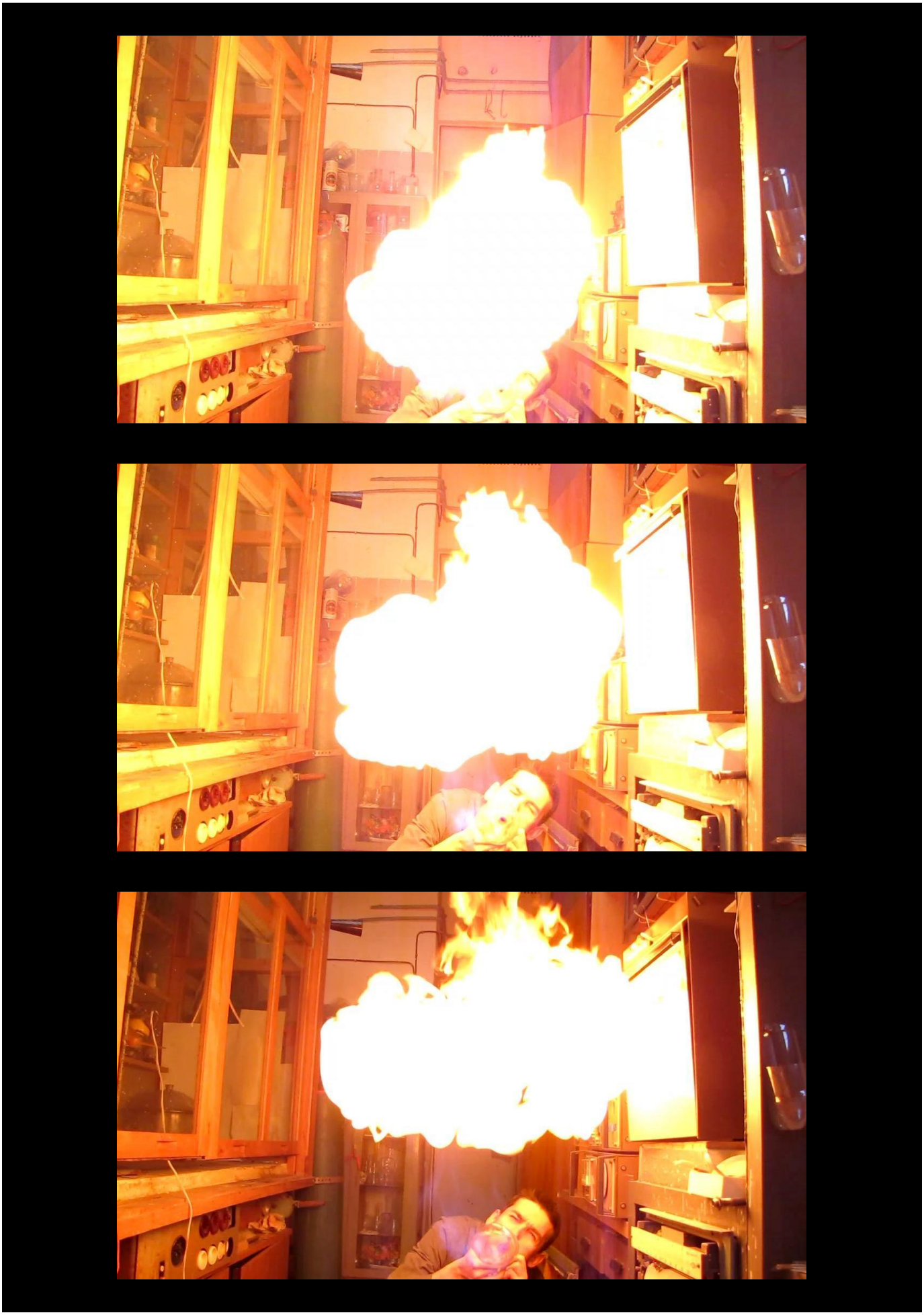










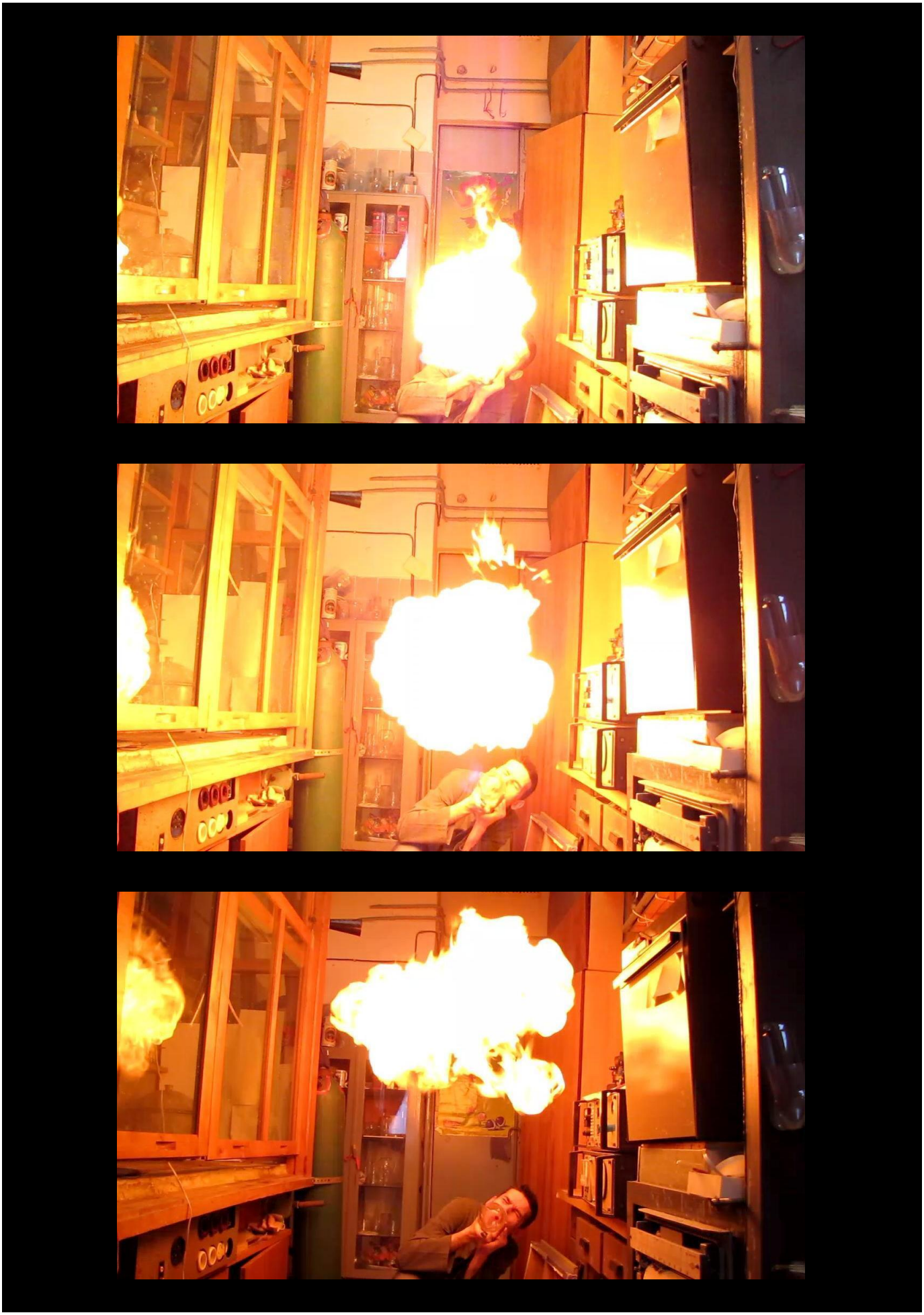




































Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.2

В.Н. Витер

Огненное дыхание

Вторую серию экспериментов с "огненным дыханием" провели аналогично первой. Разница заключалась в том, что пропан-бутановую смесь поджигали уже после того, как бутылку приводили в горизонтальное положение.

Смотреть Видео (33 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (12 Мб, .avi)



Огненное дыхание



















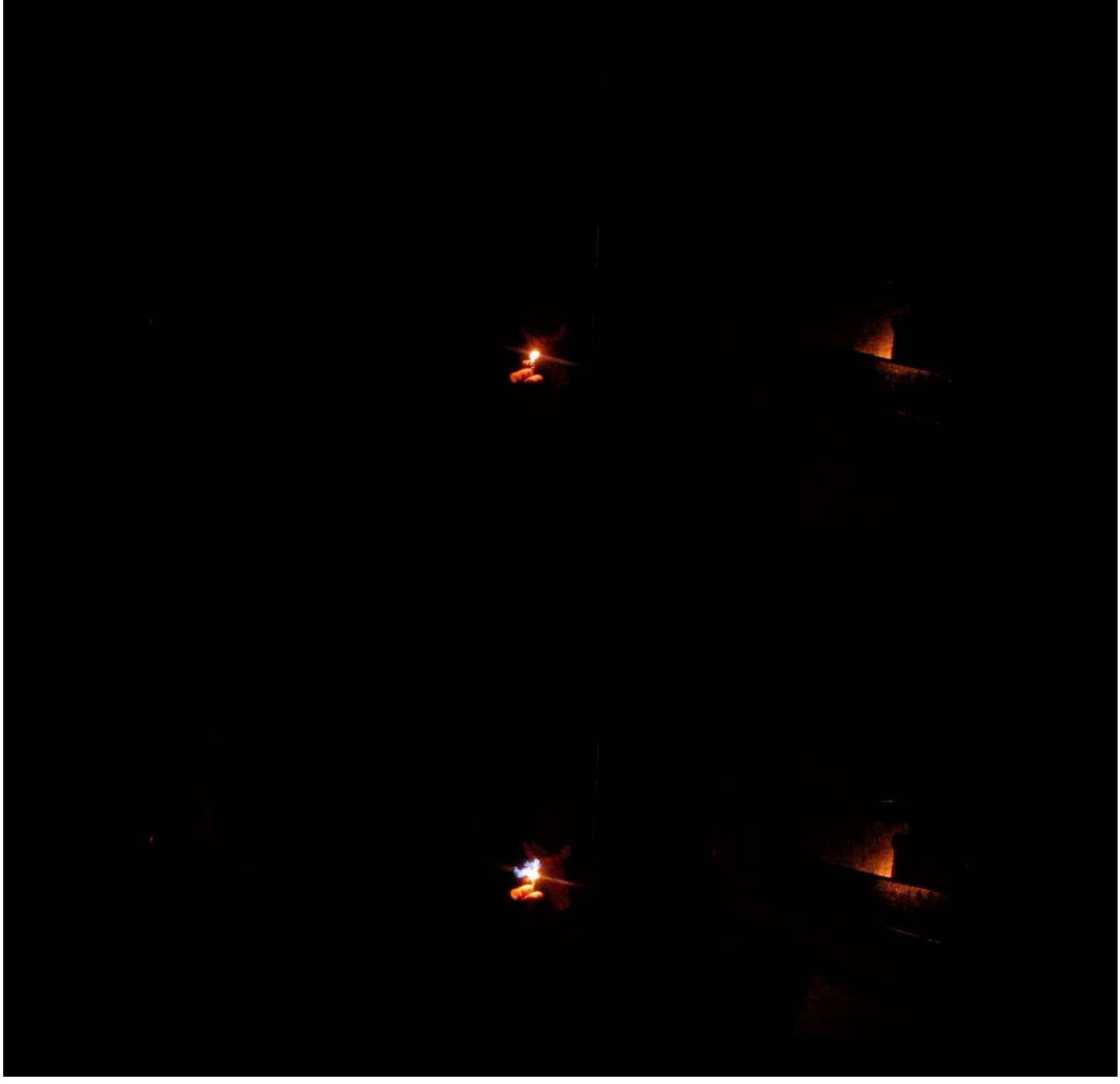


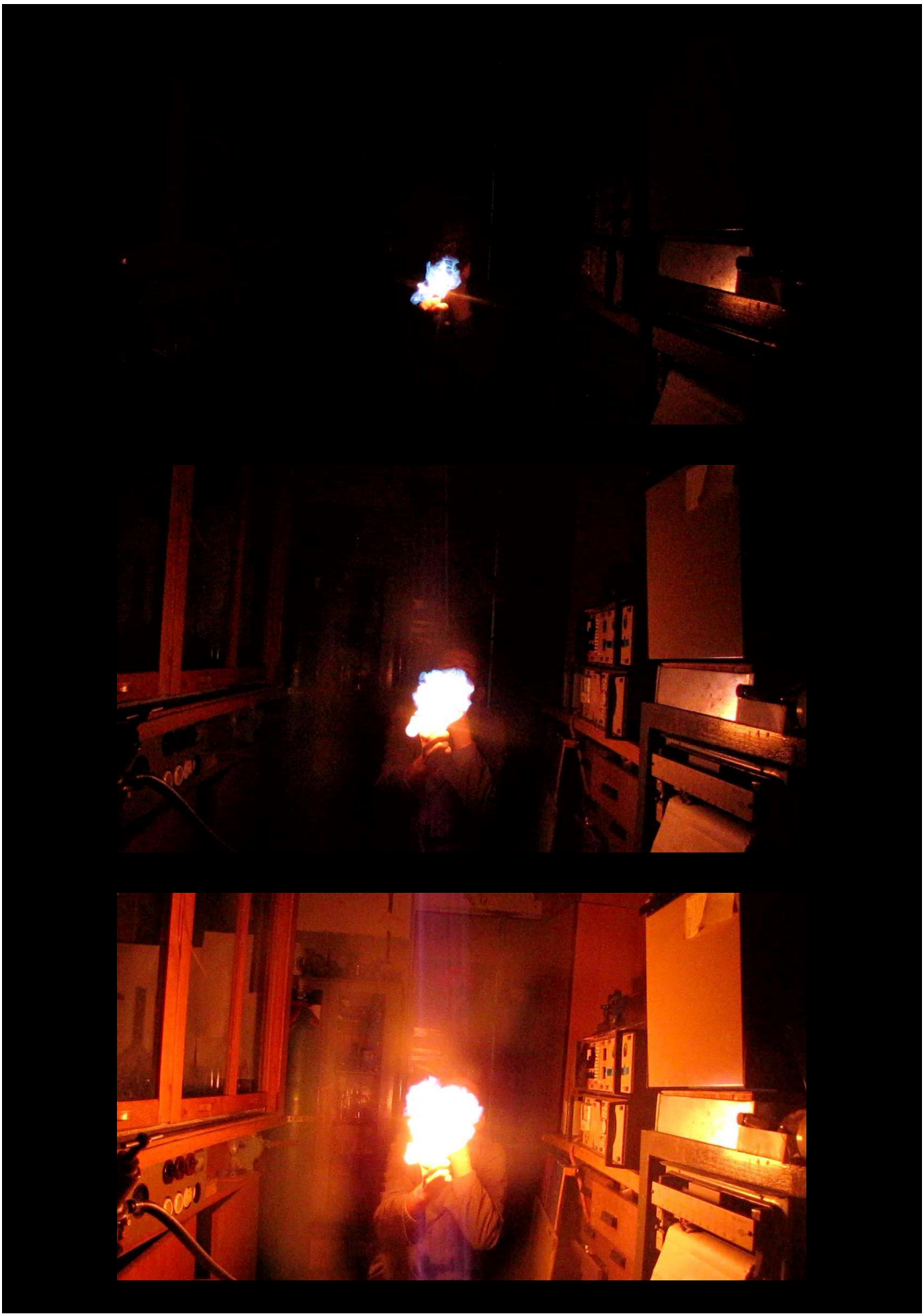




































Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.3

В.Н. Витер

Огненное дыхание

После "огненного дыхания" с помощью пластиковой бутылки, наполненной пропан-бутановой смесью, мы решили попробовать другой вариант опыта, описание которого никогда ранее не встречали. Идея проста: набрать в рот пропан-бутановую смесь и дунуть на пламя зажигалки.

Технически все просто, но поскольку описание подобного эксперимента найти не удалось, оценить степень риска было трудно. После нескольких проб оказалось, что в опыте нет ничего страшного: данный эксперимент менее опасен, чем многие опыты, описанные ниже.

Выдыхаемая смесь углеводородов вспыхивала голубым, синим, реже - желтым пламенем. При покадровом просмотре видео выглядит довольно эффектно.

Получалось далеко не всегда: оказалось, что мало просто набрать пропан-бутановую смесь в рот: нужно вдохнуть и выдохнуть смесь несколько раз, чтобы наполнить углеводородами легкие, иначе вспышка может не произойти. Для вдыхания пропан-бутановой смеси использовали резиновую трубку, соединенную с газовым баллоном.

В поздних опытах газ из трубки вдыхали через нос, а выдыхали через рот (чтобы вытеснить из дыхательных путей воздух), потом набирали полный рот углеводородов, вынимали шланг и дули на зажигалку. Происходила красивая вспышка.

Скорость горения пропана и бутана сравнительно низкая, а пределы взрываемости смесей этих газов с воздухом довольно узкие. С точки зрения безопасности опыта это хорошо, однако не следует дуть на пламя зажигалки слишком сильно - иначе оно погаснет.

В отличие от пропана и бутана, водород имеет гораздо более высокую скорость горения и более широкие пределы взрываемости смесей с кислородом (или воздухом), поэтому

шутки с водородом плохи. Приведем цитату из книги **Б.Д. Степин, Л.Ю. Аликберова Книга по химии для домашнего чтения** ссылка

Рискованный опыт Розье

Французский химик XVII в. Пилар де Розье заинтересовался, что будет, если вдохнуть водород: до него это никто не пробовал. А что было дальше?

Не заметив сначала никакого эффекта, Розье решил убедиться, проник ли водород в легкие? Еще раз глубоко вдохнув водород, он выдохнул его... на огонь свечи. Водород был, конечно, смешан с воздухом, и произошел взрыв! Розье впоследствии писал: "Я думал, что у меня вылетят все зубы вместе с корнями". Тем не менее, он остался доволен результатами опыта, который едва не стоил ему жизни.

В процессе экспериментов возникла идея проверить физиологическое действие пропан-бутановой смеси при вдыхании. Известно, например, что циклопропан используется в медицине для наркоза, а пары бензина могут вызвать наркотическое опьянение. В сети есть сведения, что бутан способен вызывать легкое опьянение, однако их источники не заслуживают доверия.

Итак, мы попробовали дышать пропан-бутановой смесью. Во время опыта ощущался запах, подобный запаху гексана, но гораздо более слабый (если так можно выразиться - "более легкий"). С точки зрения физиологического действия, не было практически никакого эффекта. Чувствовалось головокружение, слабость и частичная апатия, но все это можно с легкостью объяснить гипоксией. После опыта минут 15 при выдохе чувствовался запах смеси.

Следует напомнить, что проводить подобные опыты настоятельно не рекомендуется. Если же вы все-таки решитесь, абсолютно необходимо, чтобы поблизости находились люди, способные оказать неотложную помощь. Если пренебречь этим правилом, вы можете потерять сознание и умереть от удушья.

Смотреть Видео (48 Мб, .avi) **Смотреть Видео 2** (19 Мб, .avi)
Смотреть Видео 3 (16 Мб, .avi) **Смотреть Видео 4** (7 Мб, .avi)



Огненное дыхание















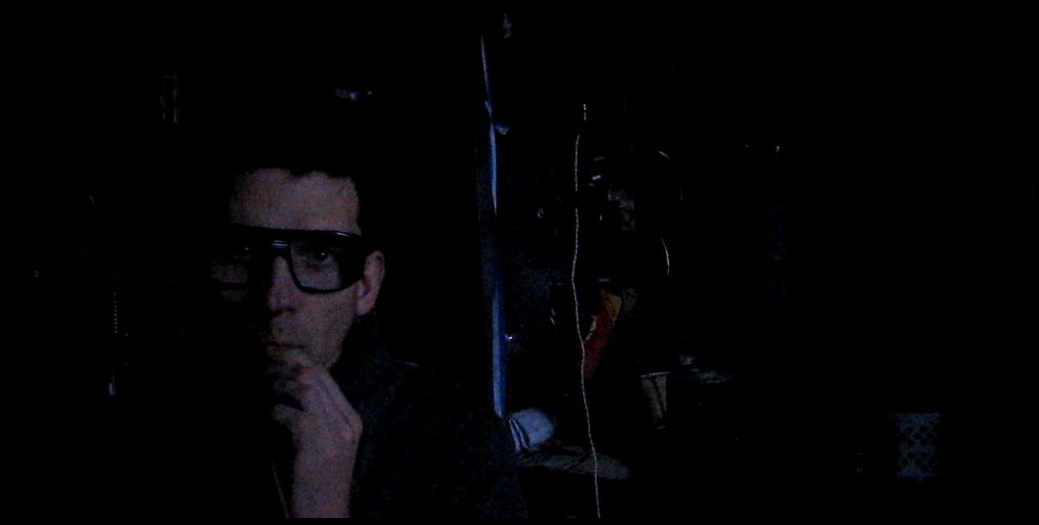




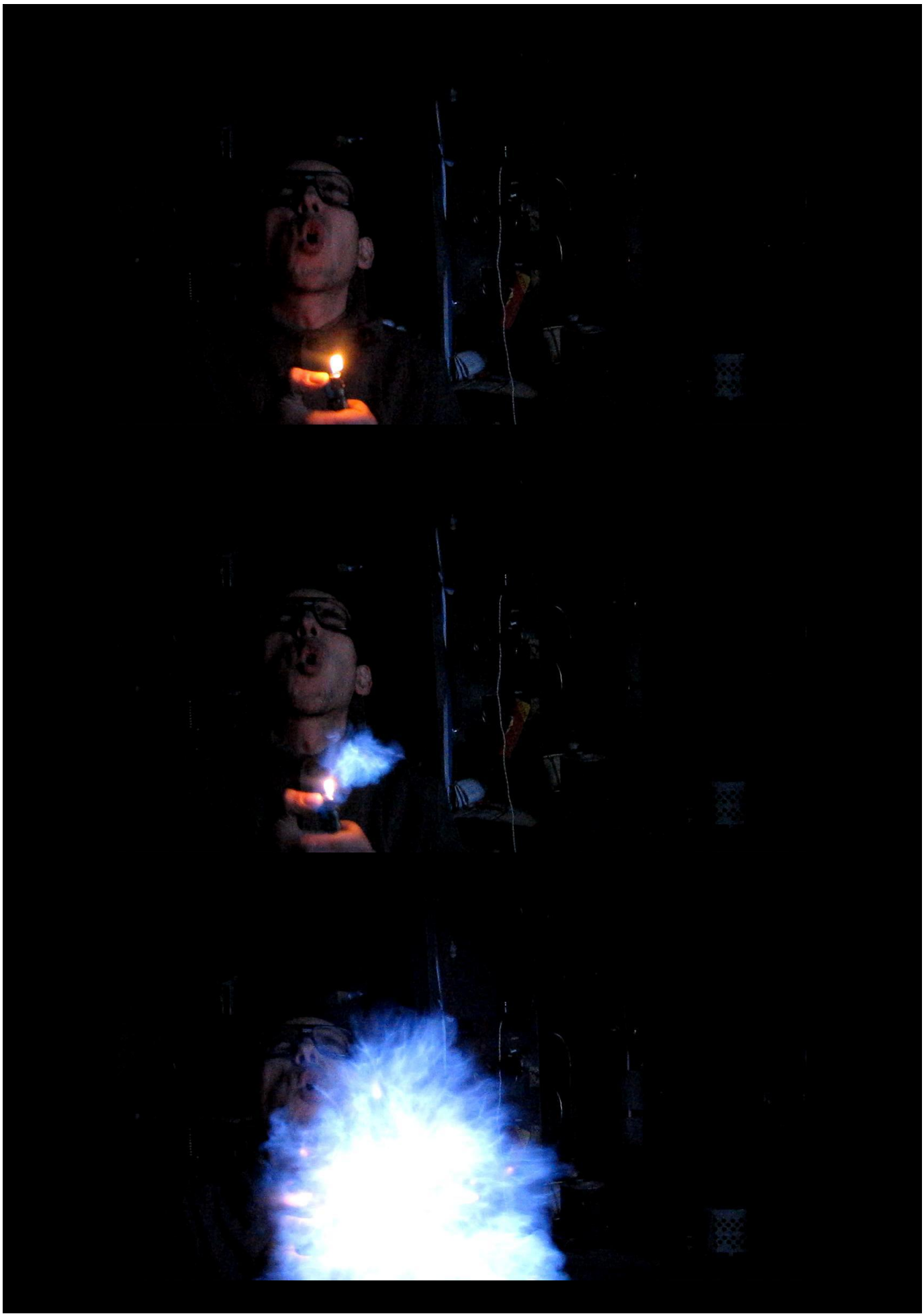




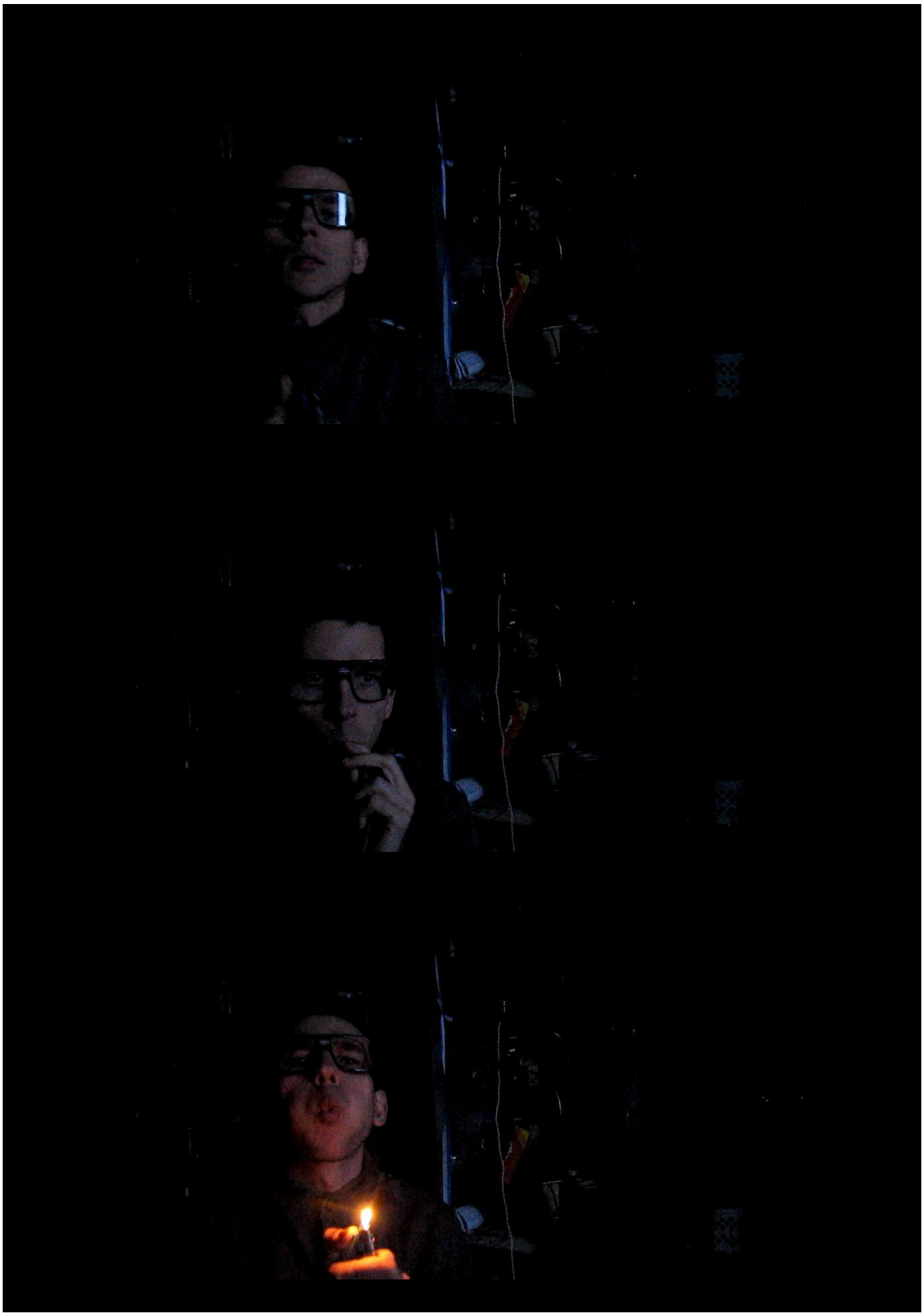


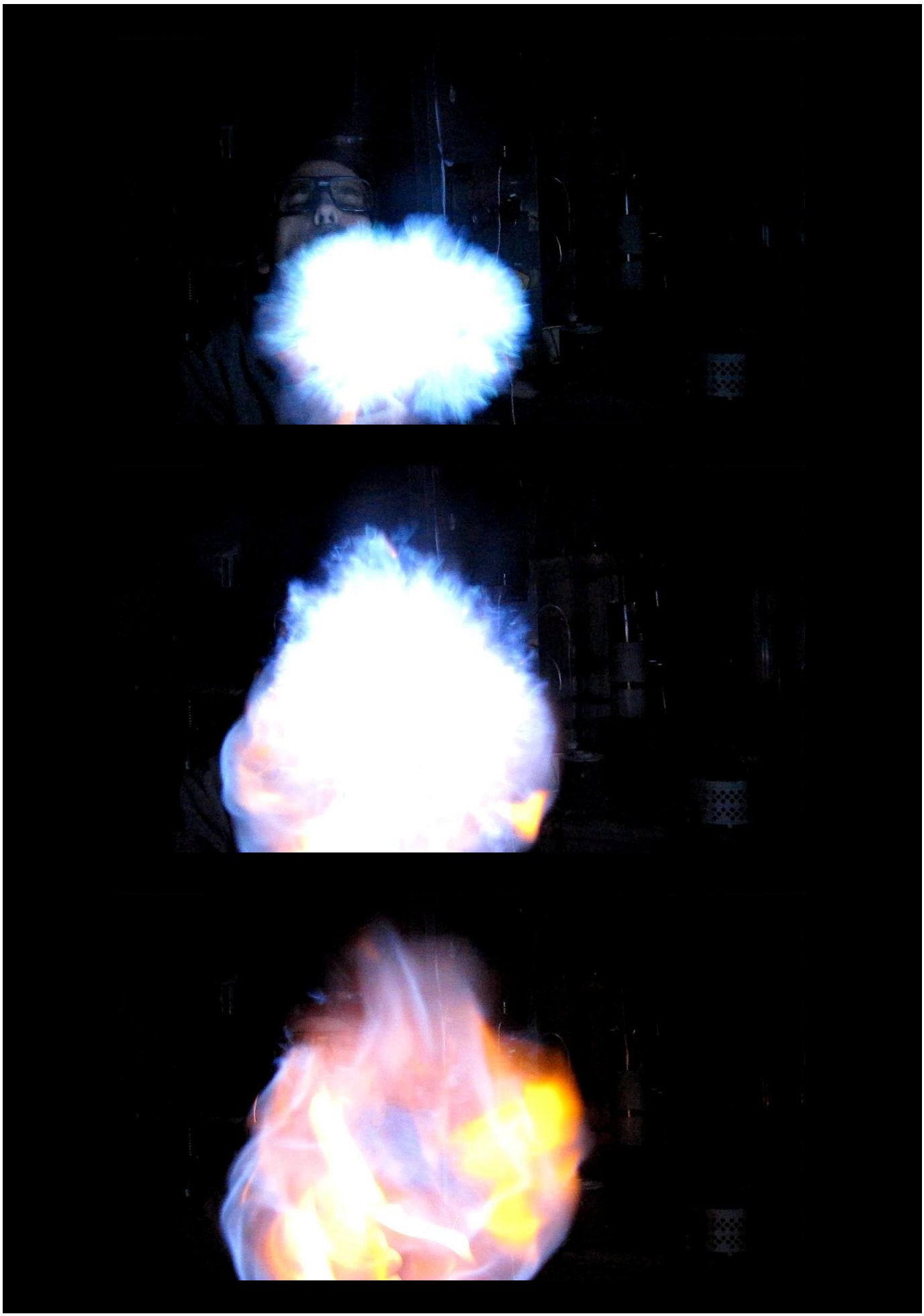


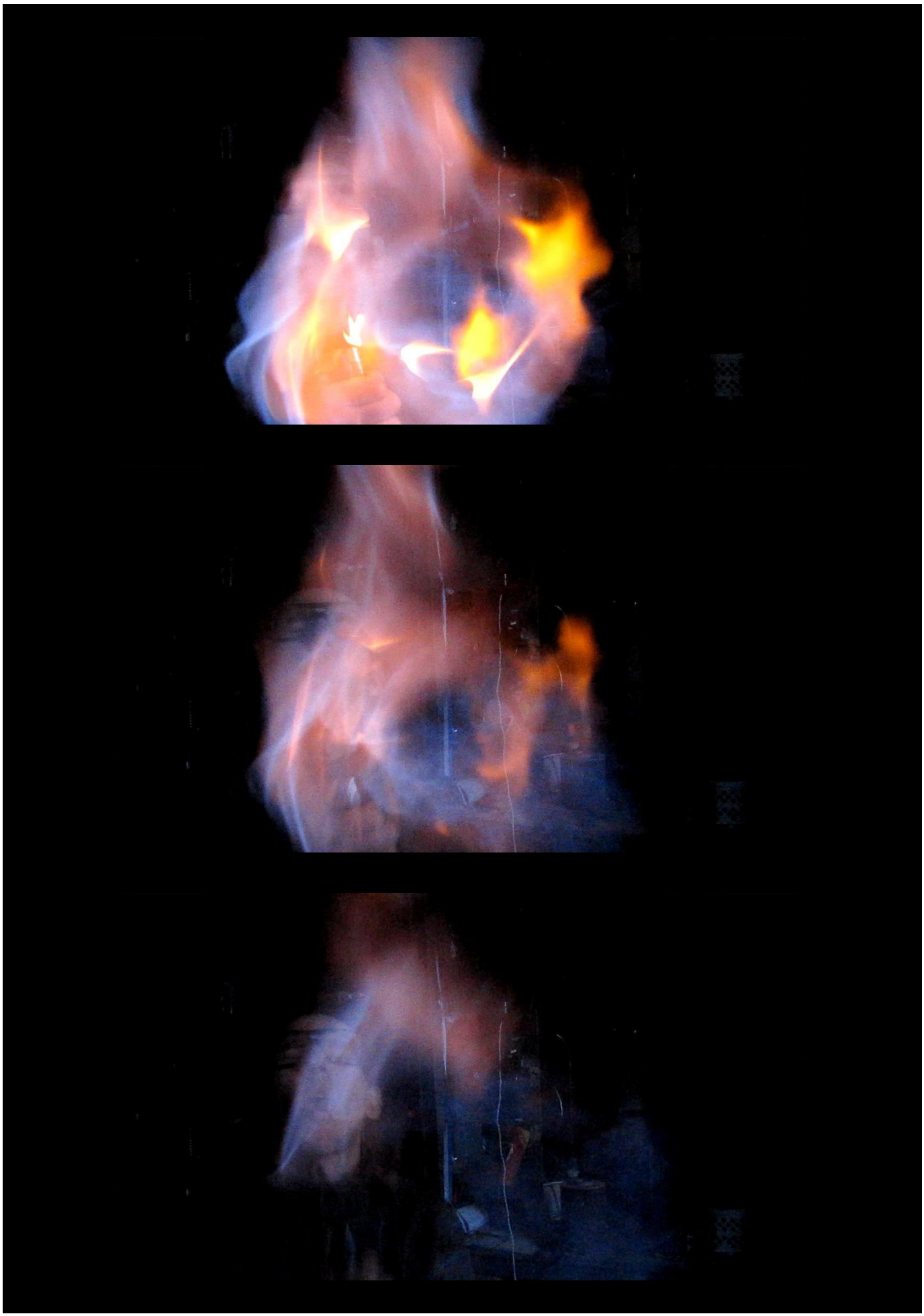




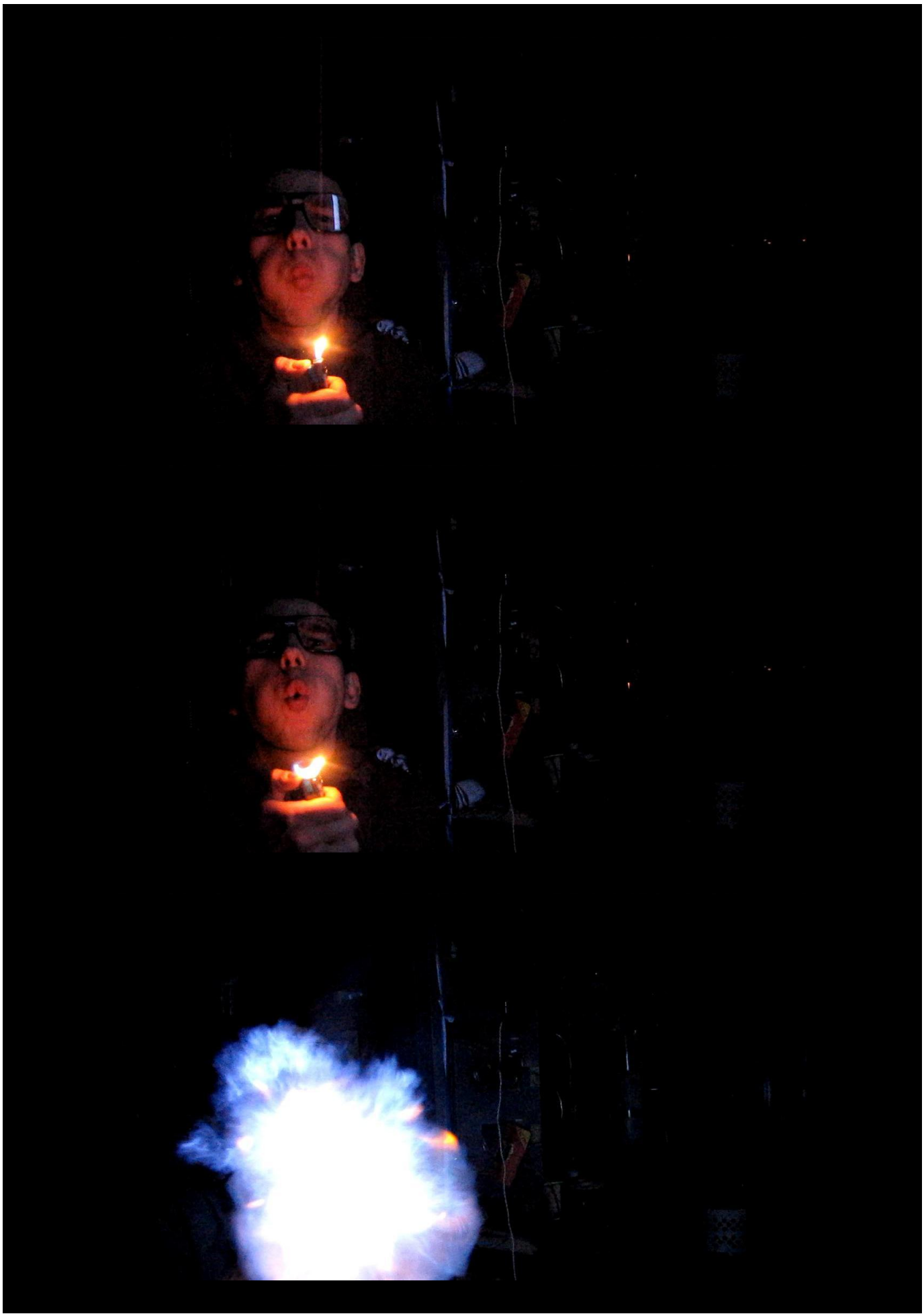


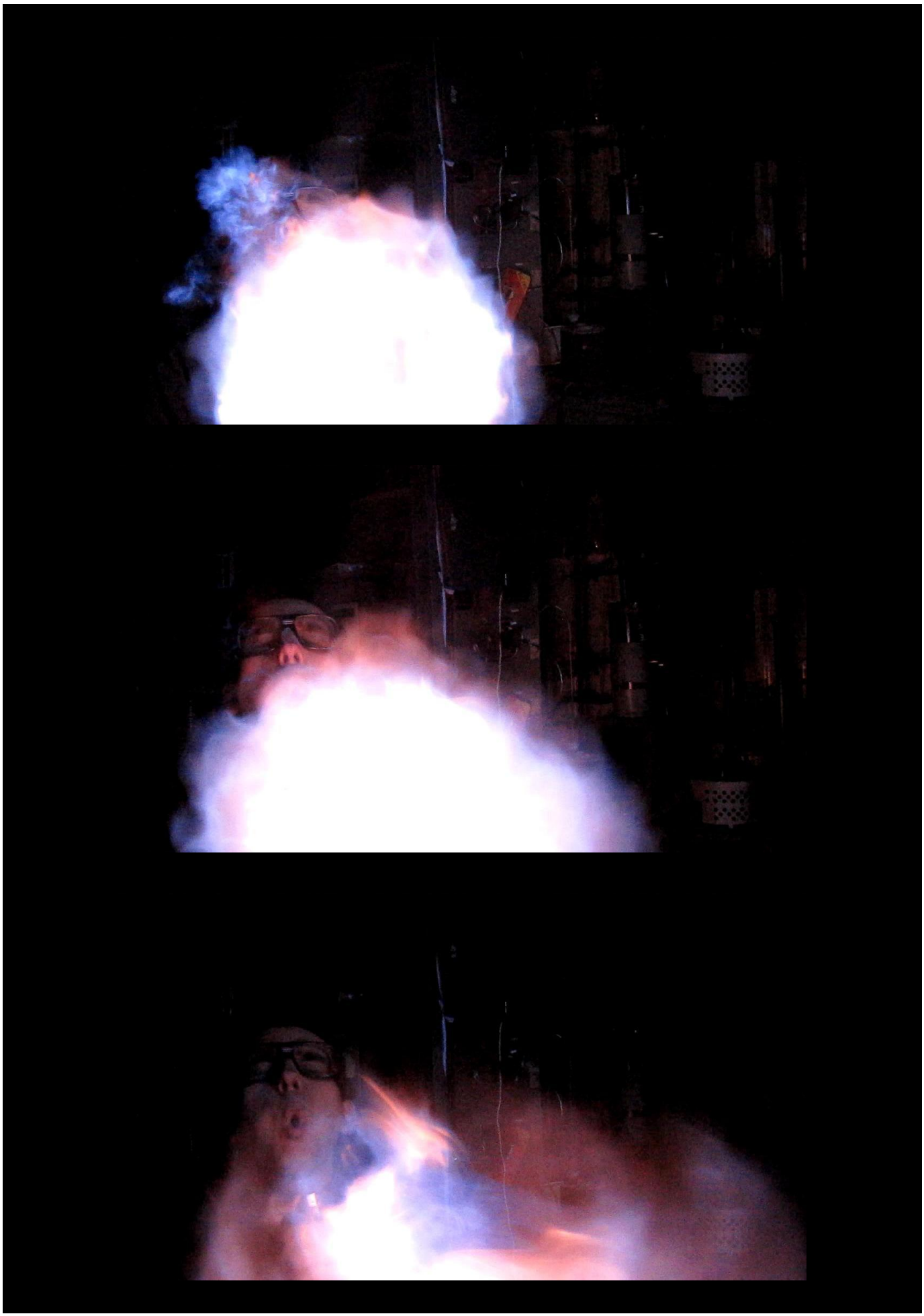




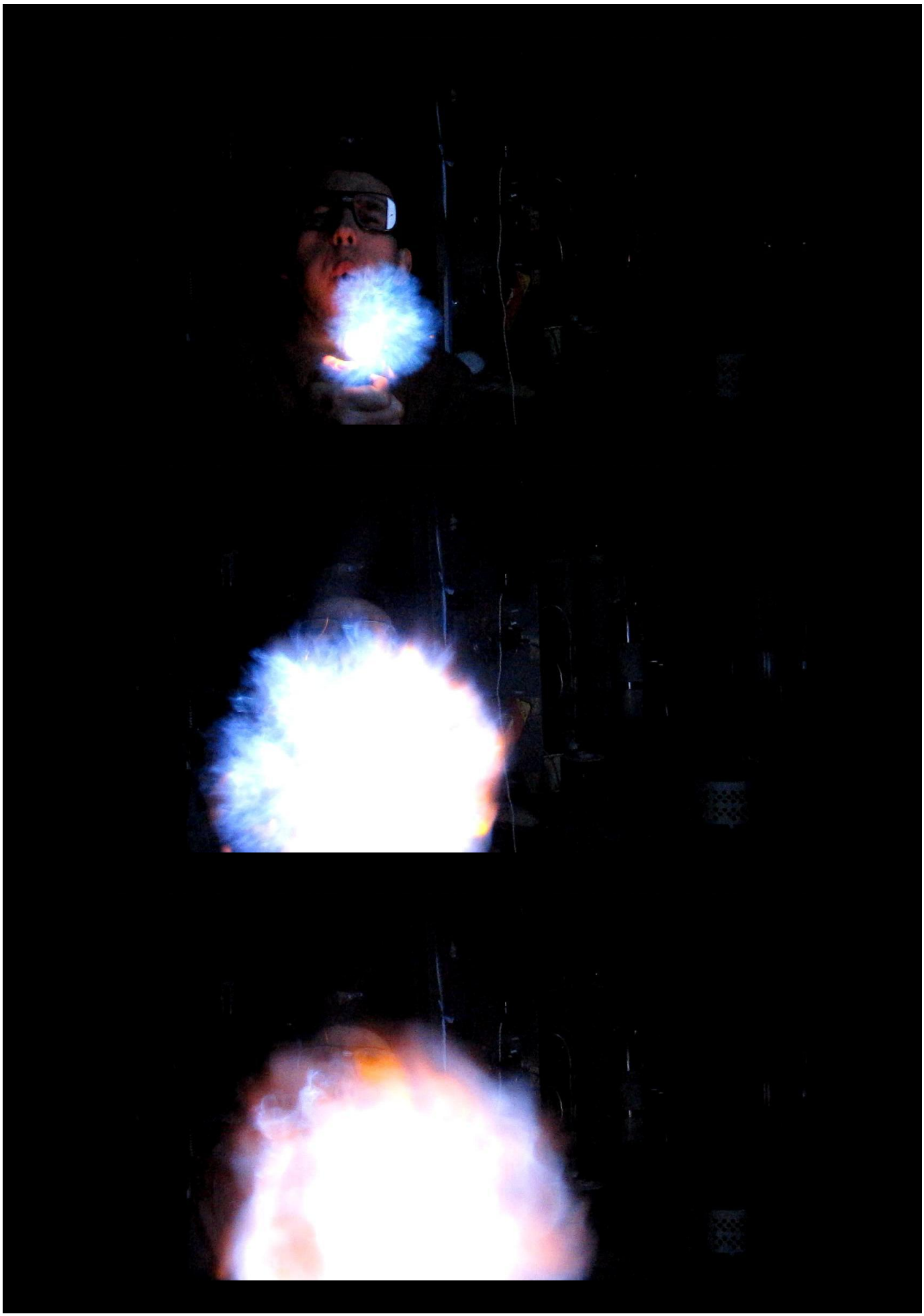


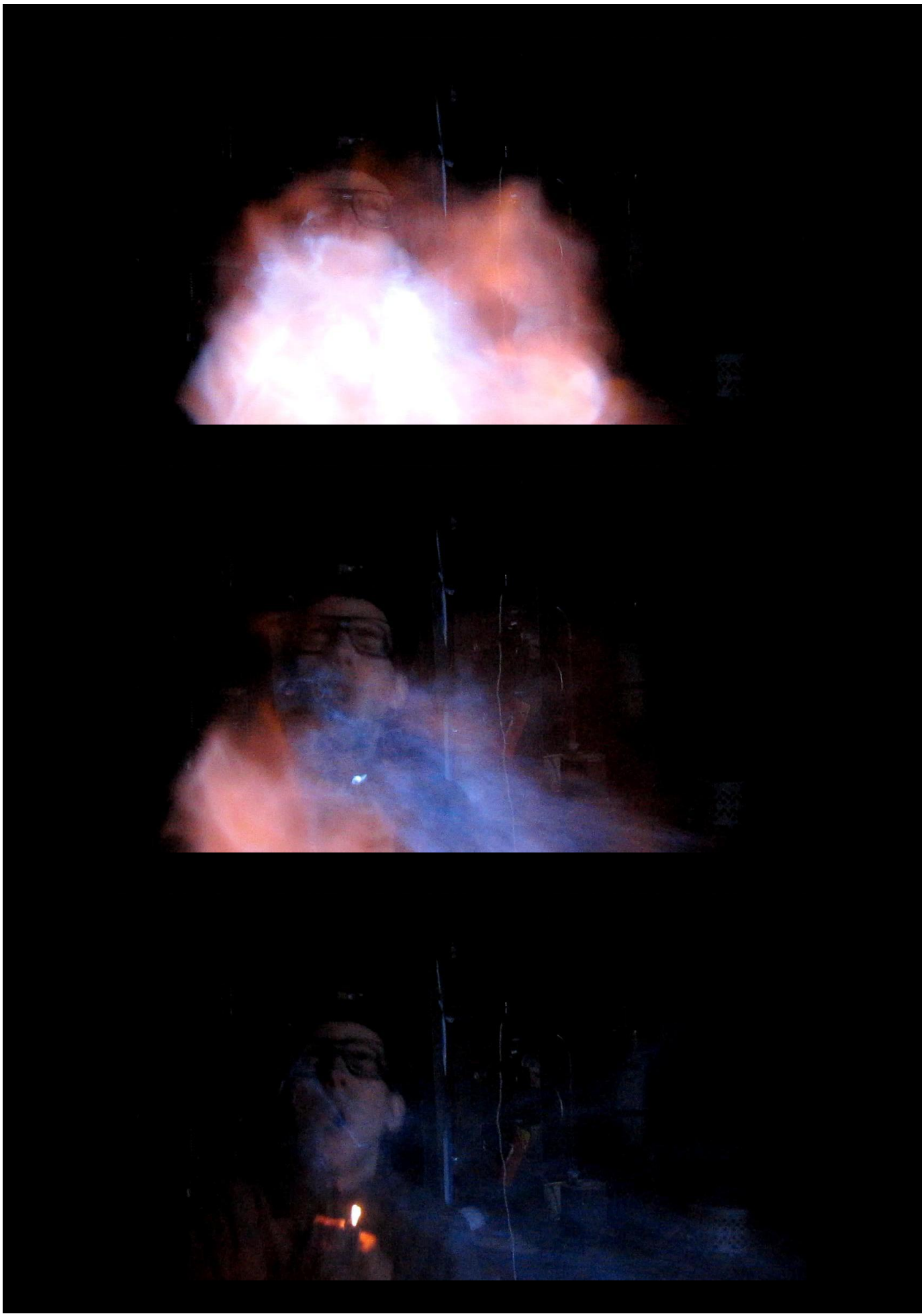




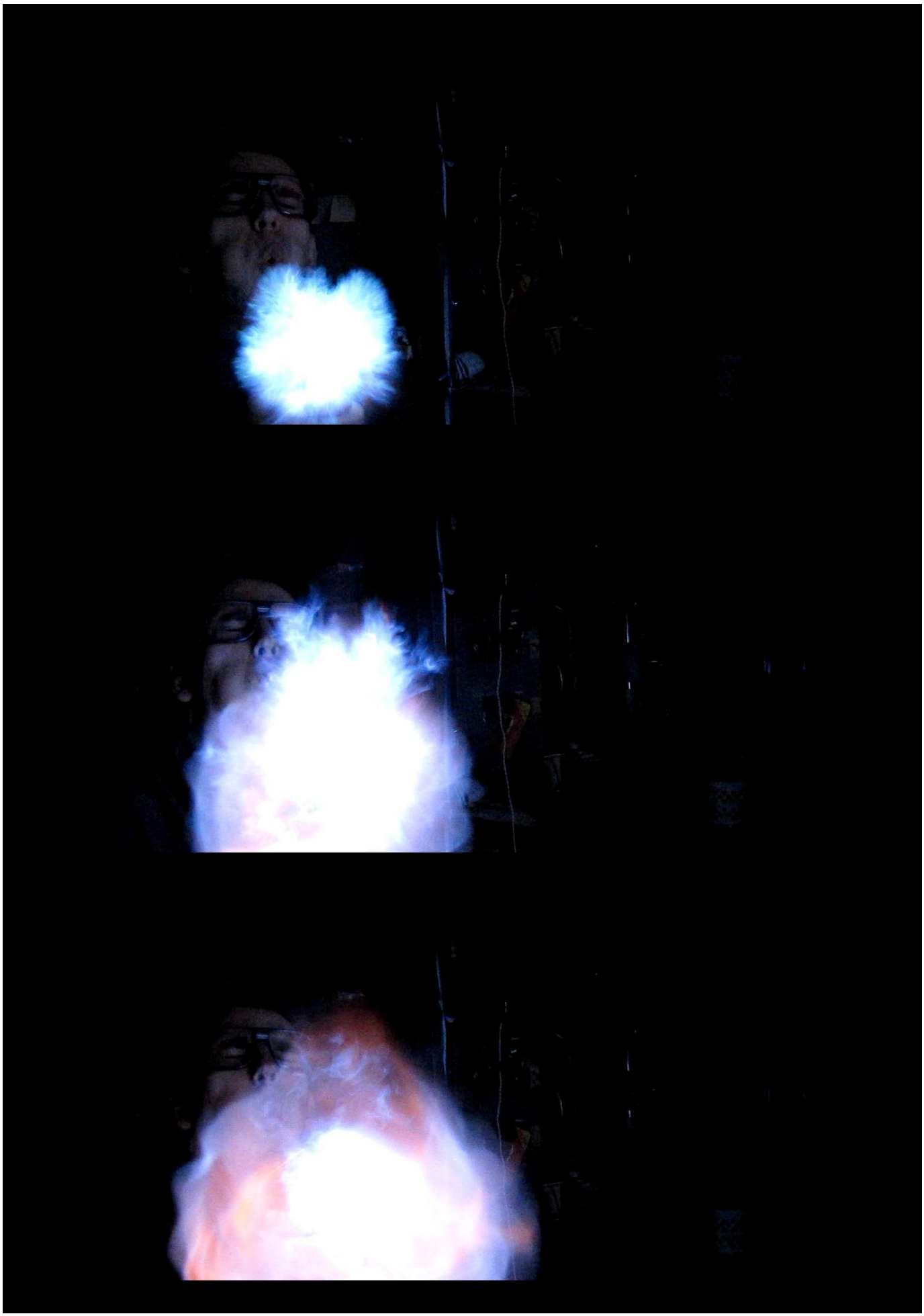


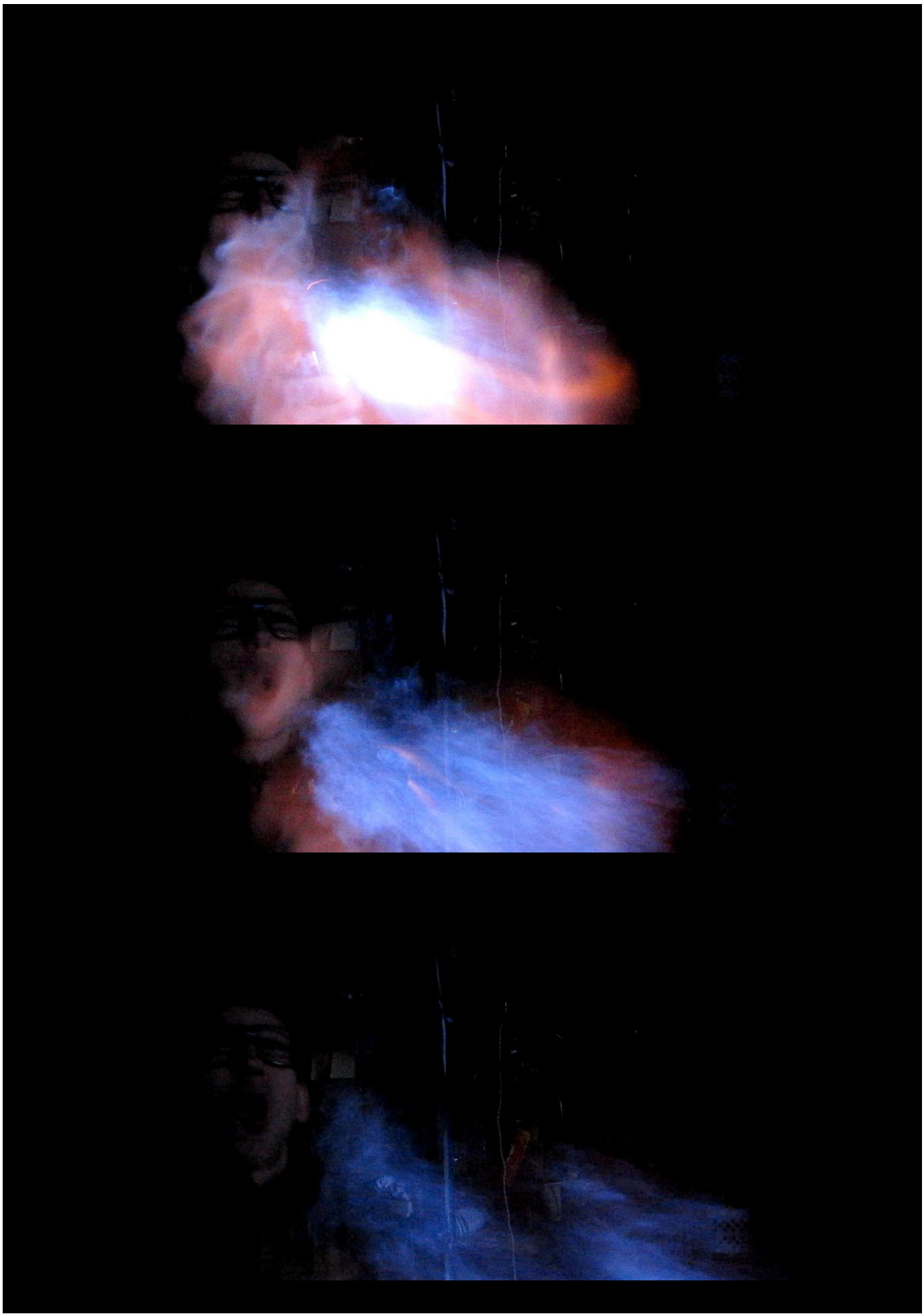


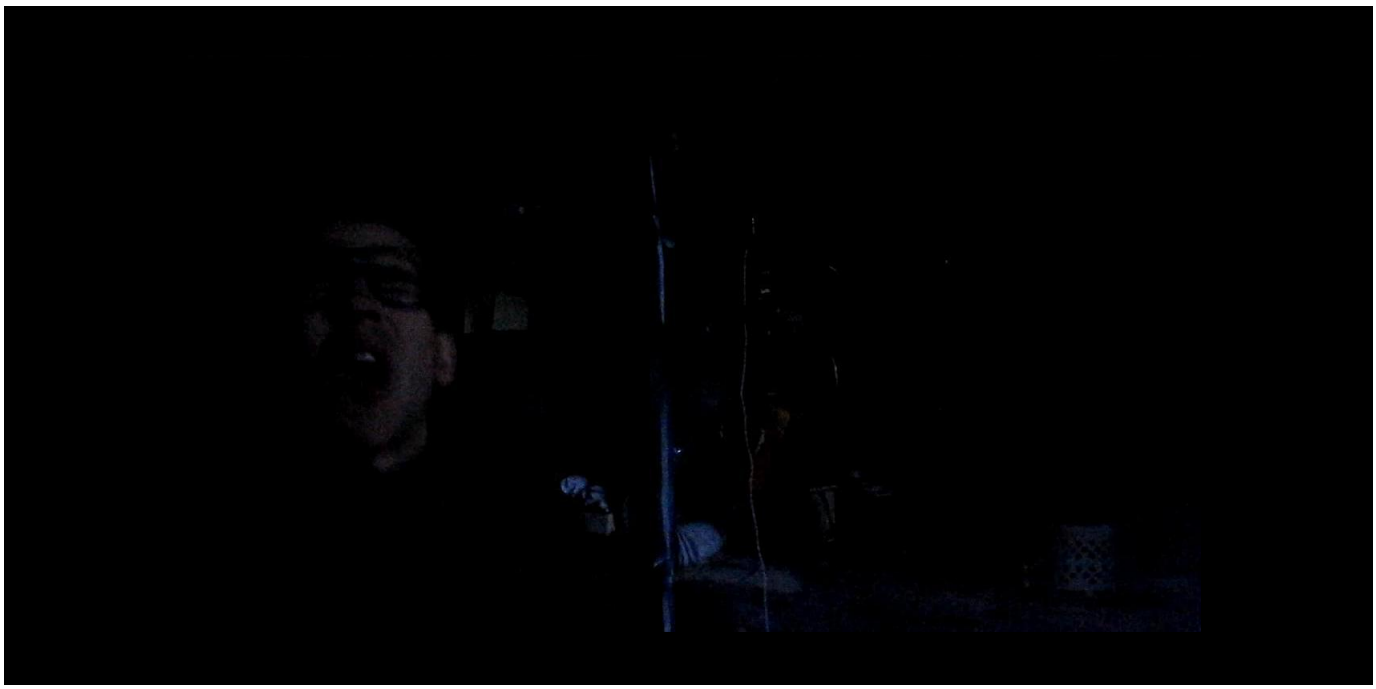












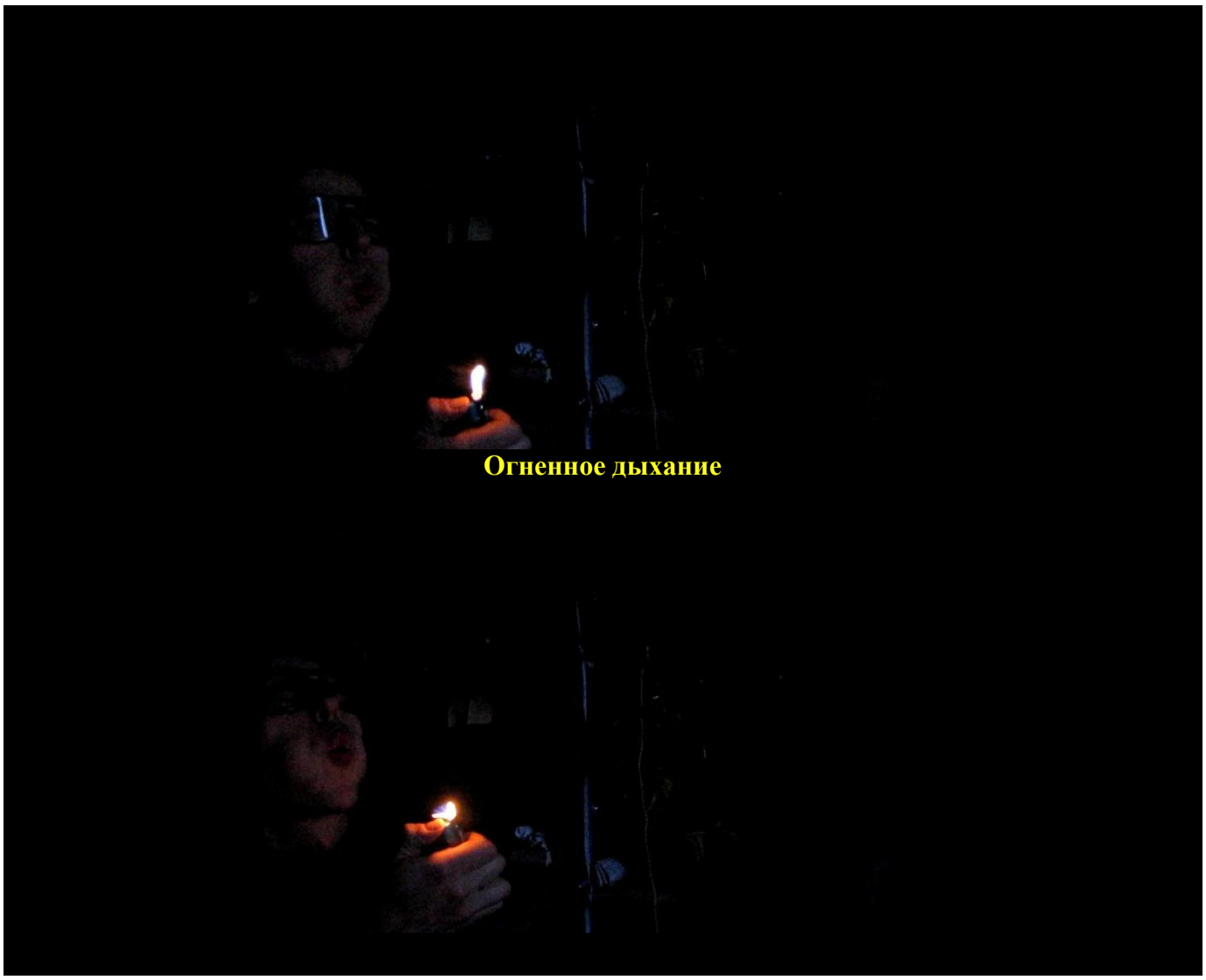
Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.4

В.Н. Витер

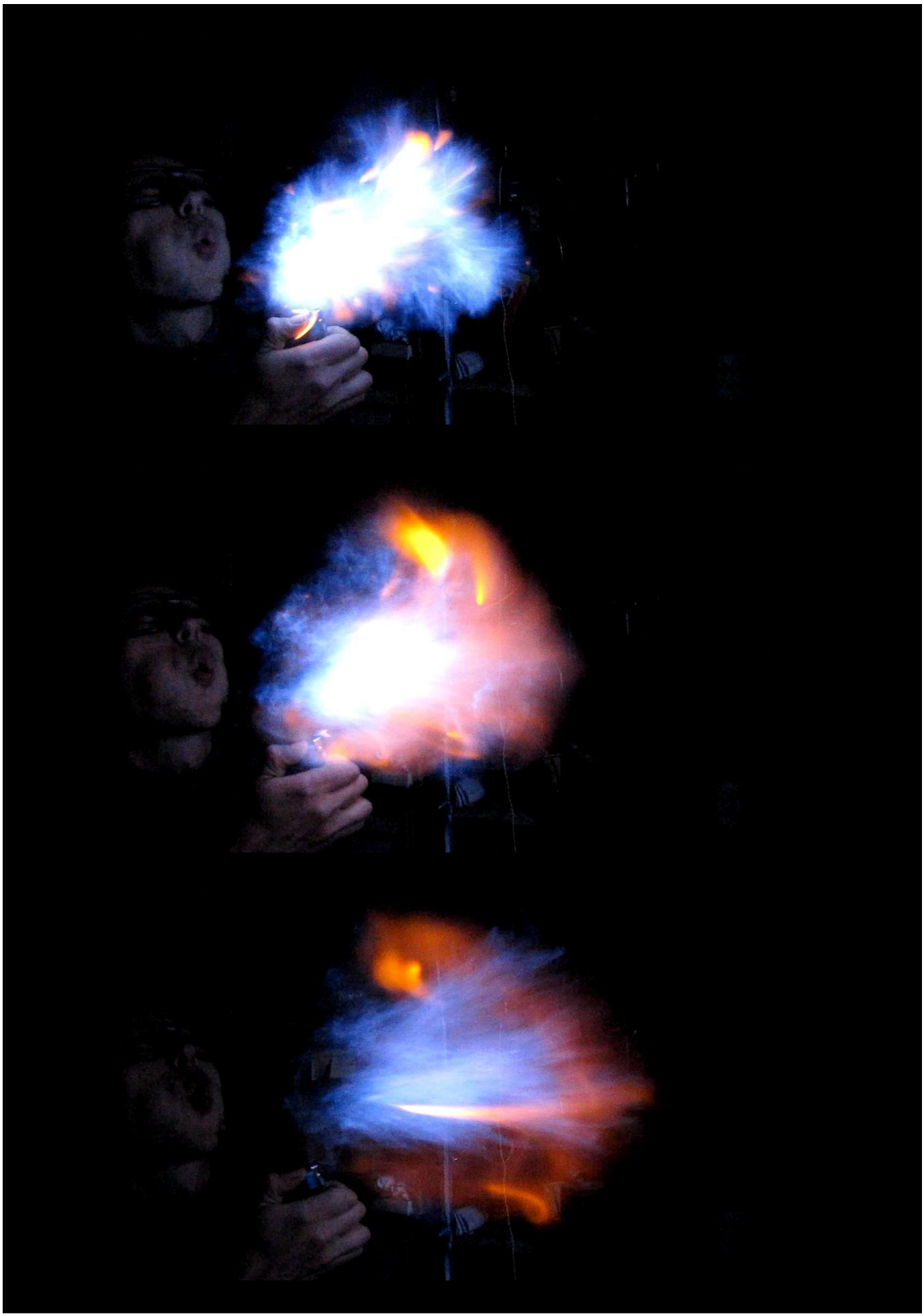
Огненное дыхание

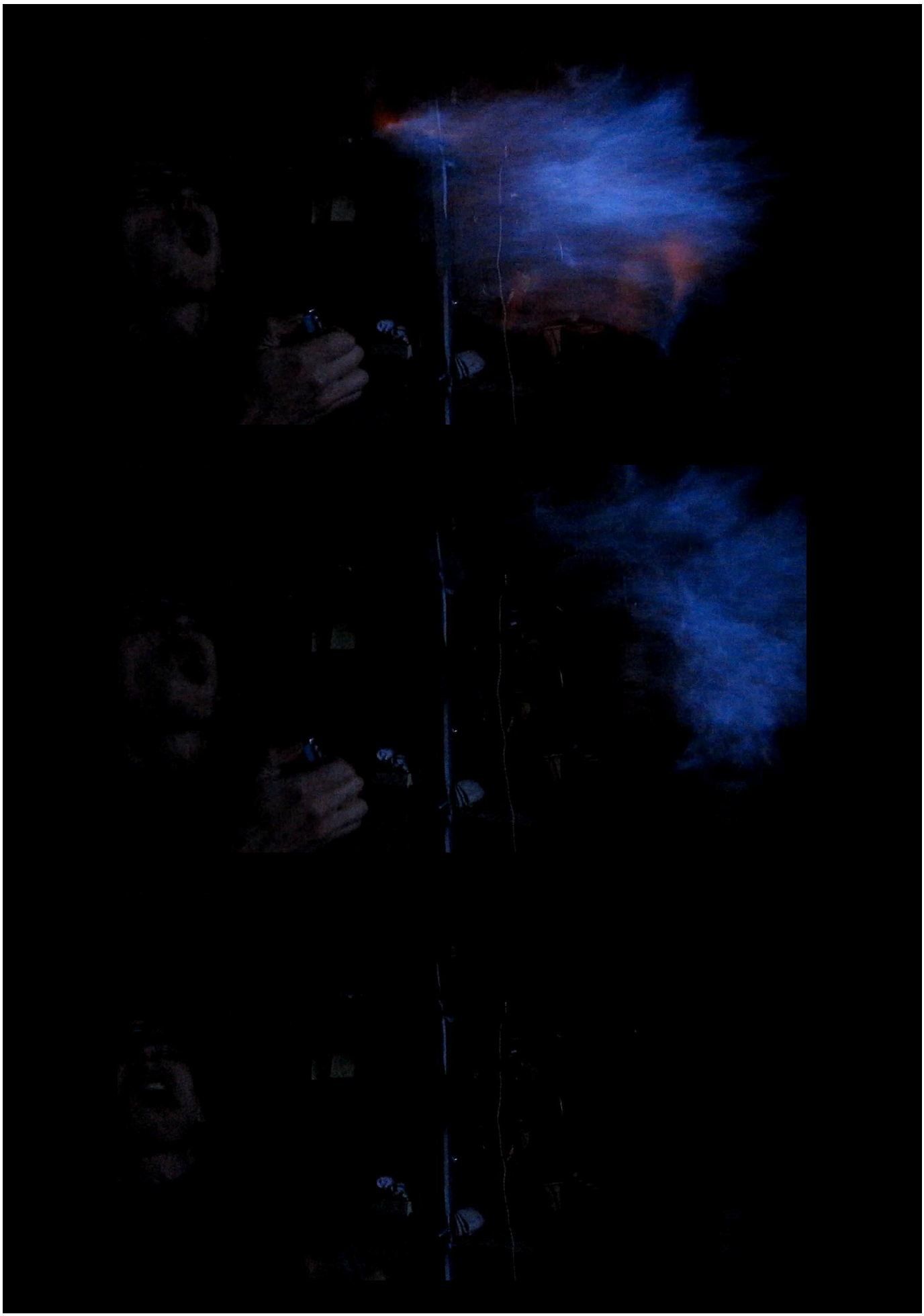
Облака пламени, которые образуются при вспышках выдыхаемой пропан-бутановой смеси, напоминают по нашему мнению планетарные туманности - газовые оболочки, сброшенные массивными звездами на завершающей стадии эволюции.

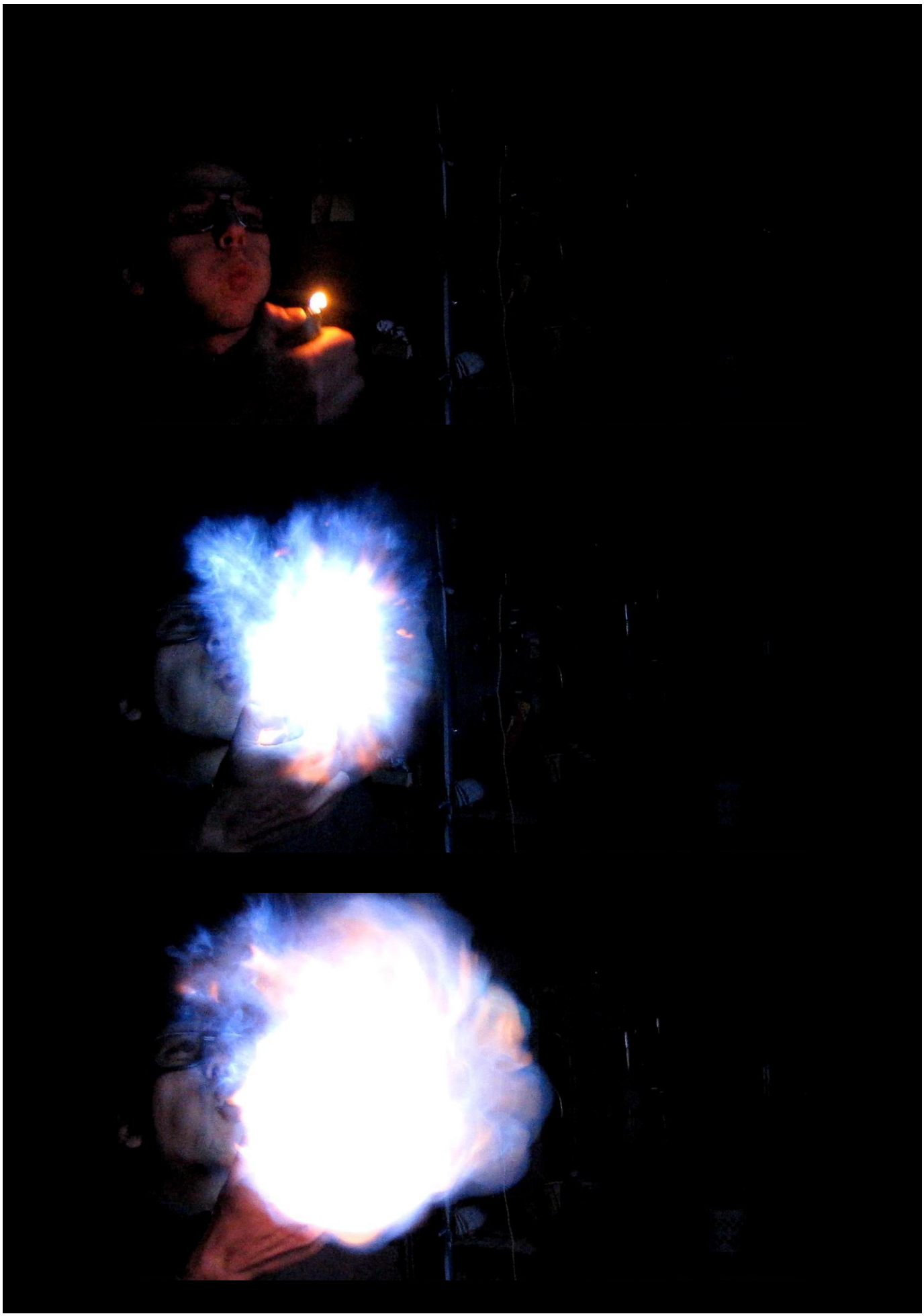
Фактически планетарная туманность - ионизированный газ, который расширяется в пустоту, этим они отличаются от раскаленных газов, что образуются при горении, однако по космическим меркам планетарные туманности - такие же "короткие вспышки" (длительностью всего десятки тысяч лет), как по нашим меркам моментальная вспышка газа.

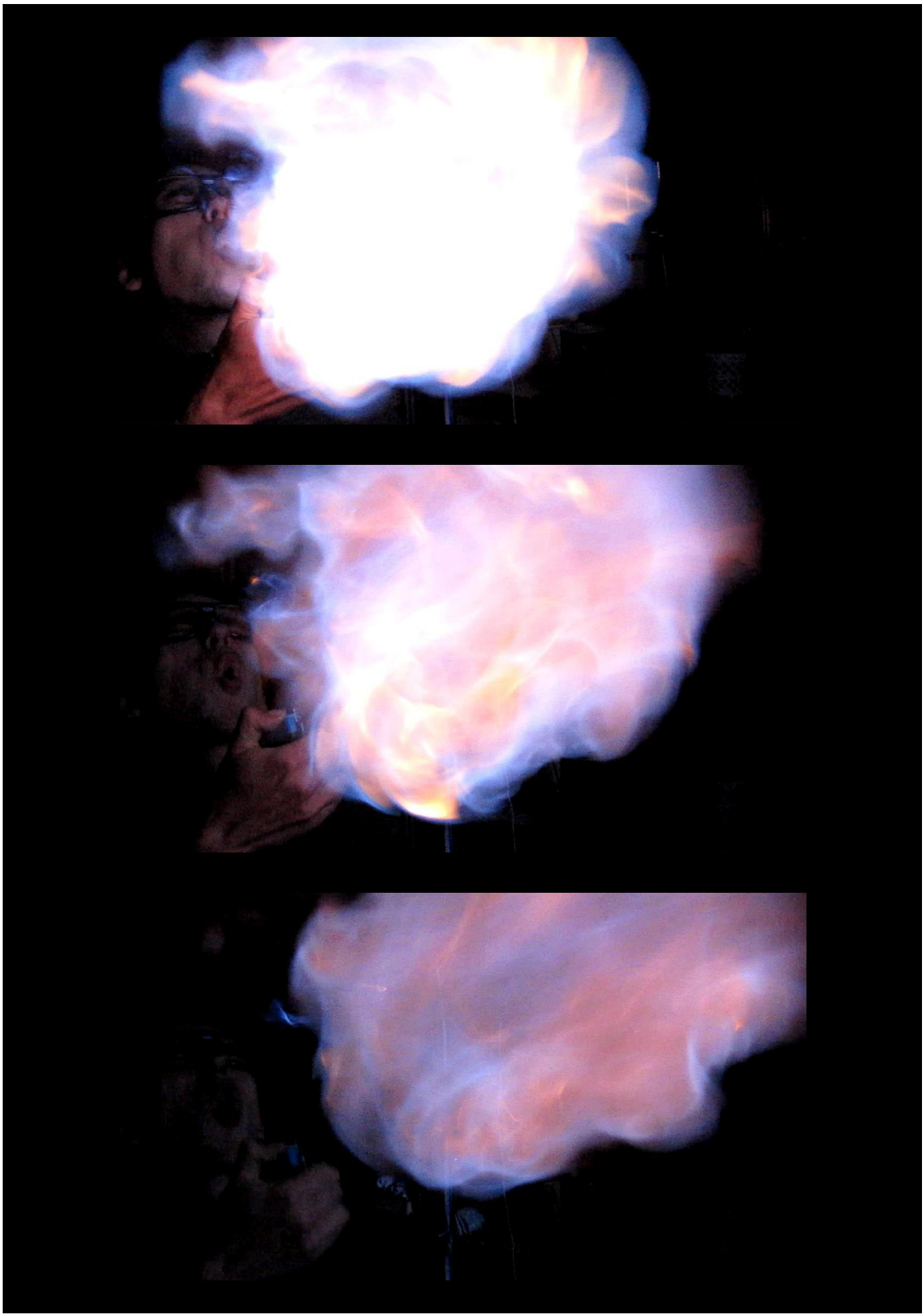


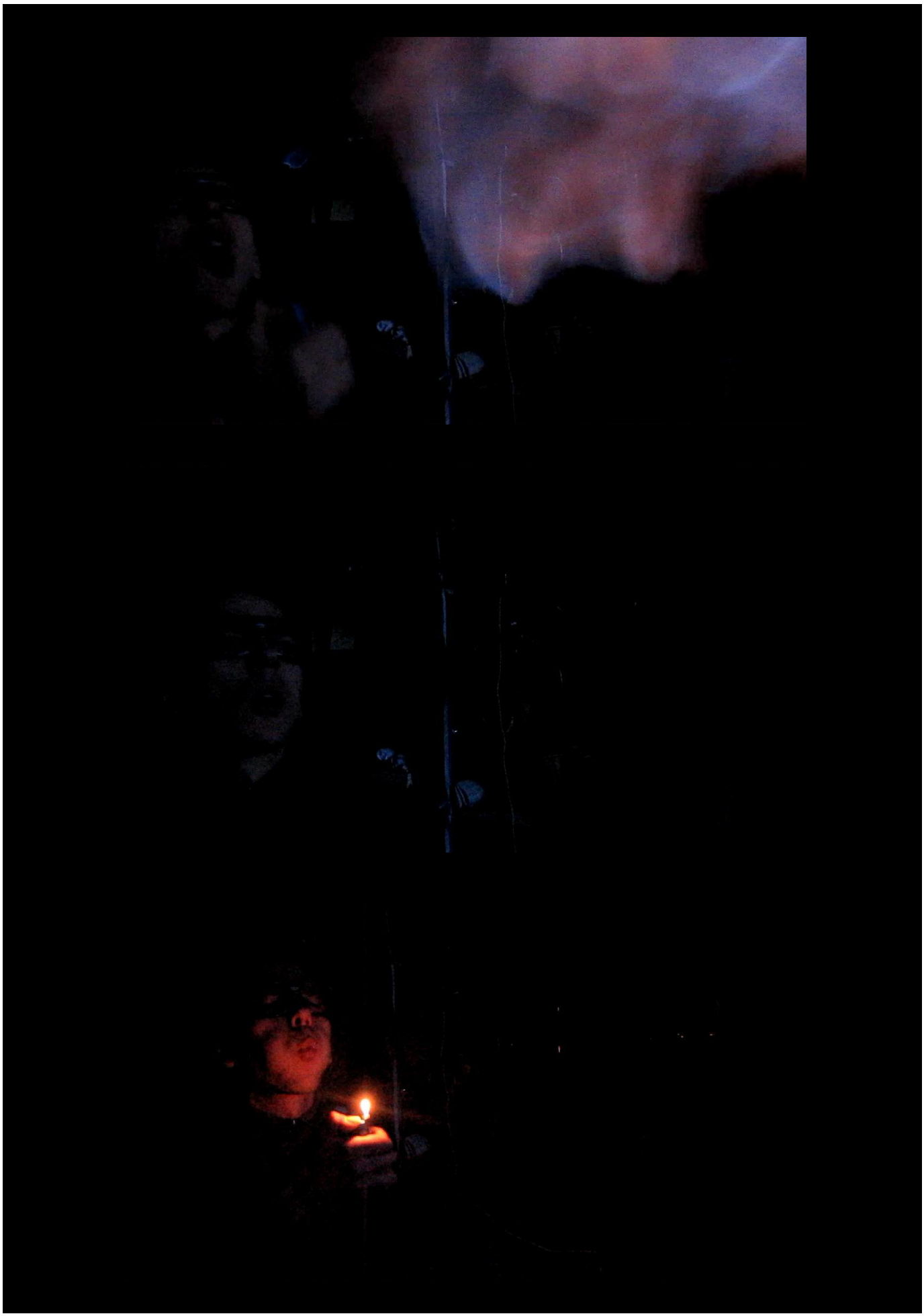
Огненное дыхание

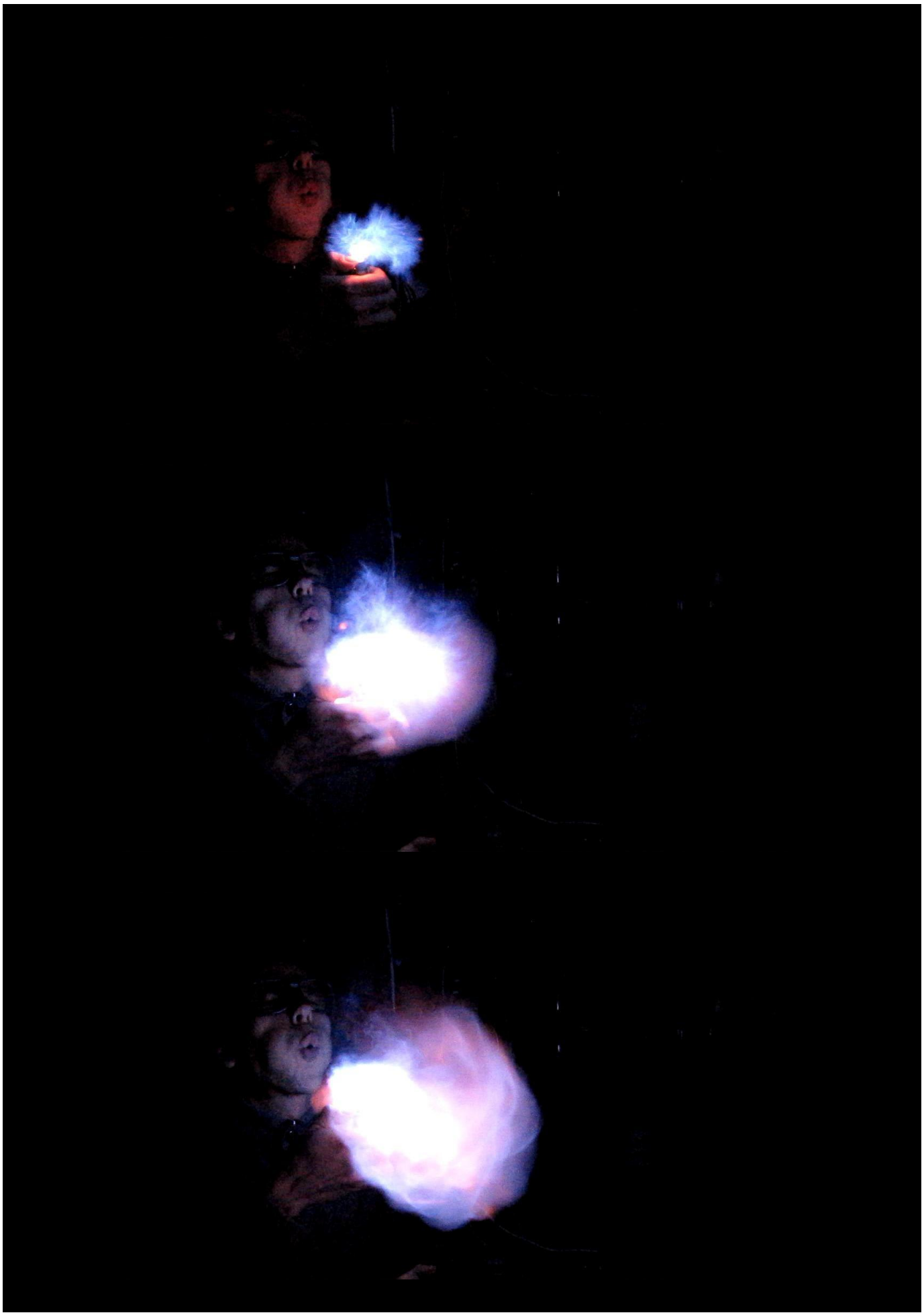


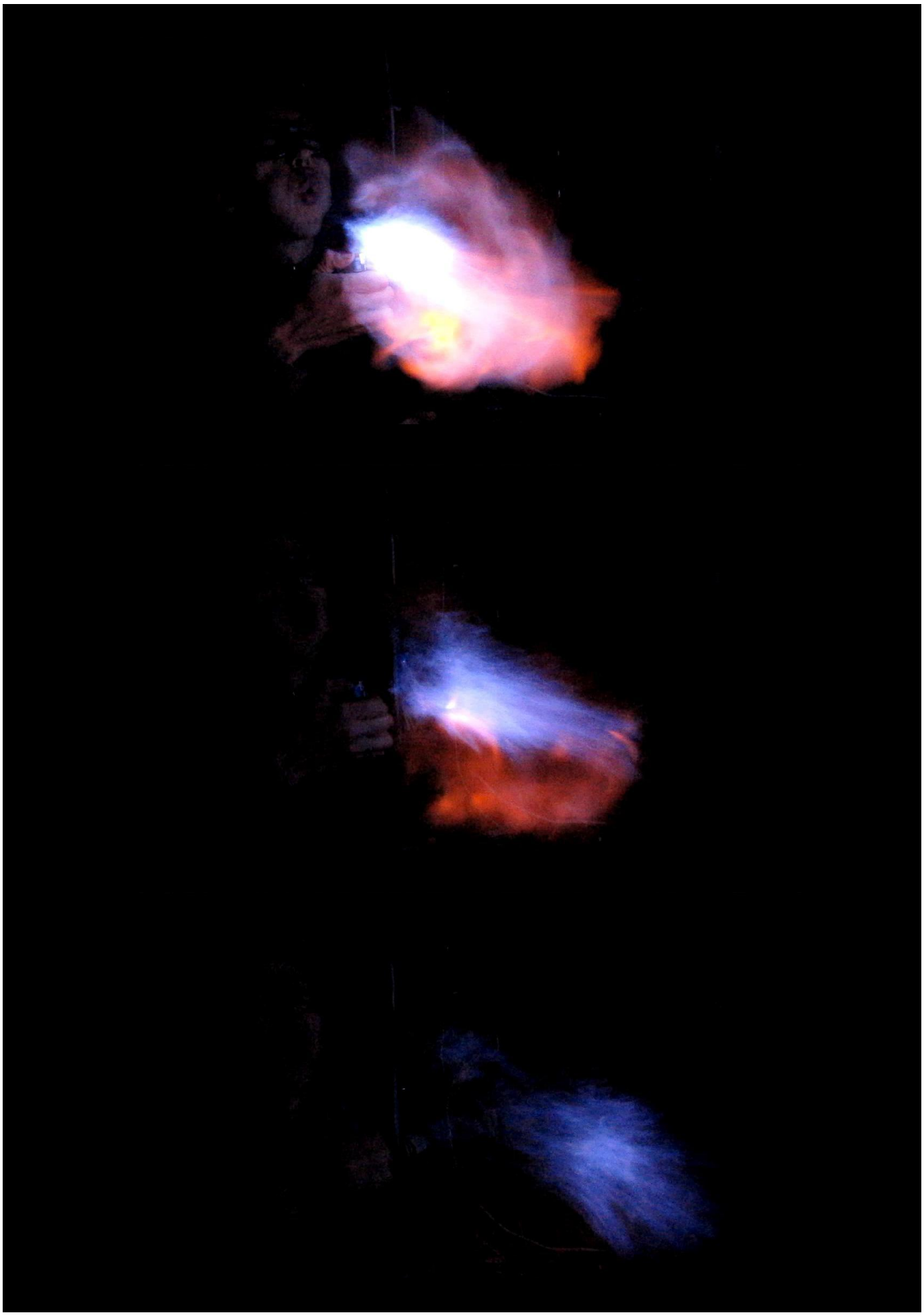


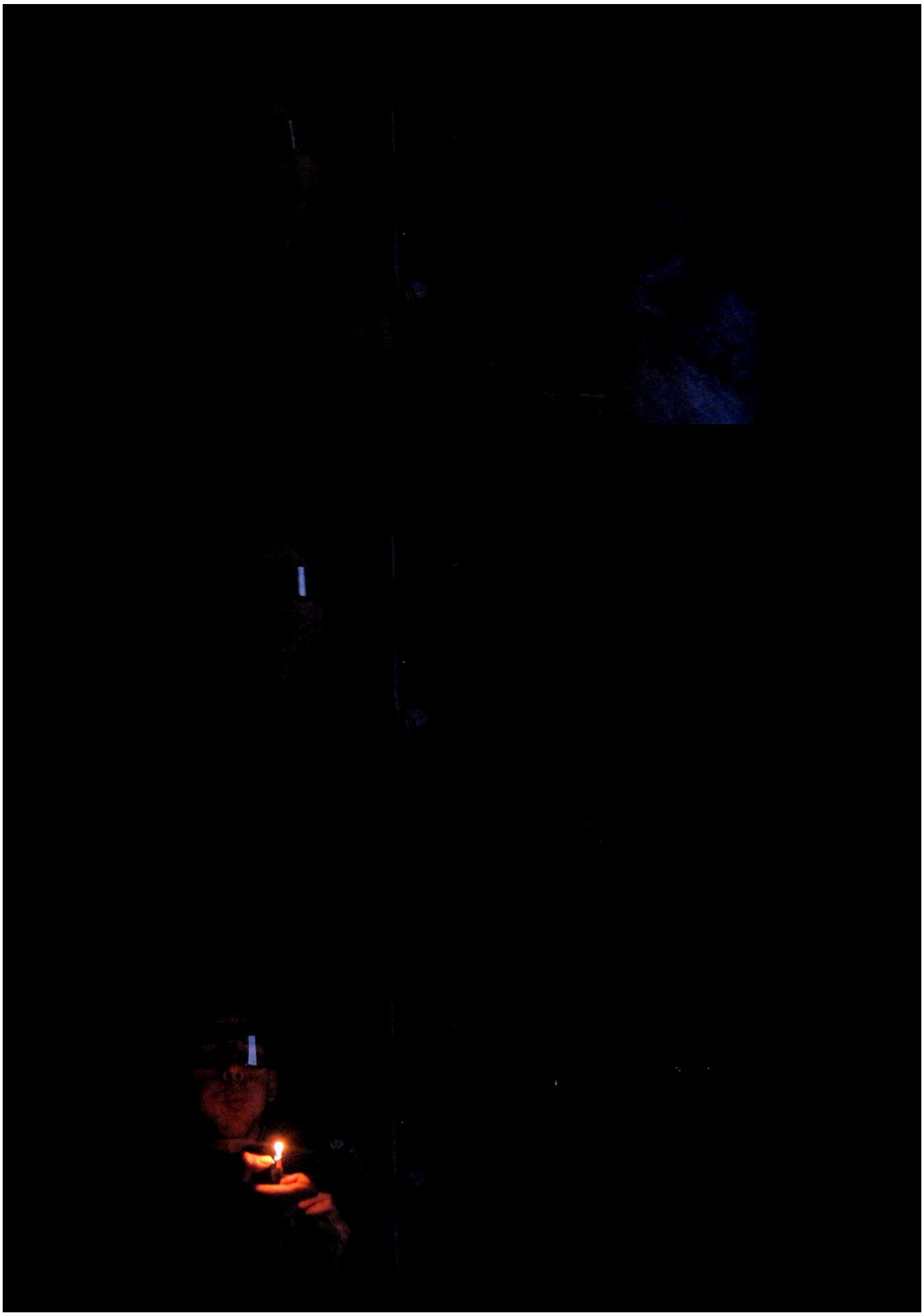


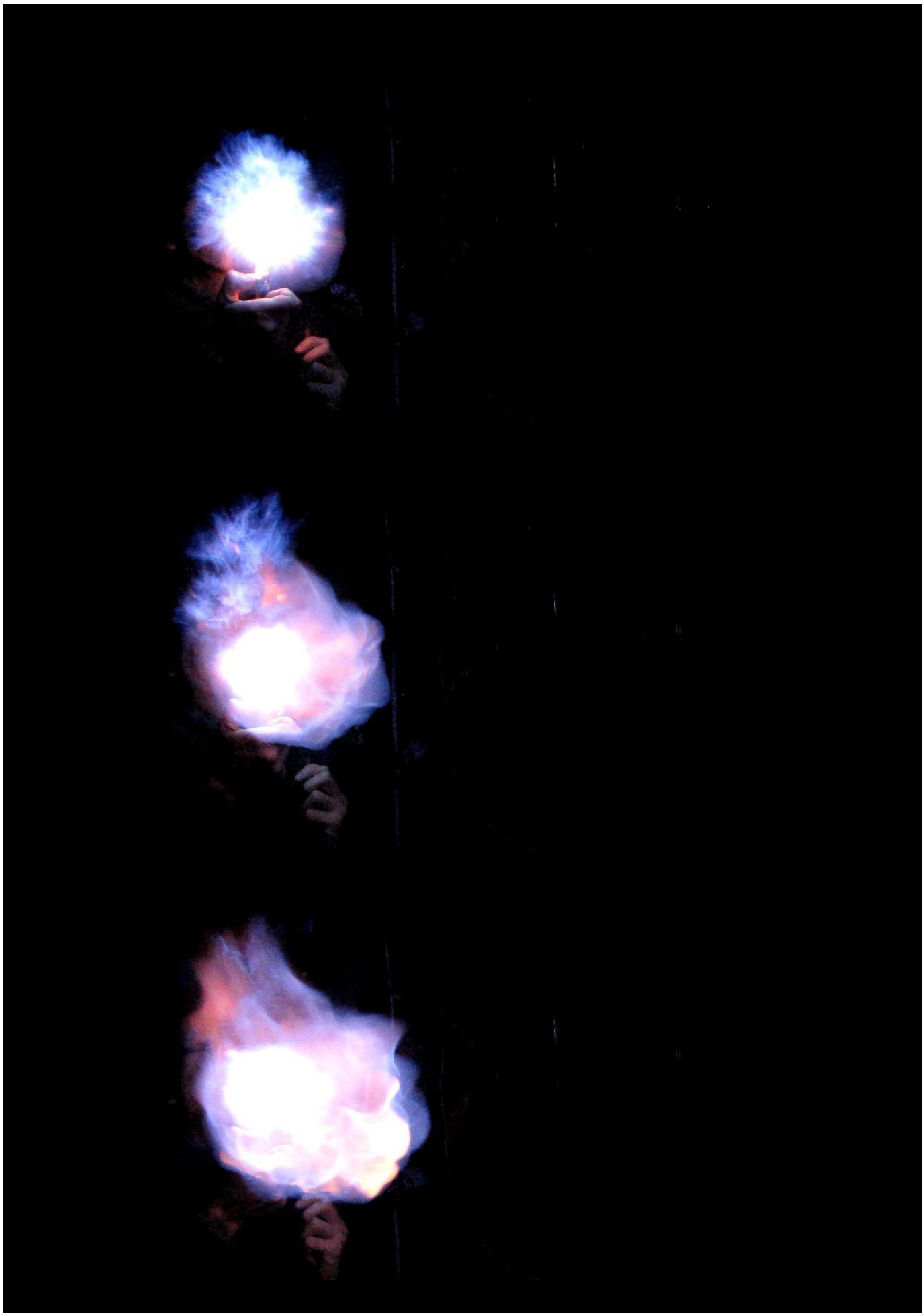


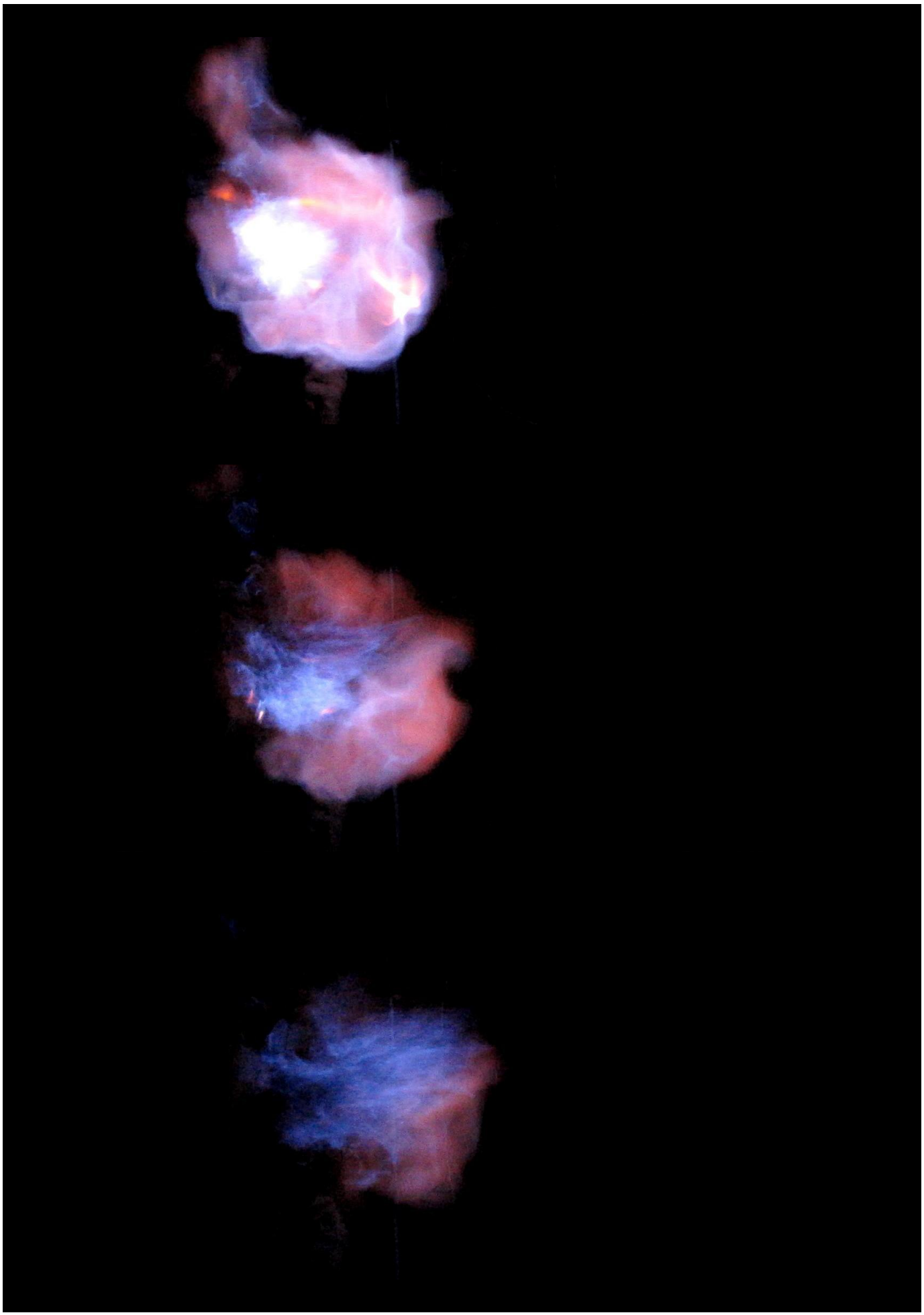


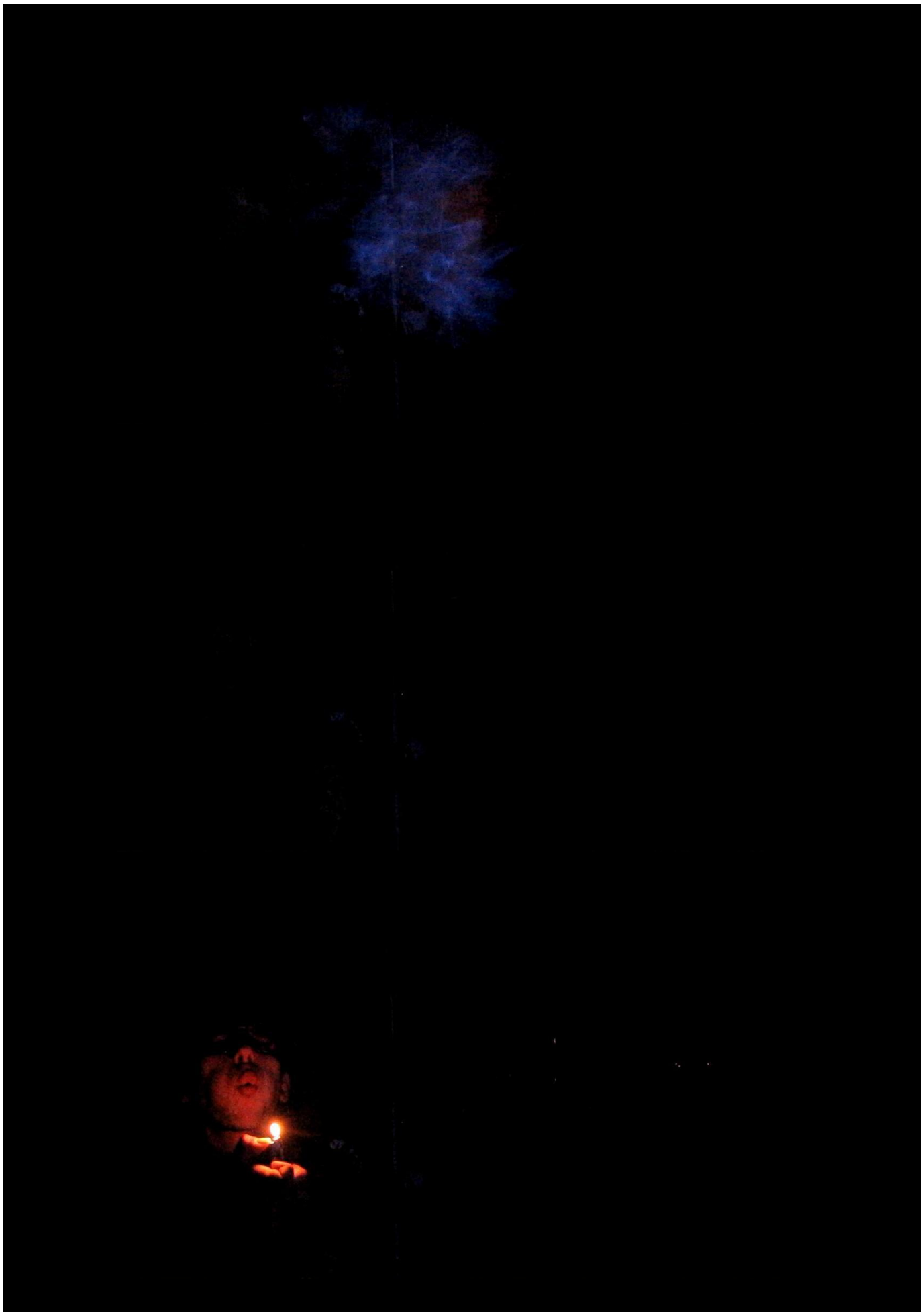


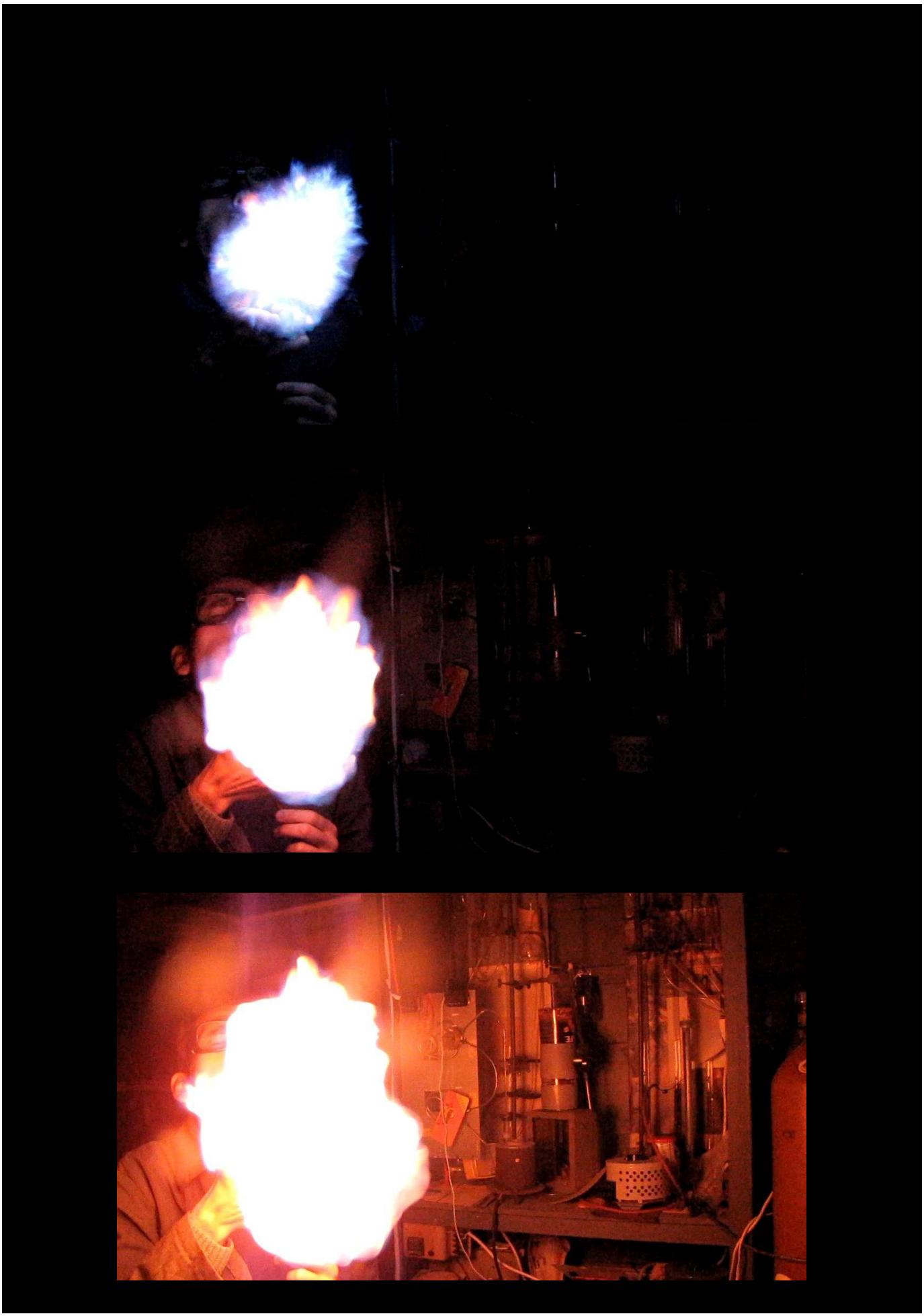


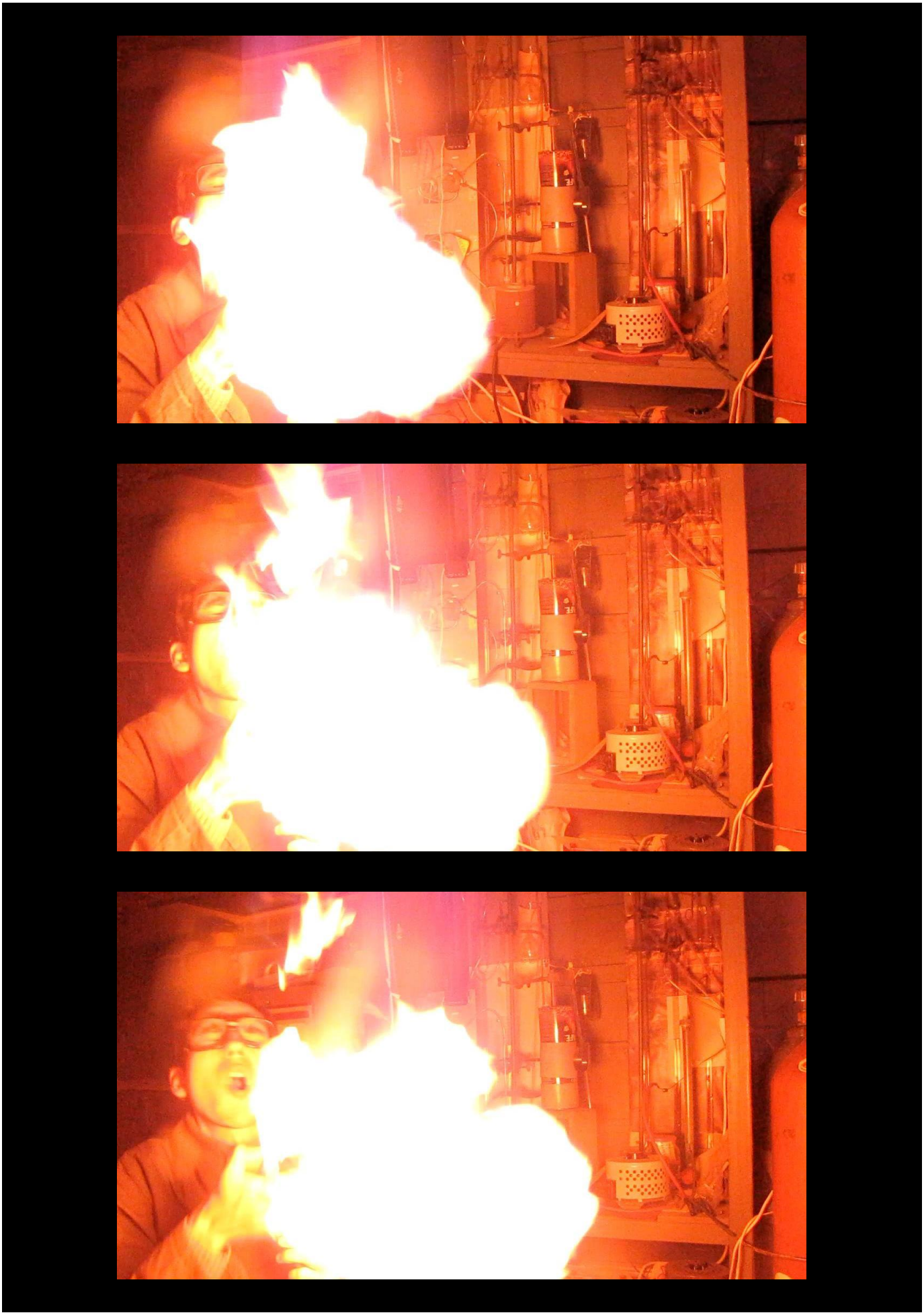
















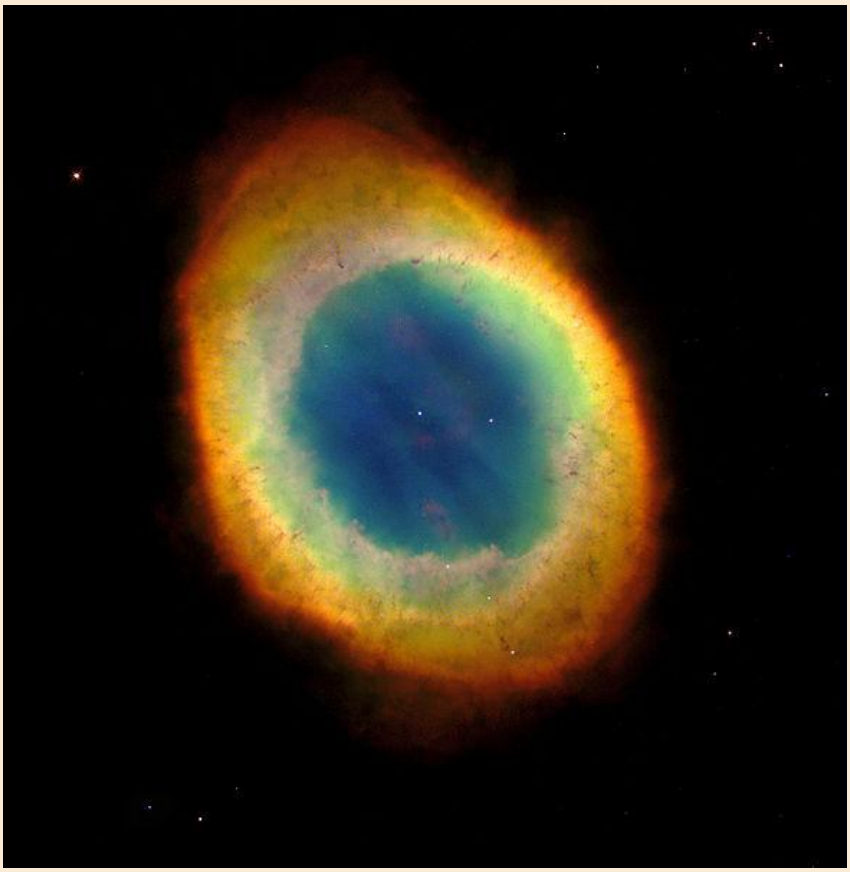
Туманность NGC 6326



Туманность Улитка



Туманность Кошачий глаз



Туманность Кольцо

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.5

В.Н. Витер

Свеча и пустое ведро

Что будет, если содержимое пустого ведра вылить на пламя свечи? Ответ, казалось бы, очевиден: ничего интересного. Но как сказал Шарль Адольф Вюрц, **в химии возможно все**. Поэтому проведем эксперимент.



Свеча и пустое ведро







































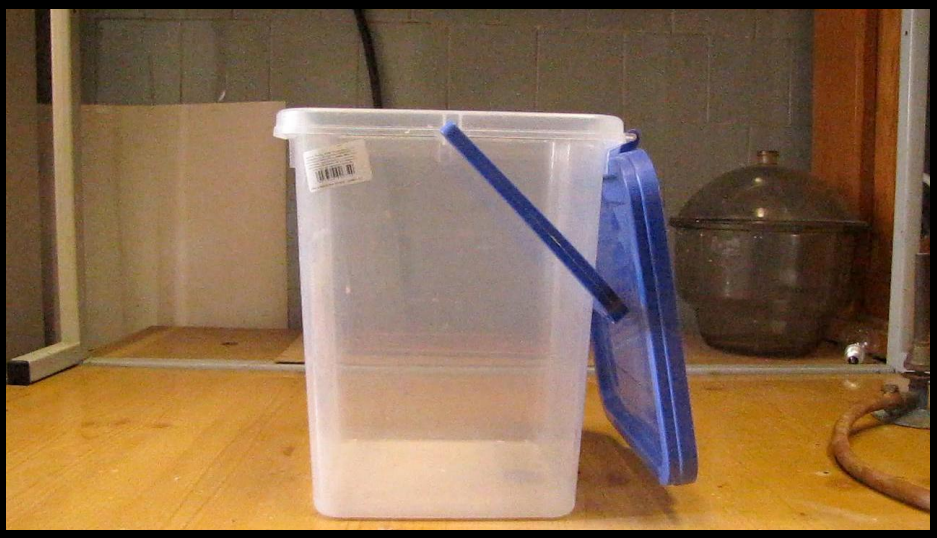




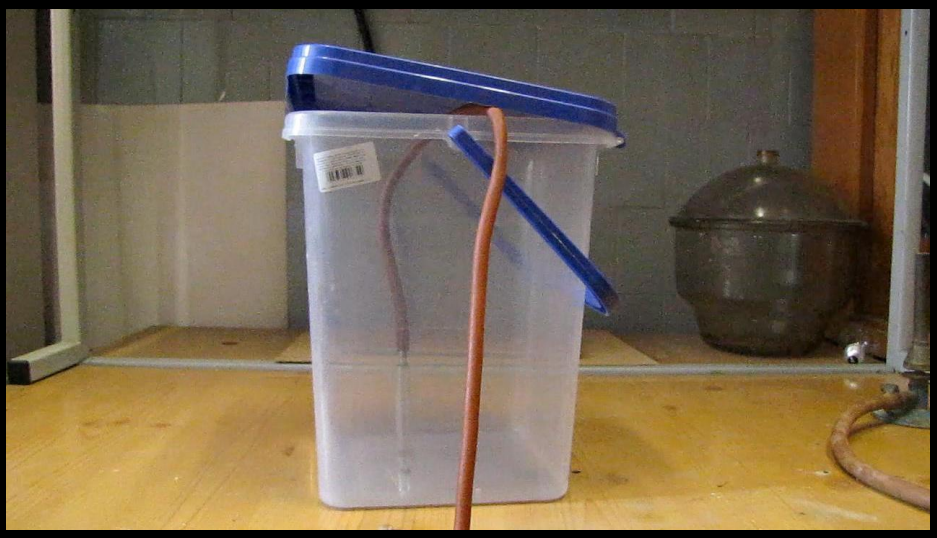
А еперь посмотрите, что было **до** показанного эксперимента. Мы взяли плтастиковое ведро, опустили в него трубку (подключенную к баллону) и наполнили ведро пропан-бутановой смесью. В отличие от метана (основного компонента природного газа) пропан и бутан тяжелее воздуха, поэтому их можно набирать в сосуды, которые стоят отверстием вверх (подобно углекислому газу).

Любопытно, что когда ведро наполняется пропан-бутановой смесью и она начинает "переливаться" через верх, поток смеси можно увидеть как "дрожание воздуха". Это происходит благодаря разным показателям преломления воздуха и углеводородов. Подобный эффект иногда заметен, когда нагретый воздух поднимается вверх над газовой конфоркой, электрической плиткой или батареей отопления.

Смотреть Видео (23 Мб, .avi)



Наполним ведро пропан-бутановой смесью



Если теперь содержимое ведра "вылить" на свечу, произойдет сильная и довольно эффектная вспышка. Как мы уже отмечали в предыдущих частях статьи, горение пропана и бутана происходит сравнительно медленно, поэтому даже с помощью фотоаппарата-"мыльницы" можно зафиксировать некоторые детали процесса. При покадровом просмотре видео заметно, как колеблется пламя свечи перед вспышкой (перед потоком газа идет вытесняемый им воздух), как пламя свечи становится синим и увеличивается в размерах: сначала постепенно, потом быстро, становясь при этом желтым, как почти все поле зрения занимает вспышка, а потом облако огня уходит вверх, образуя "ножку" и постепенно тускнея.

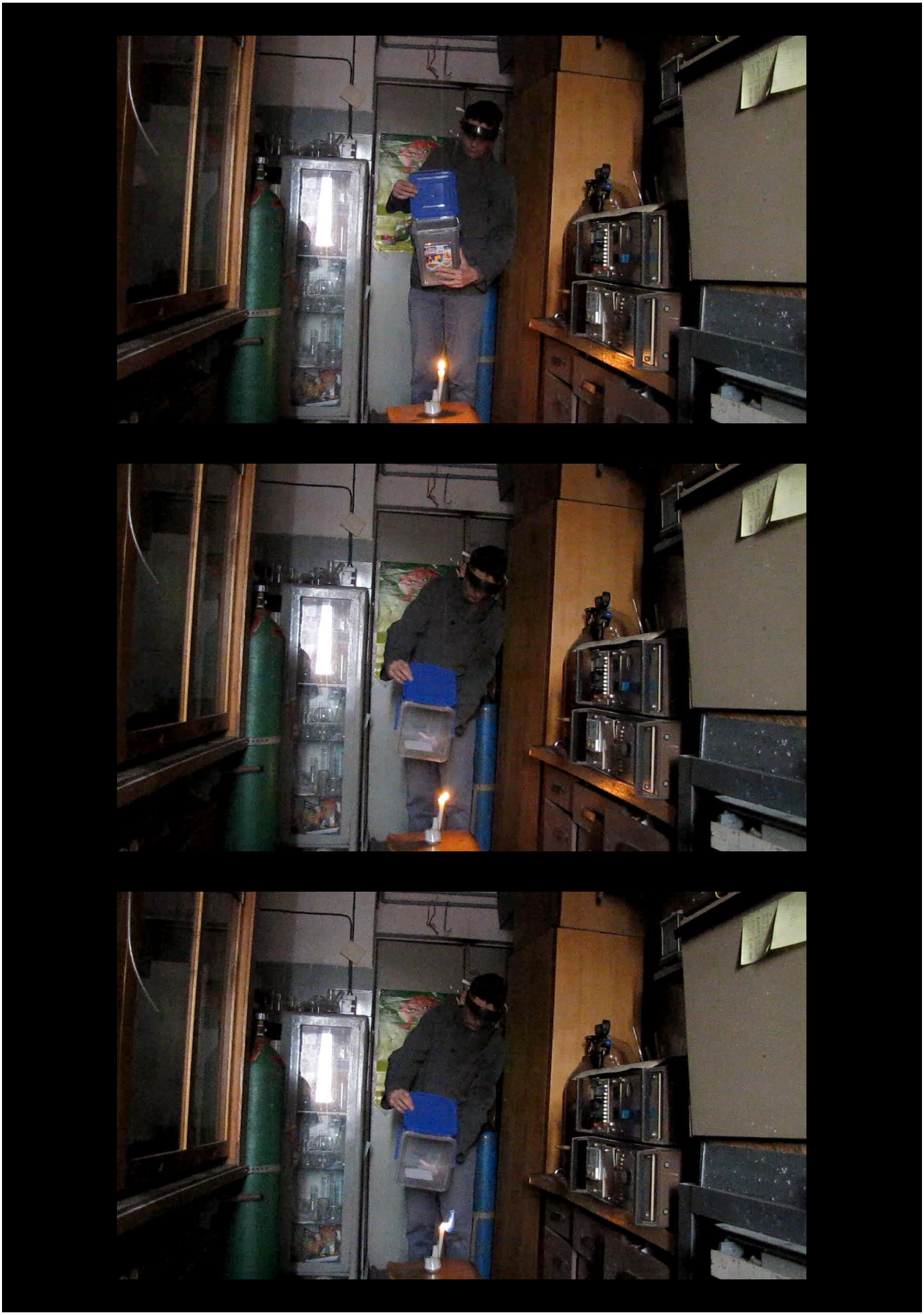
Опыт довольно опасен, поэтому повторять его мы не рекомендуем. Упомянем только, что в первом же эксперименте обгорели волосы не только на руках, но и частично на голове, а если бы не защитная маска, могли бы пострадать лицо и глаза.

Смотреть Видео (38 Мб, .avi)

Смотреть Видео (89 Мб, .avi)



Свеча и пустое ведро

































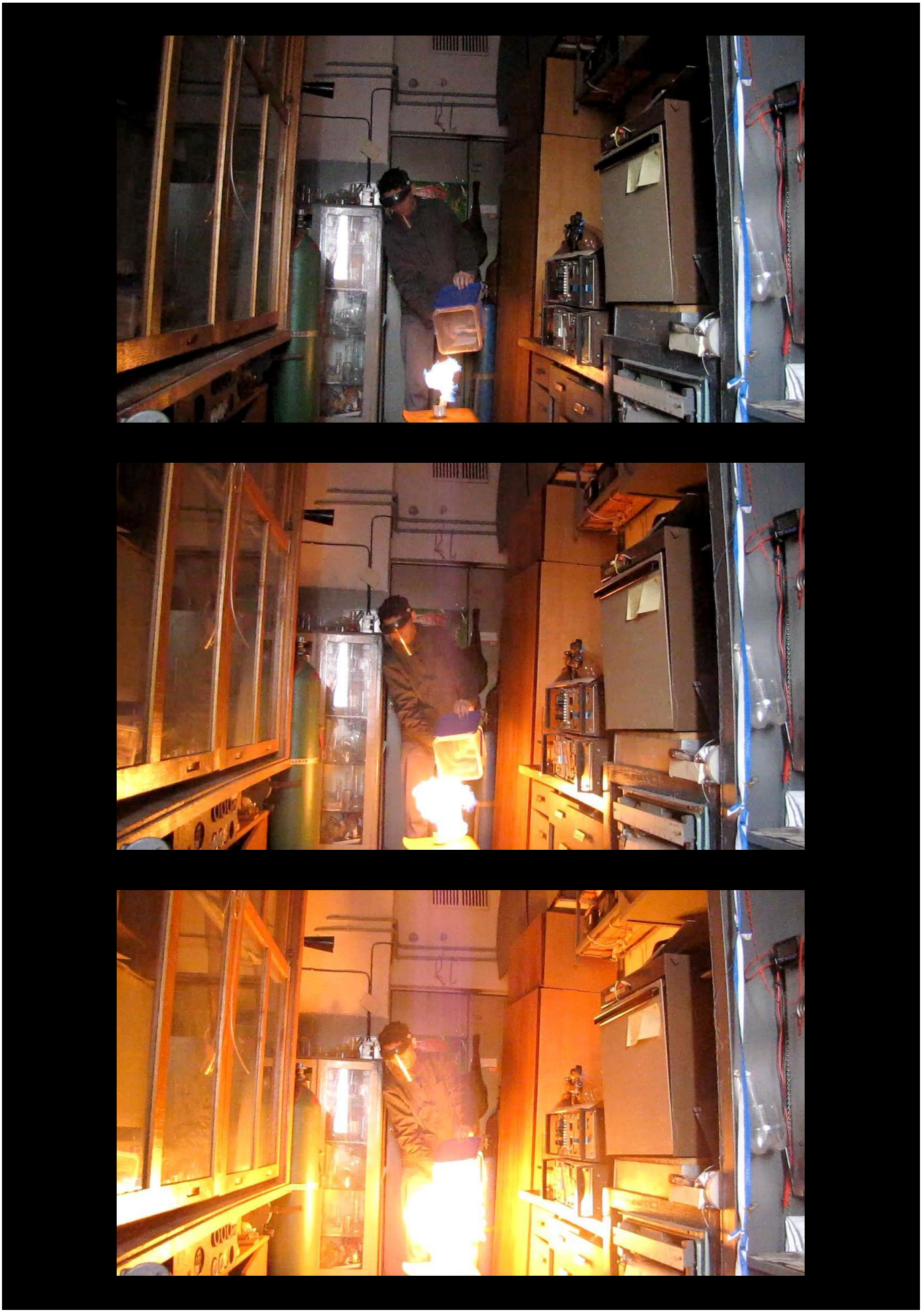




Свеча и пустое ведро















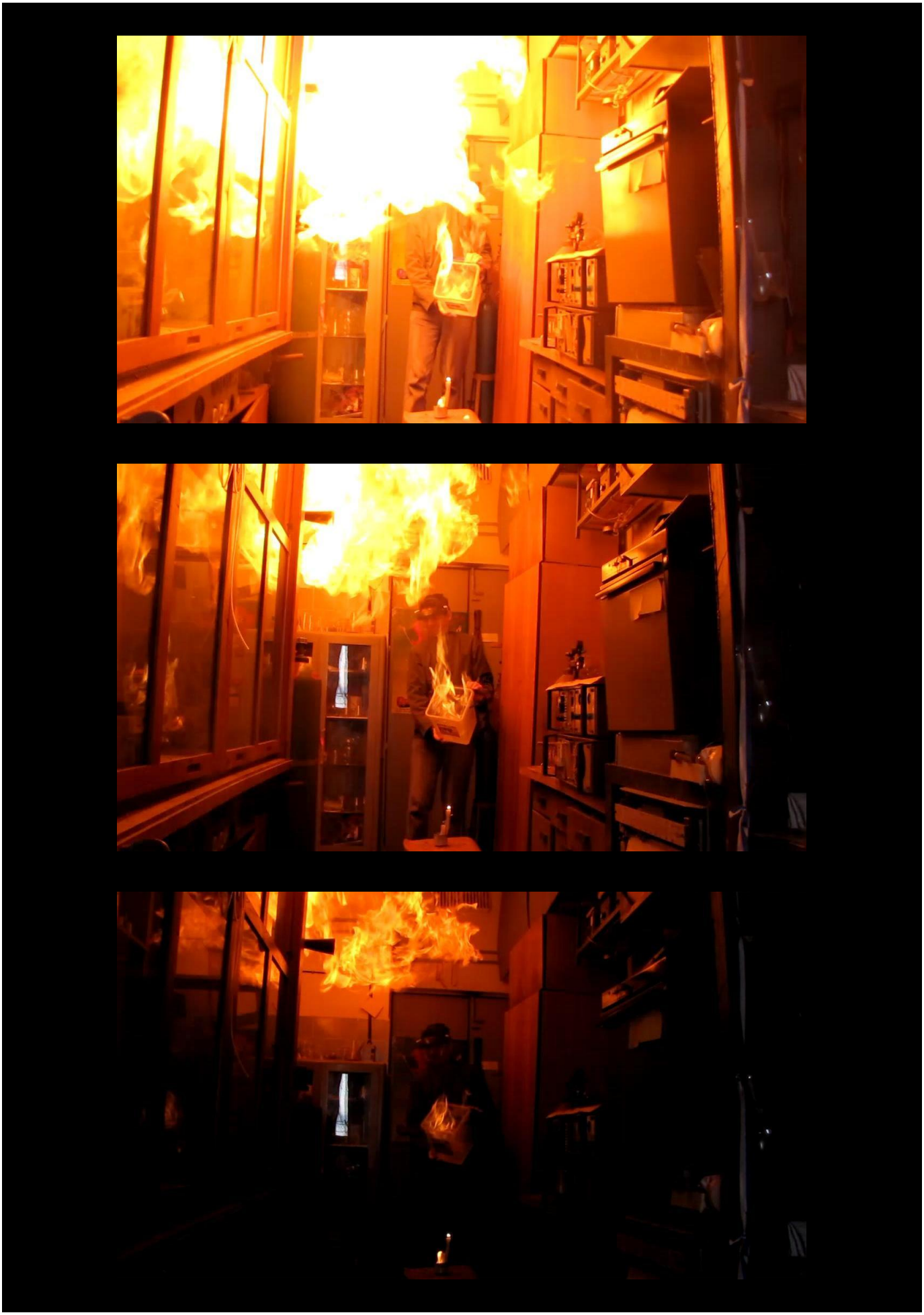
















Самые Теплые Пожелания!

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.6

В.Н. Витер

Горящая пена

Ранее мы не раз проводили этот опыт (например, в прошлом номере журнала описано горение пропан-бутановой пены на ладони ссылка), однако опыт простой и довольно эффектный, поэтому трудно было удержаться от очередного его повторения.

В этот раз мы поступили так. В кристаллизатор налили мыльный раствор (мы развели жидкое моющее средство для посуды "Gala" и глицерин в воде; но можно использовать любой подходящий состав, который дает обильную и стабильную пену). В раствор опустили трубку, соединенную с пропан-бутановым баллоном и открыли поток газа.

Когда пена начала переваливать через верх, ее подожгли пламенем свечи. Произошла желтая вспышка, вверх взметнулся столб пламени. Горение продолжалось несколько десятков секунд.

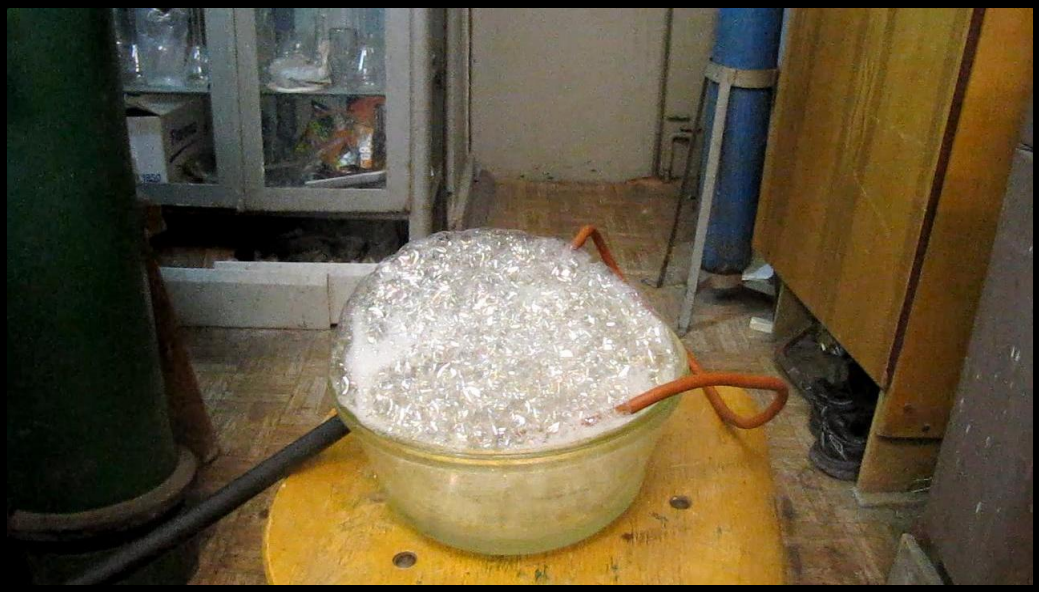
Смотреть Видео (48 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (27 Мб, .avi)



Горящая пена







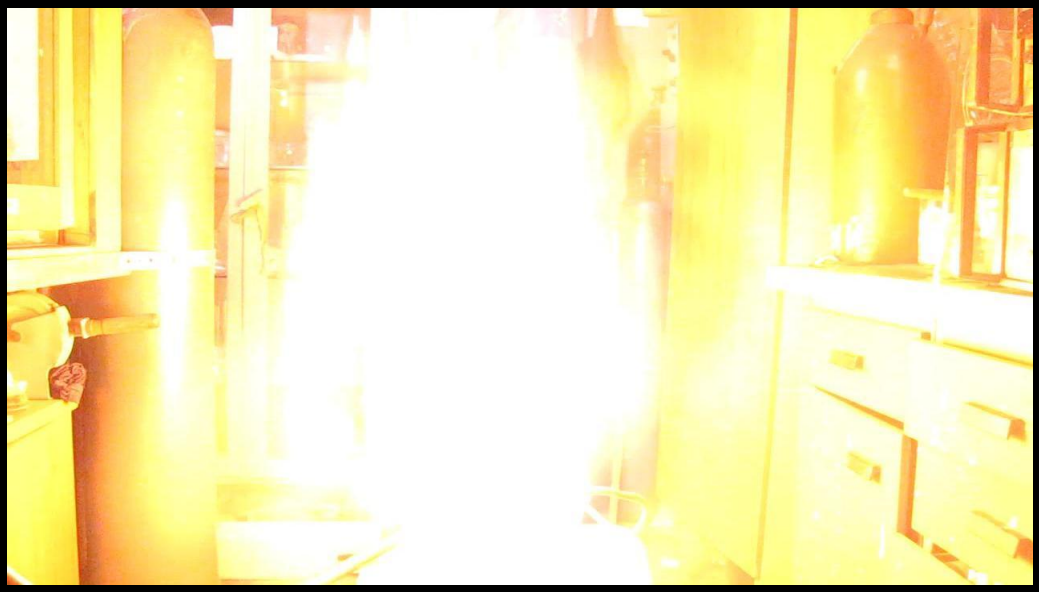




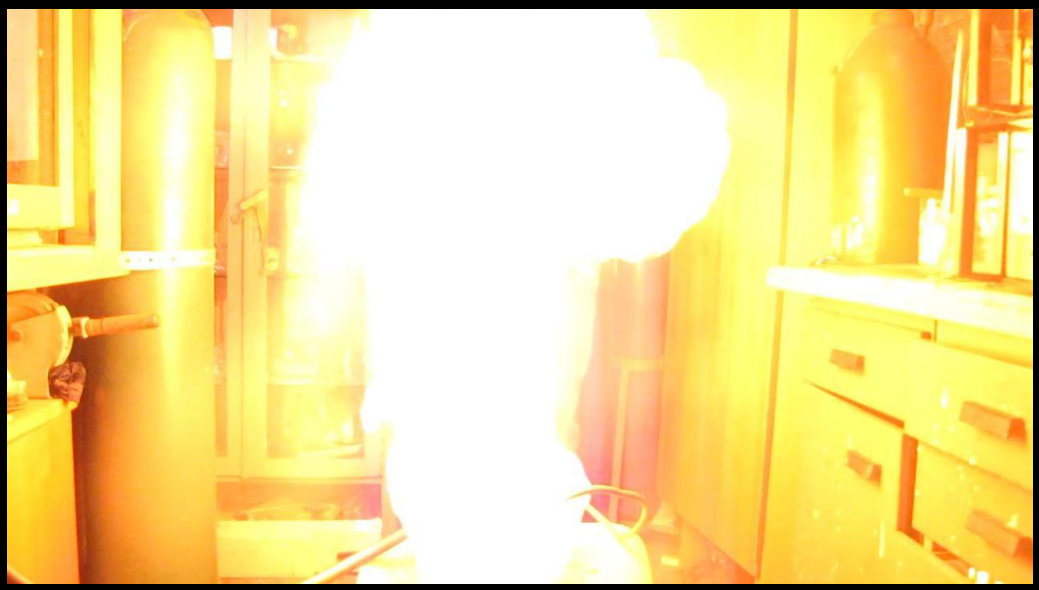


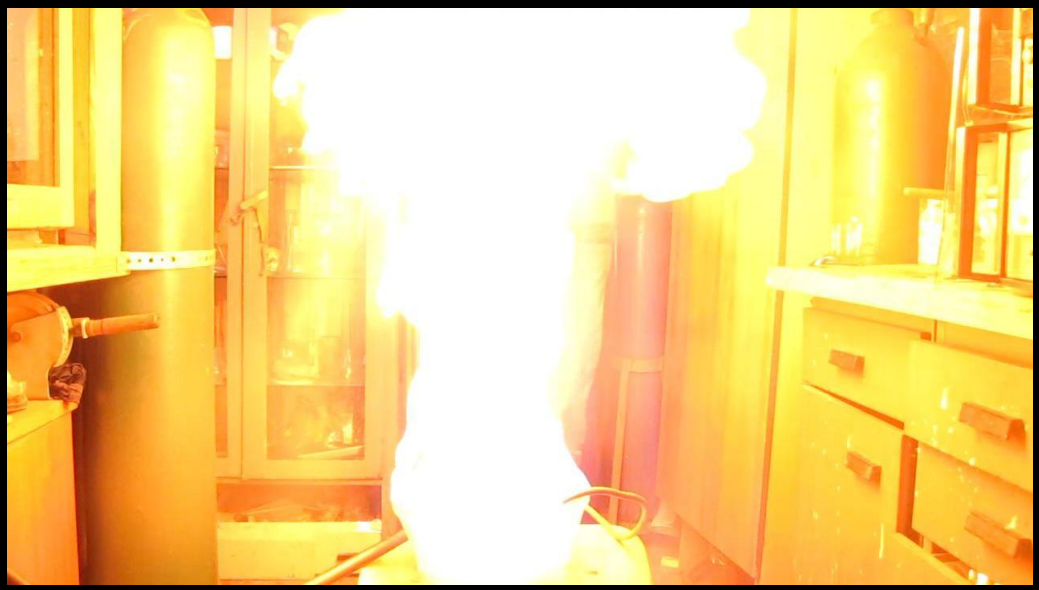


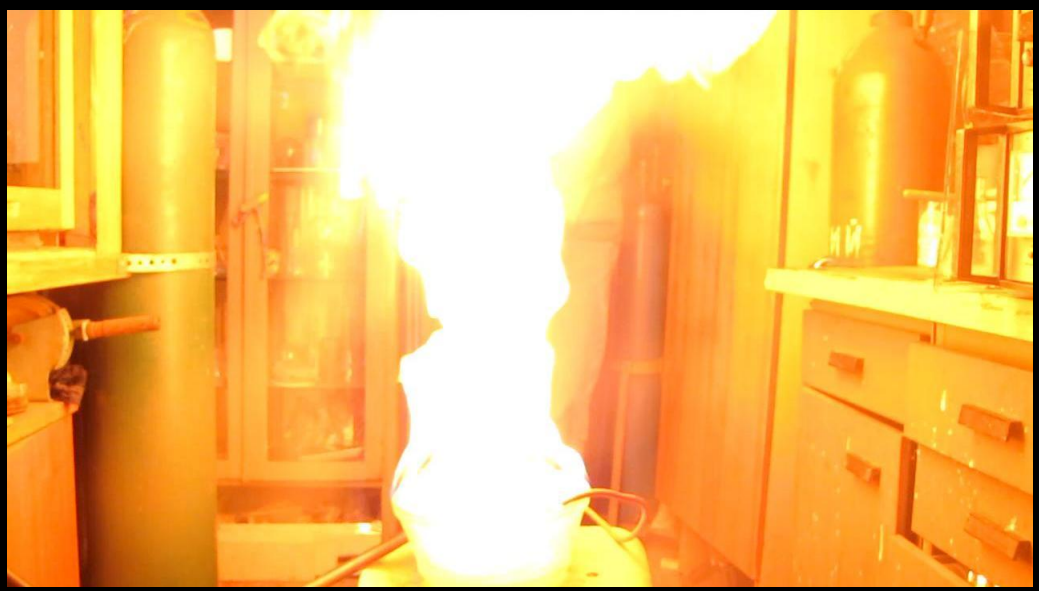


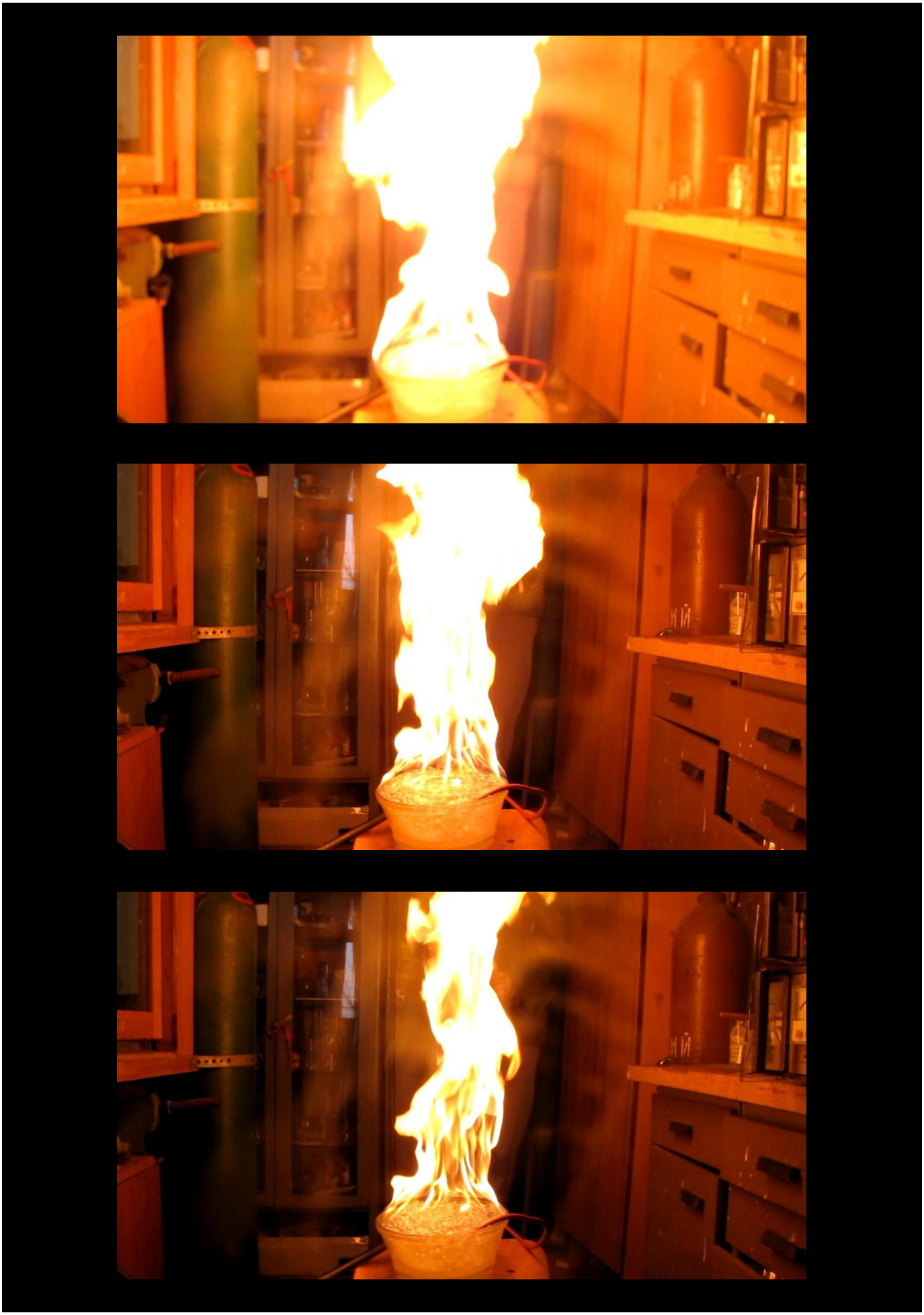


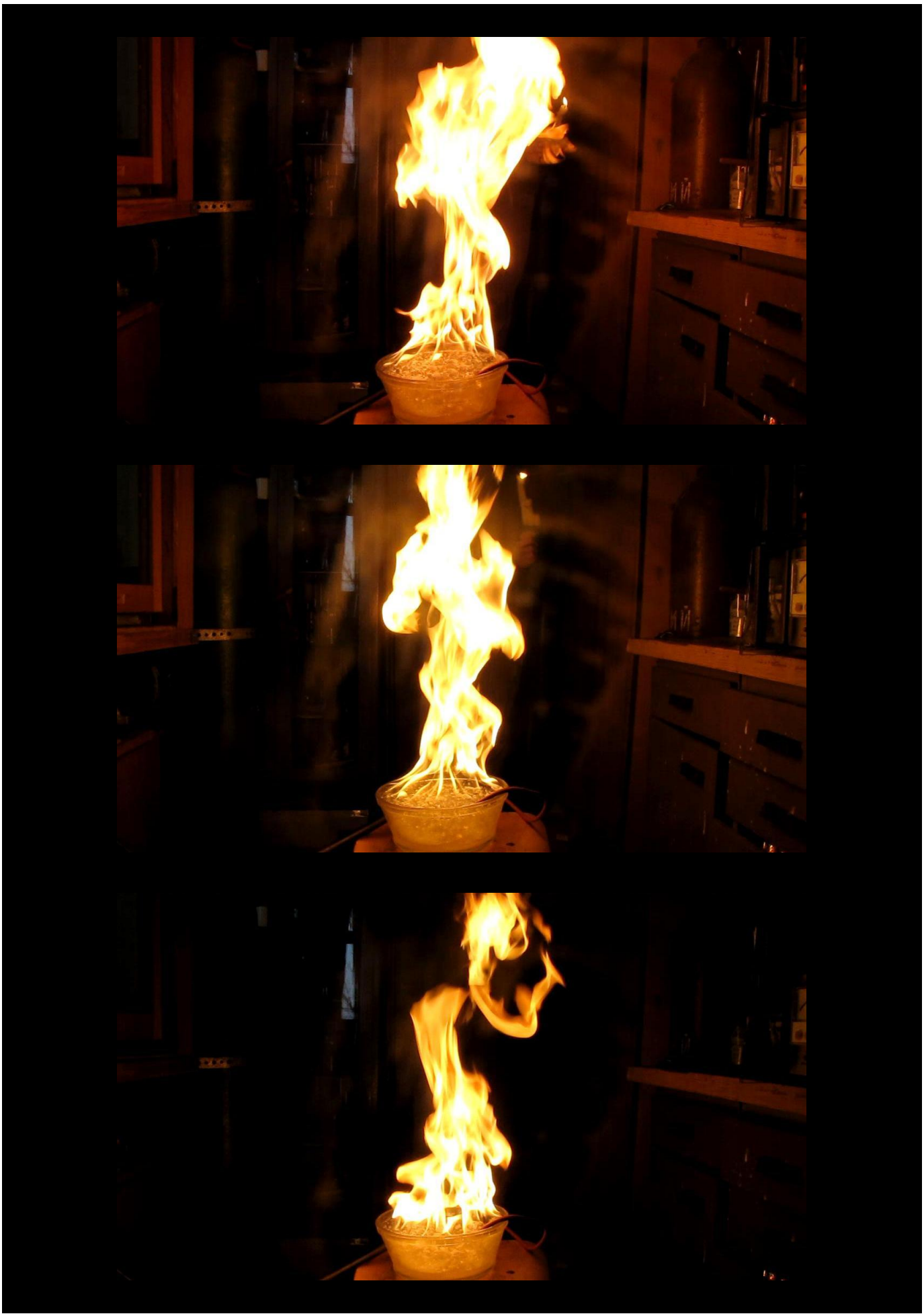


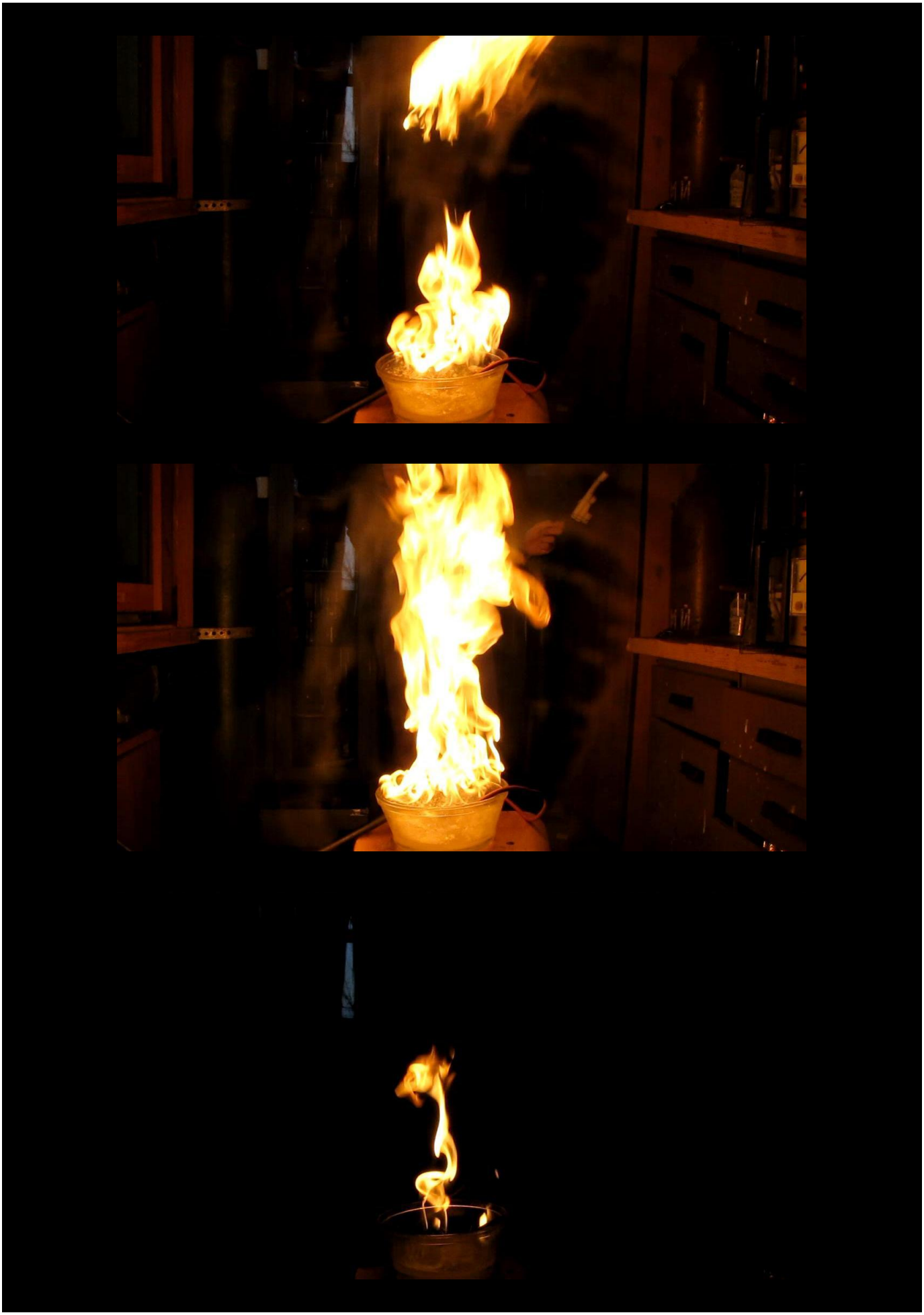




























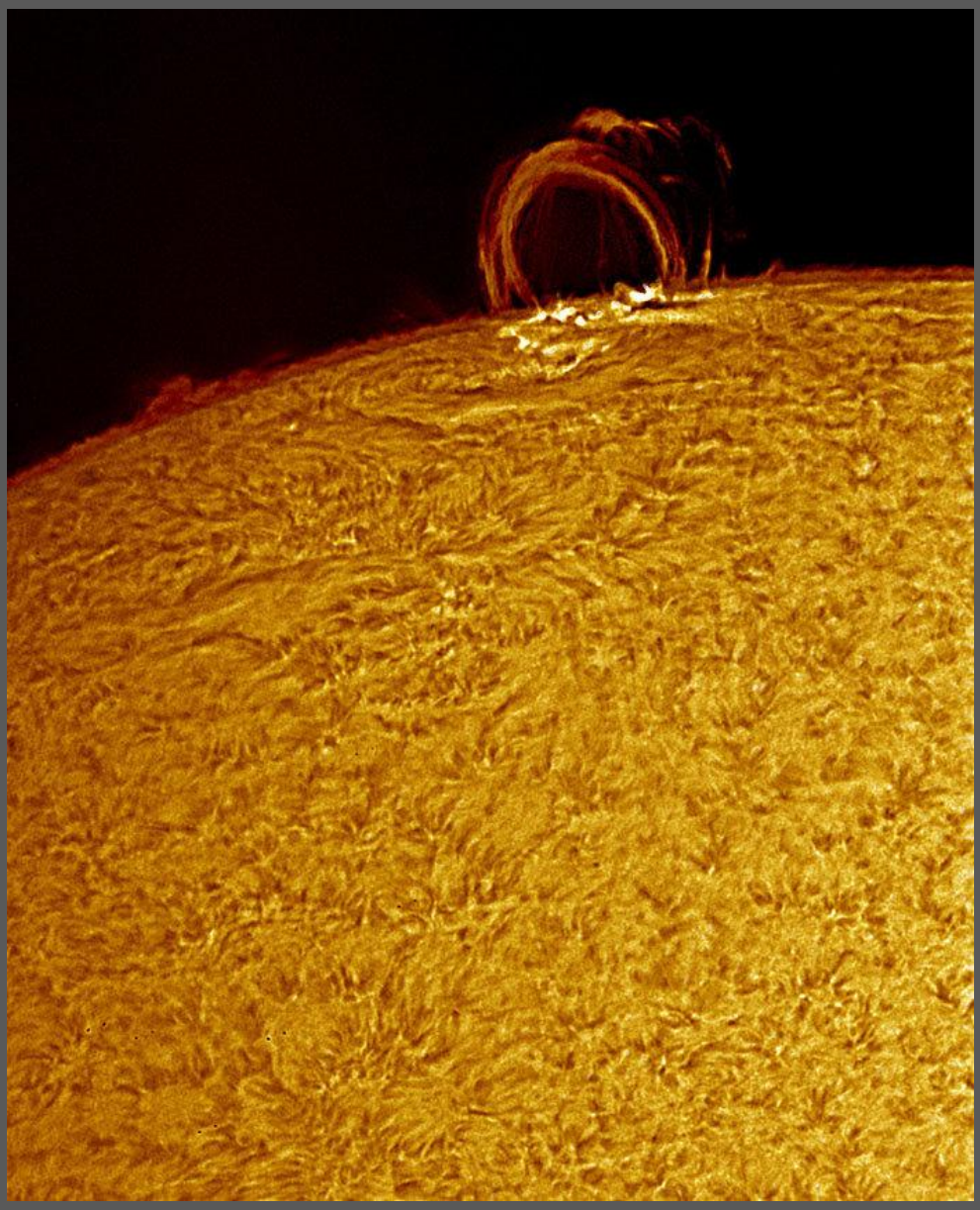








Самые Теплые Пожелания!



Вспышка на Солнце

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.7

В.Н. Витер

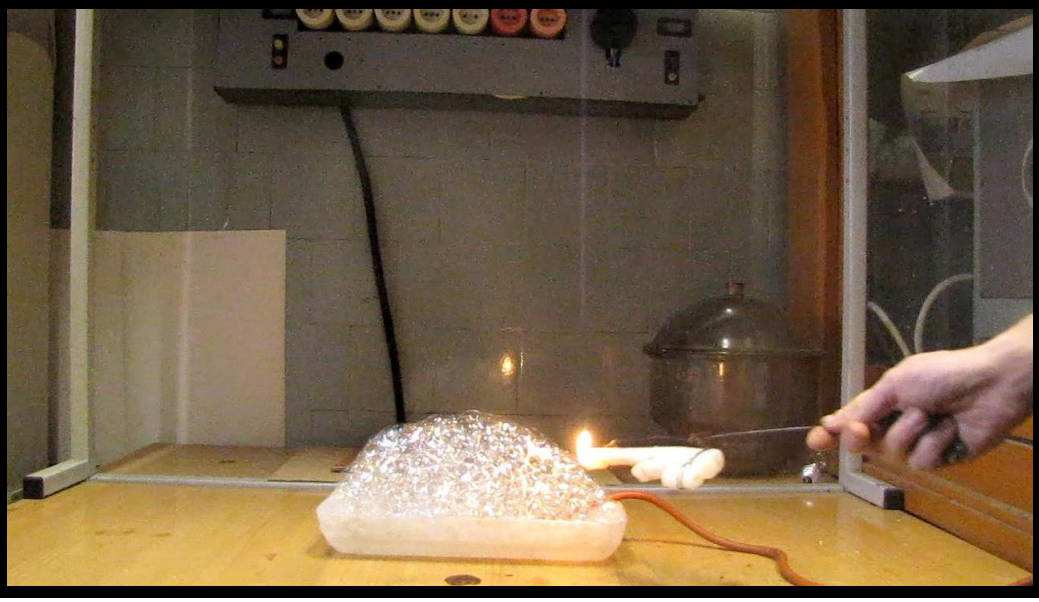
Горящая пена

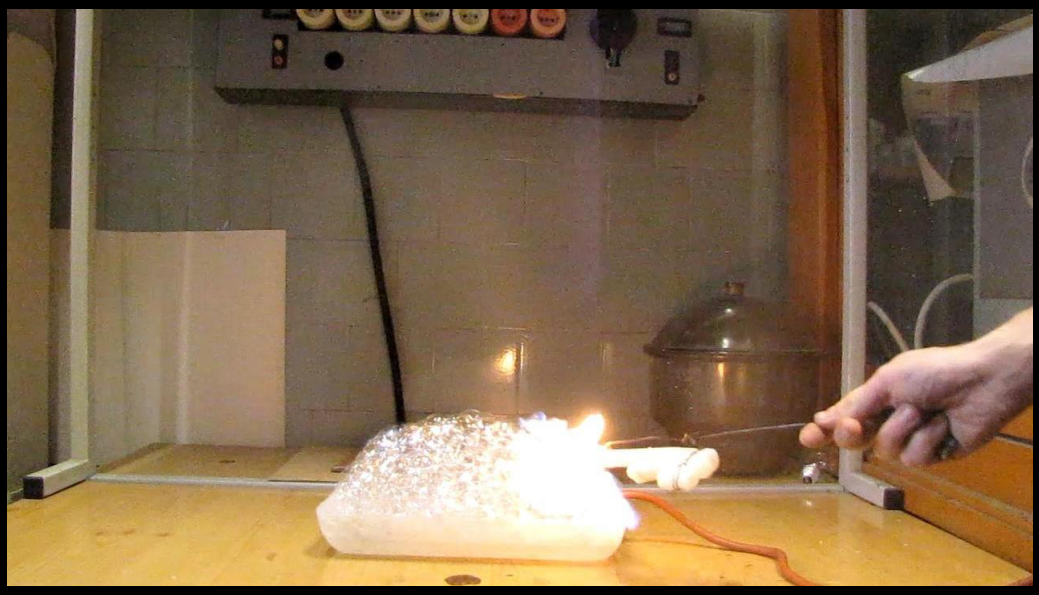
В показанных ниже опытах мы поступили аналогично предыдущему, только вместо кристаллизатора, заполненного пеной, использовали срезанное дно пластиковой канистры.

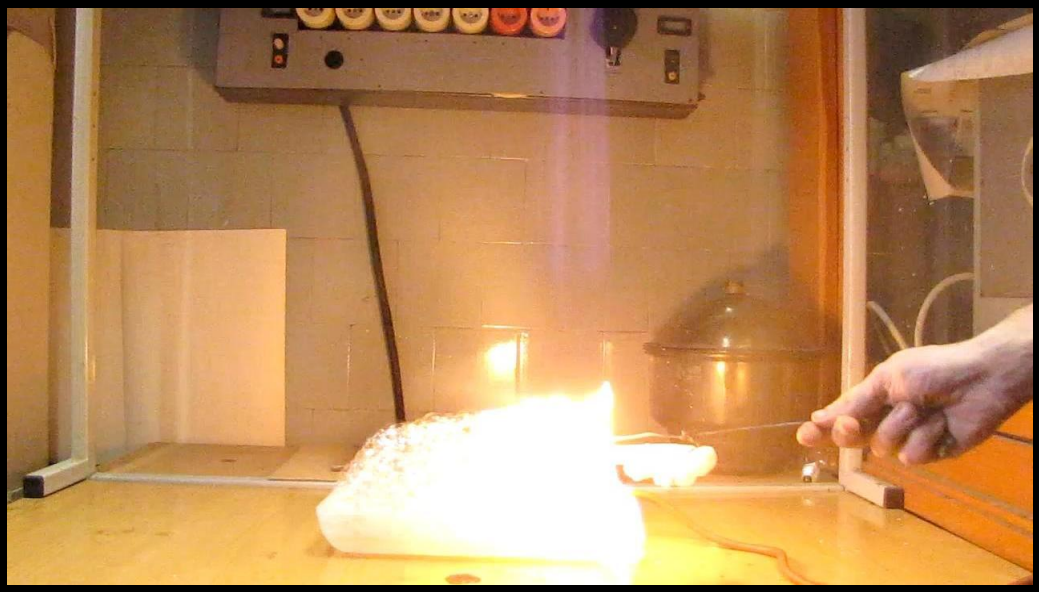
Смотреть Видео (64 Мб, .avi)

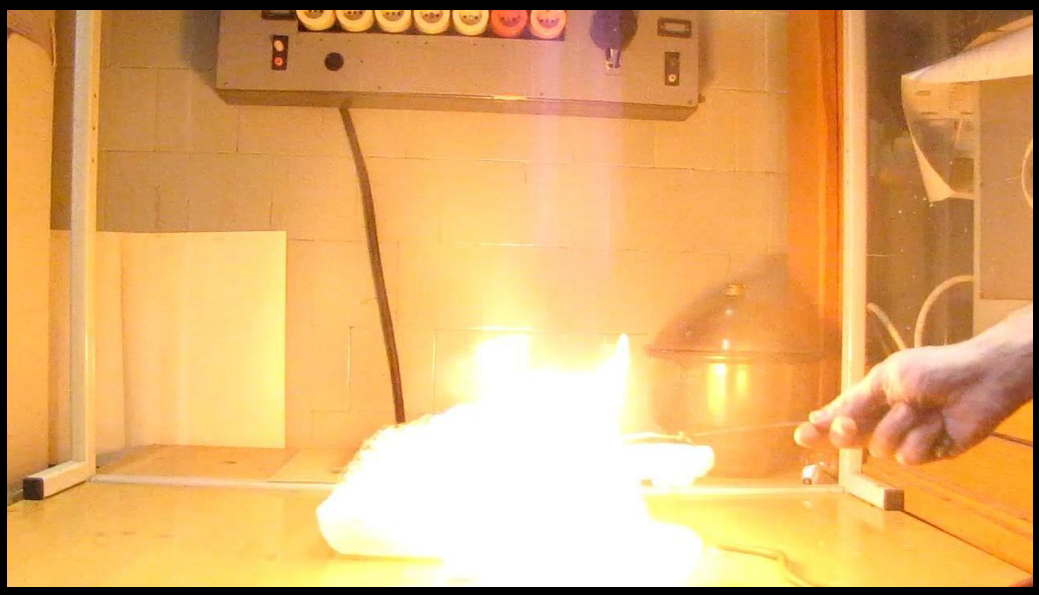


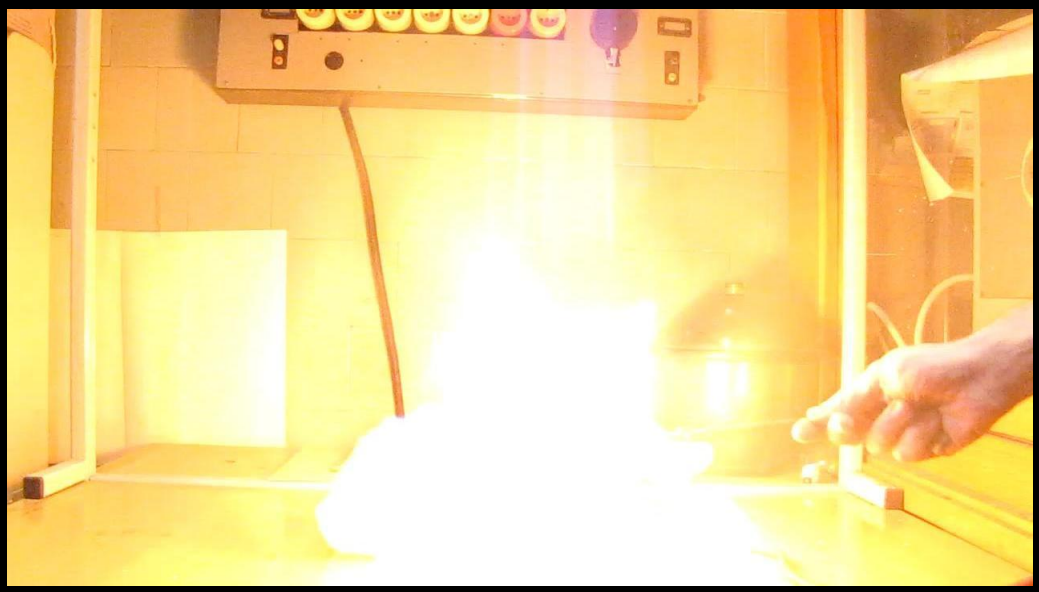
Горящая пена

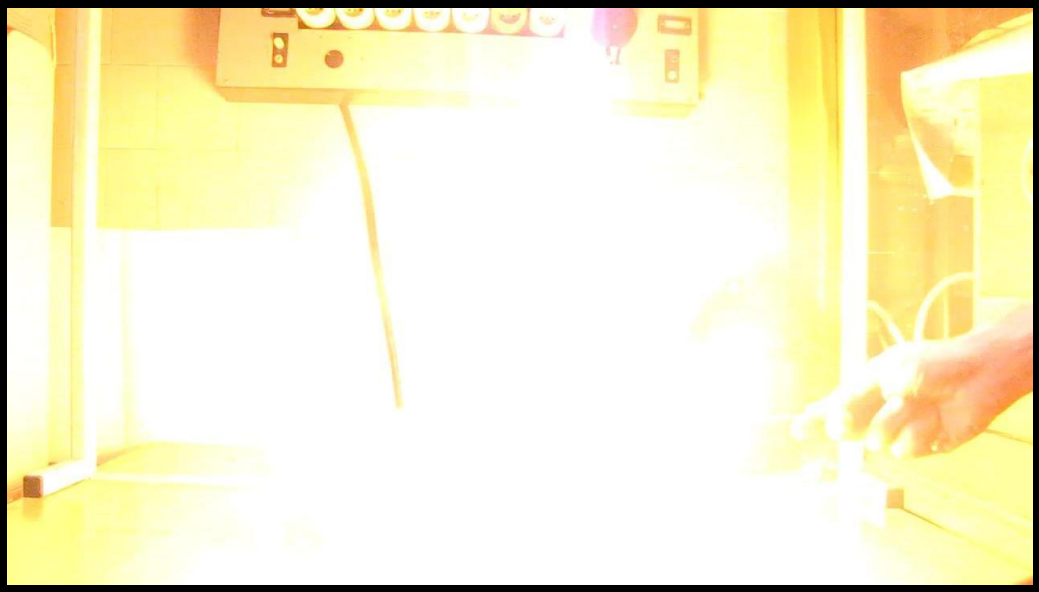


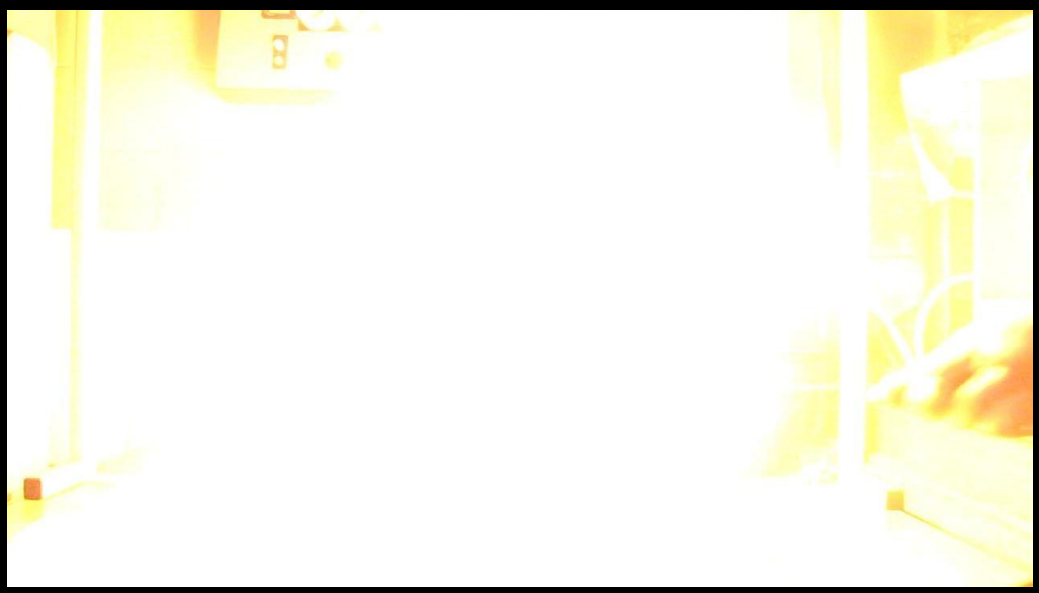














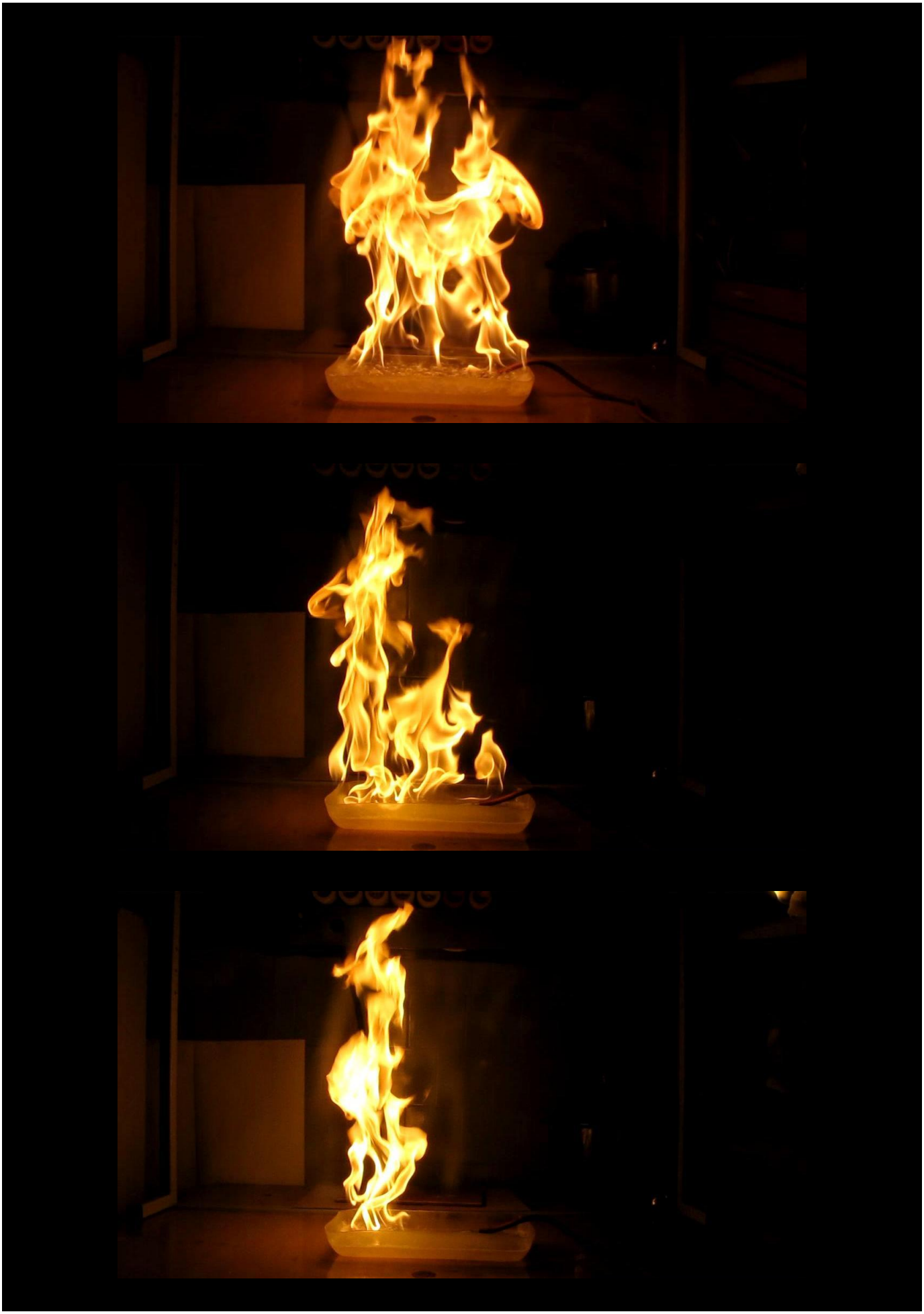


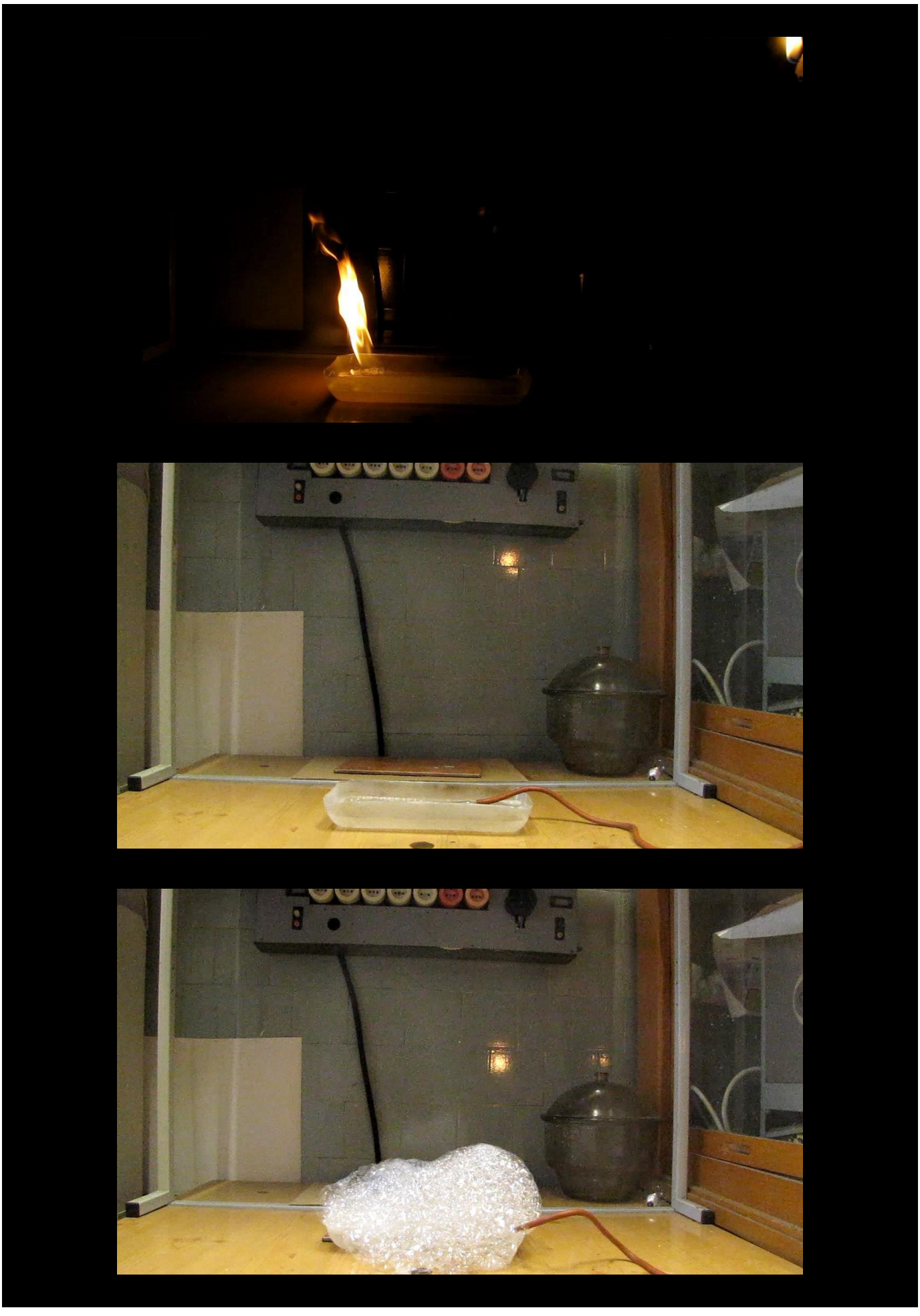


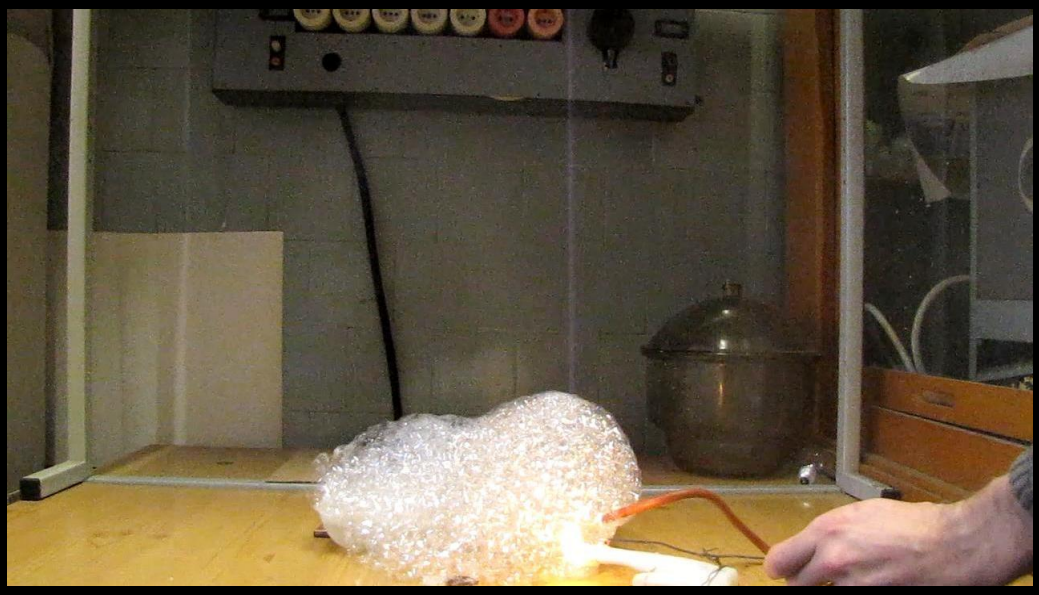


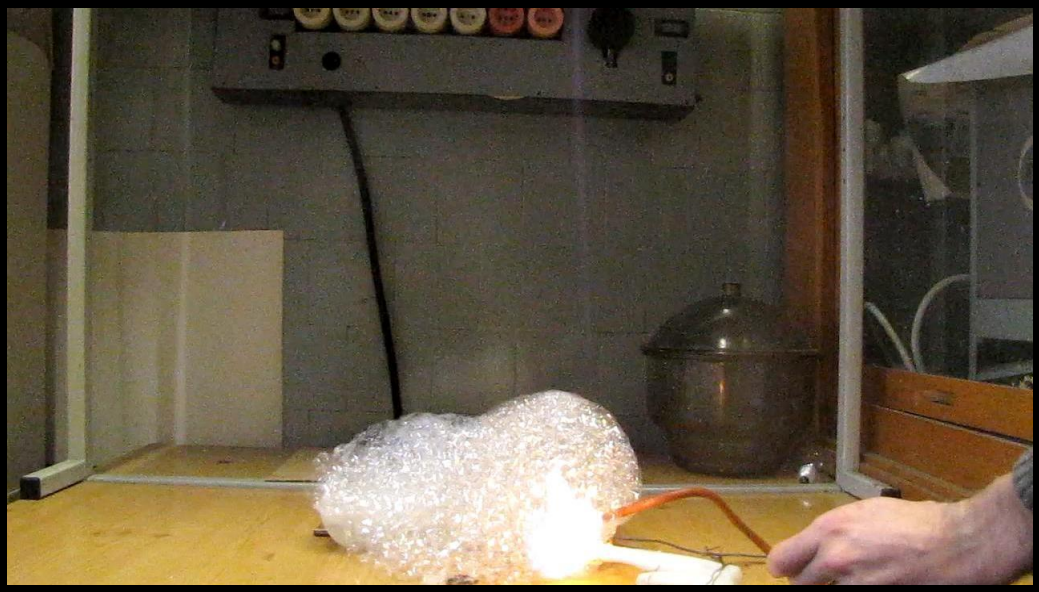


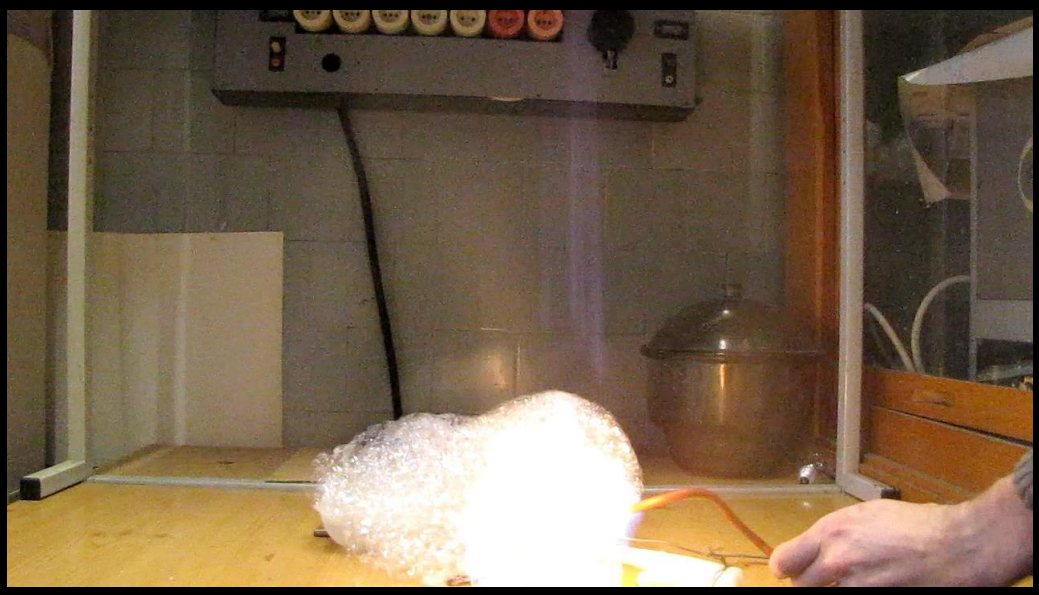


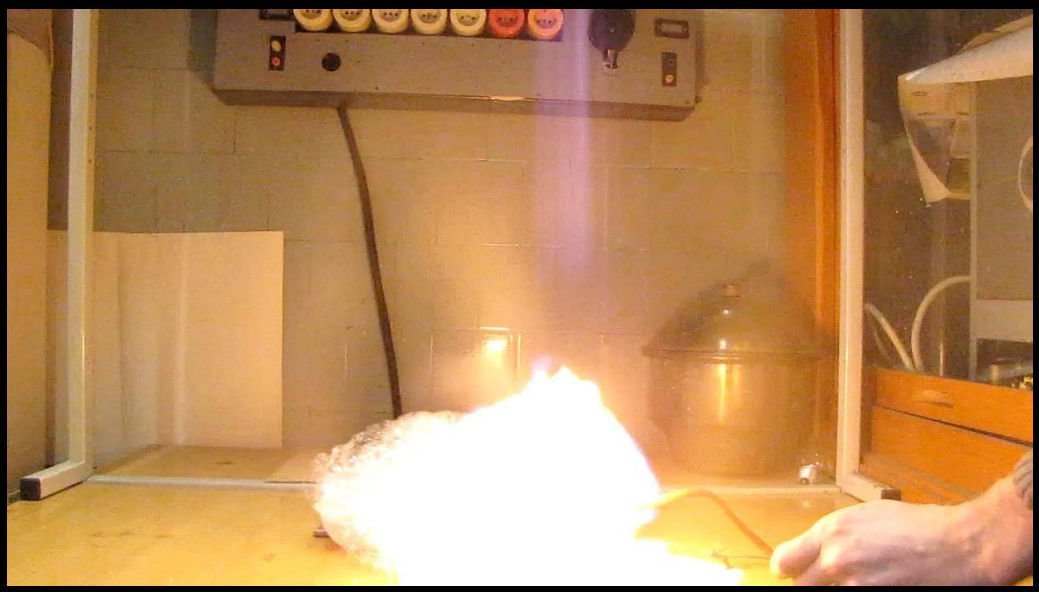


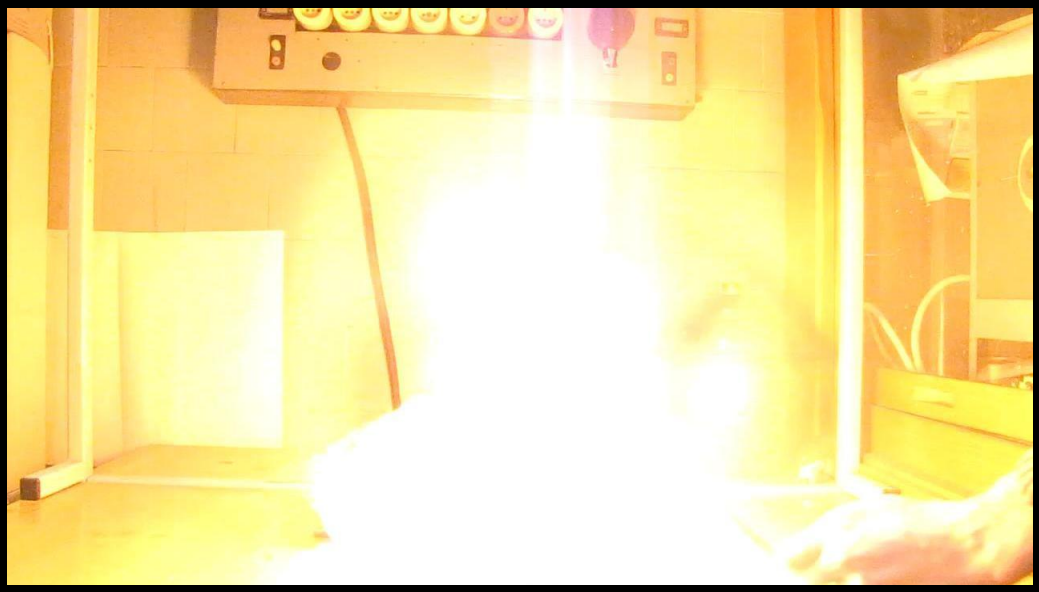








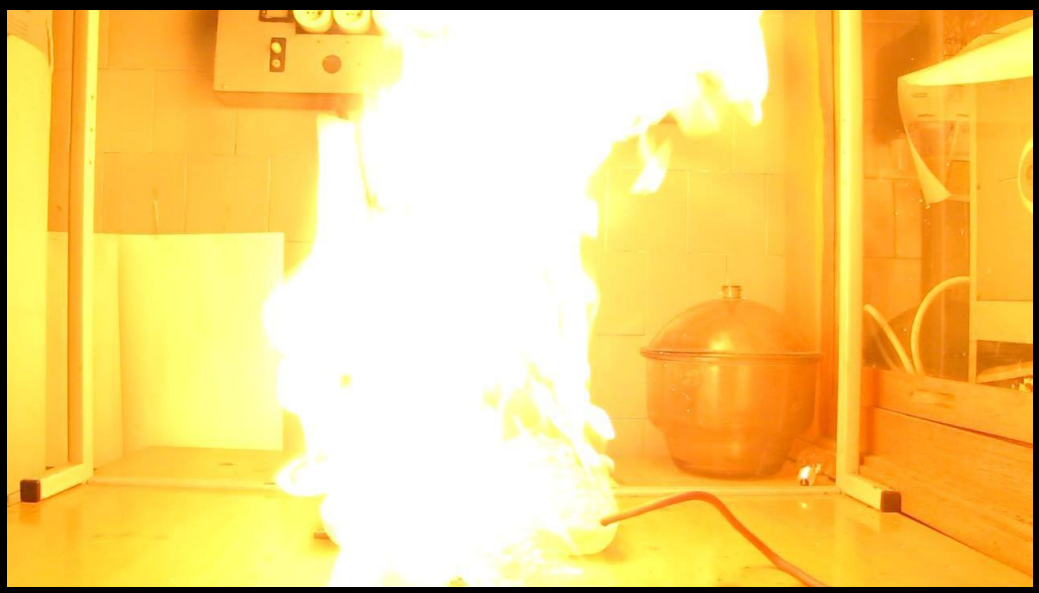






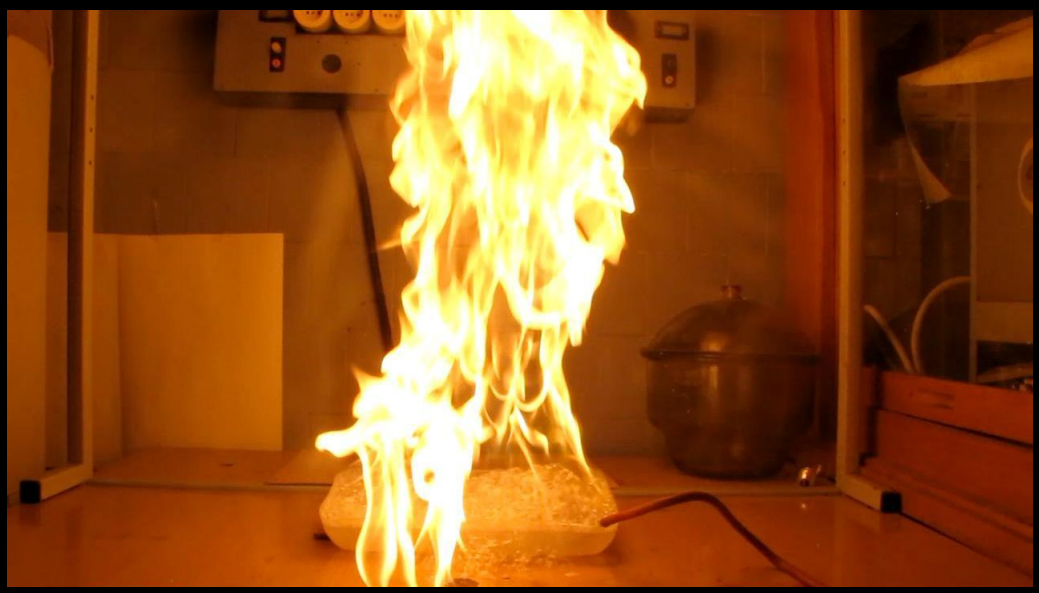


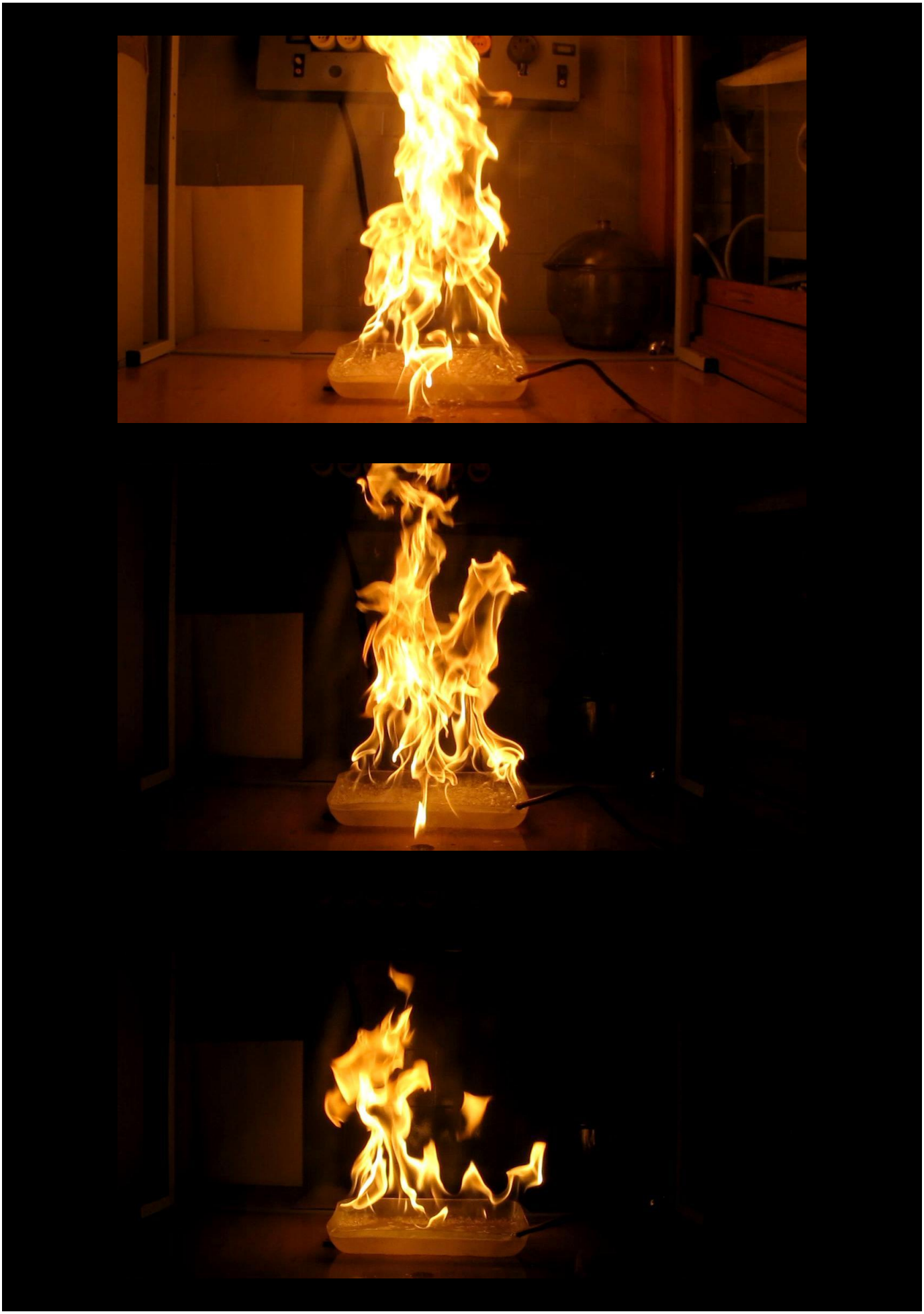


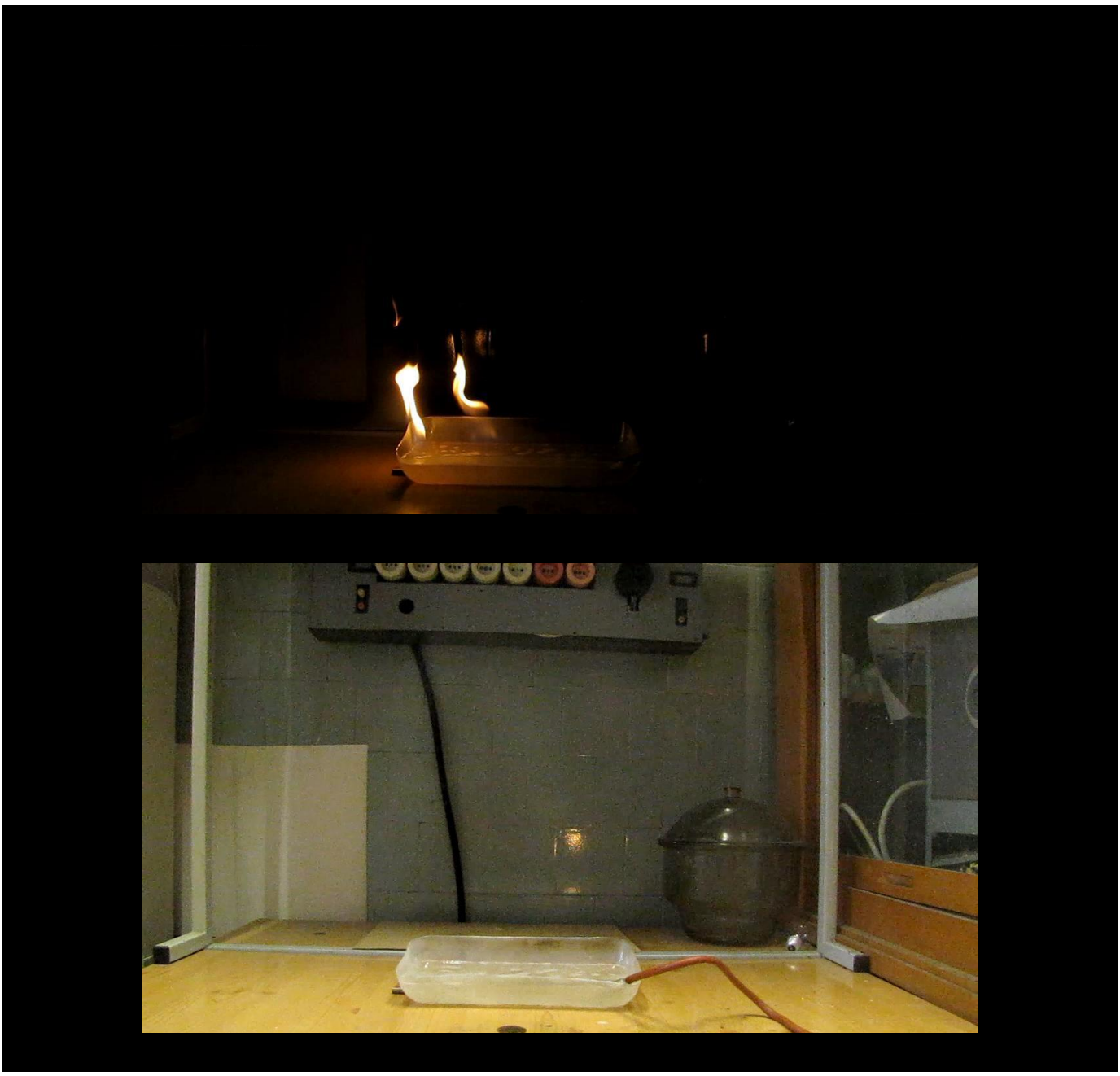




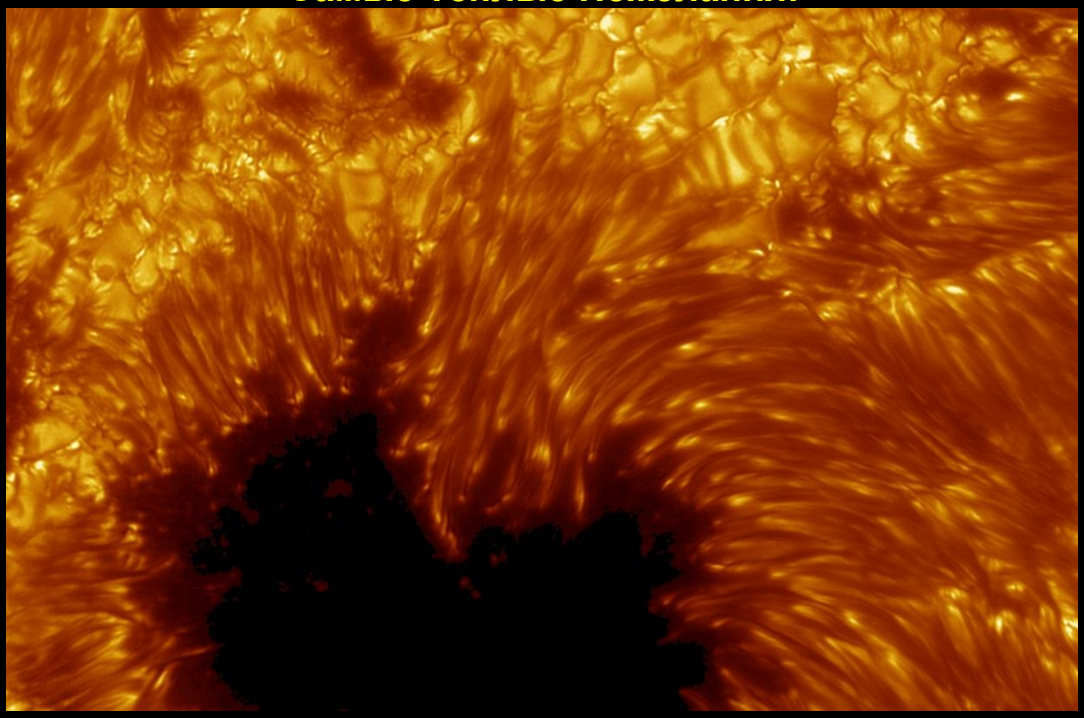


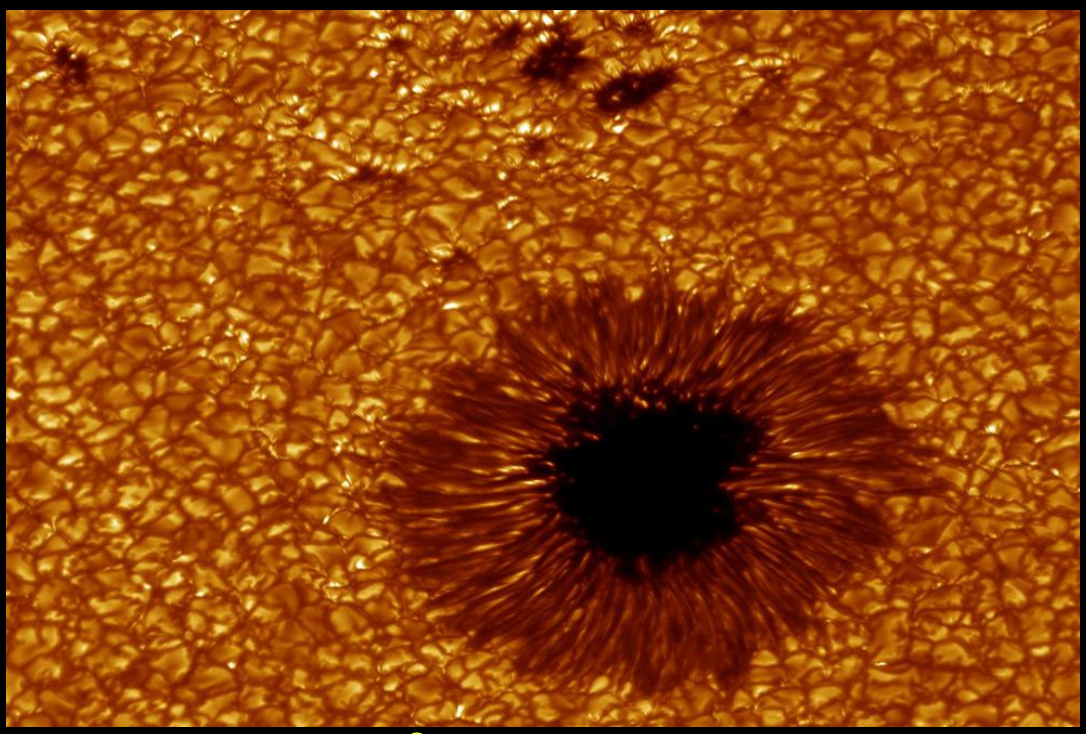






Самые Теплые Пожелания!





Солнечное пятно

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.8

В.Н. Витер

Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью

Мыльные пузыри, наполненные водородом или гелием, быстро поднимаются вверх. В отличие от гелия, водород не только легче воздуха, но и горюч. Если над пузырем, который наполняется водородом, поместить свечу, то когда пузырь оторвется от трубки, поднимется и коснется свечи, произойдет вспышка с громким хлопком (ссылка: [pdf] [html + видео]).

Пропан-бутановая смесь гораздо тяжелее воздуха, поэтому наполненные ней пузыри быстро опускаются вниз. Однако для описанного выше опыта это не препятствие: просто свеча должна быть не выше, а ниже мыльного пузыря с газом.

Мы поступили следующим образом: взяли срезанную бутылку из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) емкостью 1.5 л, закрыли горлышко пробкой, в которую вставлена трубка, соединенная с пропан-бутановым баллоном. Сверху поставили штатив с лапкой, в которой должна держаться бутылка, снизу поместили зажженную свечу (так, чтобы отделившийся пузырь упал точно на пламя).

Отверстие бутылки опустили в мыльный раствор (жидкое моющее средство для посуды "Gala" и глицерин, разведенные водой), потом срезанную бутылку осторожно извлекли - так, чтобы образовалась мыльная пленка и закрепили бутылку в штативе. Включили поток газа.

Начал образовываться мыльный пузырь, который по мере выдувания приобрел овальную форму и стал наклоняться вниз. Далее начала образовываться перемычка - пузырь напоминал каплю, которая постепенно отрывается от крана. Наконец мыльный пузырь отделился и стал опускаться - прямо на пламя свечи. В момент контакта произошла желтая вспышка, образовалось облако пламени, которое поднялось вверх (и подожгло газ, что выходил из срезанной бутылки).

Чтобы прекратить горение, поток газа пришлось немедленно перекрыть. В большинстве

случаев бутылки хватало только на один опыт - от пламени пластик морщился, но в наше время найти ПЭТФ бутылку - не проблема.

Иногда мыльный пузырь лопался до того, как отделялся, но от этого опыт получался еще эффектнее: газ, который был в пузыре, опускался к свече, и через несколько секунд происходила вспышка - без всякой видимой причины. Причем эта вспышка часто была синей (голубой), поскольку углеводороды, опускаясь, успевали смешаться с воздухом. Если же пузырь лопался на свече, наблюдалась желтая вспышка (газ не успевал как следует смешаться с воздухом, и при горении имело место свечение частичек углерода).

Несмотря на красоту и кажущуюся простоту, опыт таит в себе опасность пожара и получения экспериментатором ожогов. Следует пользоваться защитной маской, которая предохраняет лицо и глаза, свечу можно зажигать только до того, как вы включили поток пропан-бутановой смеси. Если свеча погаснет - сначала перекройте газ, а потом уже делайте все остальное.

В первом пробном эксперименте (последнее видео) мы сначала включили газ, и только потом пытались зажечь свечу. Как назло, свеча не зажигалась, маски на лице не было, а тем временем над рукой с зажигалкой уже нависал большой и красивый пузырь с пропан-бутановой смесью. Если бы он оторвался, дело могло бы окончиться сильными ожогами. Слава богу, хватило благоразумия прекратить попытки зажечь свечу и отойти в сторону.

Смотреть Видео (27 Мб, .avi) **Смотреть Видео 2** (66 Мб, .avi)
Смотреть Видео 3 (29 Мб, .avi) **Смотреть Видео 4** (49 Мб, .avi)



Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью













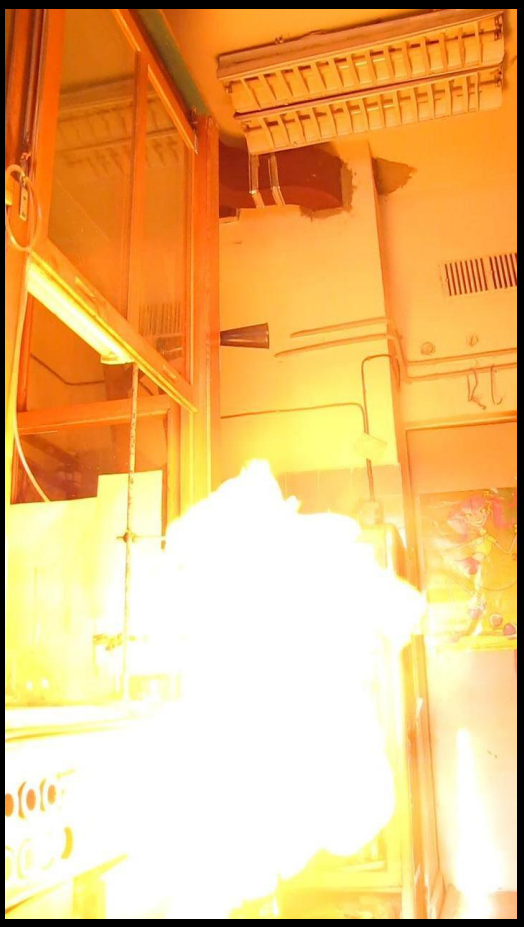






























Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью



















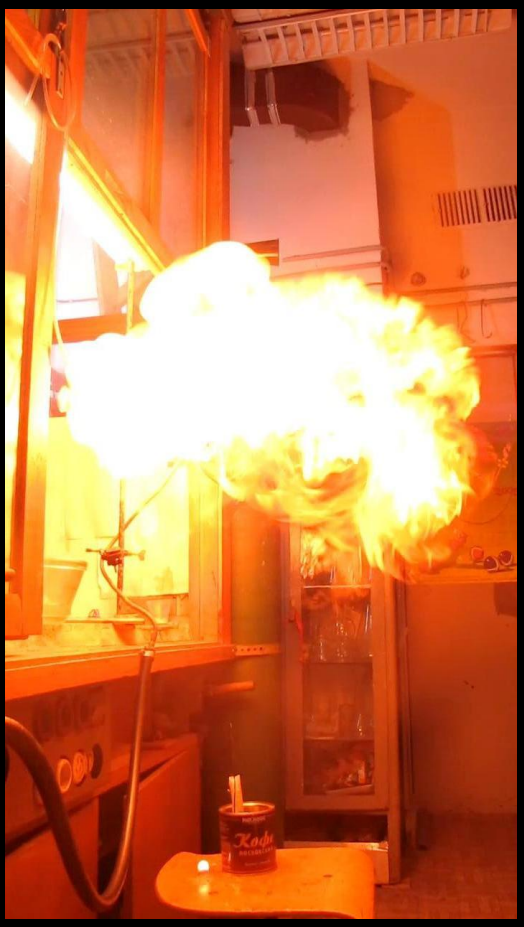














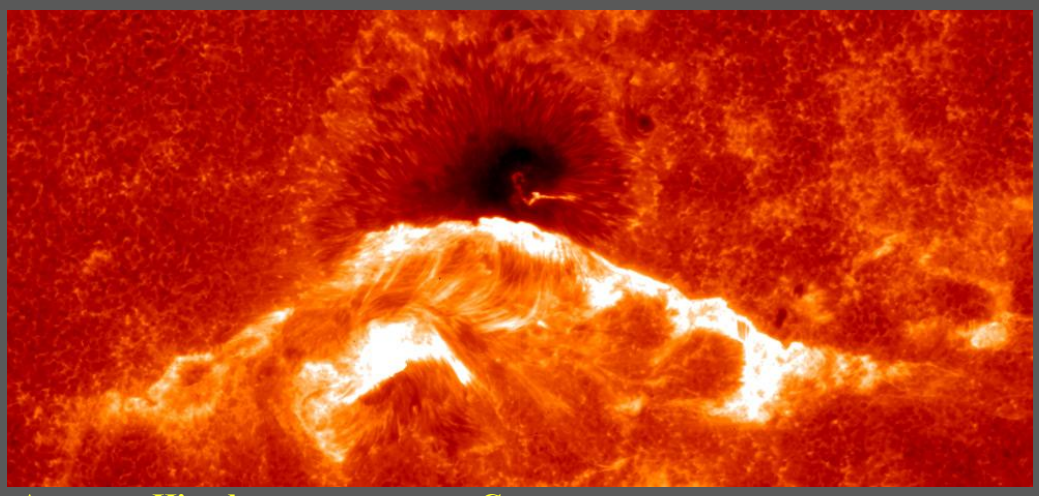

Кофе


Кофе

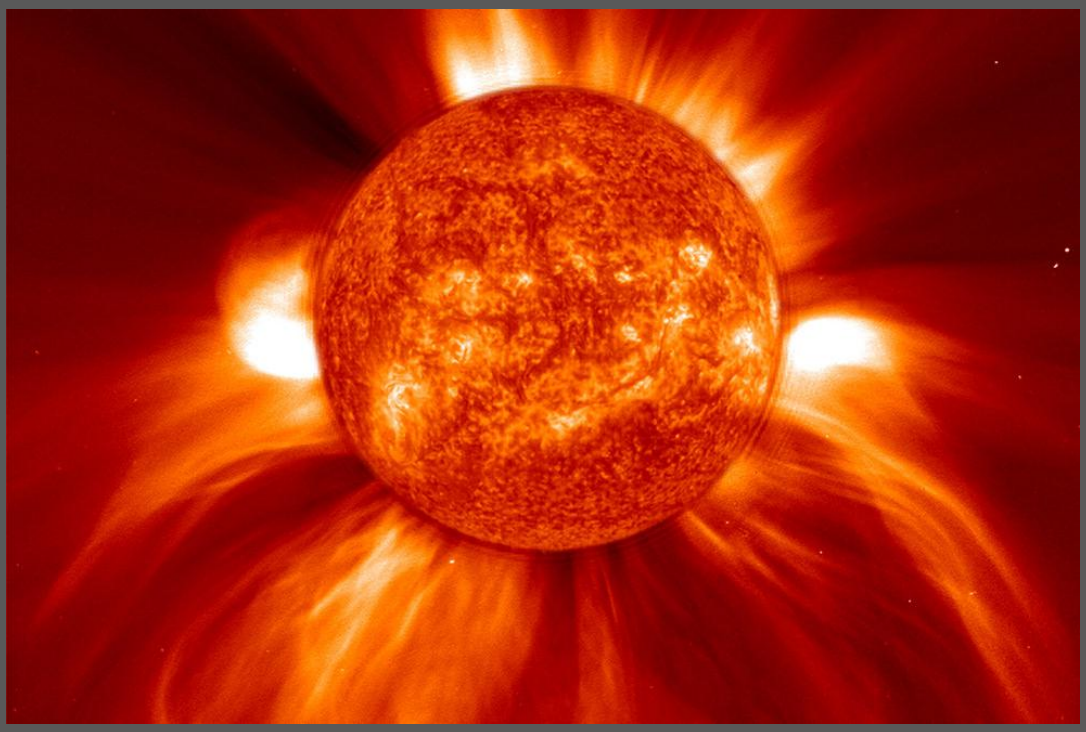








Аппарат Hinode сделал снимок Солнца в момент массовых вспышек



Выбросы вещества солнечной короны в окружающий космос

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.9

В.Н. Витер

Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью

Описание эксперимента читатели могут найти в предыдущей части статьи, здесь же мы приведем еще немного фотографий.



Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью

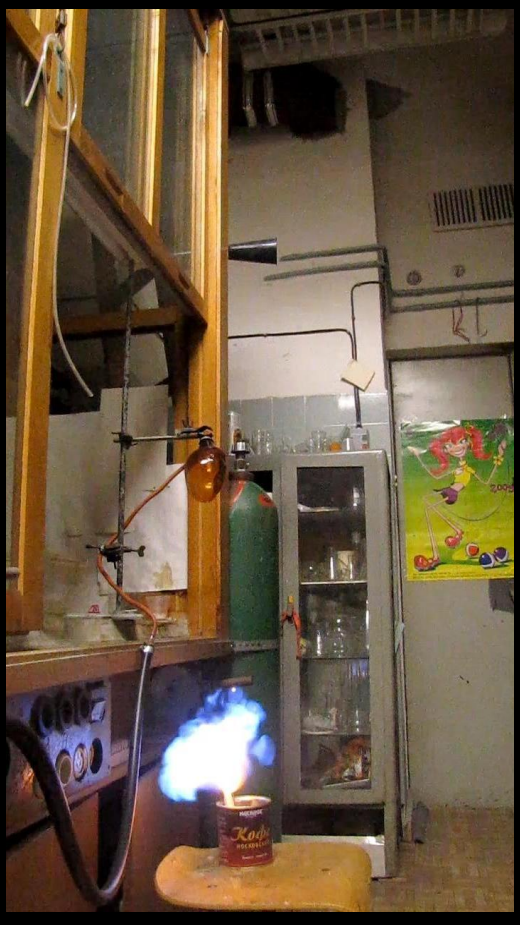










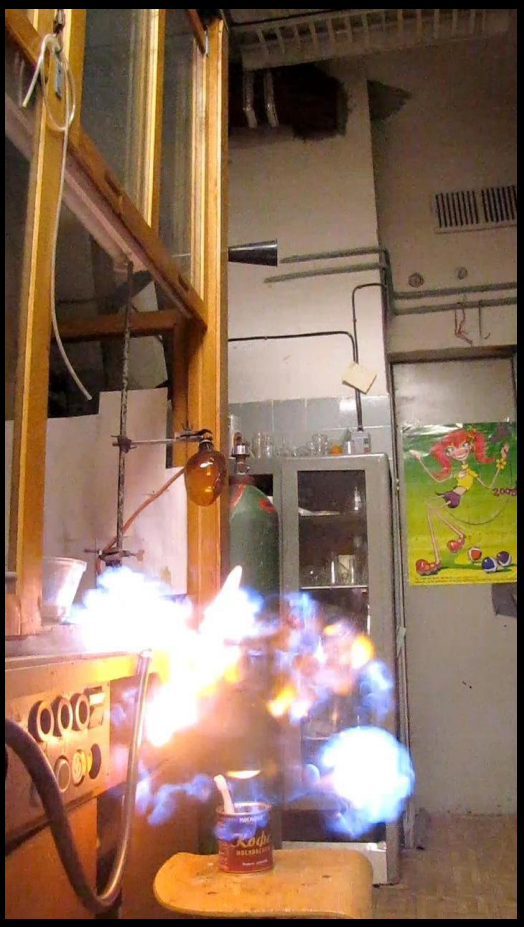












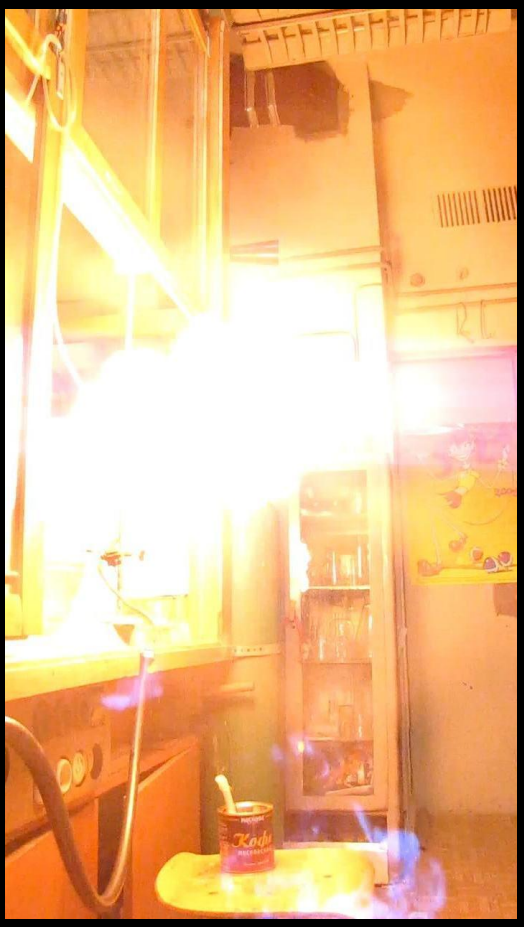






















Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью



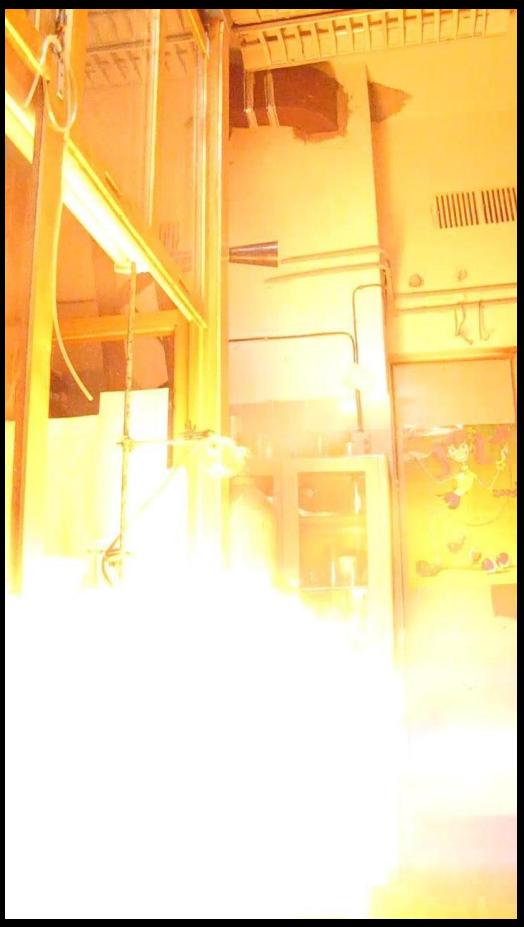


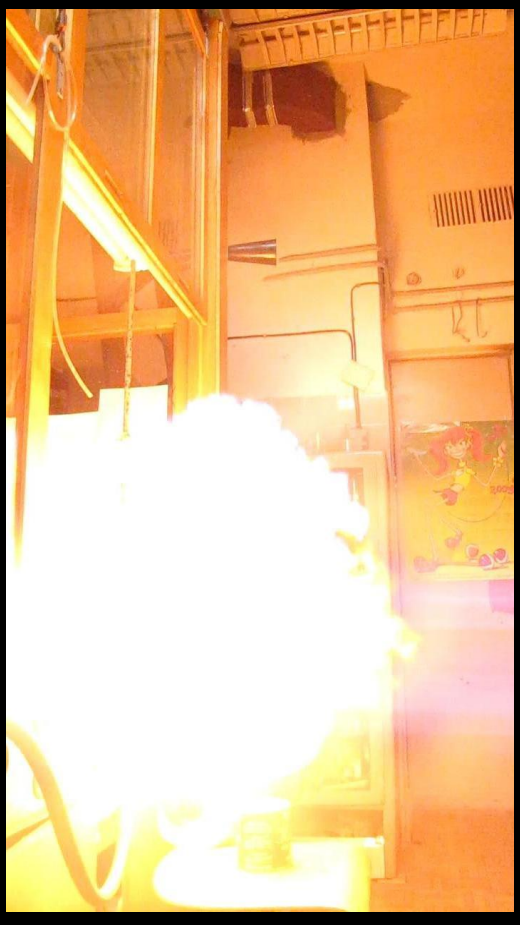


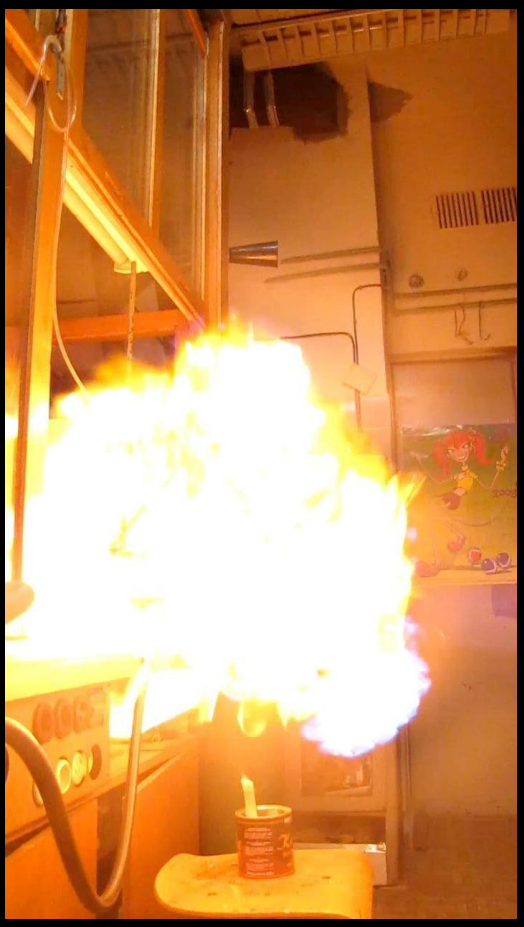




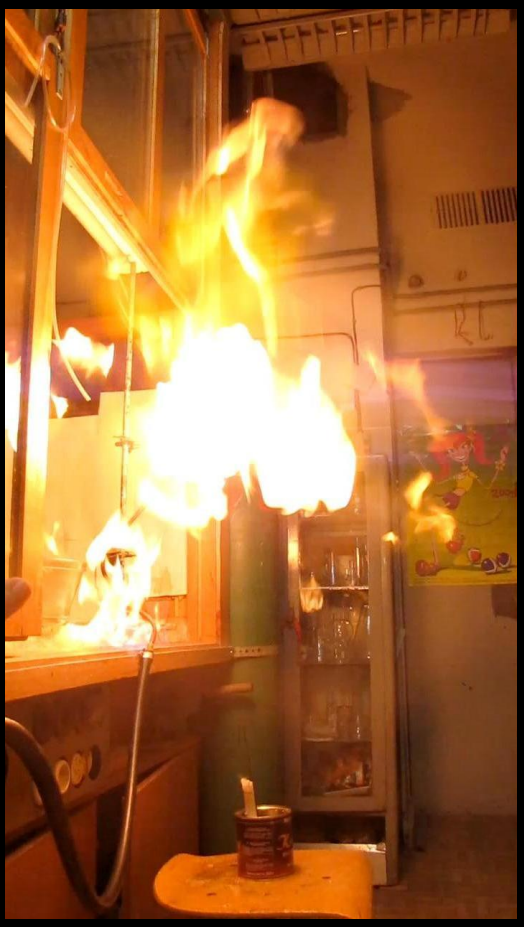
















Мыльные пузыри с пропан-бутановой смесью





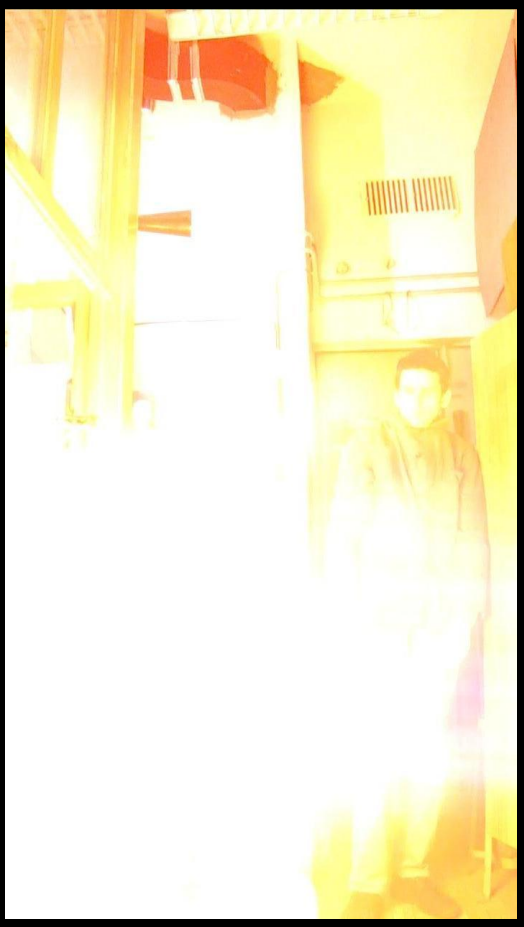














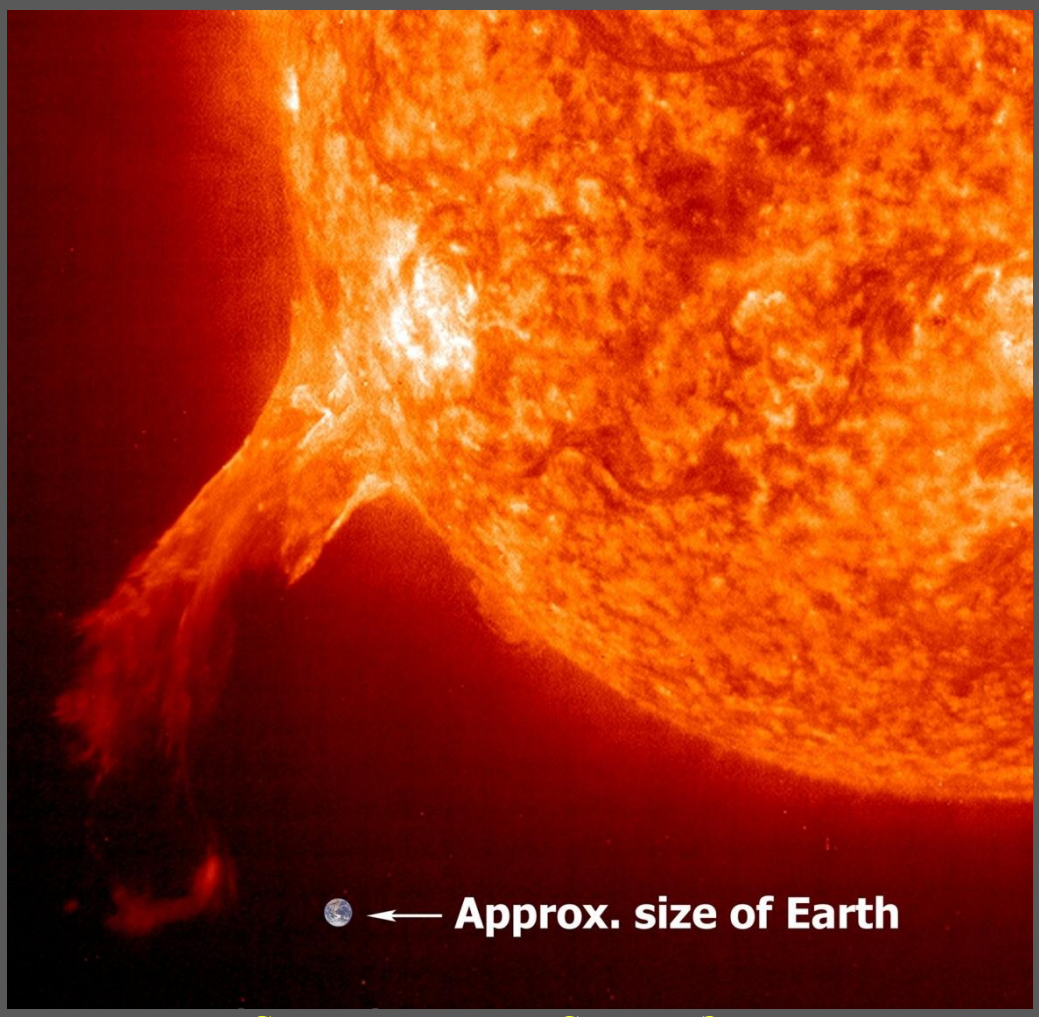




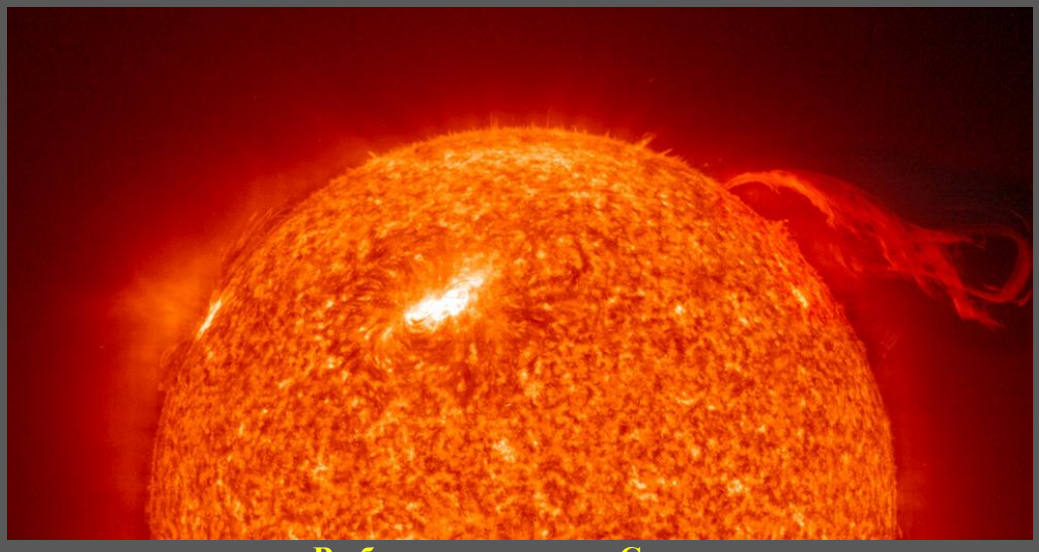








Сравнение размеров Солнца и Земли



Выбросы плазмы на Солнце

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.10

В.Н. Витер

Из пустого в порожнее (переливание пропан-бутановой смеси)

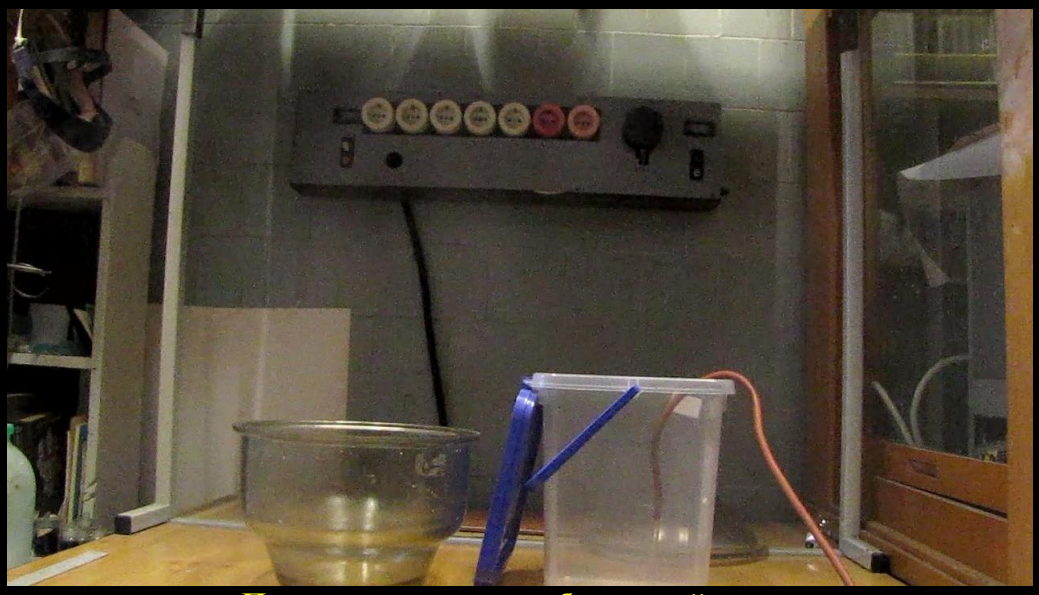
Газы, которые тяжелее воздуха, можно переливать из сосуда в сосуд подобно жидкостям. Газы, которые легче воздуха, также можно переливать, но, разумеется, при этом сосуды должны быть перевернуты вверх дном.

Существенная разница между газом и жидкостью состоит в том, что бесцветные газы невидимы. Есть разные способы визуализировать эффект переливания газов. В случае пропан-бутановой смеси мы поступили следующим образом.

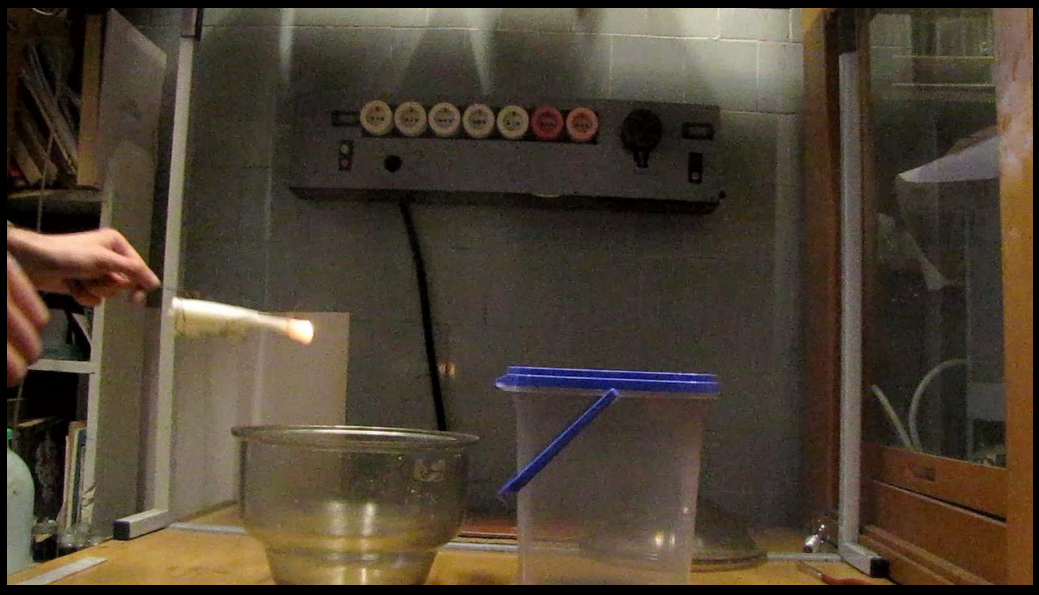
Пластиковое ведро заполнили пропан-бутановой смесью (из газового баллона), после чего накрыли. Рядом поставили большой эксикатор, в который опустили горящую свечу. Естественно, ничего не произошло. Свечу погасили (от греха подальше), открыли ведро и осторожно перелили из него пропан-бутановую смесь в эксикатор. Снова зажгли свечу и внесли ее в эксикатор. Газ в эксикаторе загорелся. Образовалось довольно большое пламя. В случае необходимости огонь можно было бы быстро погасить, накрыв эксикатор крышкой.

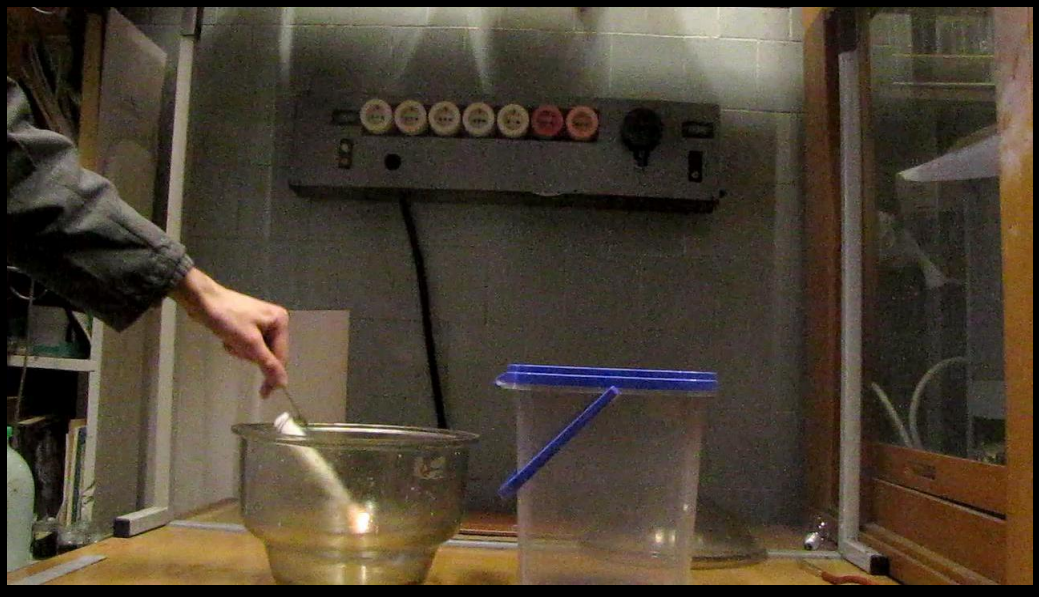
Благодаря сравнительно невысокой скорости горения пропана и бутана при покадровом просмотре видео можно увидеть отдельные стадии вспышки.

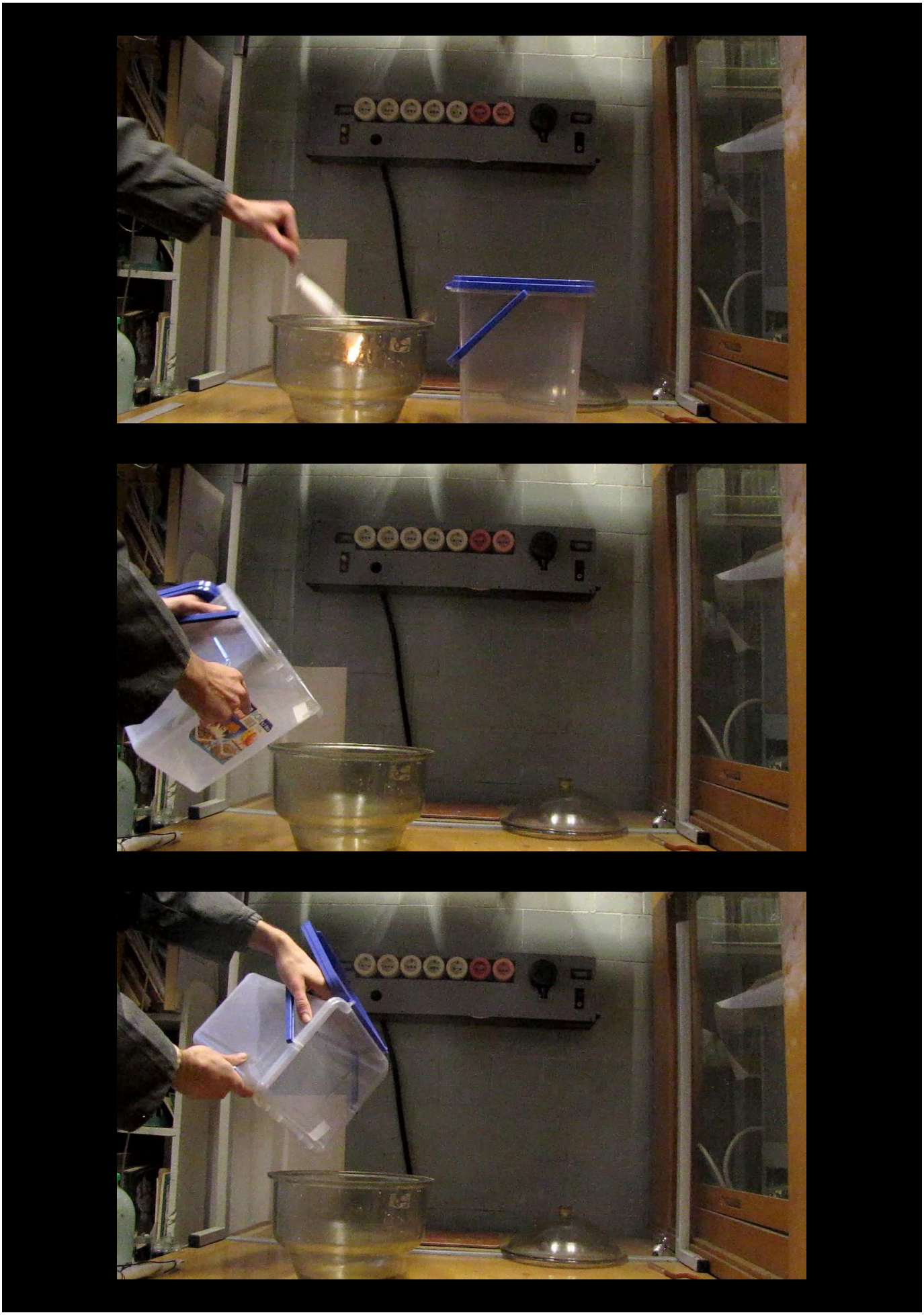
Смотреть Видео (77 Мб, .avi)

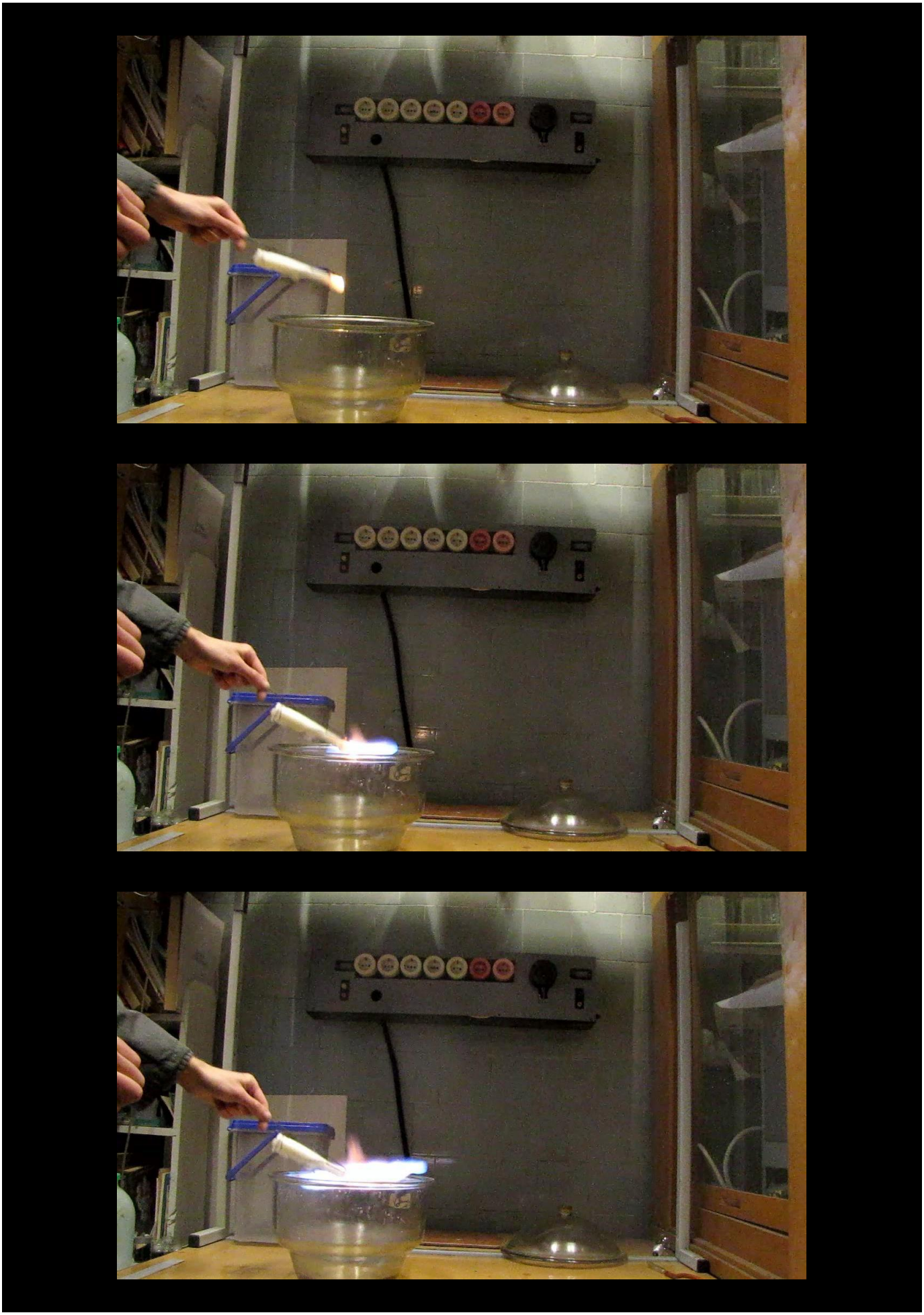


Переливание пропан-бутановой смеси

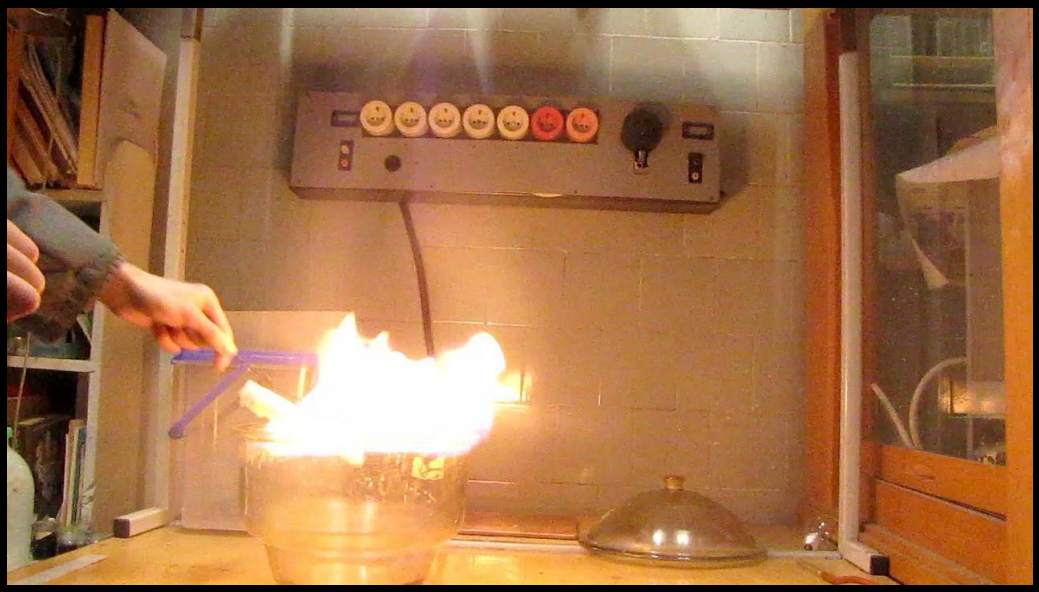






















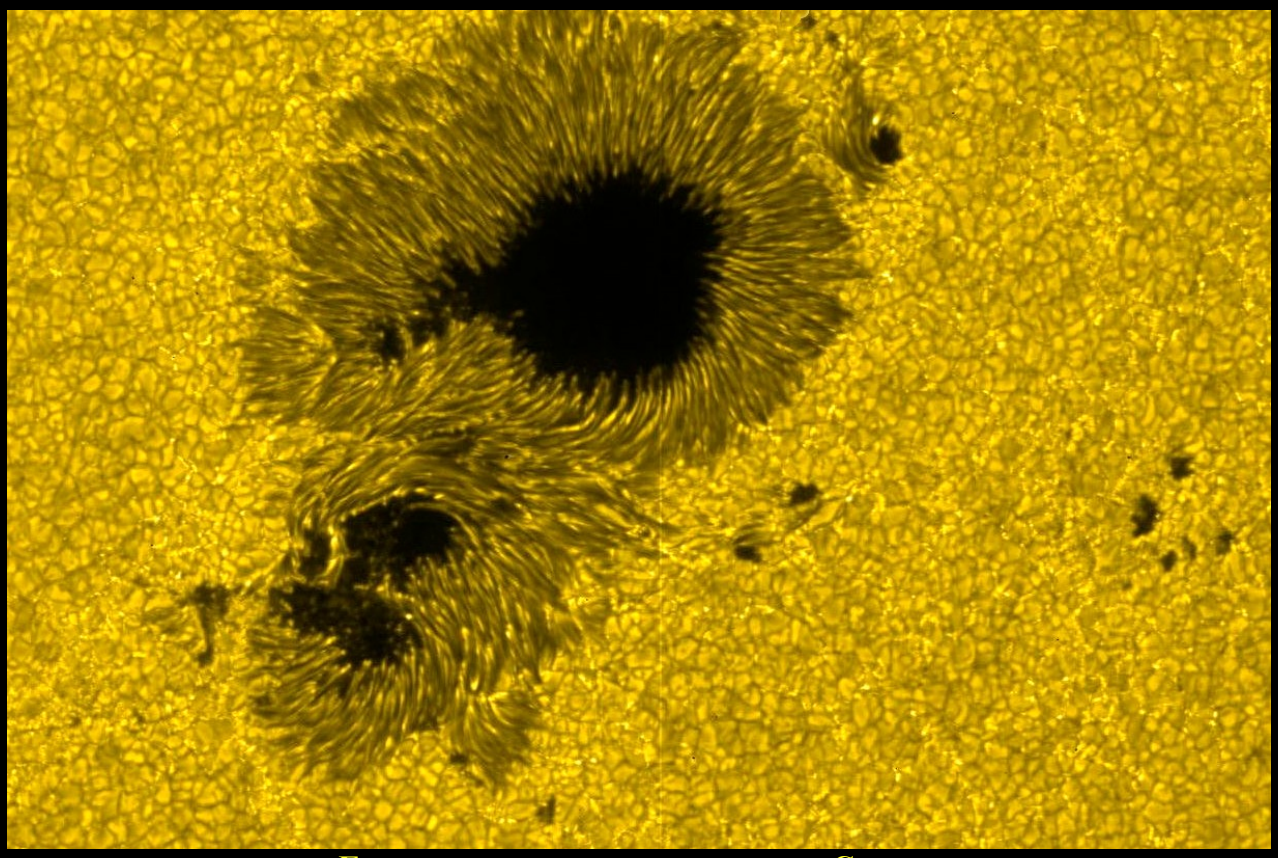












Гранулы и пятна на поверхности Солнца

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.11

В.Н. Витер

Газ растекается по поверхности

Диэтиловый эфир (или просто эфир) - очень летучая и огнеопасная жидкость. Тем не менее, благодаря ряду ценных свойств эфир широко используется в органической и аналитической химии, медицине, промышленности.



Диэтиловый эфир

Температура кипения эфира всего 34.6°C, и одновременно его пары тяжелее воздуха. Это приводит к очень неприятным последствиям: пары эфира способны "стелиться" по поверхности стола, полу и т.д. Если поблизости находится источник открытого огня, может произойти неожиданная вспышка и начаться пожар. При работе с эфиром не допускается наличие в помещении источников открытого огня. Например, газовая горелка, которая стоит в нескольких метрах от бутылки с эфиром, может стать причиной беды.

Кроме того, при стоянии на воздухе под действием света в эфире (а также - тетрагидрофуране и диоксане) накапливаются органические перекиси, которые могут стать причиной взрыва.

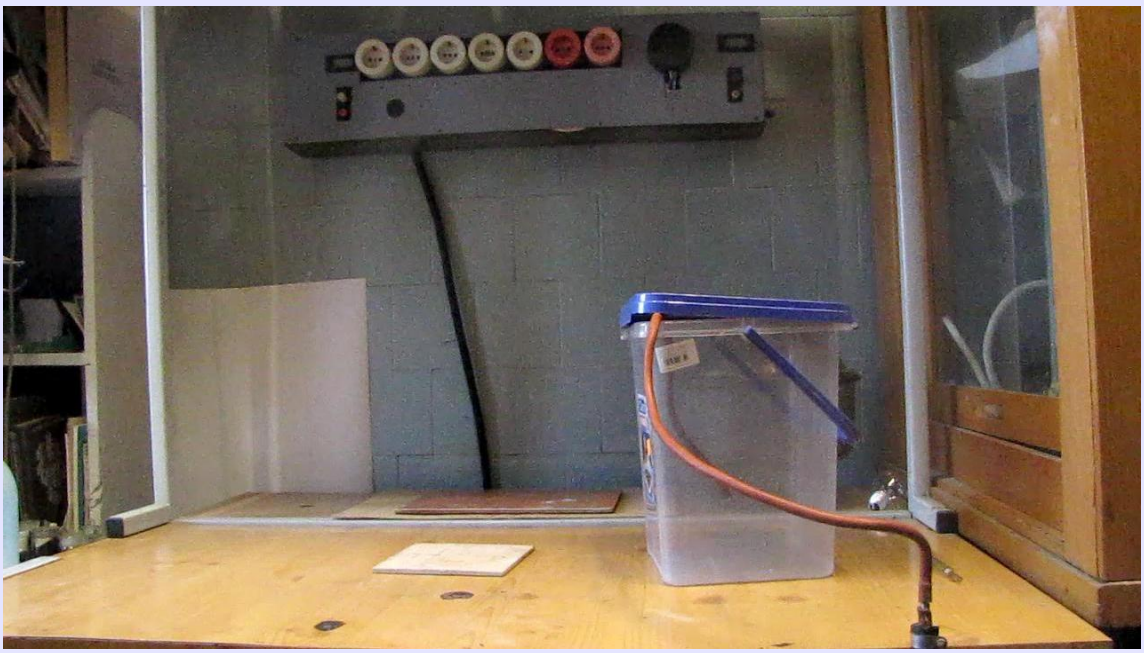
К огромному сожалению, диэтиловый эфир принадлежит к "запрещенным" веществам - именно потому, что он необходим химикам: как в лаборатории, так и в промышленности. Однако смоделировать огнеопасные свойства эфира можно с помощью пропан-бутановой смеси.

В уже знакомое нам пластиковое ведро набрали пропан-бутановую смесь. На стол положили кафельную плитку, на которой зажгли таблетку "сухого спирта" (уротропин). После этого газ из ведра "вылили" на некотором расстоянии от пламени. Через несколько секунд произошла сильная вспышка, и весь стол заполнило пламя. Выливаясь из ведра, углеводороды растеклись по столу и достигли открытого пламени. В нашем случае расстояние от ведра до источника огня было не более полуметра, однако можно не сомневаться, что в описанных условиях эффект будет наблюдаться и при расстоянии в несколько метров.

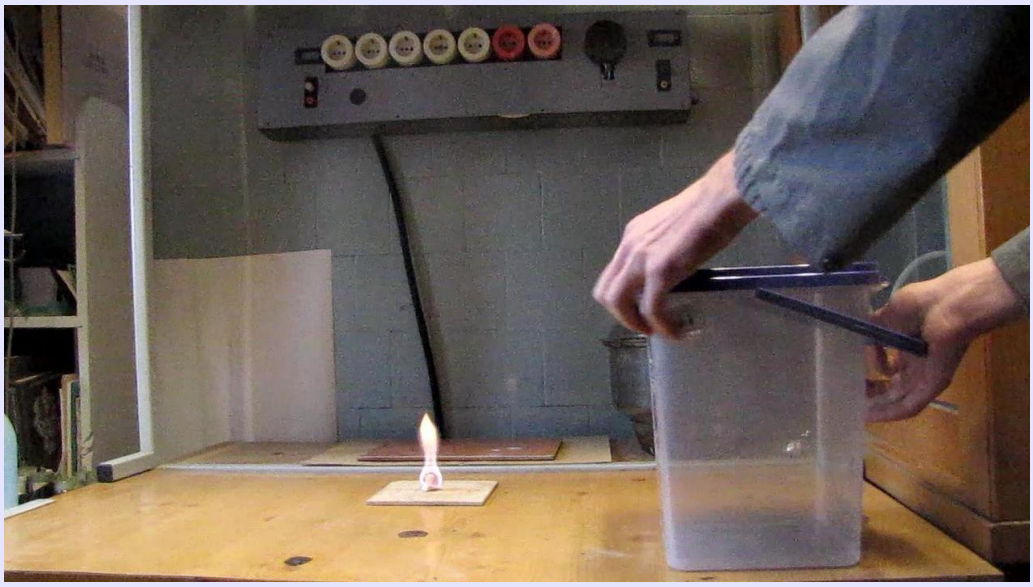
Смотреть Видео (68 Мб, .avi)

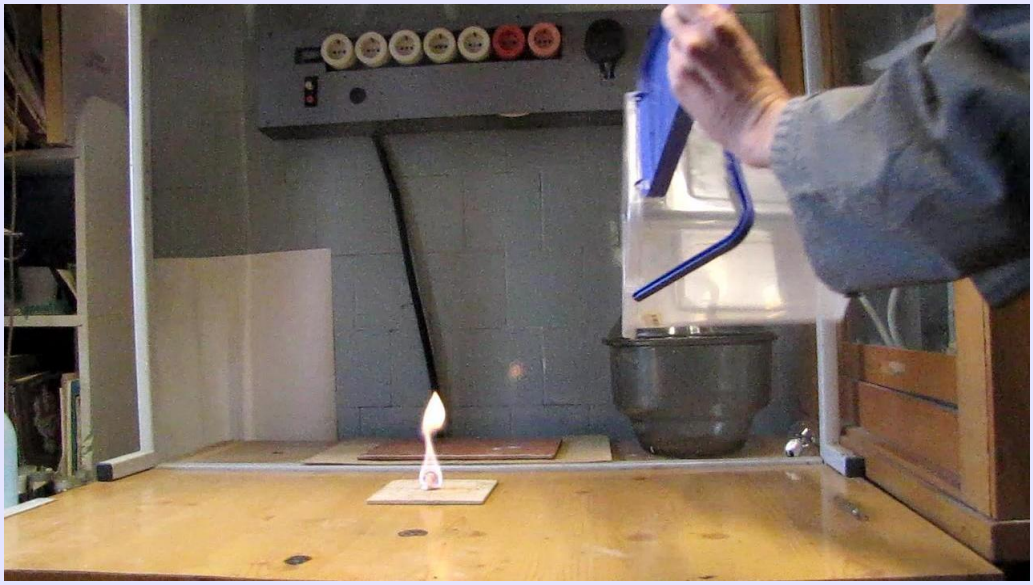
Смотреть Видео 2 (30 Мб, .avi)

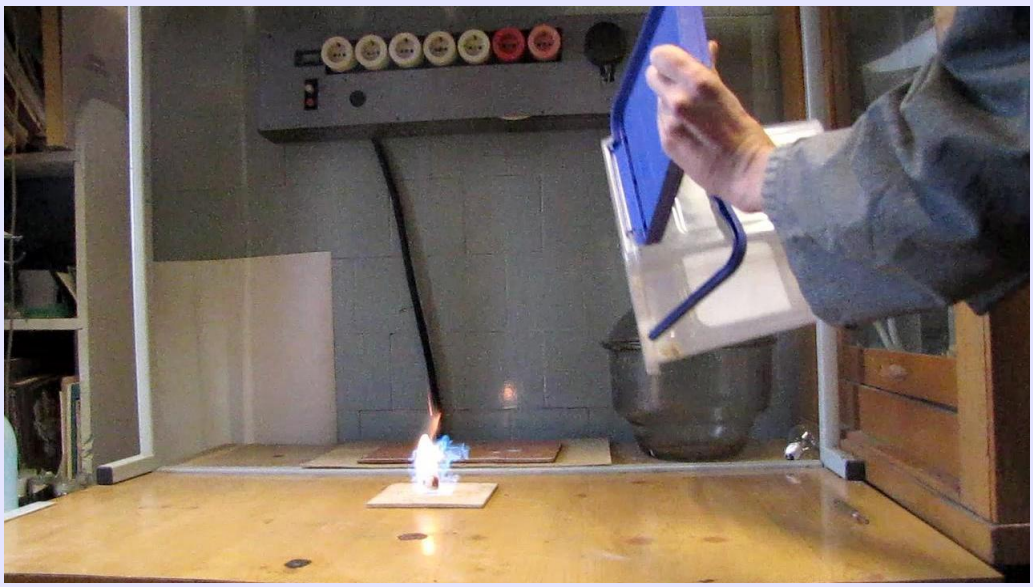
Смотреть Видео 3 (43 Мб, .avi)

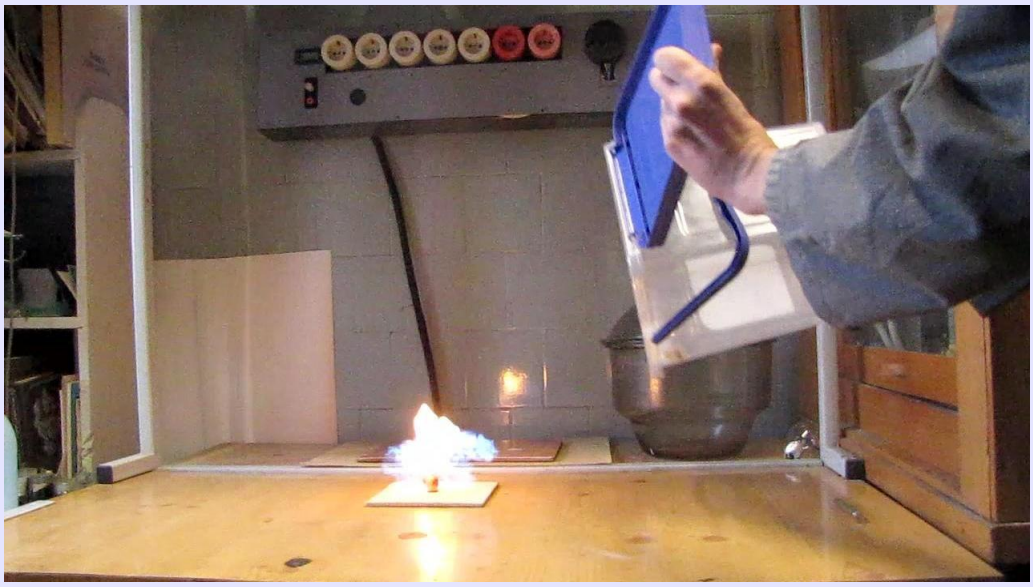


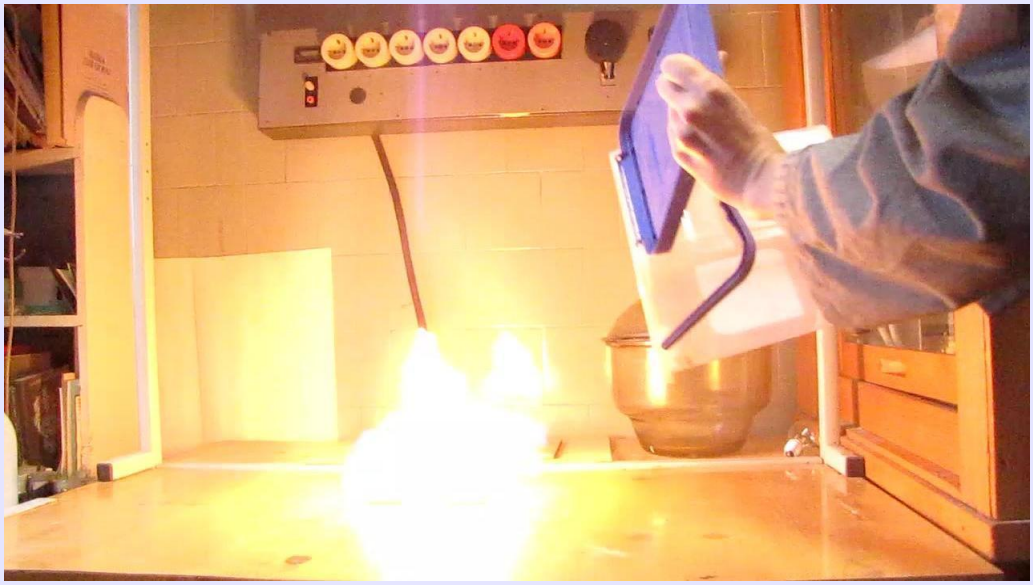
Пропан-бутановая смесь растекается по поверхности

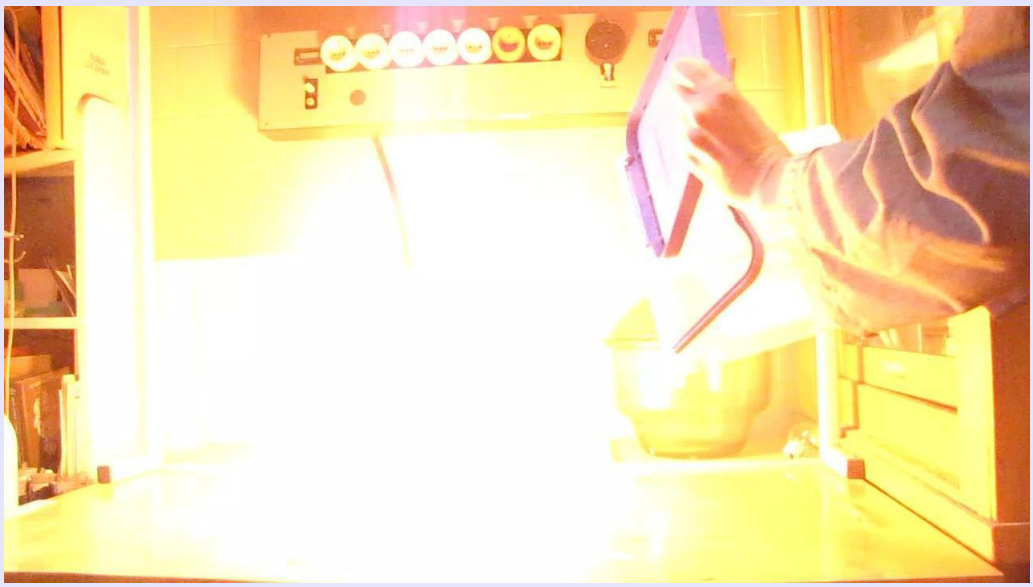




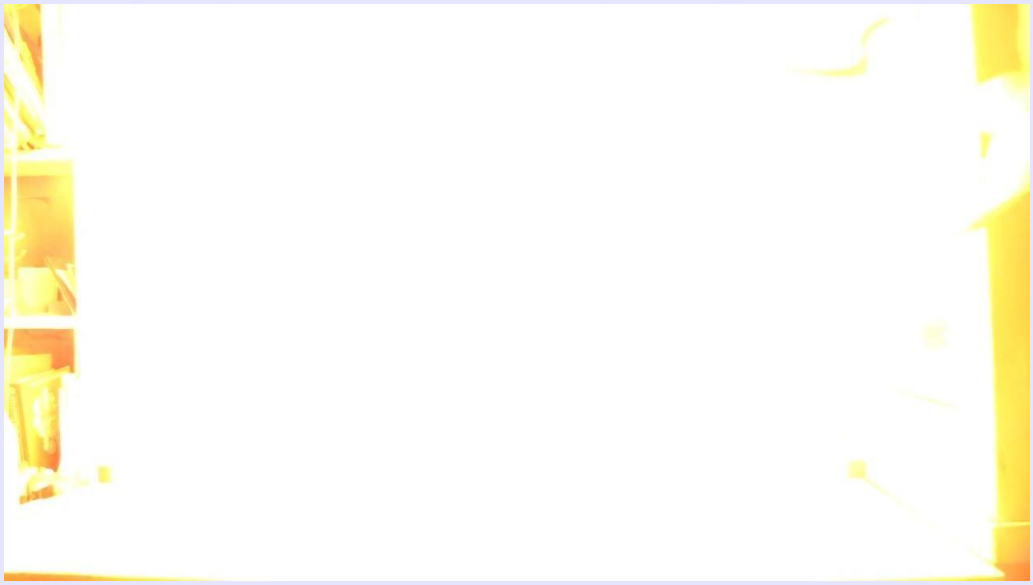




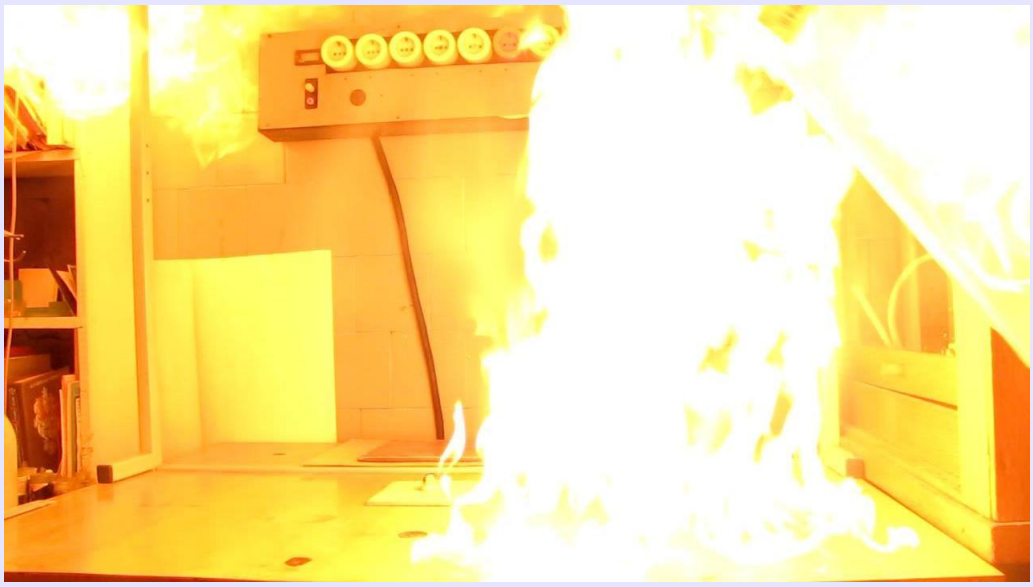








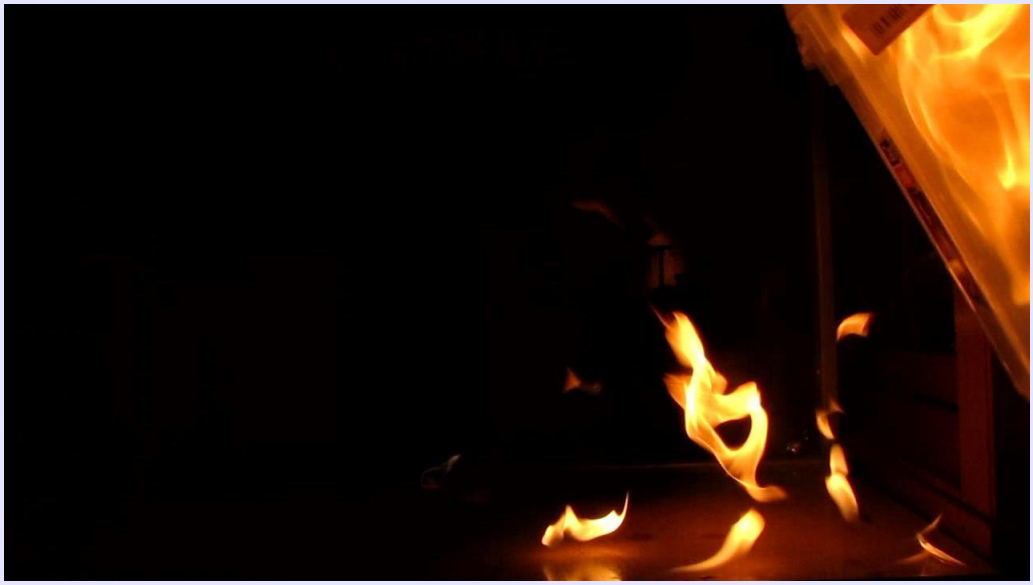


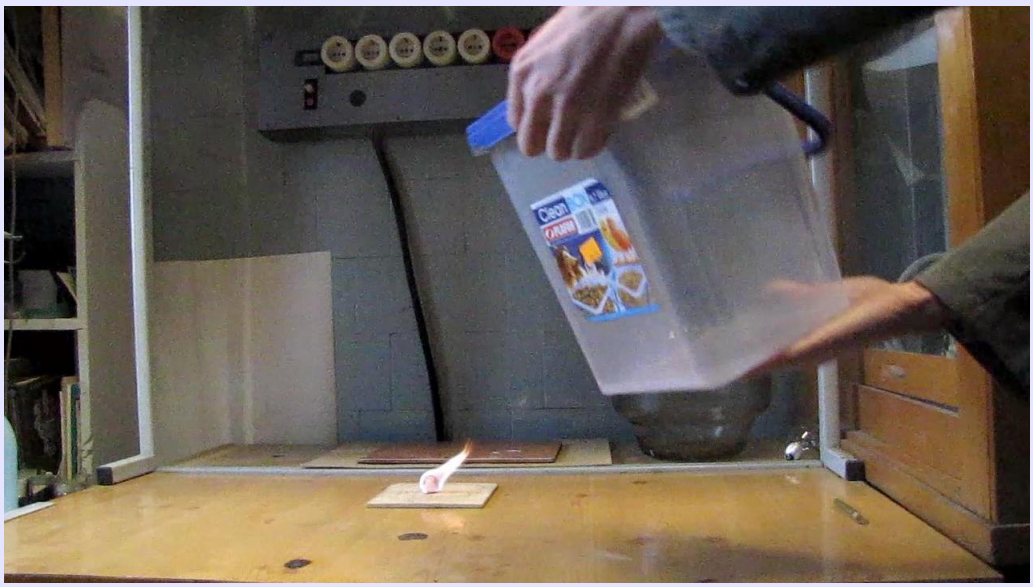


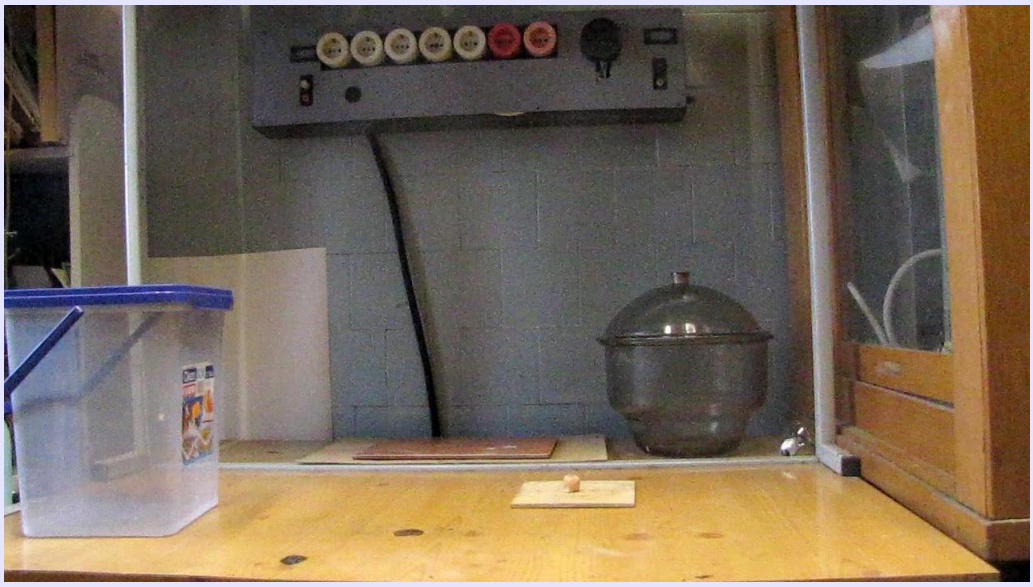




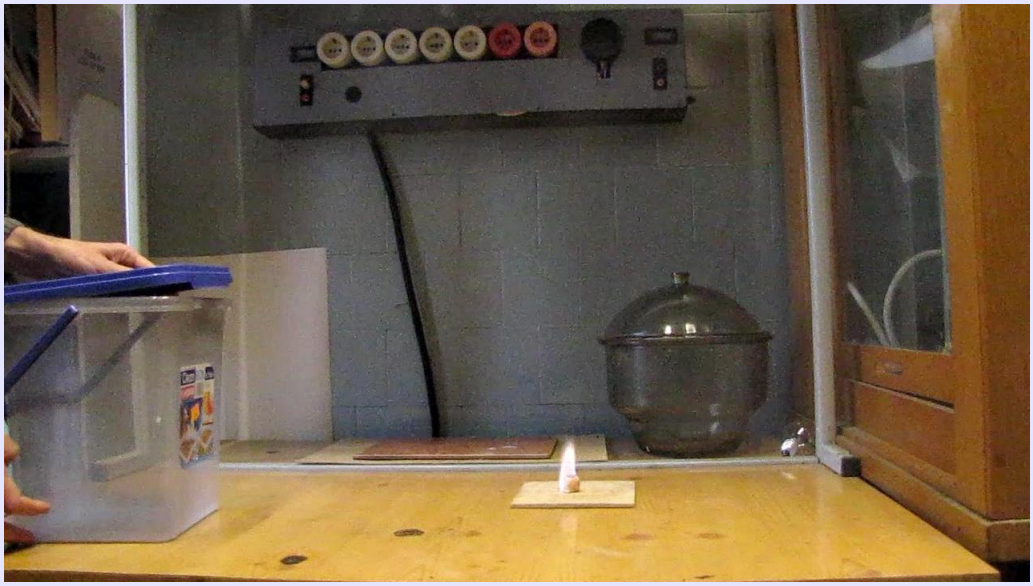


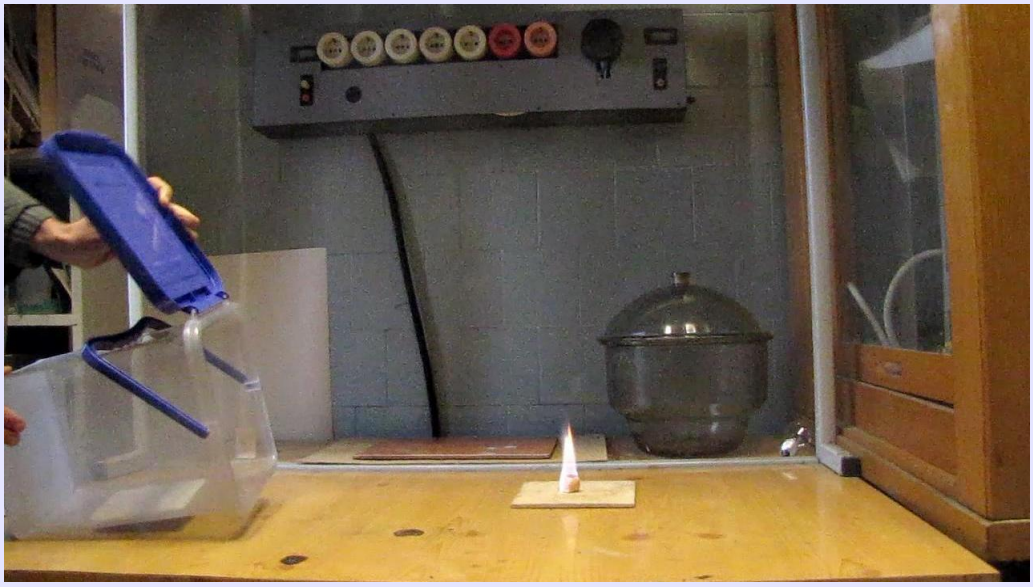


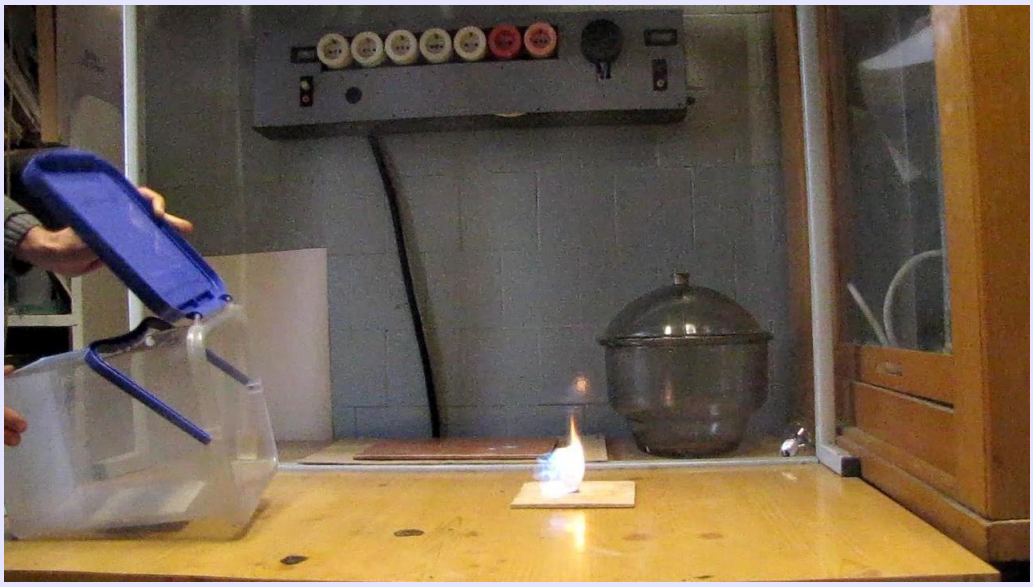


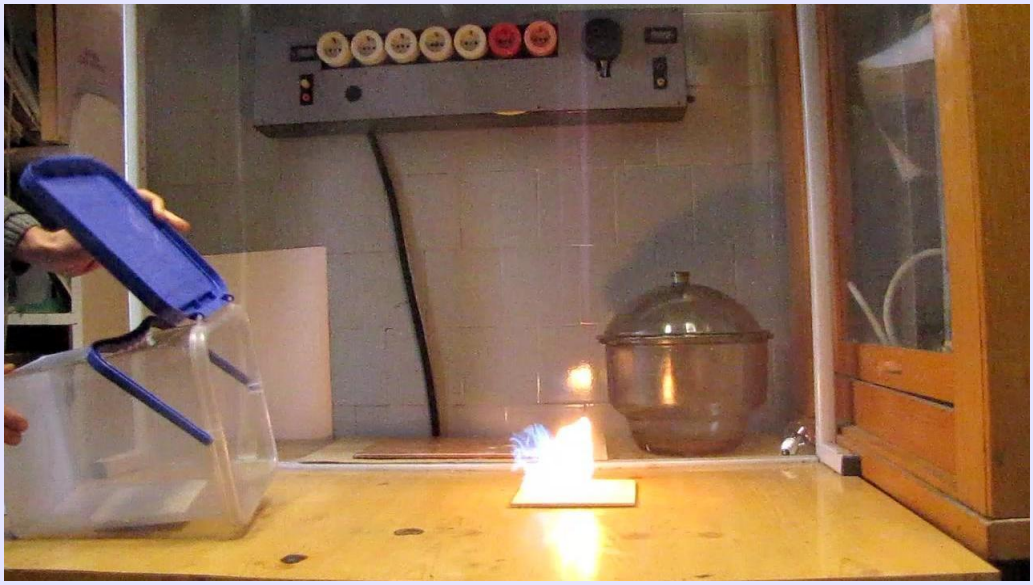


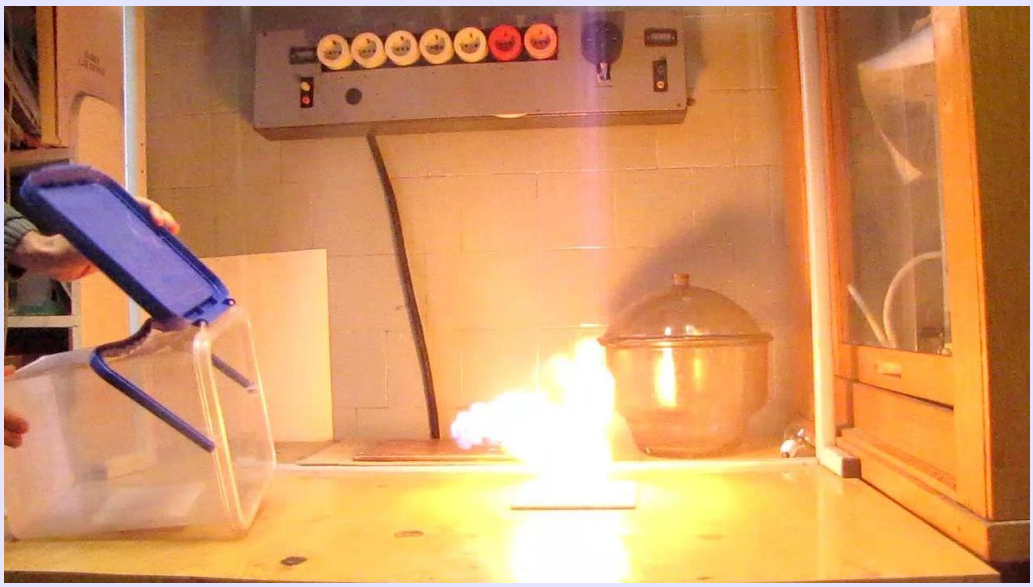
Пропан-бутановая смесь растекается по поверхности

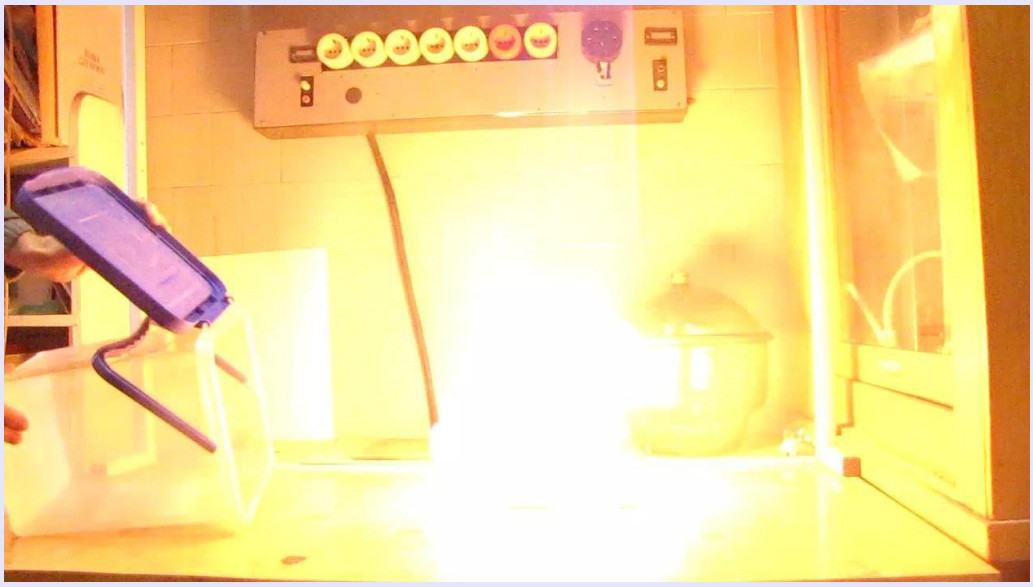
























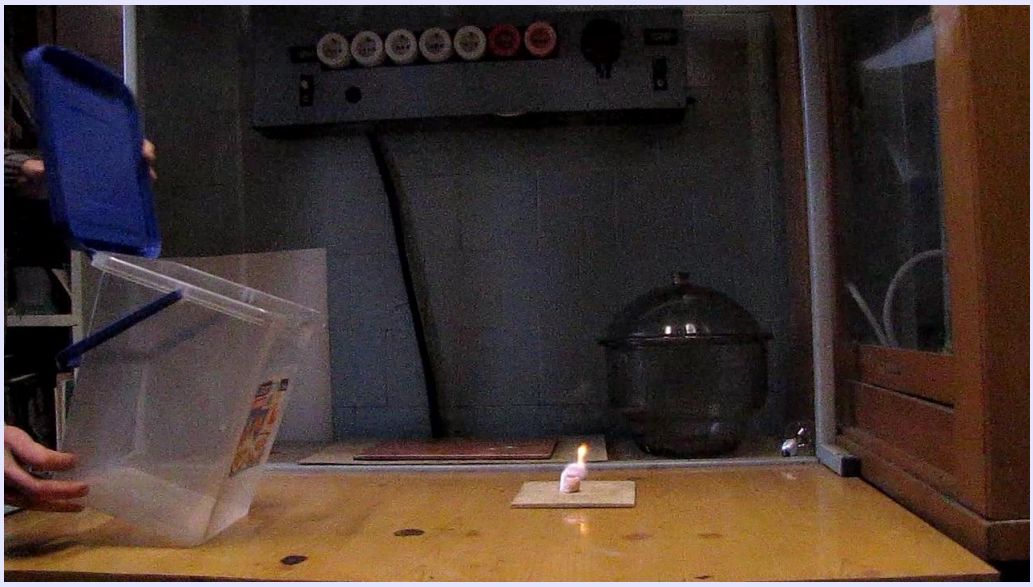






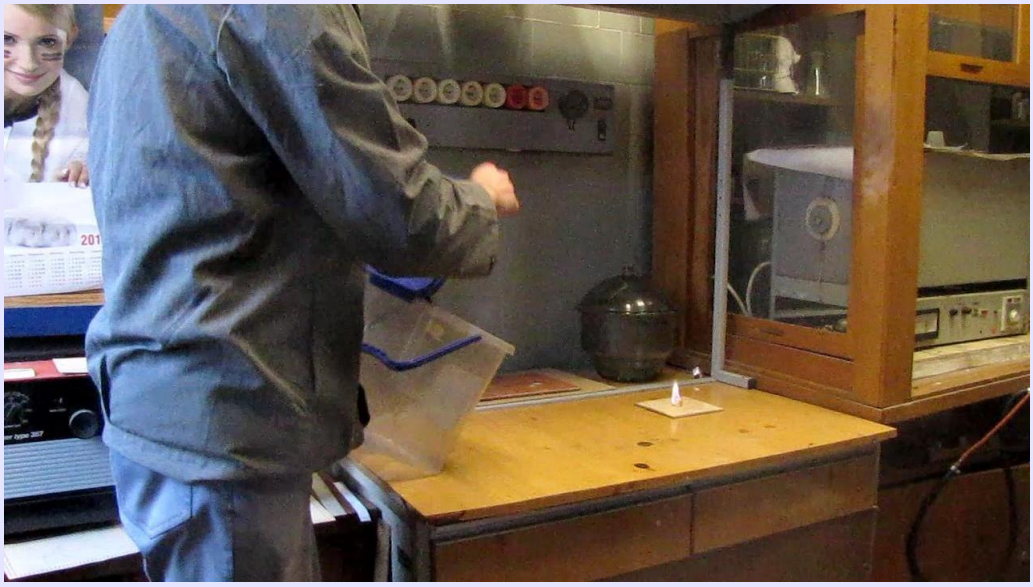






Пропан-бутановая смесь растекается по поверхности

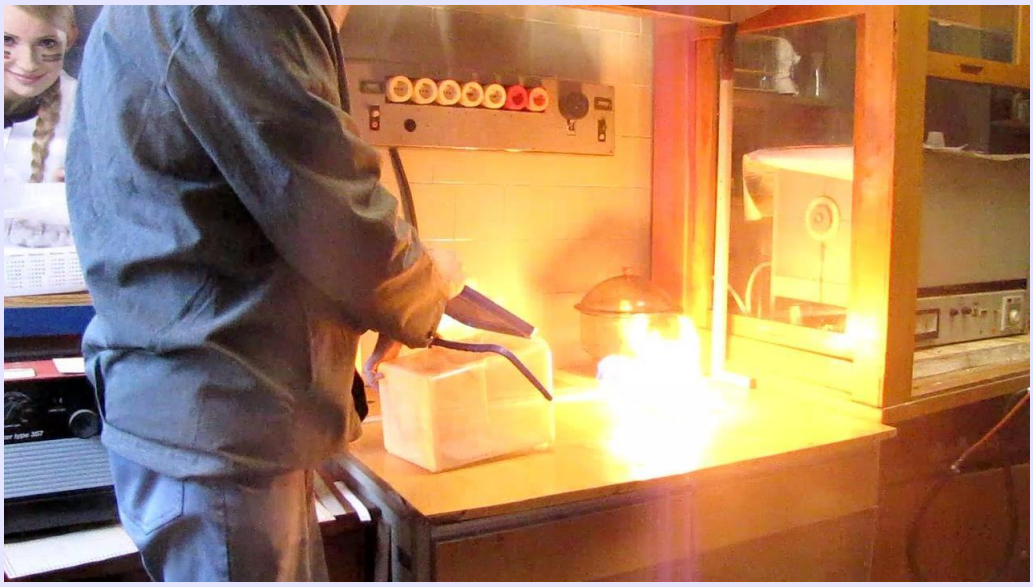


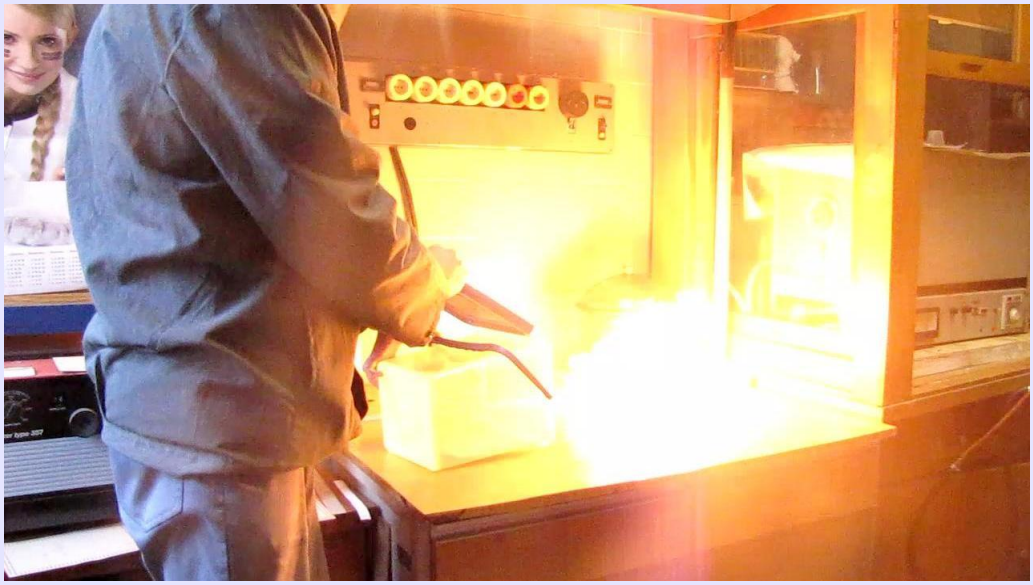












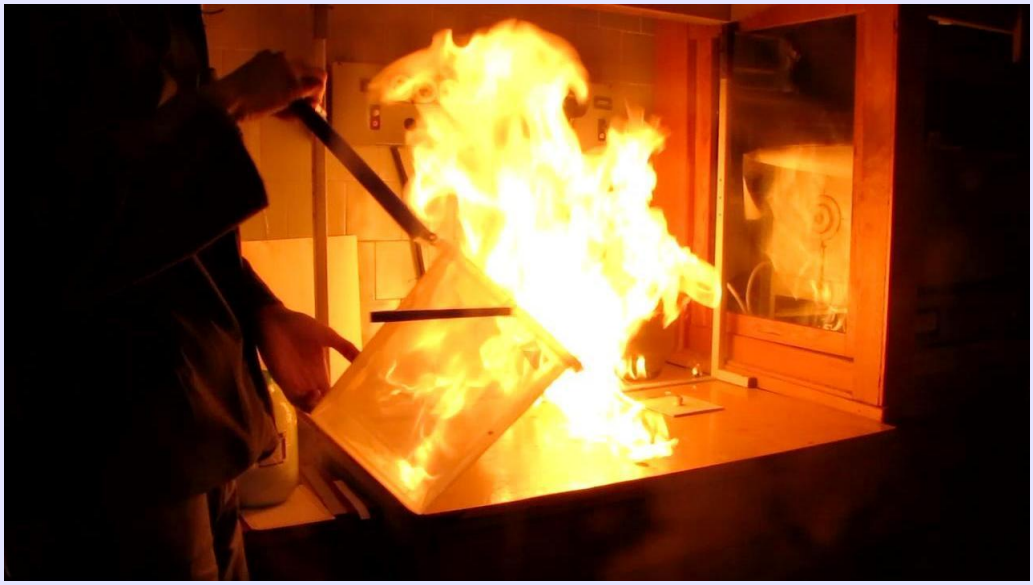






















Солнце и Земля (видны арки плазмы, удерживаемые магнитным полем)

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.12

В.Н. Витер

Пропан-бутановая смесь и мыльная пленка

В штативе закрепили семилитровую пластиковую бутылку со срезанным дном (горлышком вверх). Дно бутылки предварительно опустили в кристаллизатор с мыльным раствором, в результате образовалась мыльная пленка. В горлышко бутылки поместили трубку, соединенную с баллоном с пропан-бутановой смесью. Начали подавать газ. (Обратите внимание: горлышко бутылки осталось открытым!)

На первый взгляд после того, как мы пустили в бутылку газ, не должно произойти ничего интересного - бутылка ведь открыта сверху. Однако вскоре мы увидили, что мыльная пленка начинает прогибаться, образуя сначала конус, потом овал. Далее от дна бутылки отделился большой мыльный пузырь (правда, пузырь часто лопался, но в нашем случае это не принципиально).

Объяснить опыт очень просто: когда в бутылку подается газ, более тяжелый, чем воздух, он стремится опуститься вниз, прогибая под своим весом мыльную пленку. Фактически, мыльная пленка визуализирует движение пропан-бутановой смеси вниз.

Смотреть Видео (28 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (30 Мб, .avi)



Пропан-бутановая смесь и мыльная пленка (горлышко бутылки открыто)















Пропан-бутановая смесь и мыльная пленка (горлышко бутылки открыто)




2005




2005



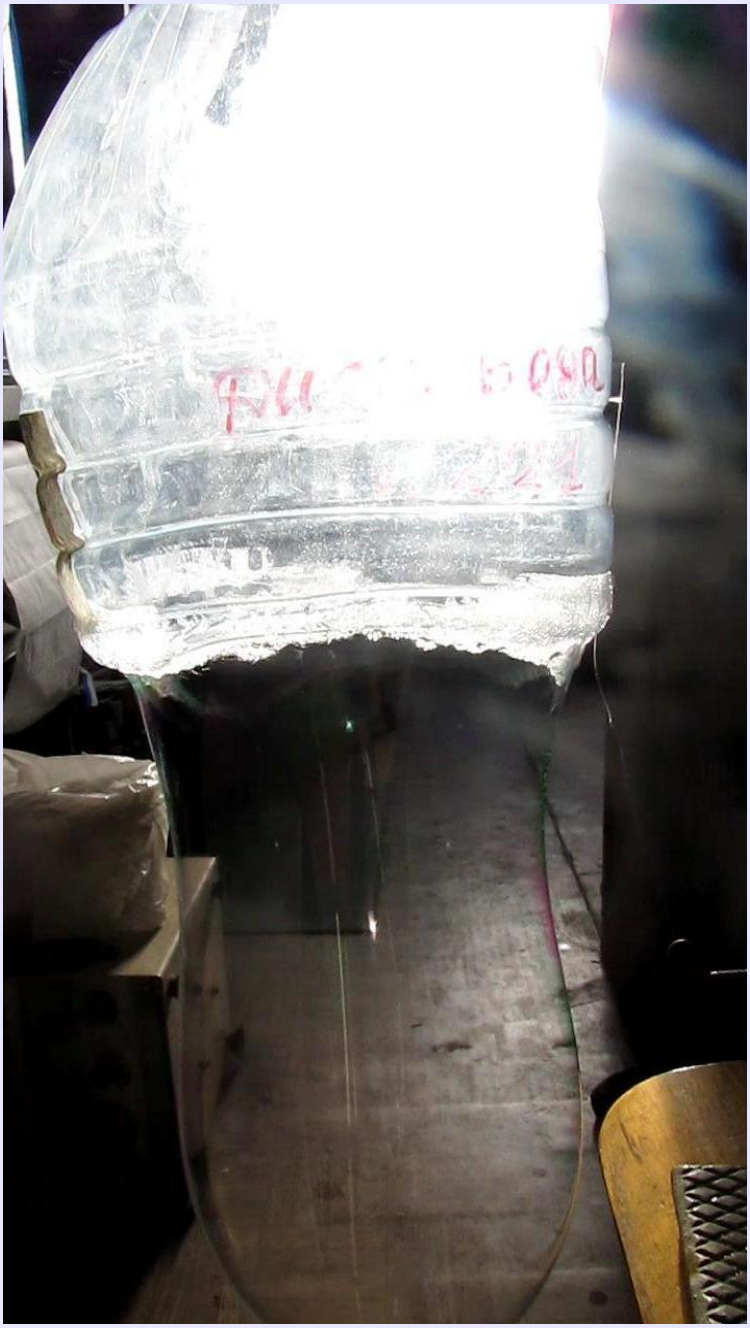

2005

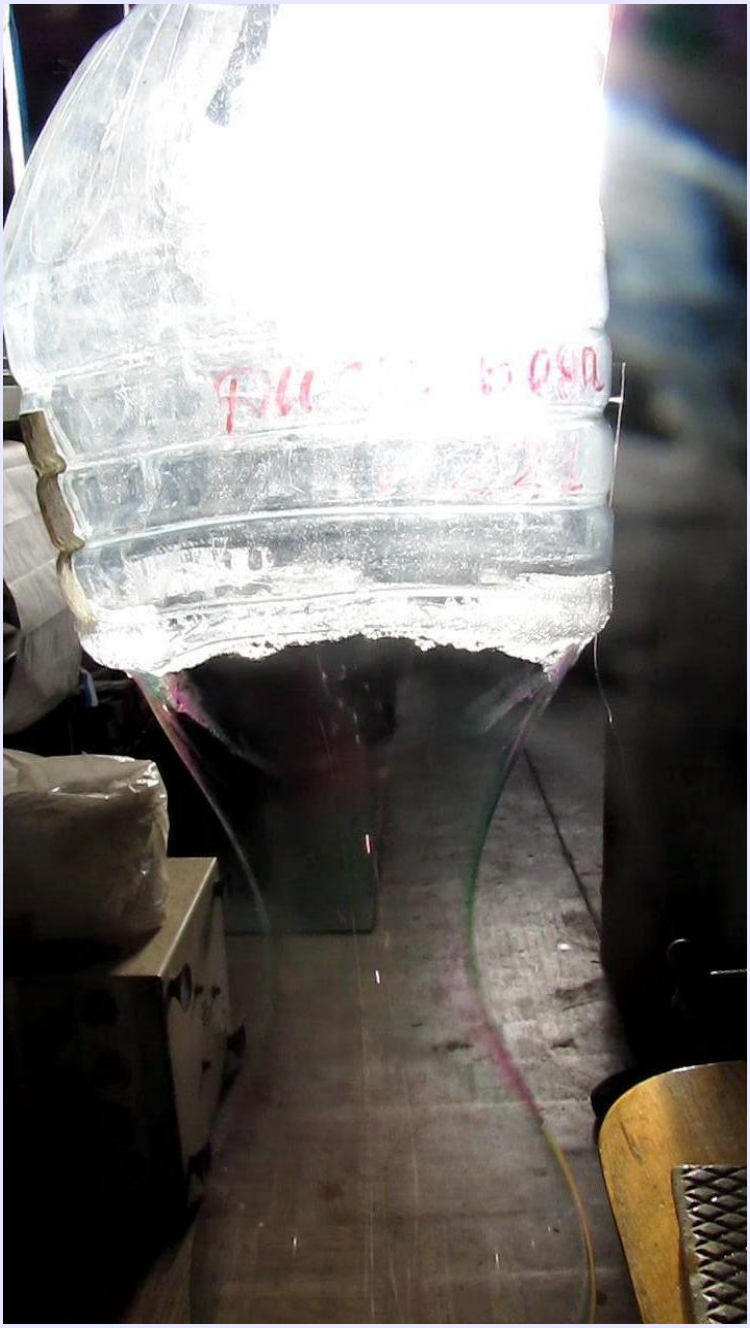


Пропан-бутановая смесь и мыльная пленка (горлышко бутылки открыто)



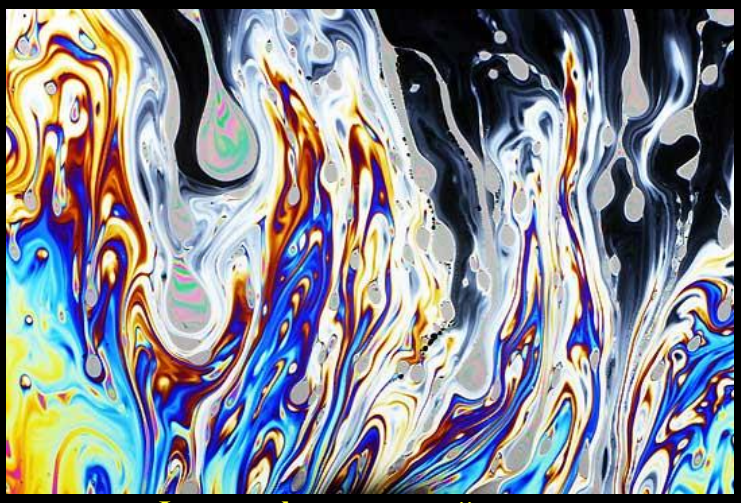








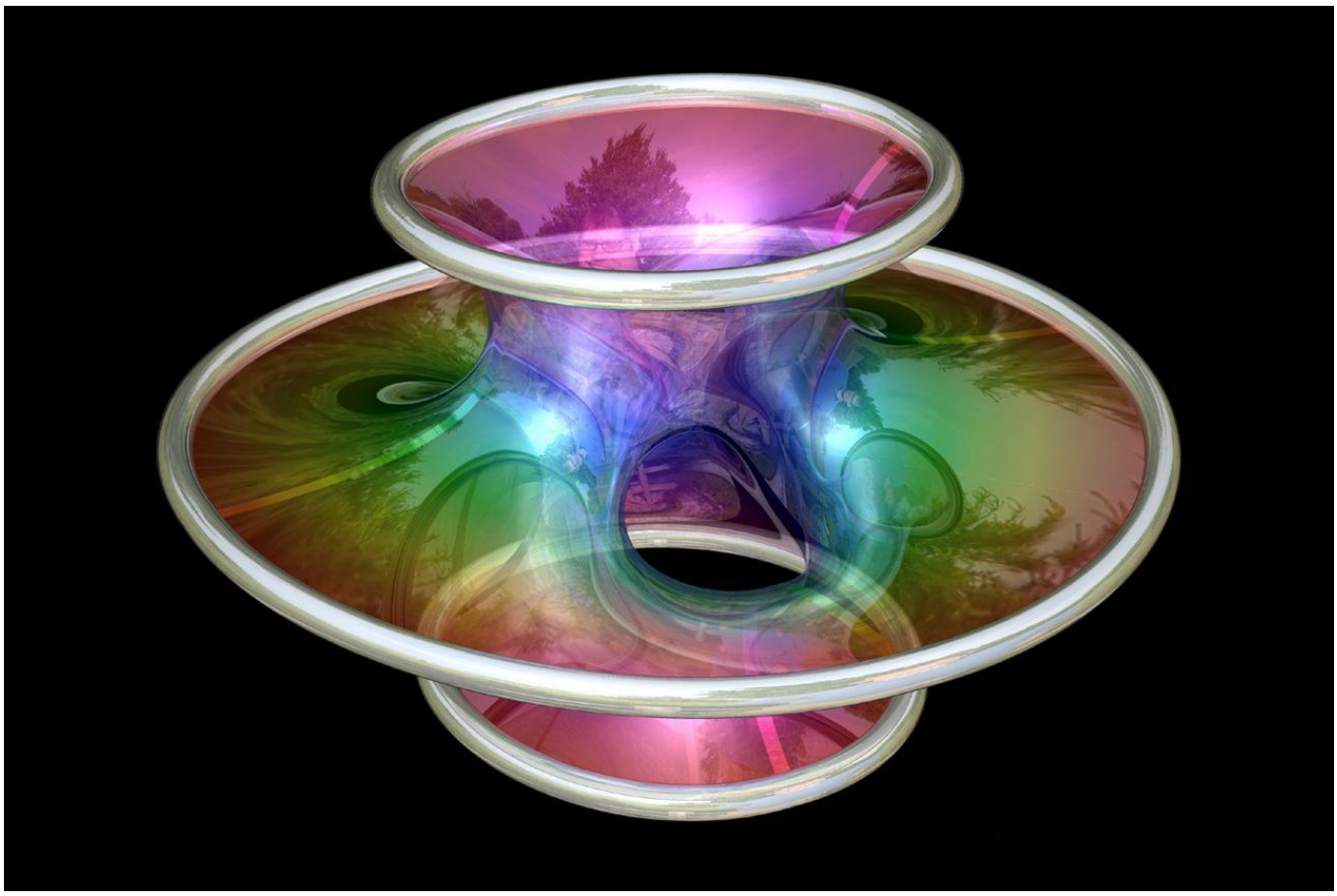




Фотография мыльной пленки







Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.13

В.Н. Витер

Горящий снег

Как известно, снег не горит[1], однако этот научный факт совсем не мешает убедить зрителей в обратном. Существует немало вариантов имитации горящего льда и снега. Мы поступили следующим образом.

В пластиковый лоток (отрезанное дно канистры) подвели трубку, соединенную с пропан-бутановым баллоном. Сверху положили разрезанную вдоль пластиковую бутылку, в которой проделали большие отверстия. Половинка бутылки играла роль распределительной решетки. Вокруг лотка соорудили "стены" из утрамбованного снега, причем дальняя и боковые "стены" должны быть выше, чем ближняя (к камере или зрителям). В сам лоток насыпали снега. Снег должен покрывать лоток и решетку, но вместе с тем - быть рыхлым и образовывать в центре широкое углубление, в котором будет собираться газ. Трубку (по которой подводится газ) необходимо замаскировать, насыпав сверху снега.

Идея состояла в том, чтобы пропан-бутановая смесь, которая выходит из трубки, распределялась по возможно большей площади, собиралась в углублении в центре снега, а потом стекала в сторону фотоаппарата (зрителей).

Итак, мы включили поток газа, а через минуту - подожгли снег. Произошла вспышка, снег "загорелся" желтым пламенем. Регулируя поток газа можно регулировать интенсивность горения. Горение будет тем правдоподобнее, чем по большей площади удастся распределить газ.

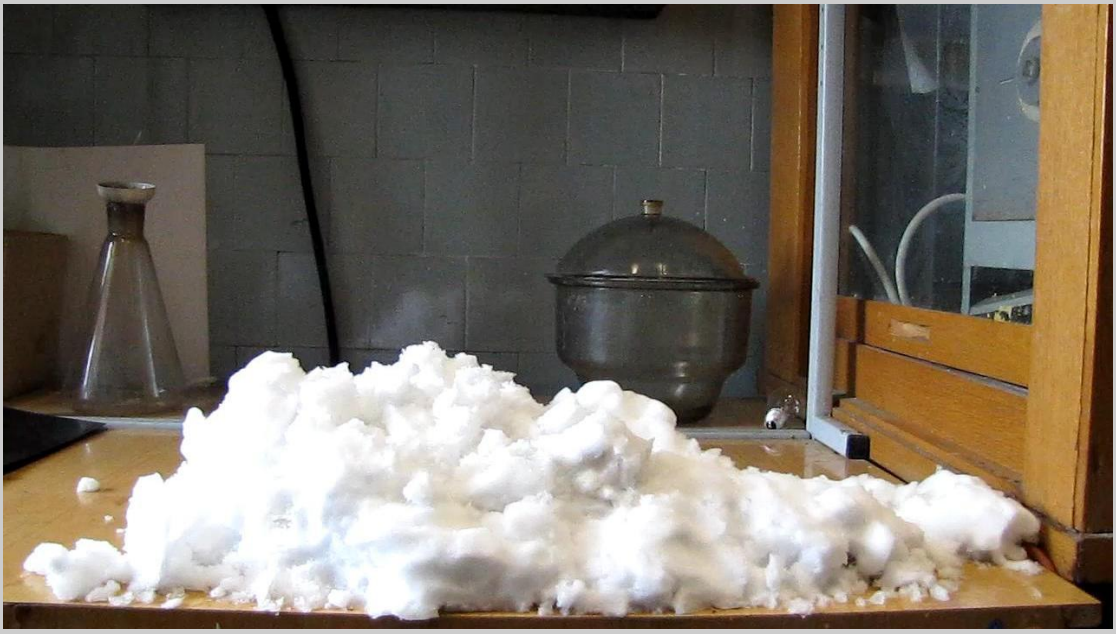
В другом варианте на газовую горелку надели горлышко шестилитровой пластиковой бутылки со срезанным дном. В бутылку насыпали снега, стараясь сделать так, чтобы в центре снег был рыхлым и не мешал движению газа. Такой вариант опыта проще и безопаснее, но вместе с тем - менее эффектный.

---

[1] Реакцию воды со фтором, щелочными металлами и аналогичные эксперименты мы рассматривать не будем.

Смотреть Видео (27 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (11 Мб, .avi)

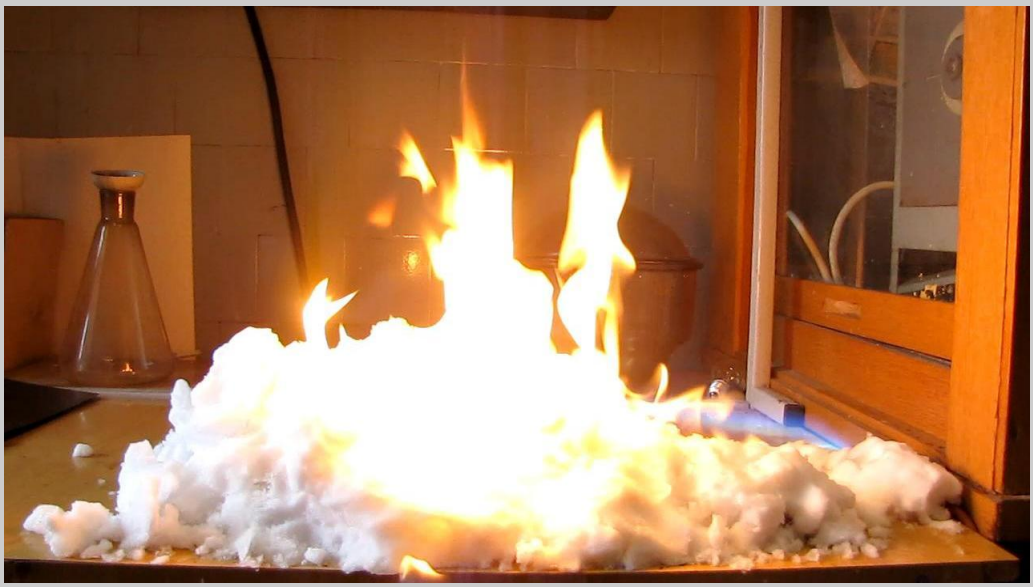


Горящий снег











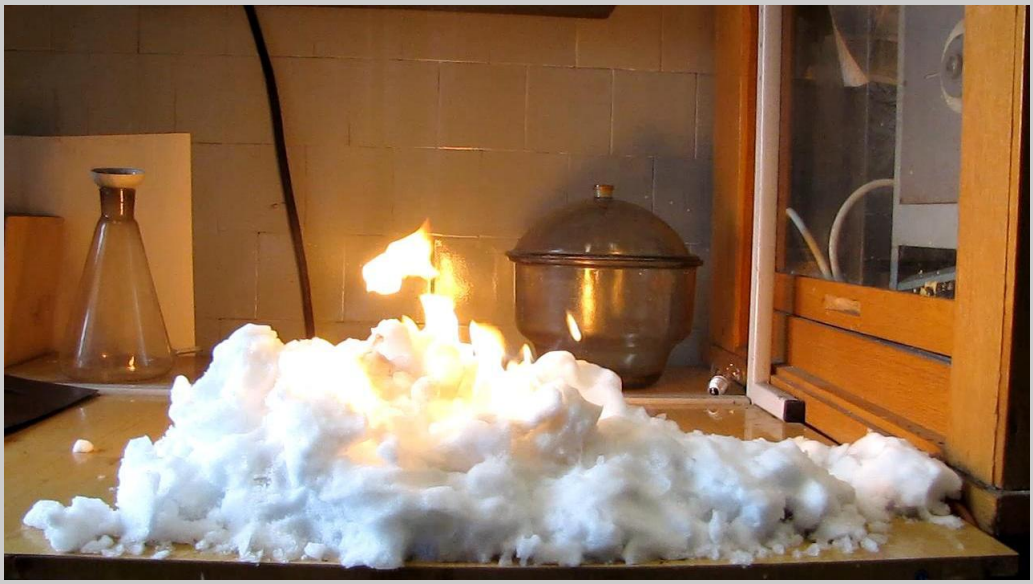










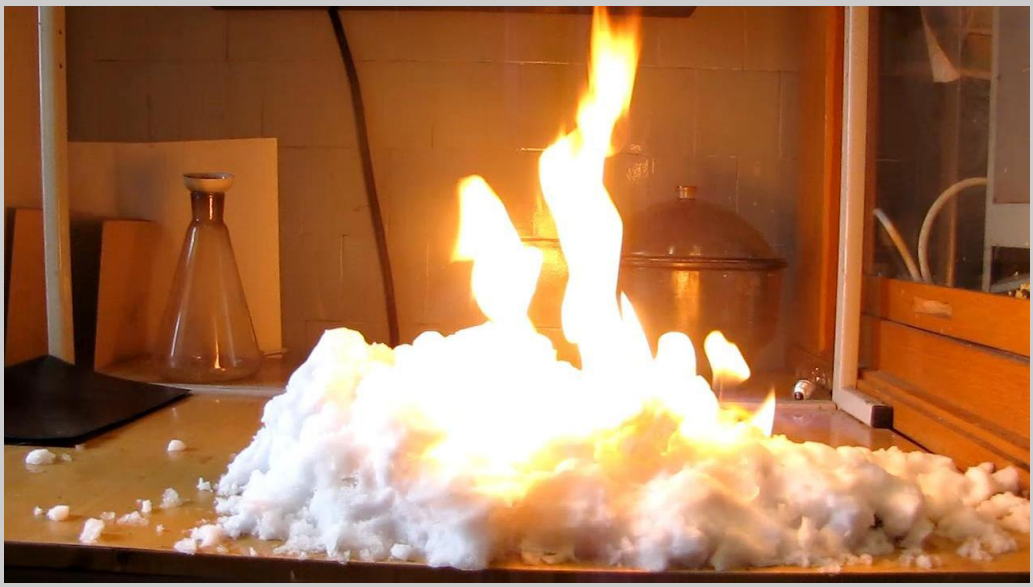
























Горящий снег
















Maxim Kolomine © www.kolomine.com



Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.14

В.Н. Витер

Модель гидрозатвора

Гидрозатвор - устройство, в котором слой жидкости препятствует движению газов в нежелательном направлении. Например, банки с бродящим вином закрывают крышкой с трубкой, опущенной в воду. Газы, которые образуются при брожении, практически свободно выходят из трубки и через емкость с водой выбрасываются в атмосферу. Однако слой воды препятствует движению газа в обратном направлении, что является очень важным: если воздух попадает в емкость с вином, это может привести к уксуснокислому брожению (скисание вина).

Гидрозатворы (сифоны) на канализации свободно пропускают сливаемую воду, но препятствуют проникновению дурнопахнущих газов из канализации в помещение.

В химических синтезах гидрозатворы используют для поддержания инертной атмосферы в реакторах (например, трехгорлая колба). В некоторых случаях гидрозатворы необходимы и в химическом анализе.



Банка с гидрозатвором (брожение вина)



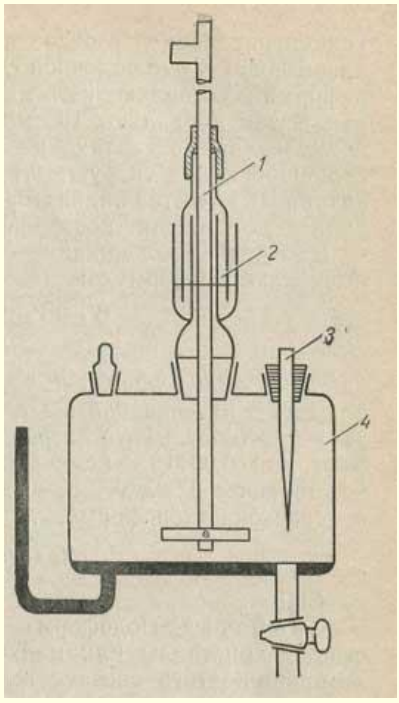
Банка с гидрозатвором (брожение вина)



Гидрозатвор



Колба с гидрозатвором (в колбе пивные дрожжи)



Полярографическая ячейка (мешалка ячейки с гидрозатвором)
1 - мешалка; 2 - гидрозатвор; 3 - капилляр; 4 - электролитическая ячейка



Гидрозатвор (сифон) раковины

Гидрозатворы могут также препятствовать распространению пламени в трубопроводе с горючим газом. Модель такого гидрозатвора мы и рассмотрим ниже.

В большую коническую колбу с впаянной снизу трубкой налили воду. К трубке подсоединили резиновую трубку, подключенную к пропан-бутановому баллону. Открыли поток газа. Когда углеводороды заполнили колбу, их подожгли у горлышка.

В результате газ входил в колбу через трубку, поднимался через слой воды и сгорал у выхода с колбы. Если подачу пропан-бутановой смеси прекратить, пламя ослабеет и погаснет, но не будет "проскока" огня в трубку, по которой подавался газ.

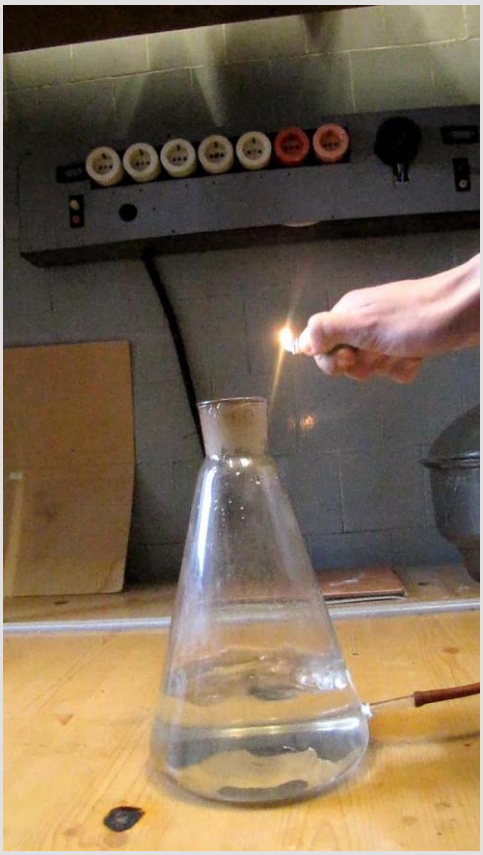
В нашем случае такой проскок пламени не представлял опасности[1]. Однако в случае более широких трубок и взрывоопасных газов (водород, ацетилен) последствия могли бы быть серьезными. Например, немало несчастных случаев произошло при опытах с водородом, полученным в аппарате Киппа, когда выделяющийся водород не полностью вытеснял из аппарата воздух. При попытке поджечь водород на выходе из газоотводной трубки пламя проскакивало в аппарат и происходил взрыв.

---

[1] Трубка слишком узкая и короткая, скорость горения небольшая, кроме того область взрываемости смесей пропана и бутана с воздухом узкая).

Смотреть Видео (45 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (57 Мб, .avi)

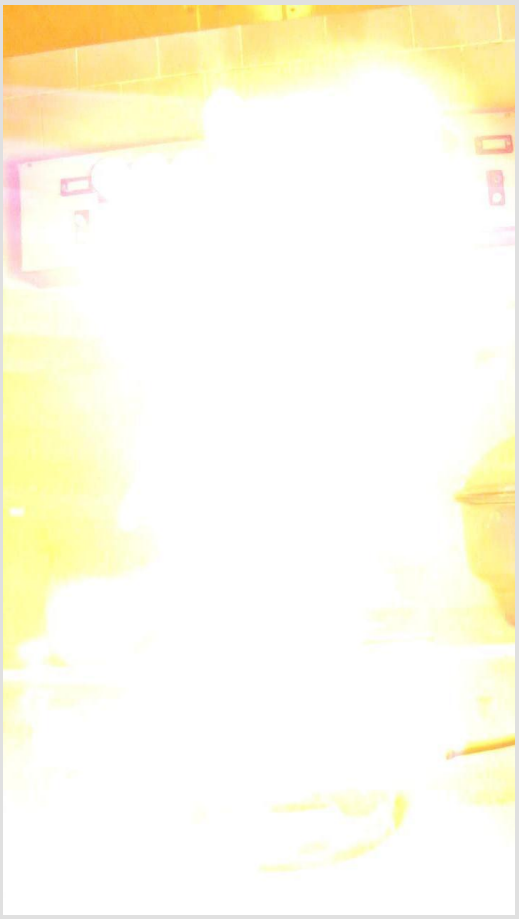


Модель гидрозатвора

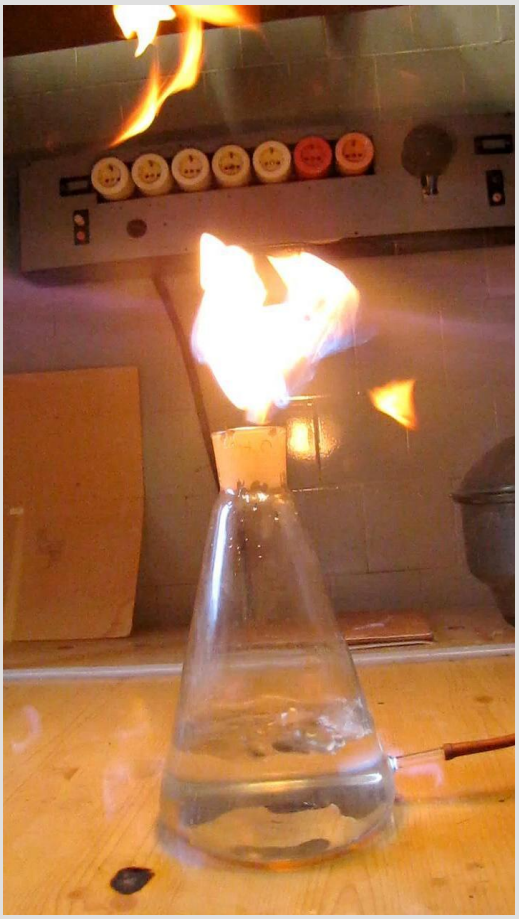


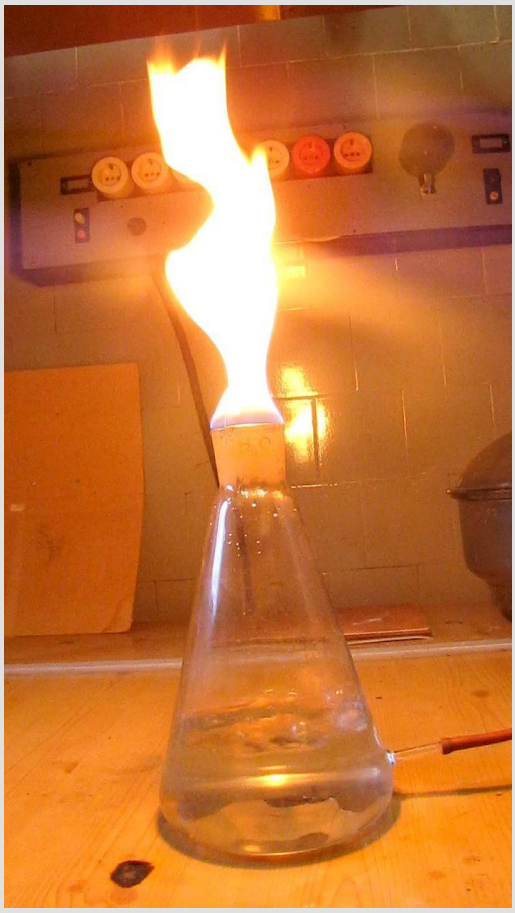


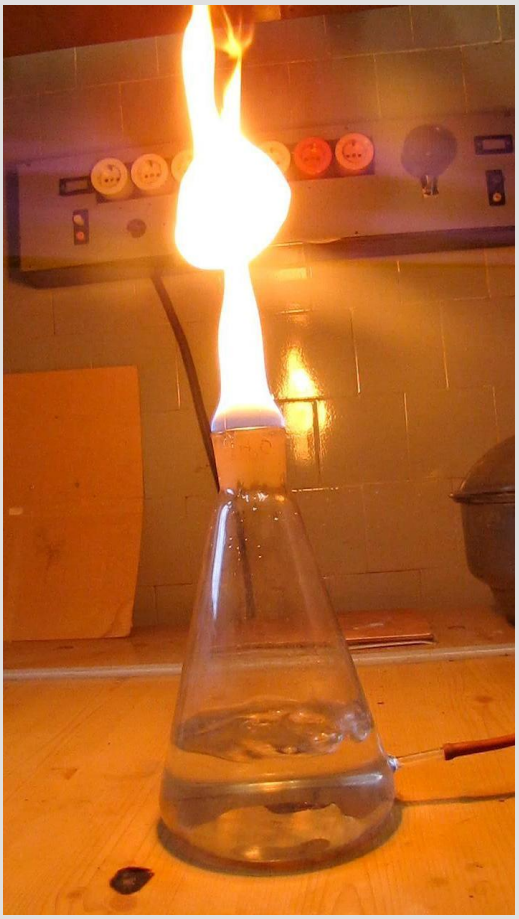










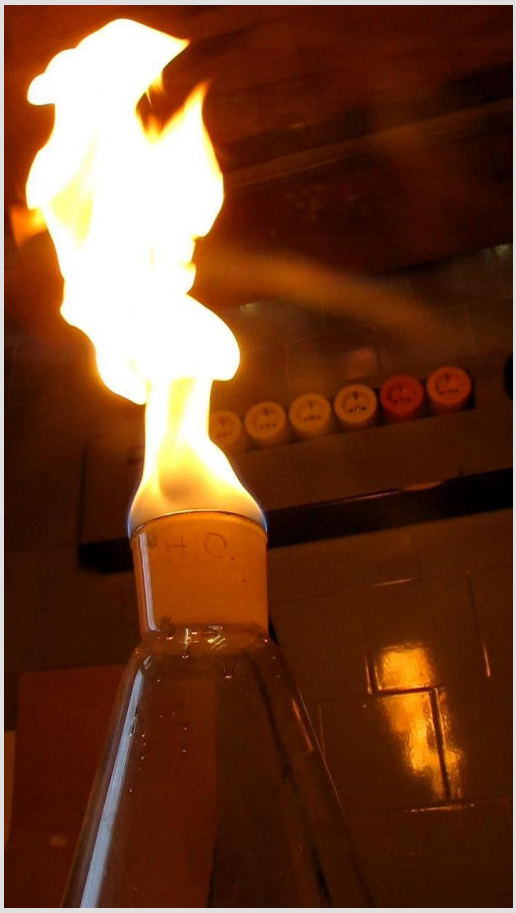












Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.15

В.Н. Витер

Горение выдыхаемого воздуха

Обычно принято говорить, что водород, метан, пропан, бутан и другие газы-восстановители горят, но не поддерживают горение. Это утверждение в целом верно, если добавить уточнение: "... не поддерживают горение веществ-восстановителей". Ведь в среде перечисленных газов способны гореть газы-окислители, например, кислород и хлор.

В большинстве случаев все происходит как раз наоборот: газ-восстановитель подается по трубке и сгорает в атмосфере воздуха (кислорода, хлора и т.д.), но в целом нет принципиальной разницы, какой газ является средой для горения, а какой - "горючим материалом".

В прошлых номерах журнала мы уже описывали горение воздуха в среде водорода ссылка, однако аналогичные эксперименты с пропан-бутановой смесью не получились, и пришлось прибегнуть к "обходному маневру": большой сосуд наполняли пропан-бутановой смесью, поджигали смесь возле горлышка и опускали в сосуд колбу или стакан, заполненные воздухом. Воздух, попав в среду углеводородов, горел желтым пламенем. (ссылка: [html + видео] , [pdf].

В этот раз мы решили все-таки осуществить горение воздуха, который подается по трубке в сосуд с пропан-бутановой смесью (т.е. аналогично упомянутому опыту с водородом). Для этого взяли большую коническую колбу с впаянной внизу трубкой, которую соединили с баллоном с пропан-бутановой смесью (эту колбу мы уже использовали в предыдущем опыте - "модель гидрозатвора"). Колбу заполнили газом, который подожгли у горлышка. Далее в колбу опустили стеклянную трубку, через которую вдували ртом воздух.

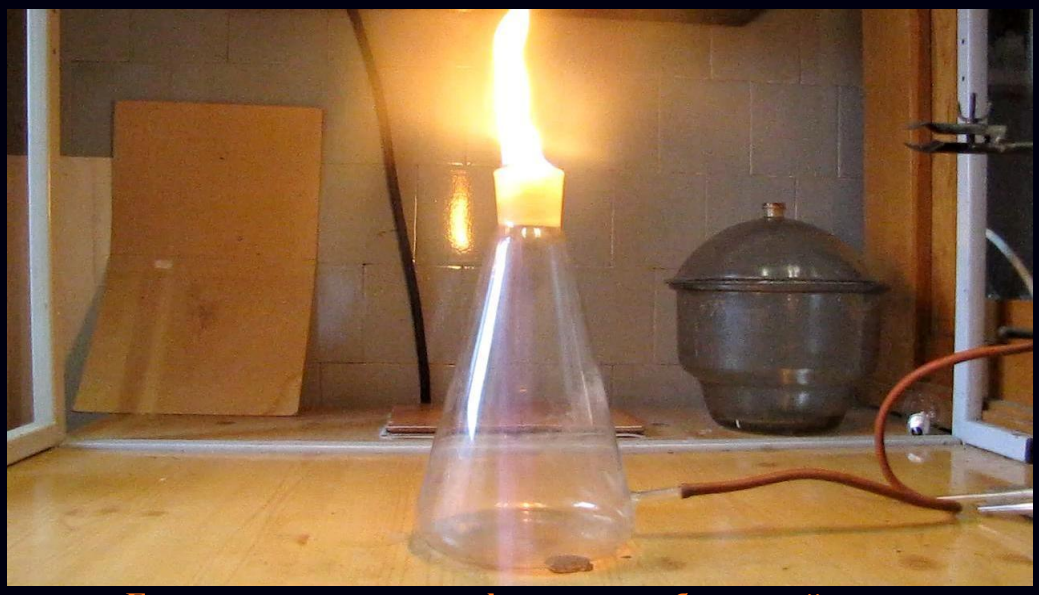
В результате выдыхаемый воздух загорелся синим пламенем. К сожалению, горение это было нестабильно и продолжалось всего несколько секунд. Стоило дунуть чуть слабее или чуть сильнее - и пламя гасло. Дело в том, что скорость горения пропана и бутана на воздухе сравнительно низкая, а пределы вспышки (взрываемости) смесей этих газов с

воздухом узкие. Если подача воздуха немного более сильная, чем необходимо - пламя "сдует", чуть более слабая - пламя погаснет из-за дефицита окислителя.

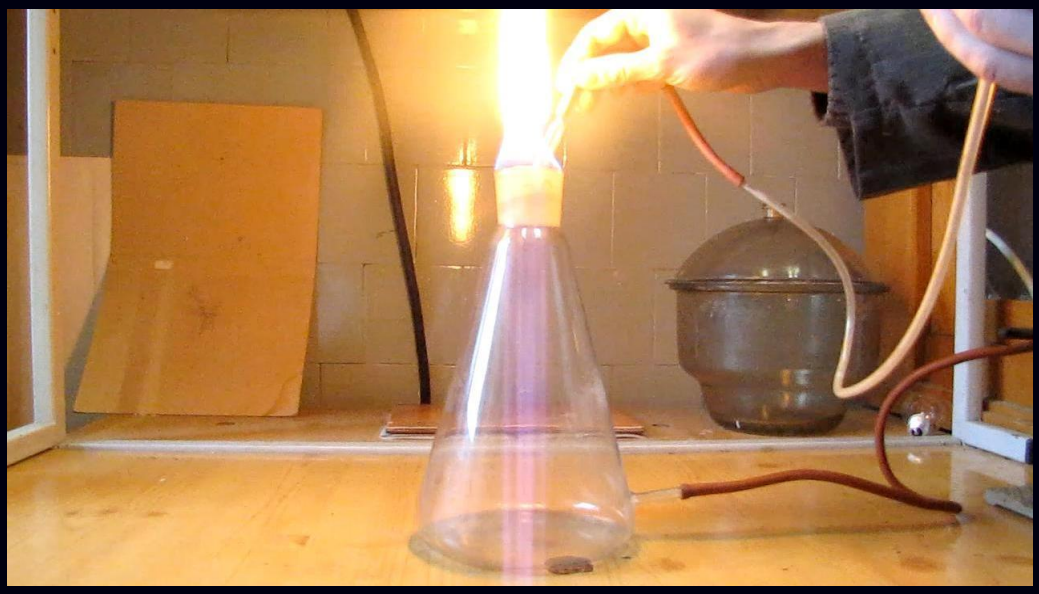
Низкая скорость горения пропана и бутана, а также узкие пределы взрываемости смесей этих газов с воздухом спасали нас в предыдущих опытах от серьезных неприятностей. В данном же эксперименте они очень сильно мешали: для демонстрации подобных опытов нужен газ с более высокой скоростью горения (например, водород).

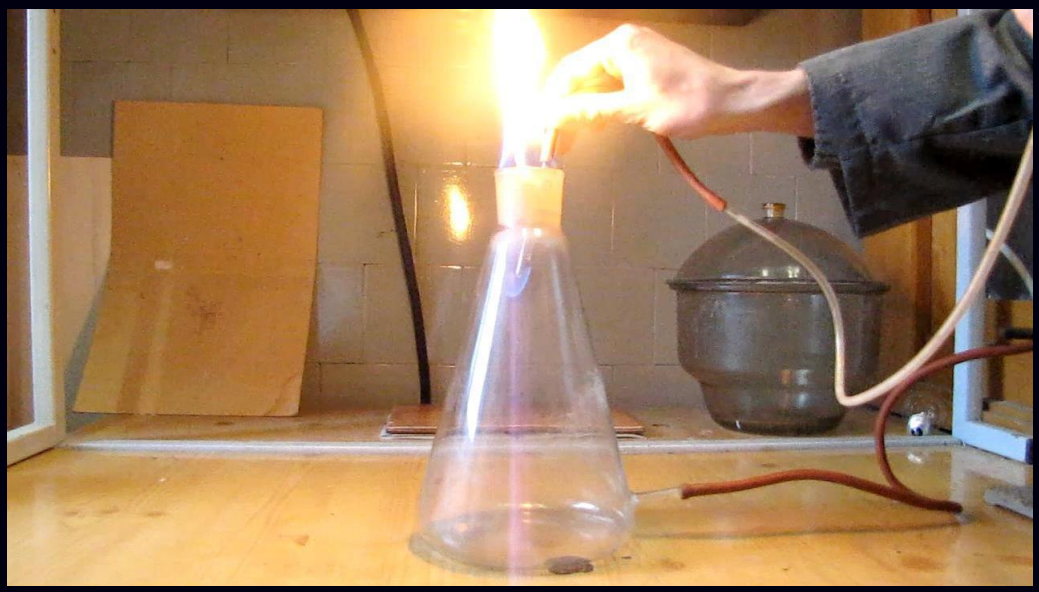
Смотреть Видео (58 Мб, .avi)

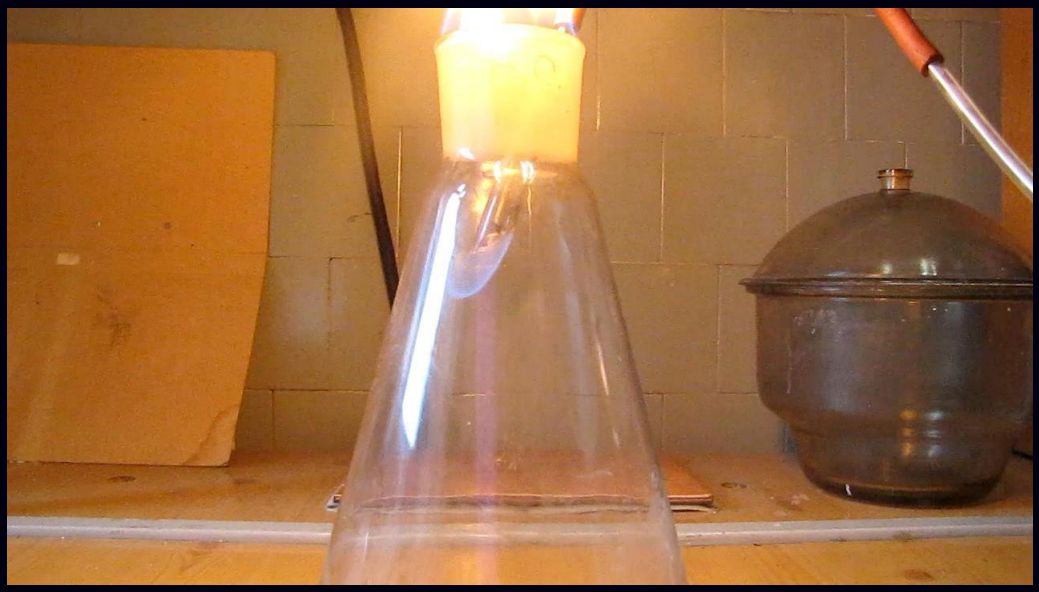
Смотреть Видео 2 (31 Мб, .avi)

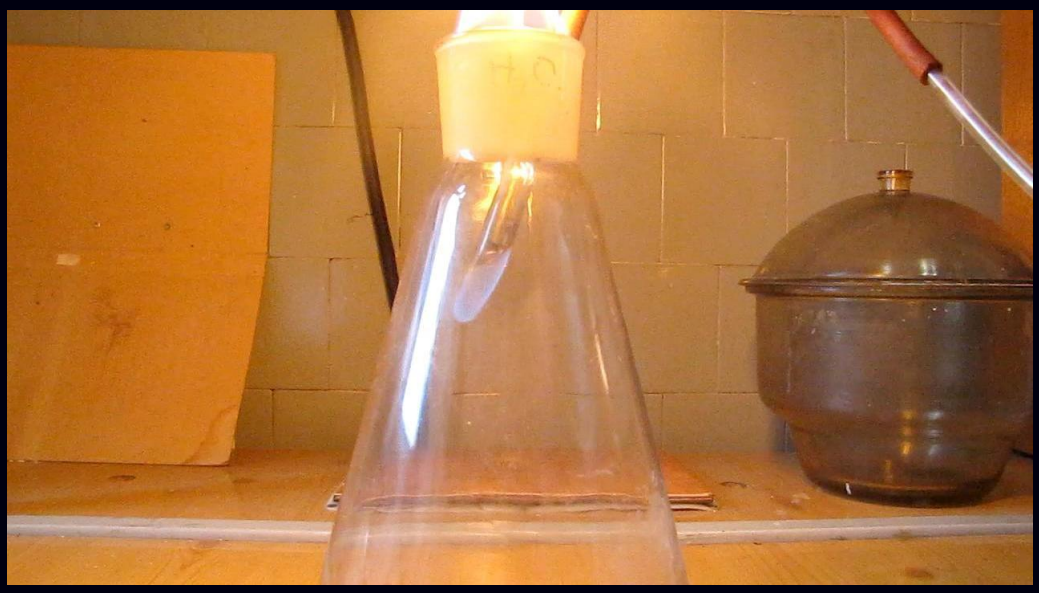


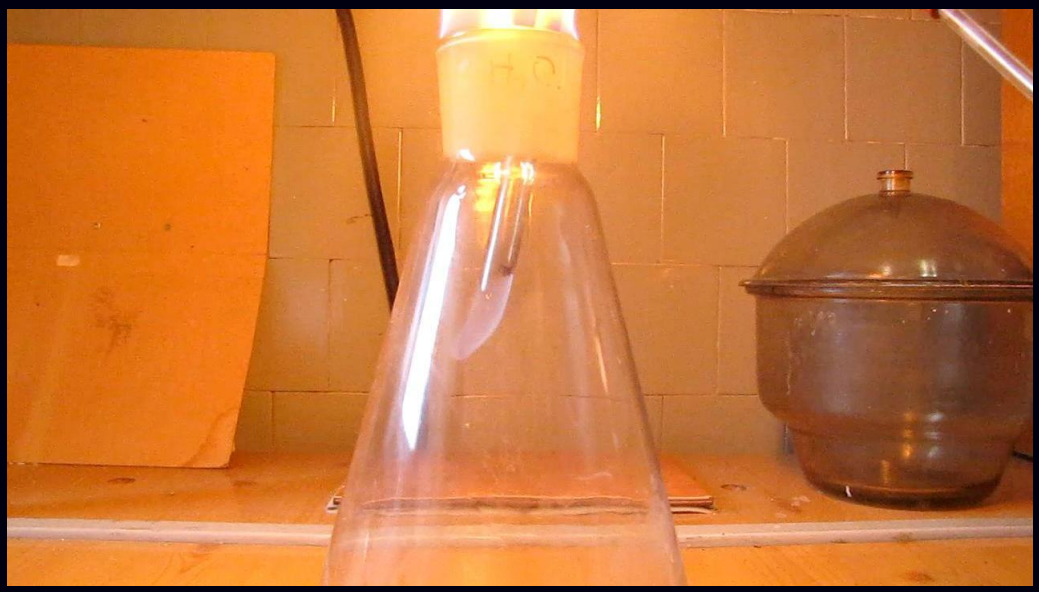
Горение воздуха в атмосфере пропан-бутановой смеси

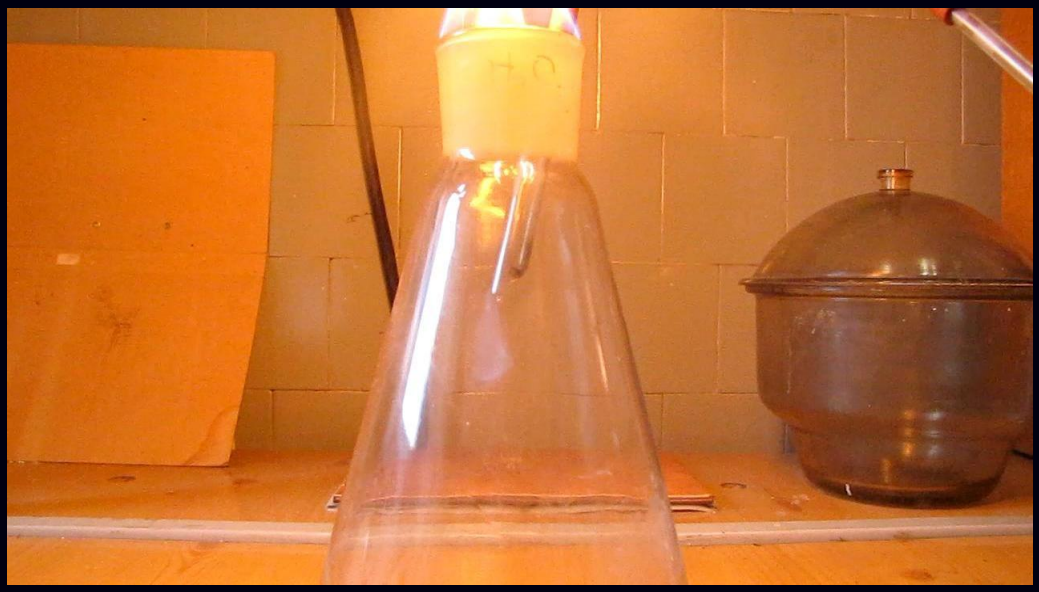
















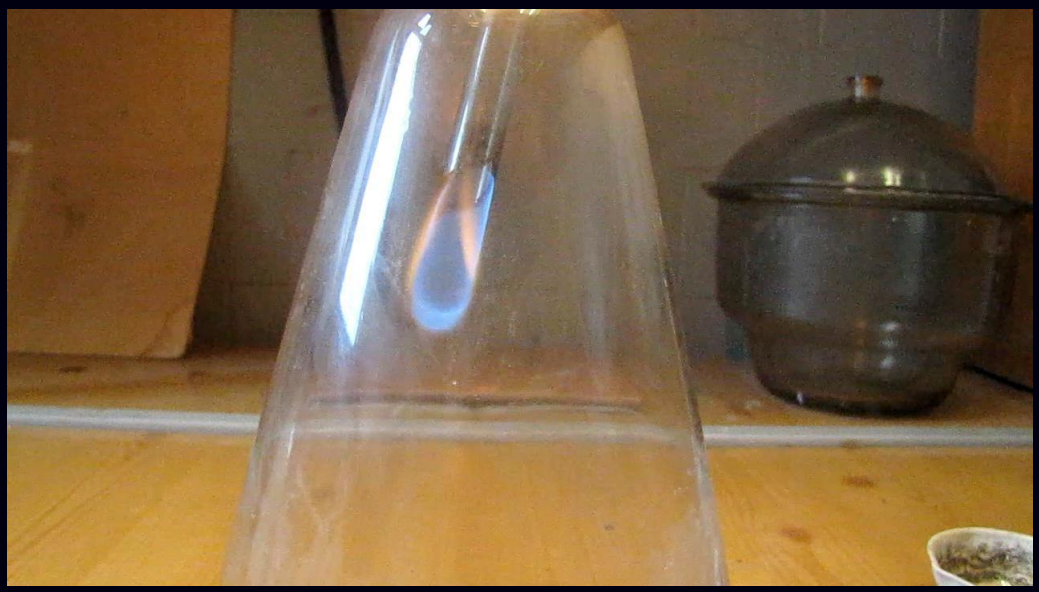






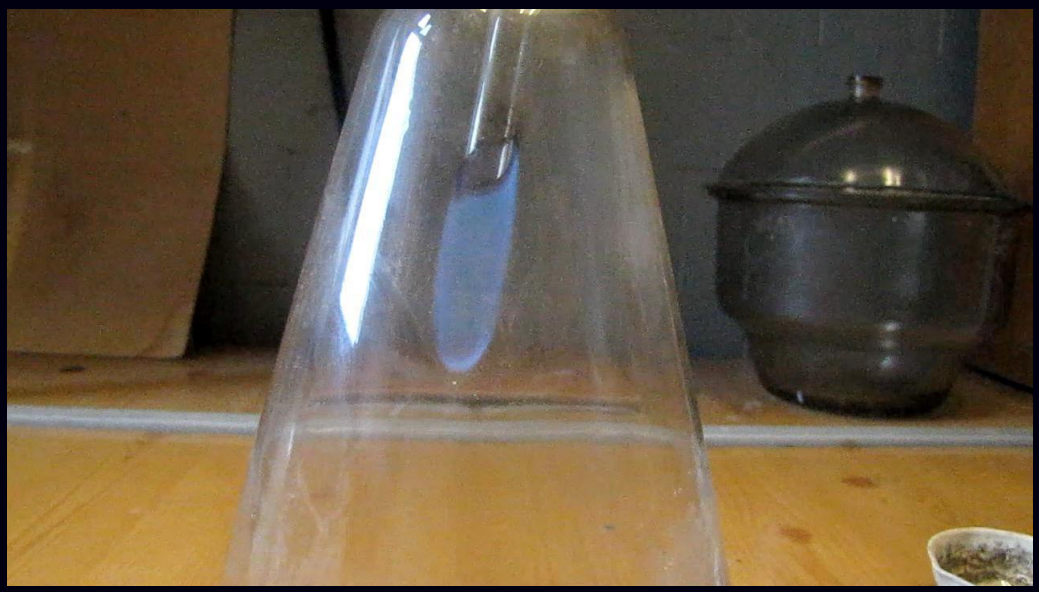


















Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.16

В.Н. Витер

Горение выдыхаемого воздуха (газовая горелка)

Во время предыдущего эксперимента пропан-бутановая смесь подавалась в колбу через трубку, подключенную к газовому баллону. Чтобы подсоединить колбу к трубке, сначала пришлось отсоединить от нее горелку Теклю, которая осталась на столе.

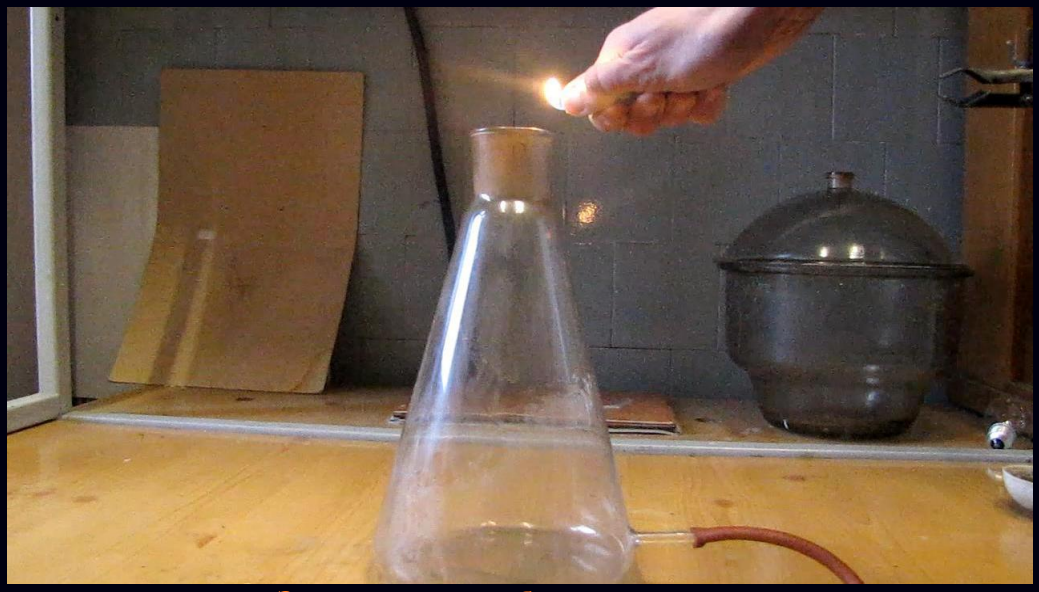
При виде горелки возникла мысль: а нельзя ли вдувать воздух, который должен гореть в среде пропан-бутановой смеси, прямо через газовую горелку (а не с помощью стеклянной трубки как раньше)? Другими словами, в горелке будет гореть не газ (пропан-бутановая смесь), а воздух. Так и поступили.

Серия экспериментов получилась лучше, чем предыдущая (см. ч.15). Возле сопла горелки воздух горел желтым, реже - синим пламенем. Пламя удавалось поддерживать всего несколько секунд (но, как правило, дольше, чем в предыдущих опытах). Выглядело это гораздо более эффектно, чем в случае вдувания воздуха через стеклянную трубку.

Смотреть Видео (58 Мб, .avi)

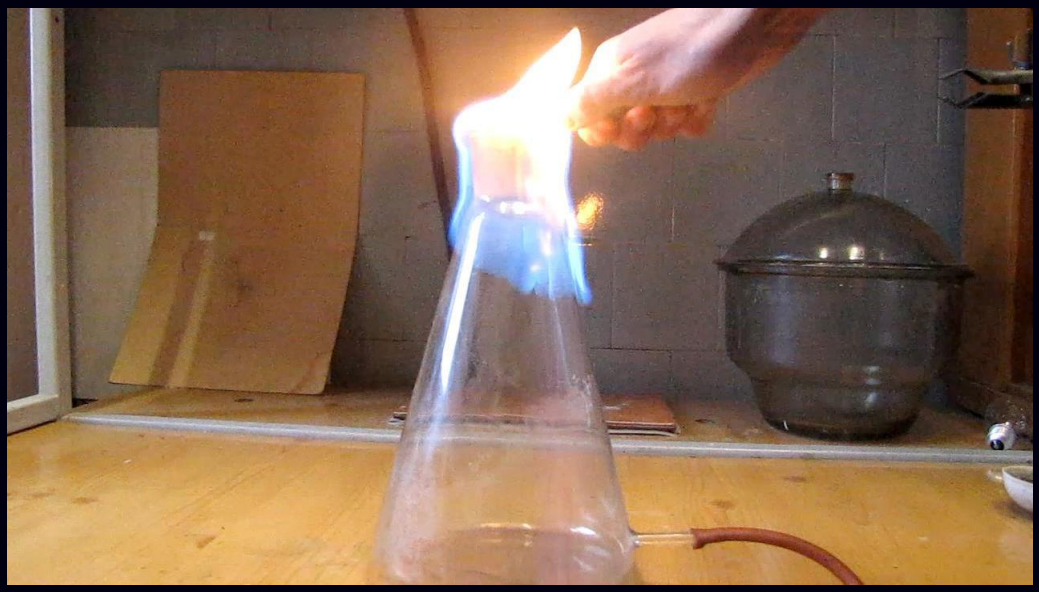
Смотреть Видео 2 (31 Мб, .avi)

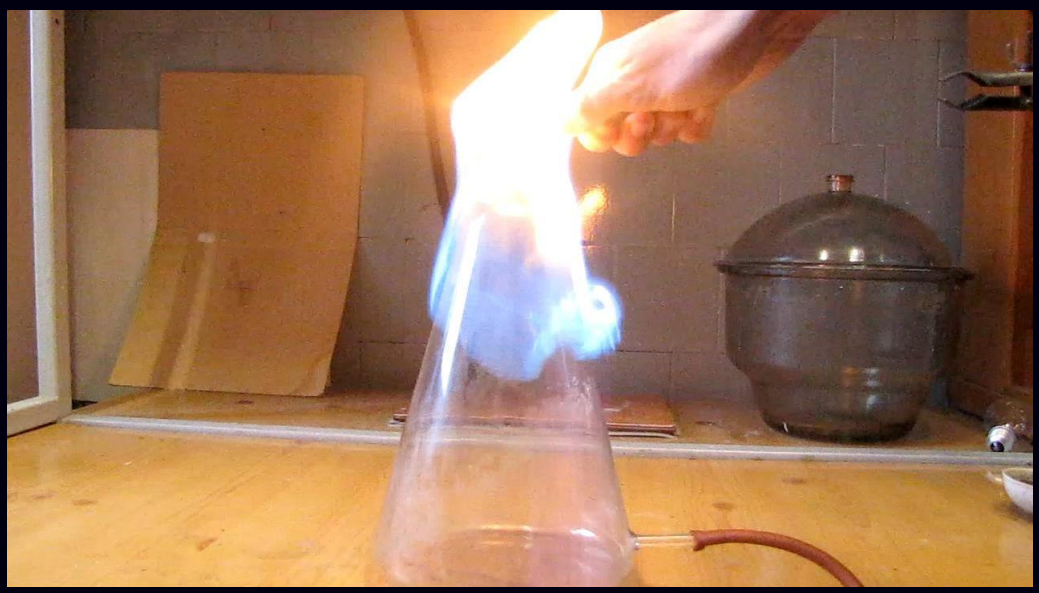
Смотреть Видео 3 (31 Мб, .avi)



Зажжем пропан-бутановую смесь











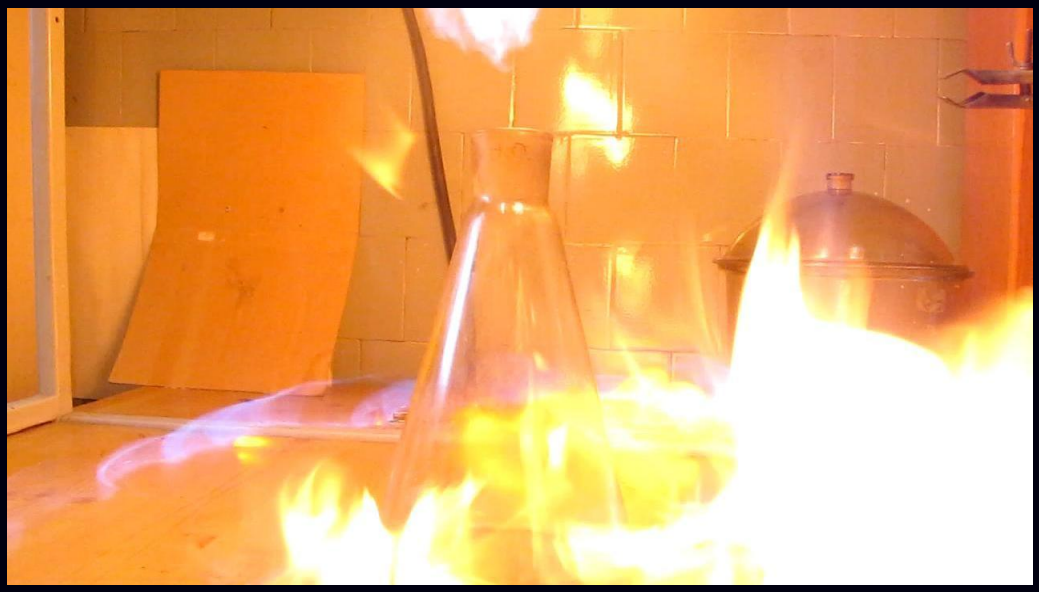


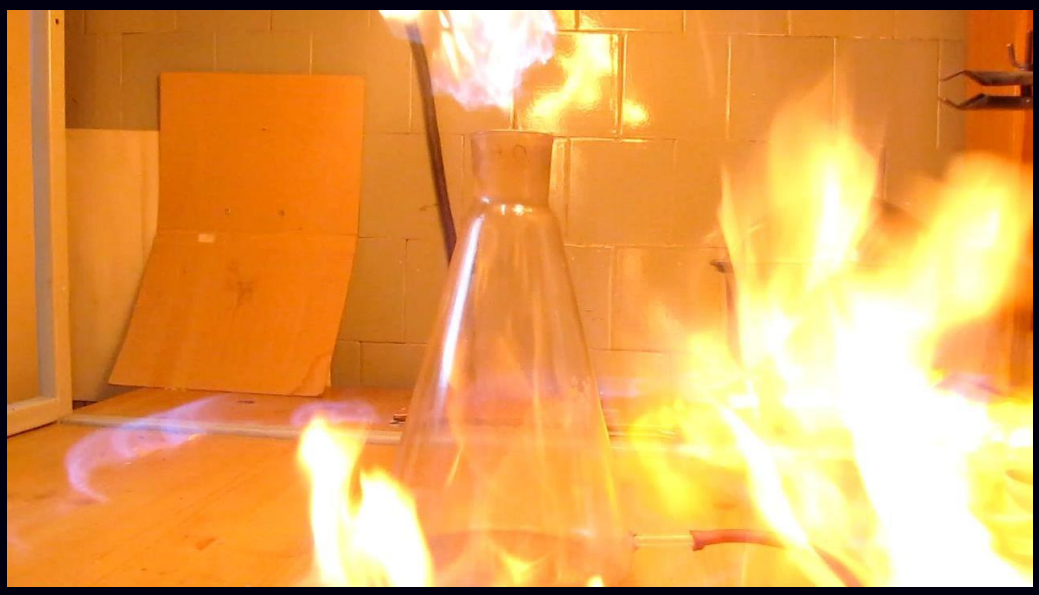






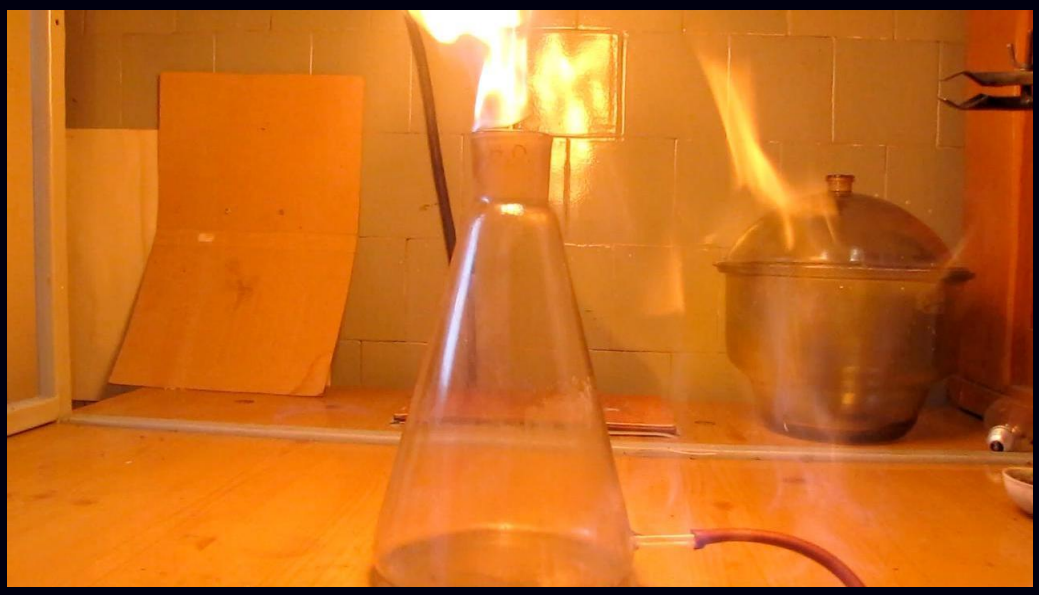


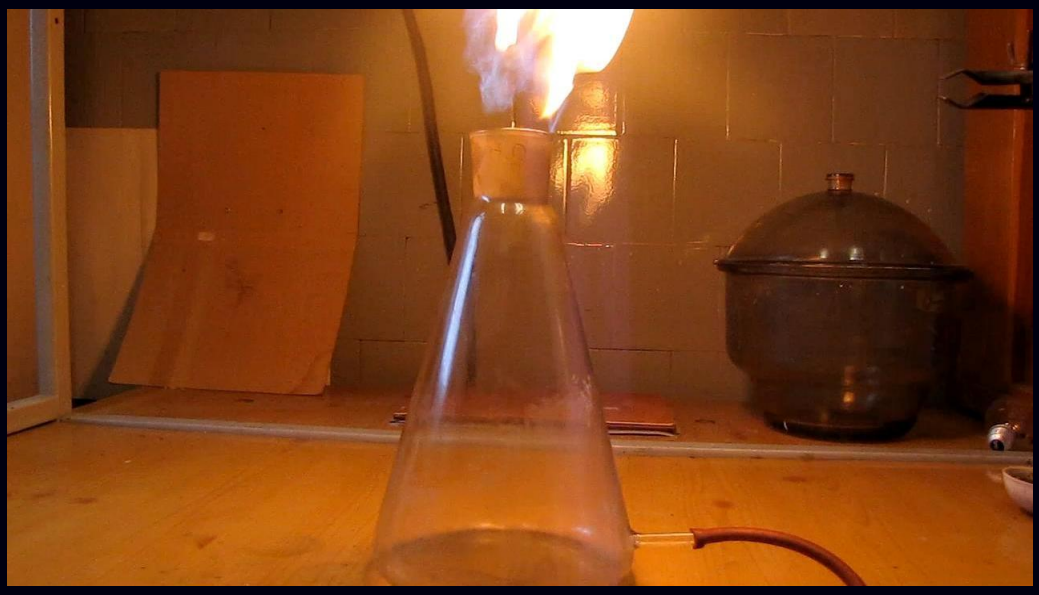






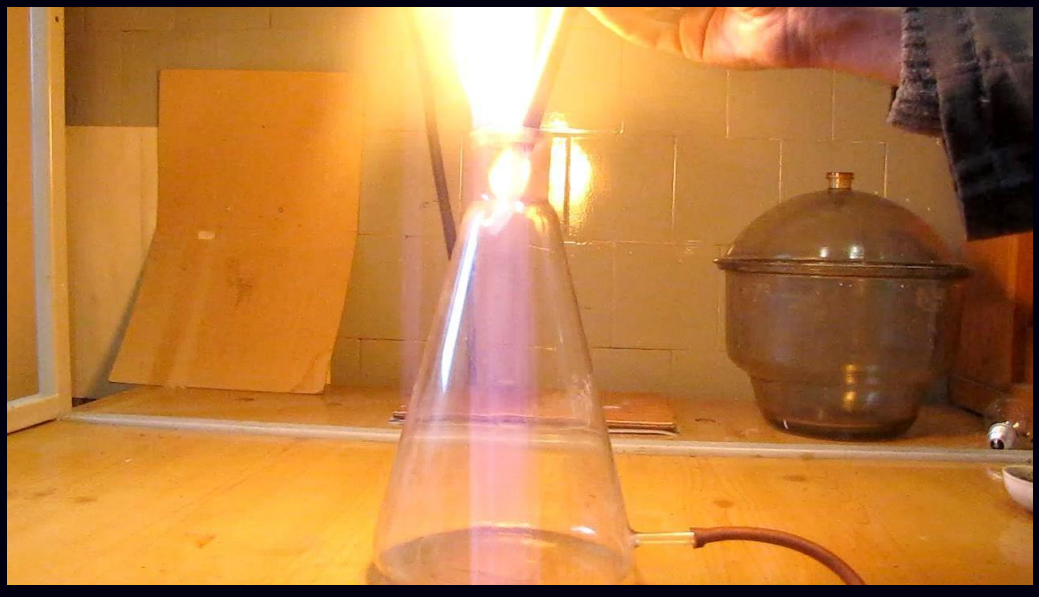


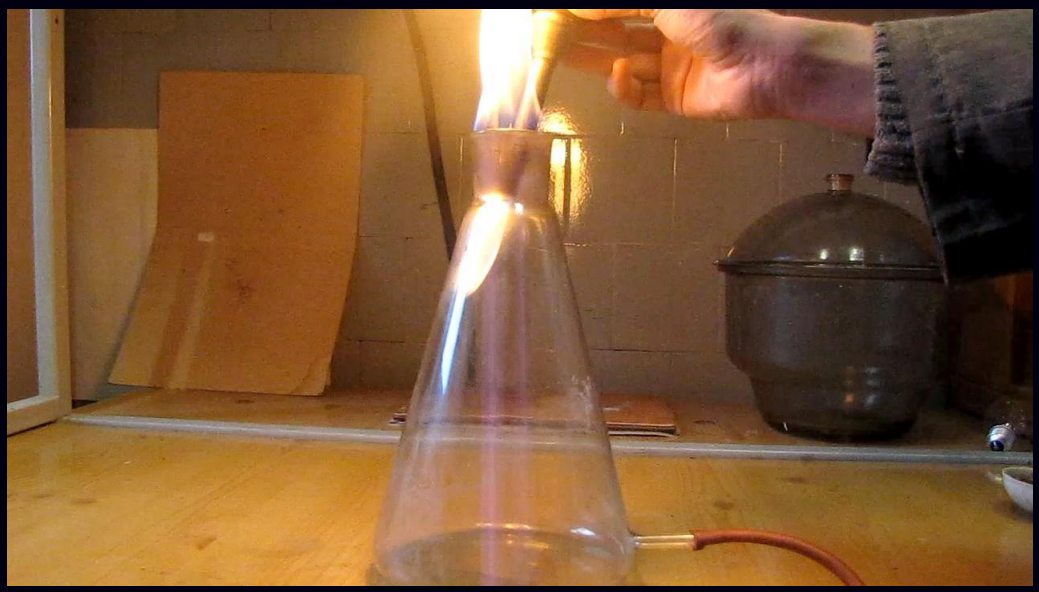


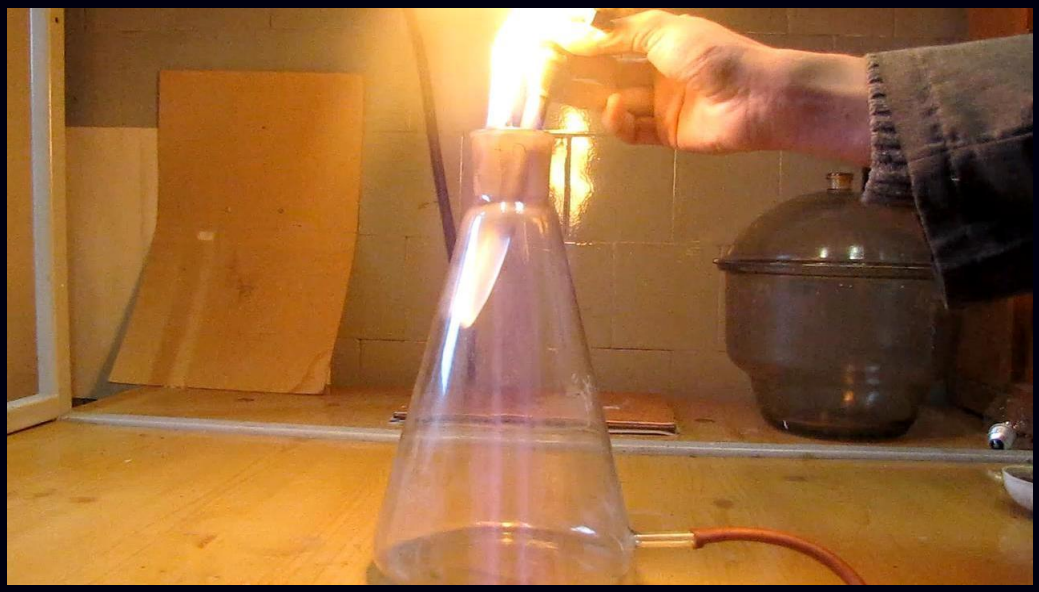


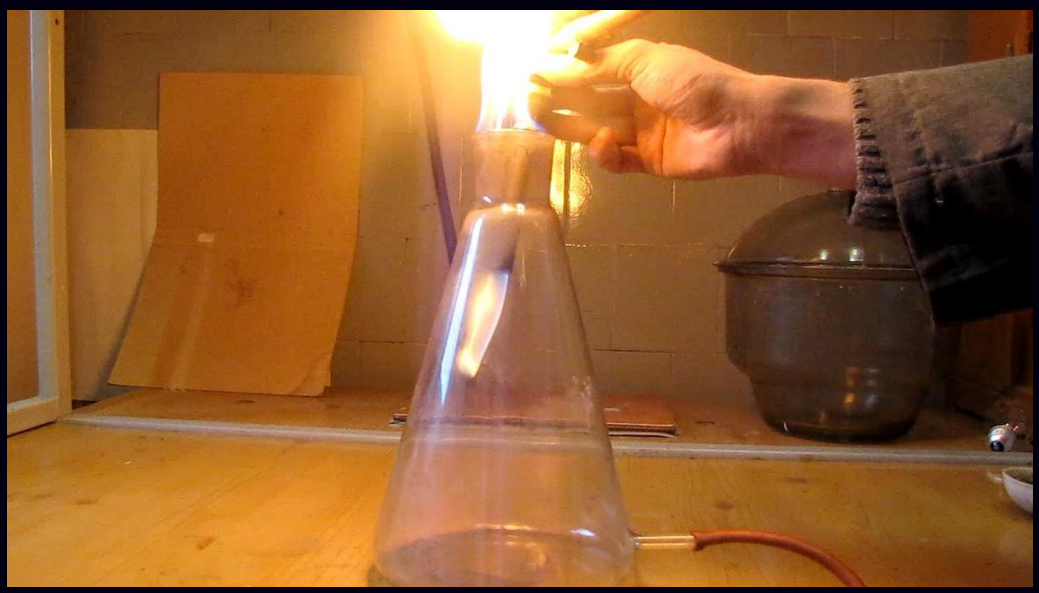


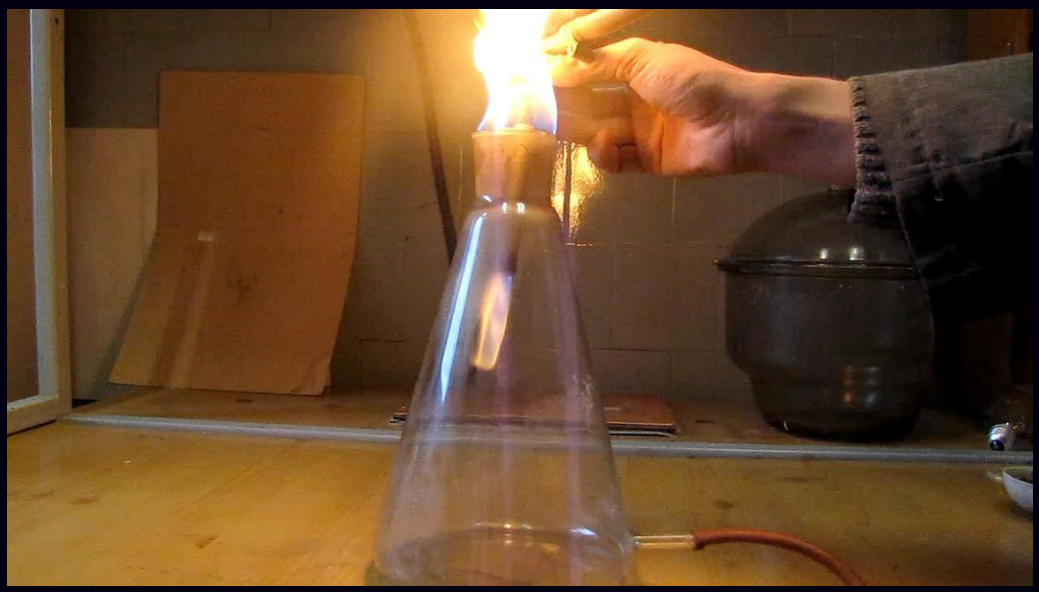
Горение воздуха в атмосфере пропан-бутановой смеси

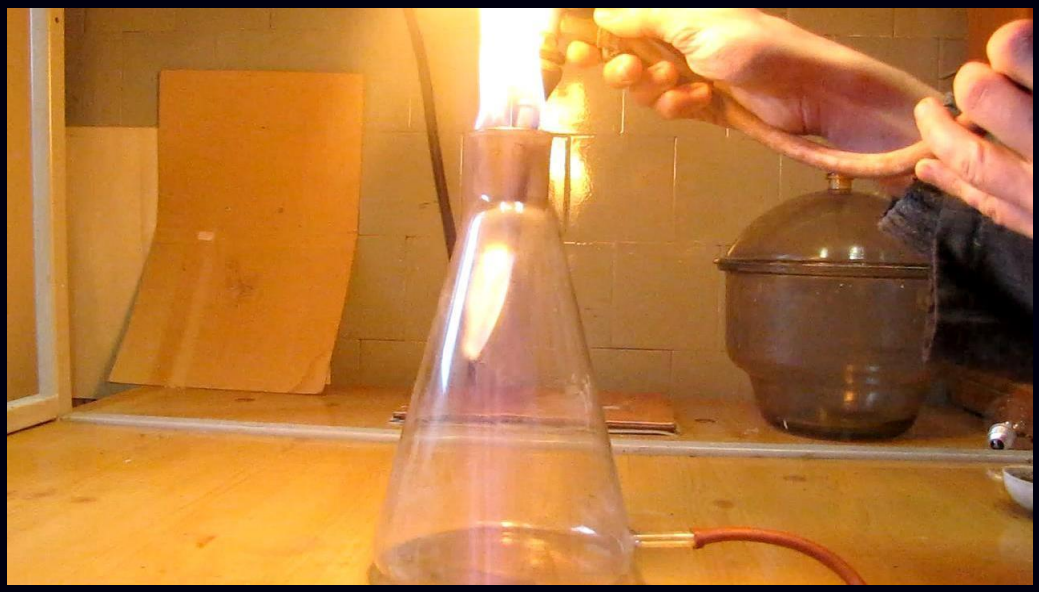


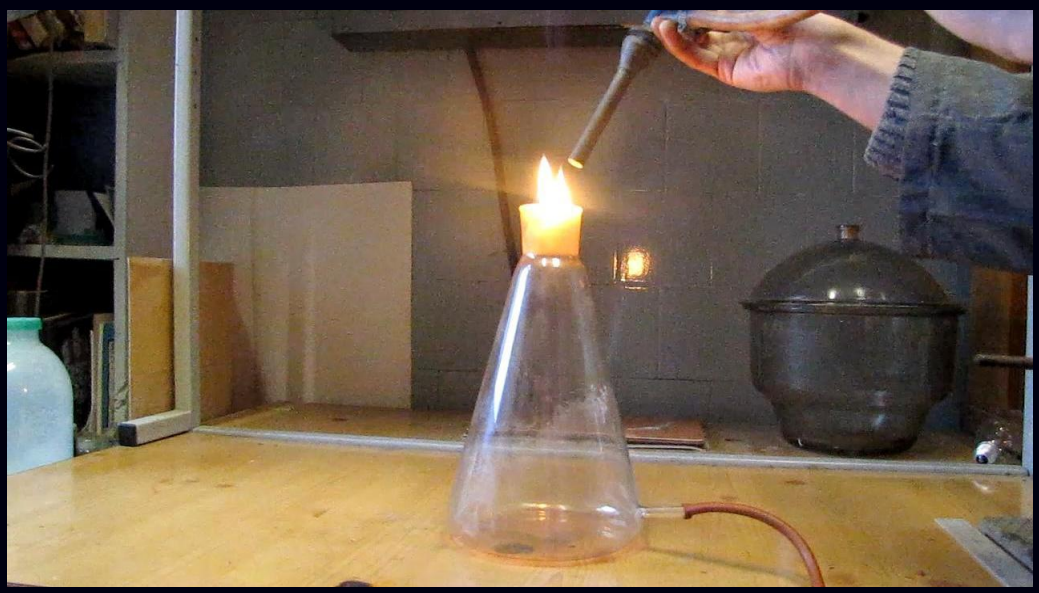




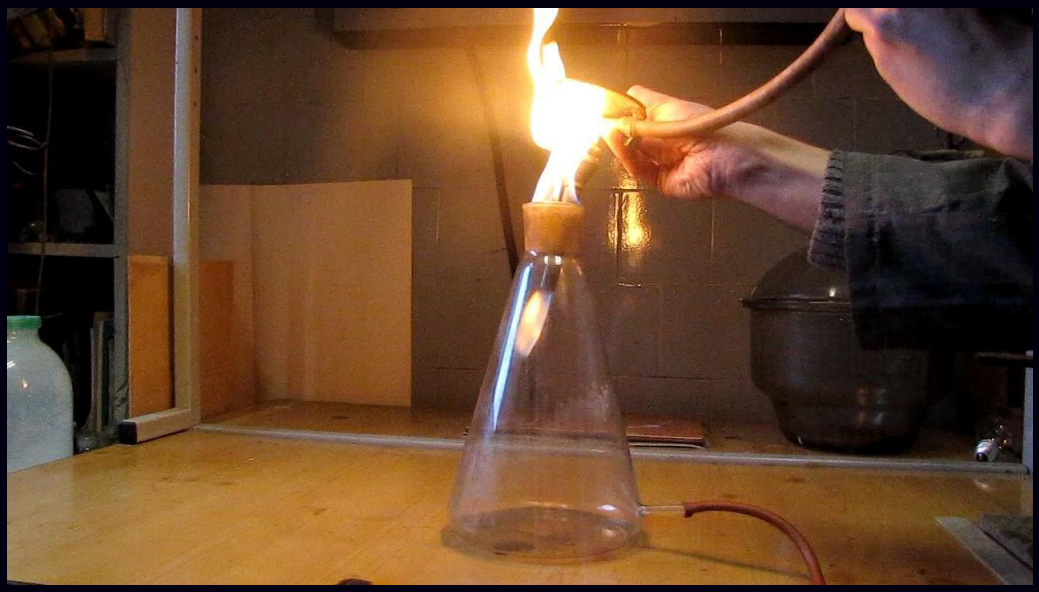


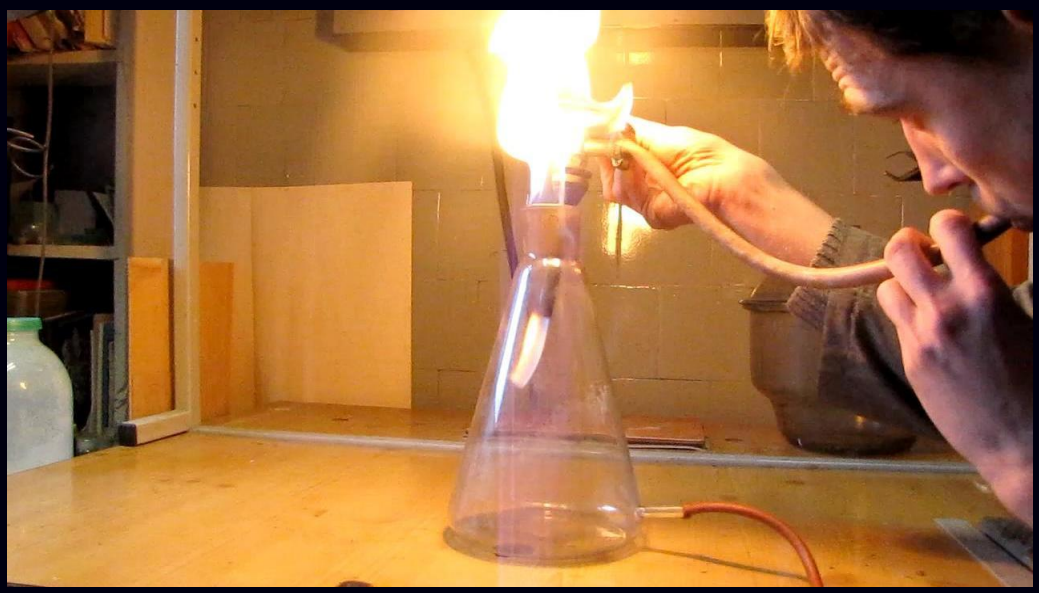


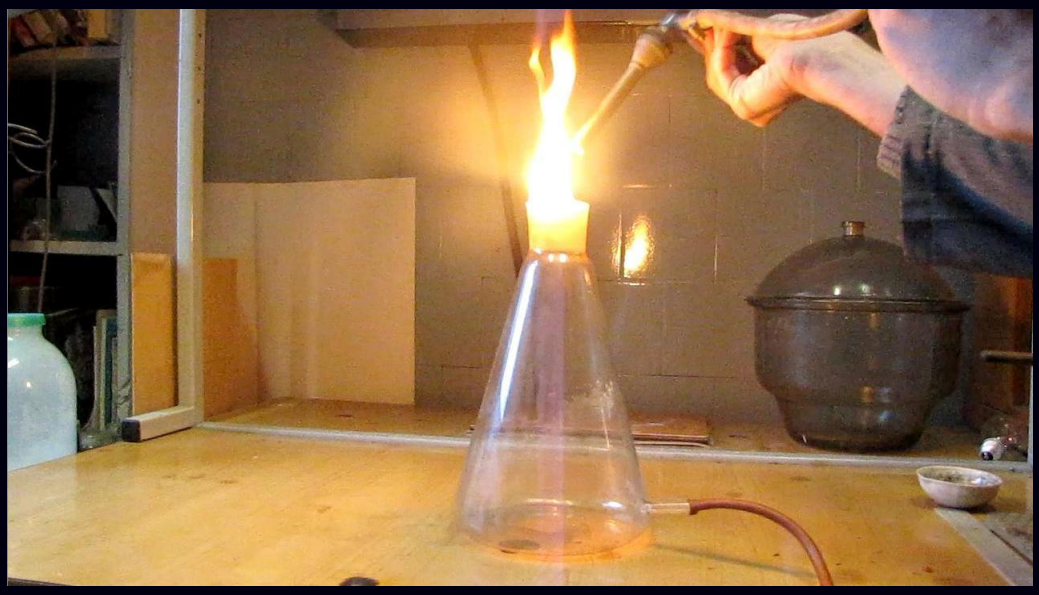






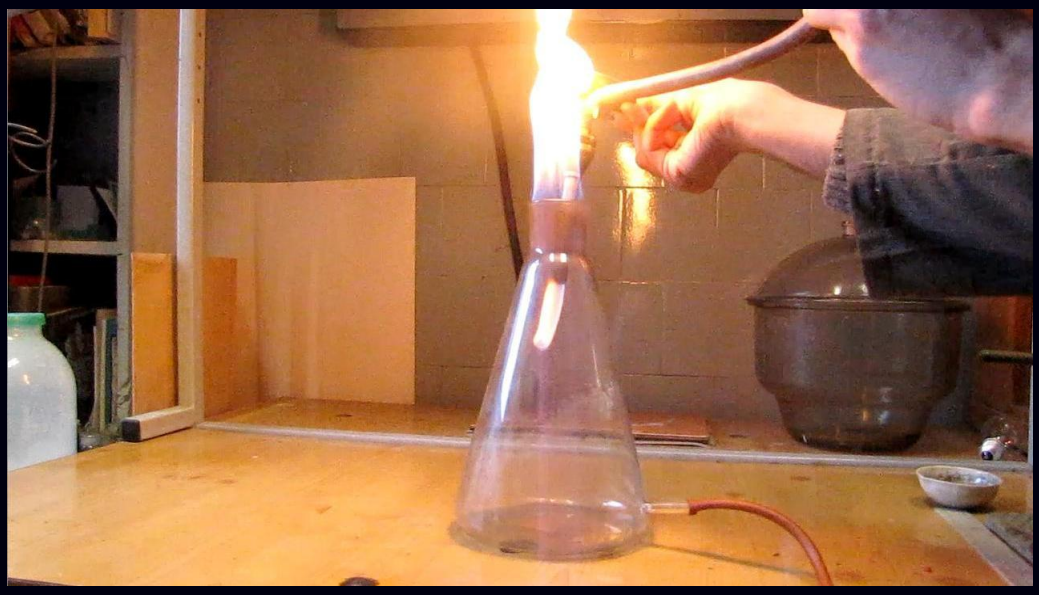


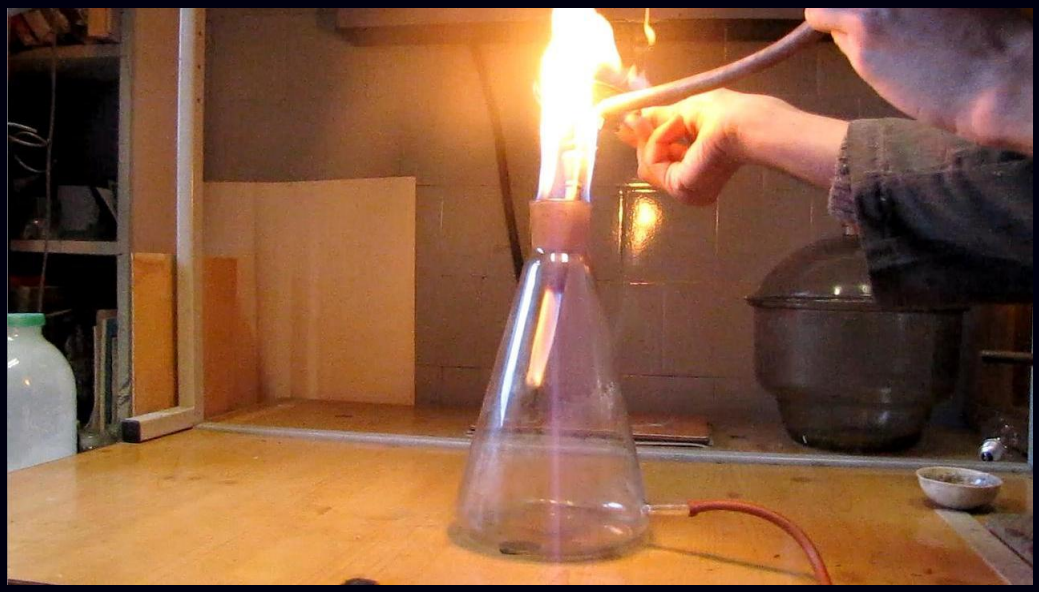
























Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.17

В.Н. Витер

Каталитическое горение пропан-бутановой смеси на оксиде хрома (III)

Некоторые твердые катализаторы настолько активно ускоряют окисление углеводородов [1], что от тепла реакции их поверхность сильно раскаляется и светится (красным или желтым), причем без образования пламени. Как известно, экзотермическая реакция, которая сопровождается активным выделением тепла и света, называется горением. Примеров реакций горения бесчисленное множество: совсем не обязательно быть химиком, чтобы зажечь спичку, разжечь костер, прикурить сигарету или завести автомобильный двигатель.

Однако в нашем случае горение локализировано на поверхности, а не в объеме: в отличие от горения той же спички пламени практически нет. Чтобы можно было наблюдать горение на поверхности (или как еще говорят "горение поверхности", "поверхностное горение") нужно три вещи: окислитель, топливо и активный твердый катализатор, на котором и происходит окисление.

Роль окислителя обычно играет кислород воздуха, роль топлива в нашем случае - пропан-бутановая смесь. Хорошими катализаторами окисления органических веществ является платина и палладий, значительно худшими - оксиды хрома Cr_2O_3 и кобальта Co_3O_4, а также - композиции с их участием (кроме того, в случае приведенных оксидов желательна активирующая добавка платины и палладия). Поскольку платина и палладий - ценные реактивы, для демонстрации горения поверхности мы решили обойтись оксидом хрома (III) [который был получен разложением бихромата аммония - см. опыт **Химический вулкан** ссылка].

Оксид хрома (III) насыпали горкой на керамическую плитку, с трех сторон поставили на ребро другие плитки, чтобы катализатор не сдувало потоком газа. На горку оксида хрома направили пламя горелки Теклю, чтобы значительный участок поверхности раскалился. Потом резиновую трубку, по которой подается газ, на мгновение пережали, чтобы пламя горелки погасло, но оксид хрома не успел остыть. Когда поток газа возобновился, пламени уже не было, но нагретый оксид хрома вспыхнул желтыми искрами. В том месте,

где на оксид был направлен поток газа из горелки, образовалось раскаленное пятно, которое светилось красным (или желтым). Если поток газа осторожно перемещать на другие участки поверхности оксида хрома, вместе с ним будет перемещаться и раскаленная зона. Если скорость подачи газа увеличить, начнется унос частичек оксида хрома: образуется много желтых искр; при дальнейшем увеличении скорости газа горение может прекратиться.

Наибольший эффект наблюдался, когда поток газа был направлен под небольшим углом (почти по касательной) к поверхности. Однако если выделение тепла происходит слишком активно, поверхностное горение могло перейти в объемное: вспыхивало пламя. Если это произойдет, снова на секунду передавите трубку подачи газа, чтобы пламя погасло. Если пламя снова вспыхнет, увеличьте расстояние от сопла горелки до поверхности или уменьшите подачу газа.

В процессе опыта образуется много аэрозоля оксида хрома, поэтому эксперимент желательно проводить в респираторе и под вытяжкой (или на свежем воздухе).

---

[1] А также других горючих веществ, например, спиртов, кетонов, аммиака, сахара.

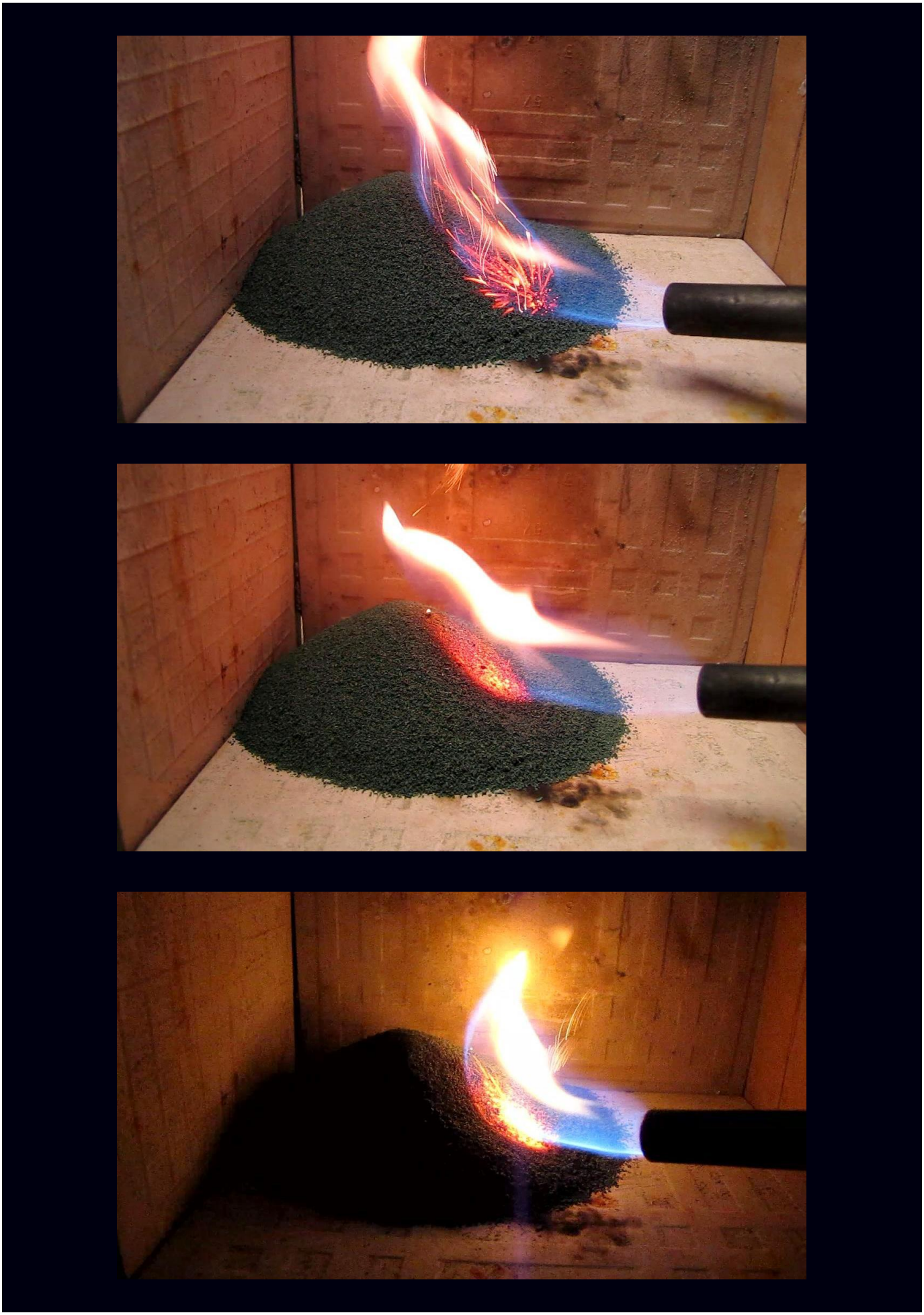
Смотреть Видео (44 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (49 Мб, .avi)

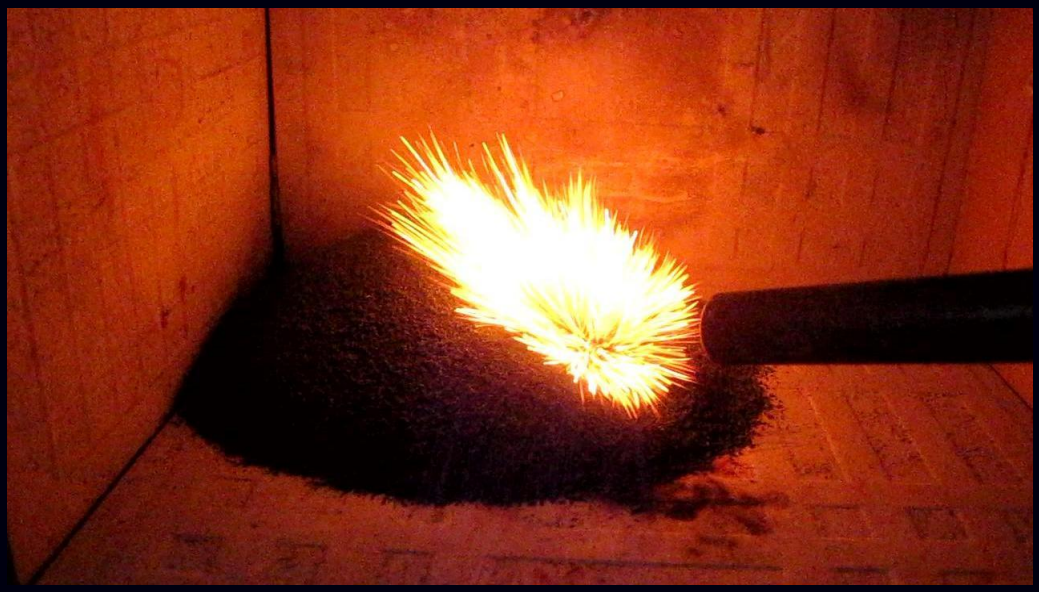
Смотреть Видео 3 (101 Мб, .avi)



Каталитическое горение пропан-бутановой смеси на оксиде хрома (III)

















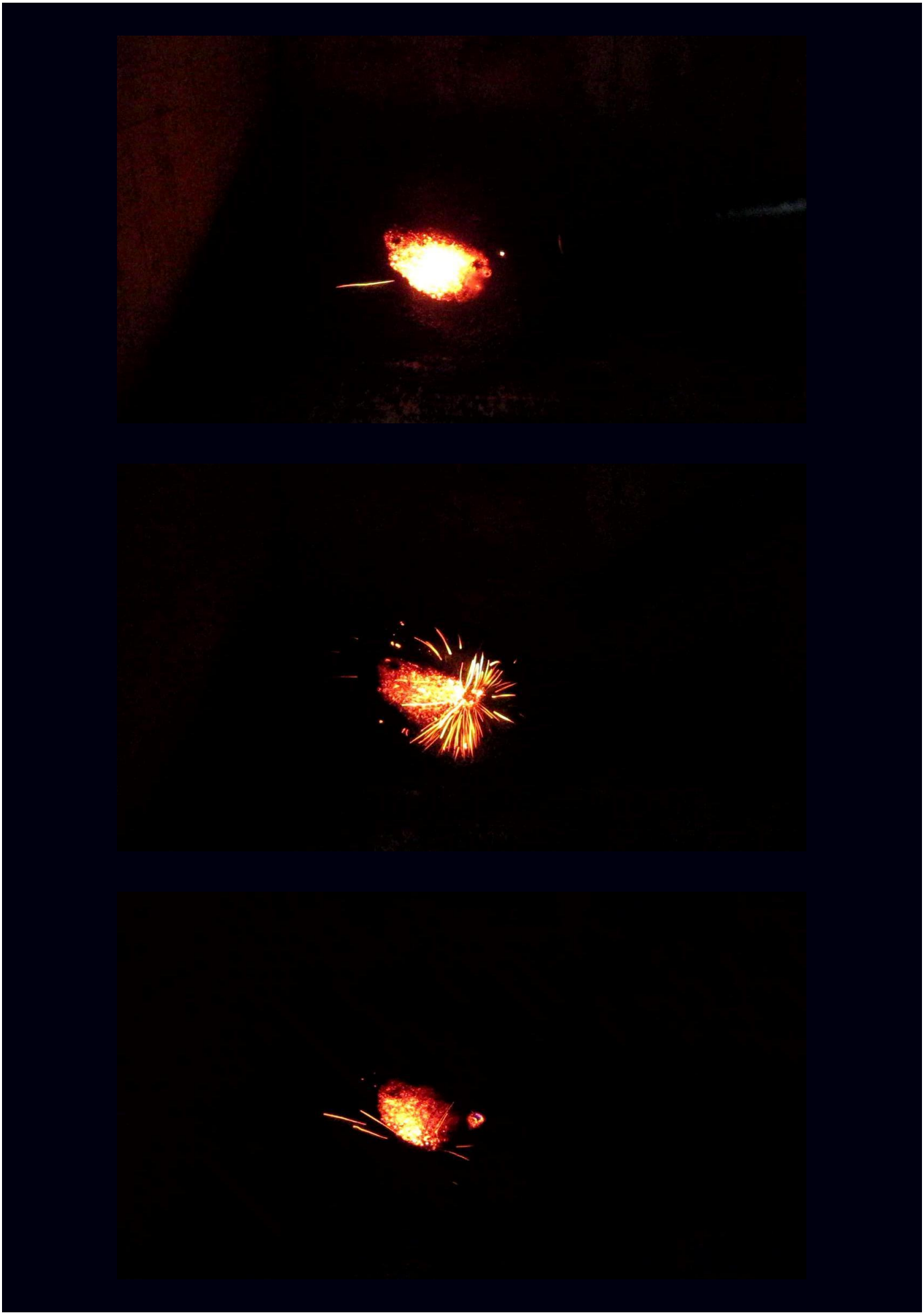


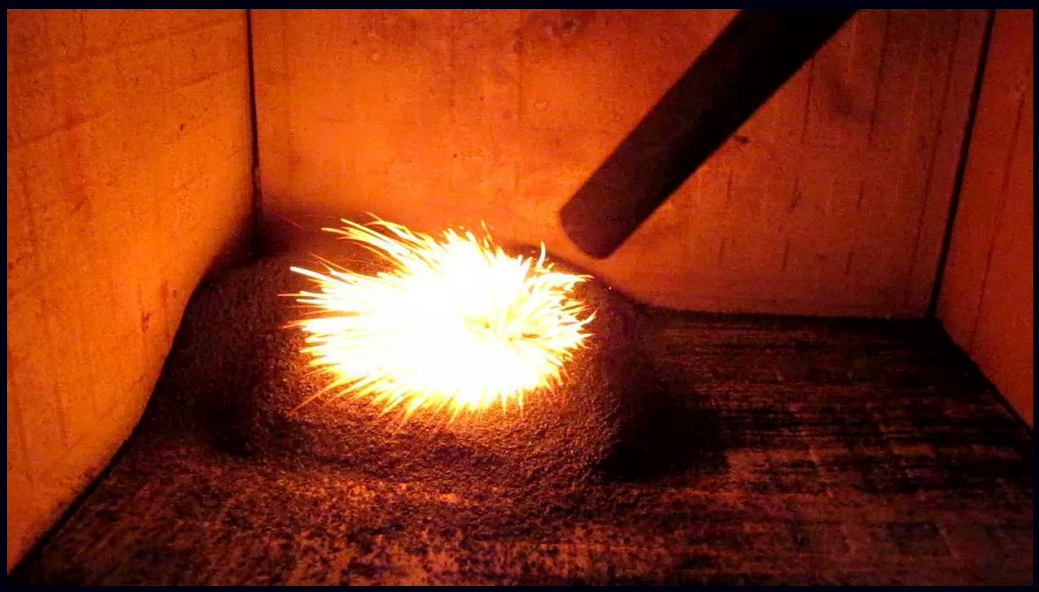


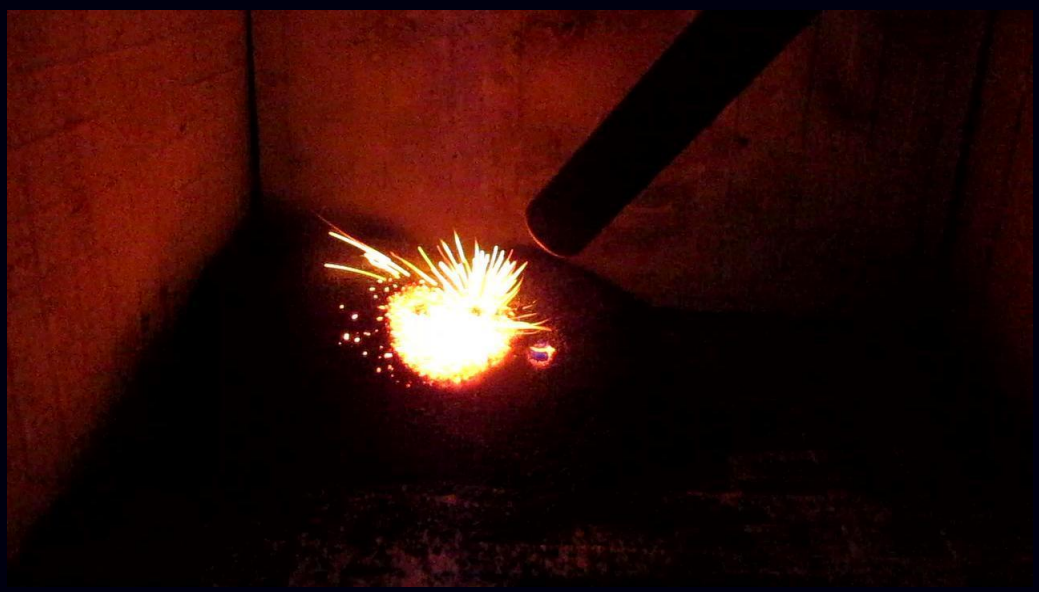


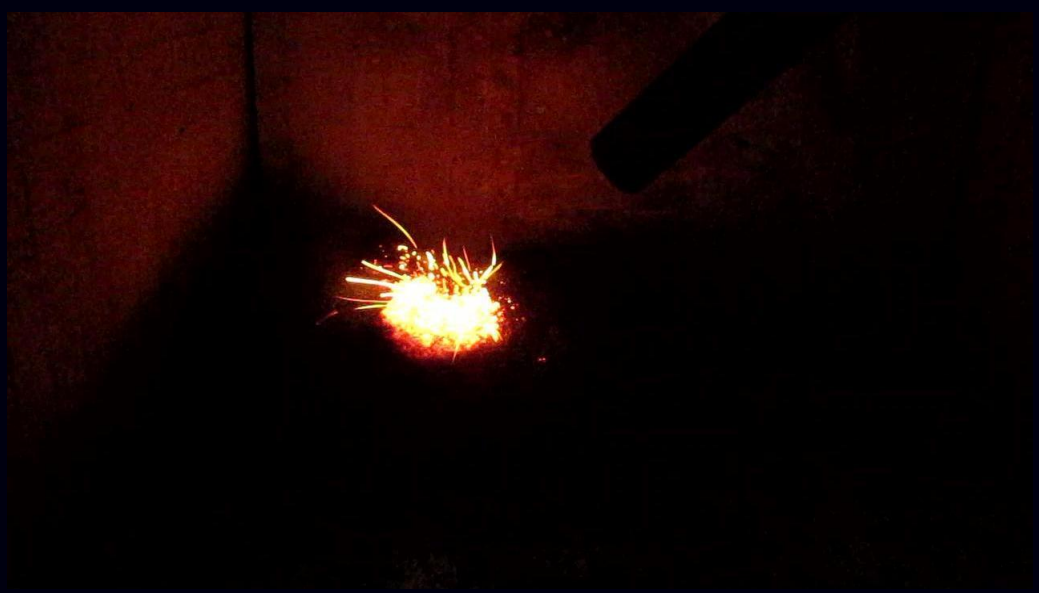


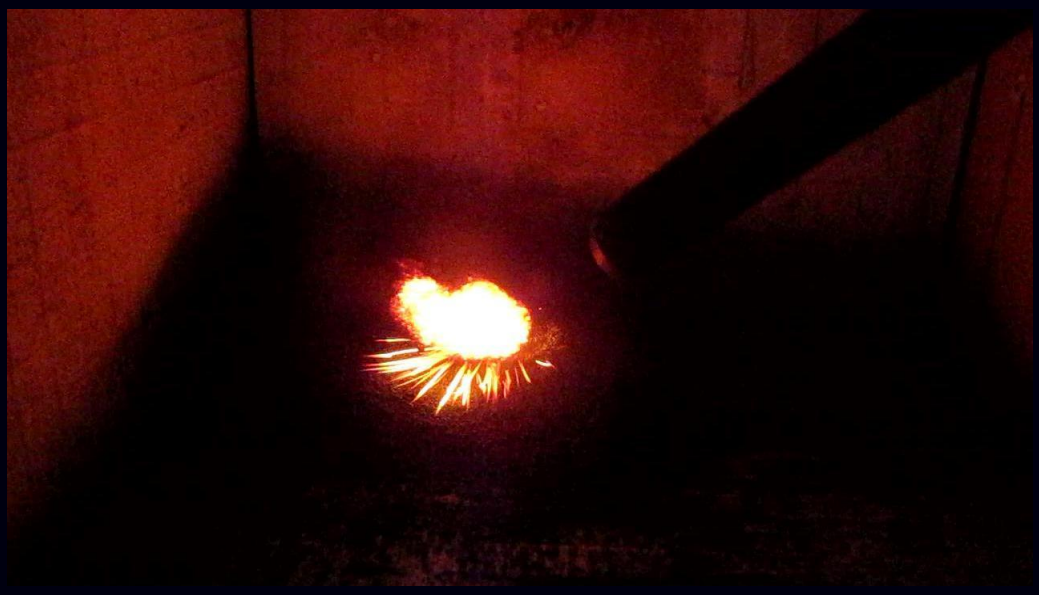




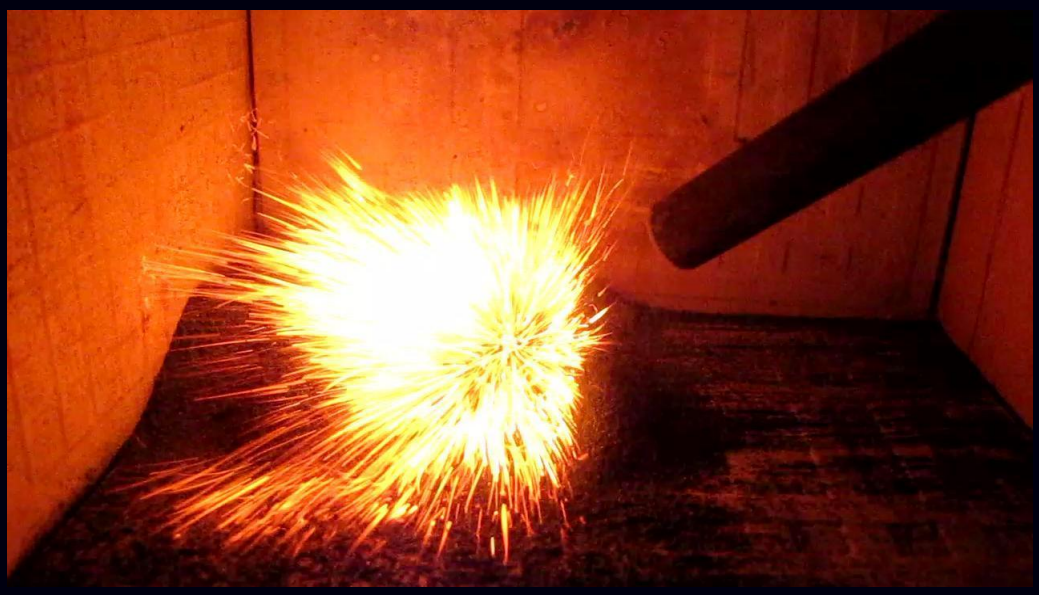


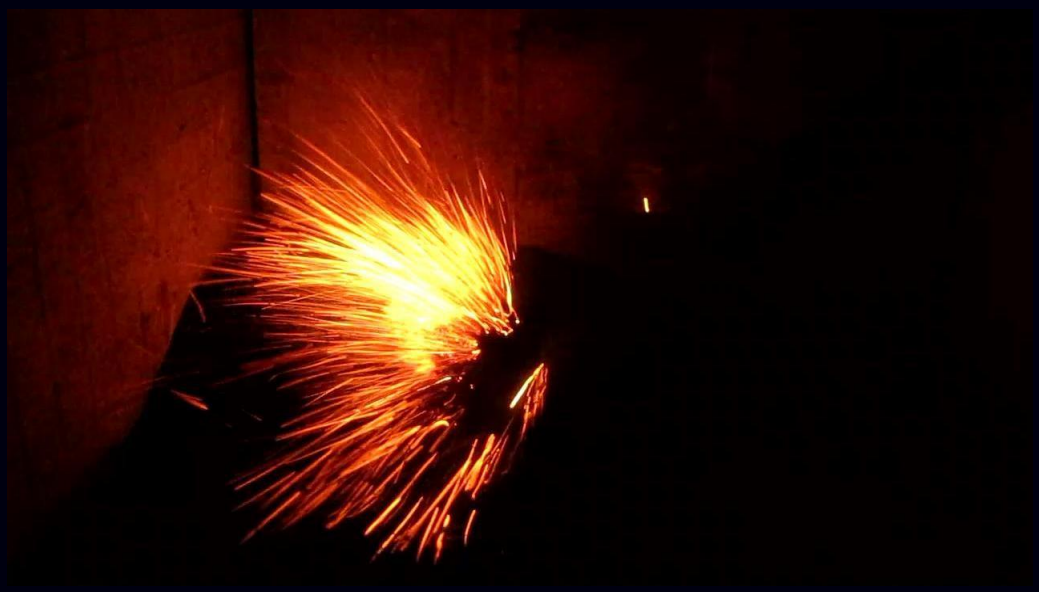






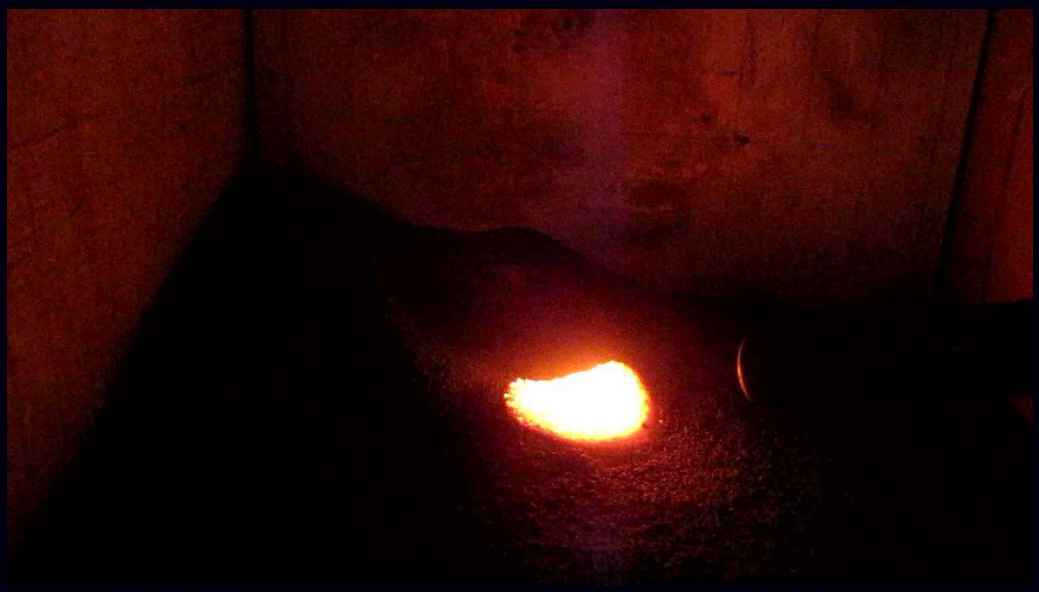








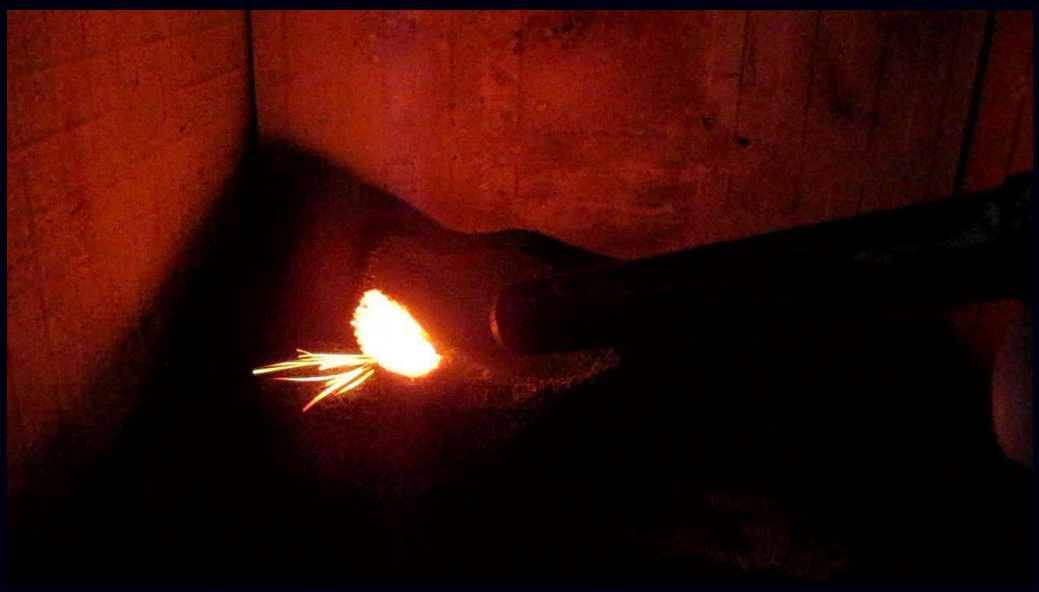














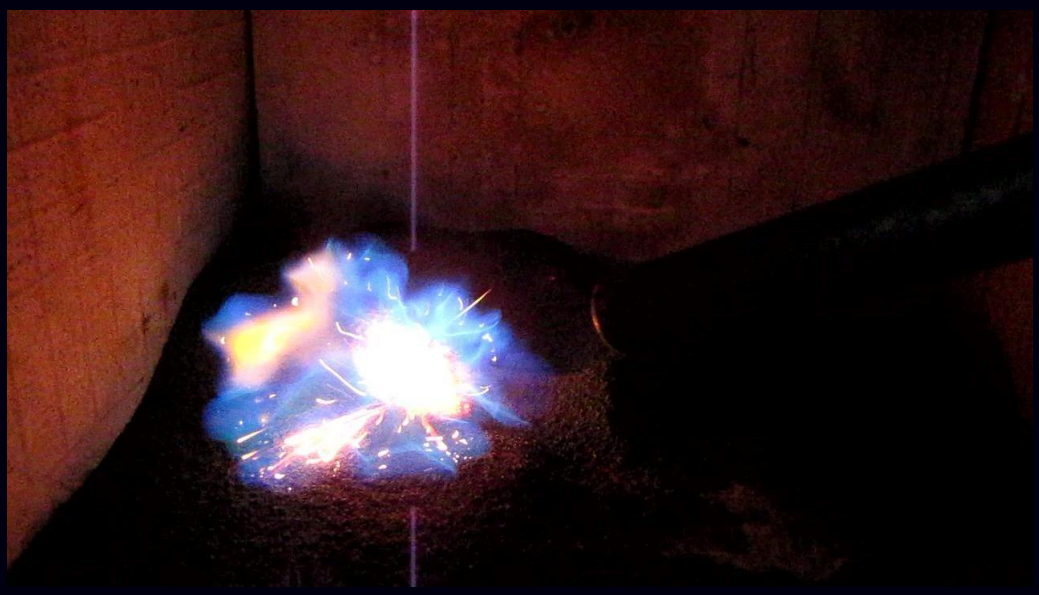


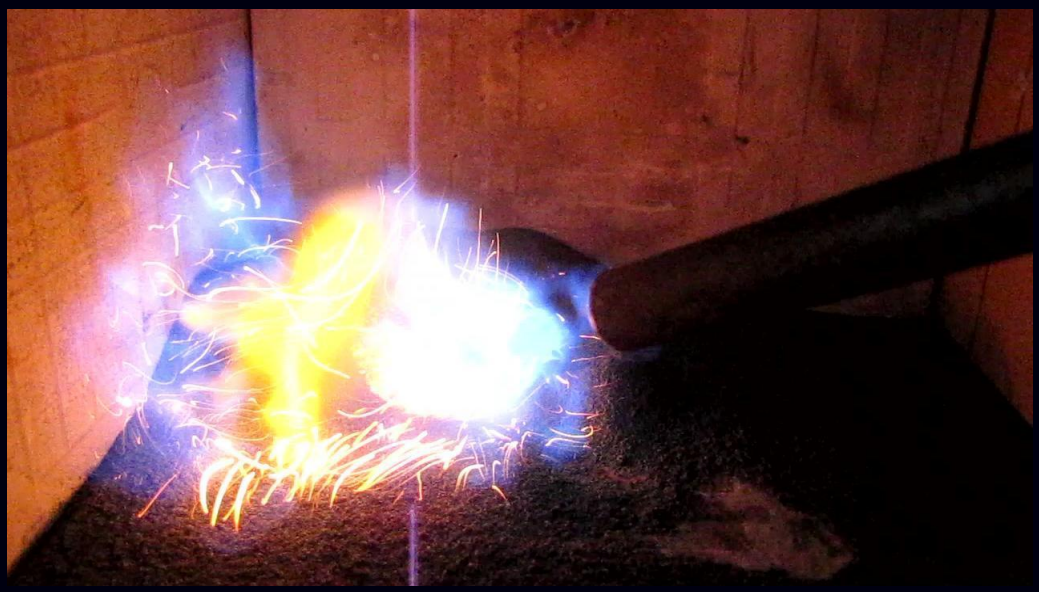


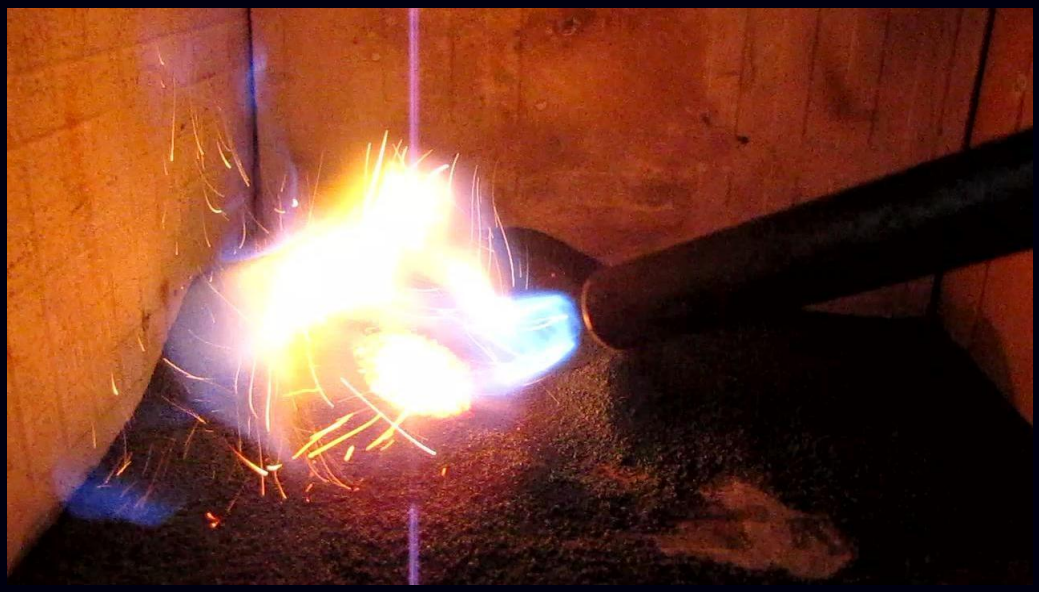




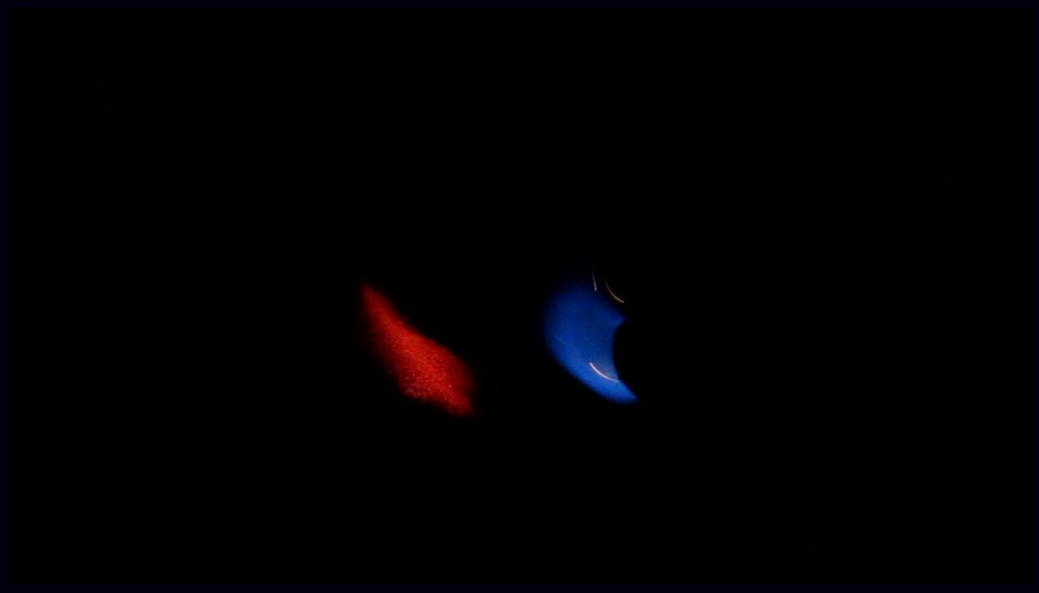


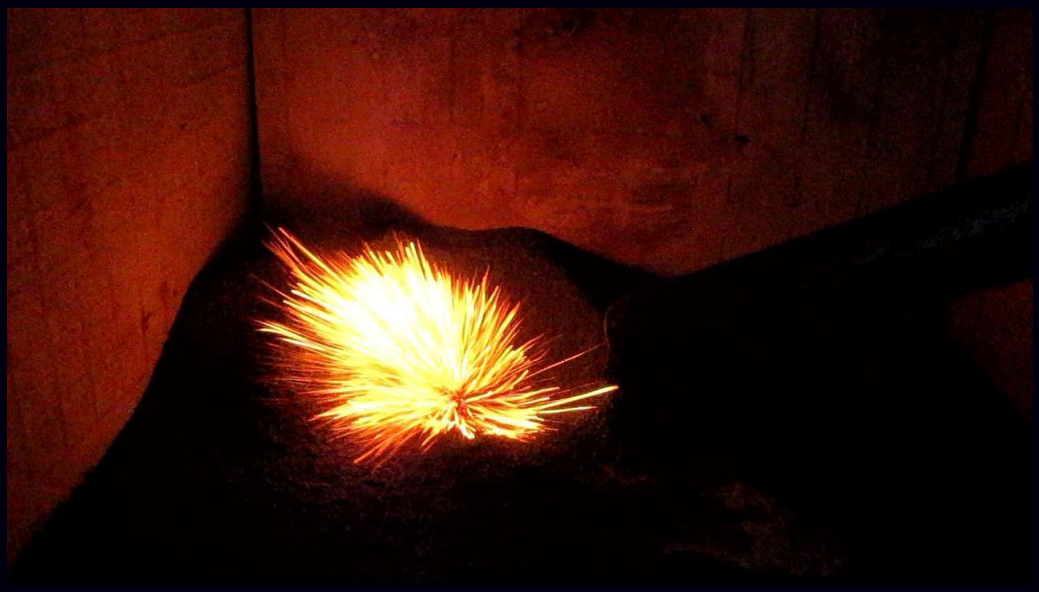


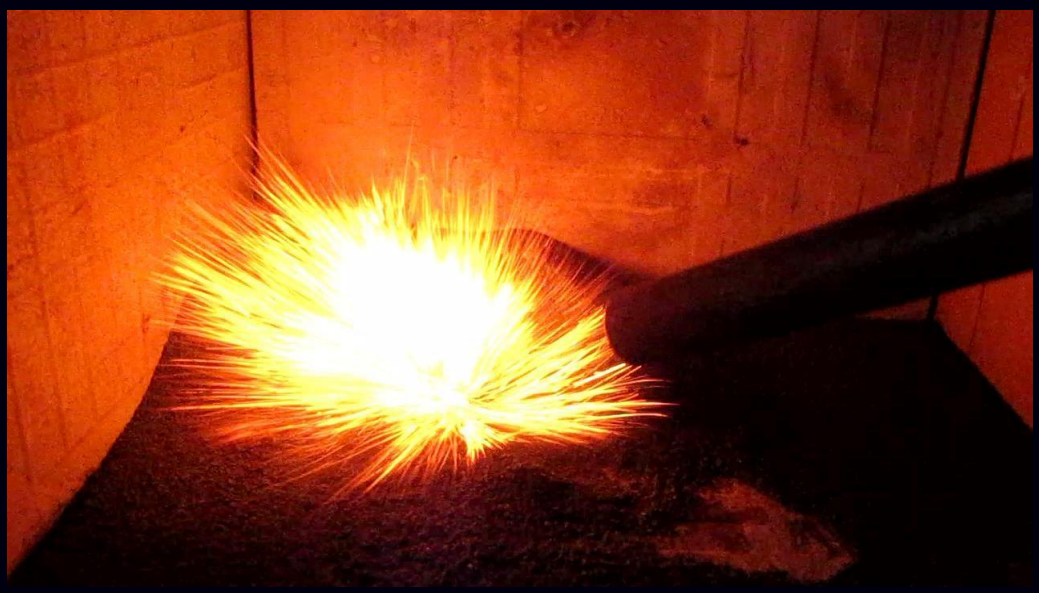


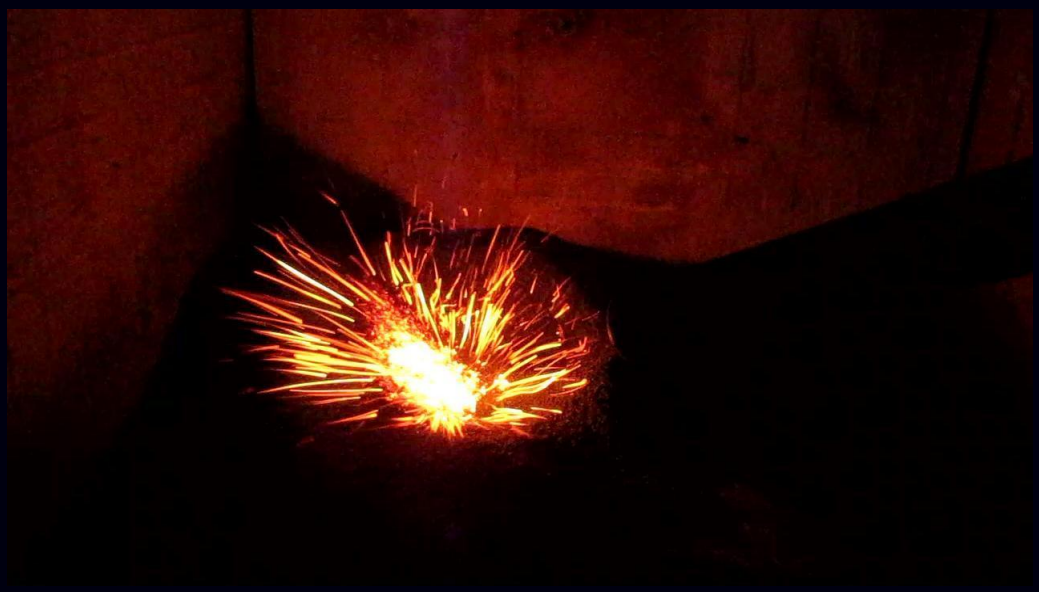




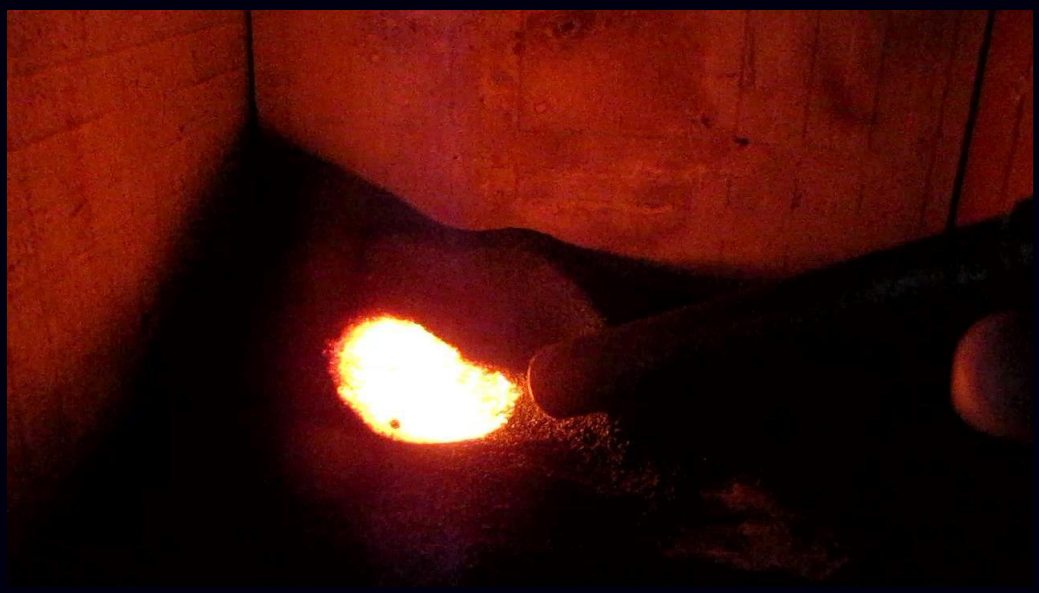












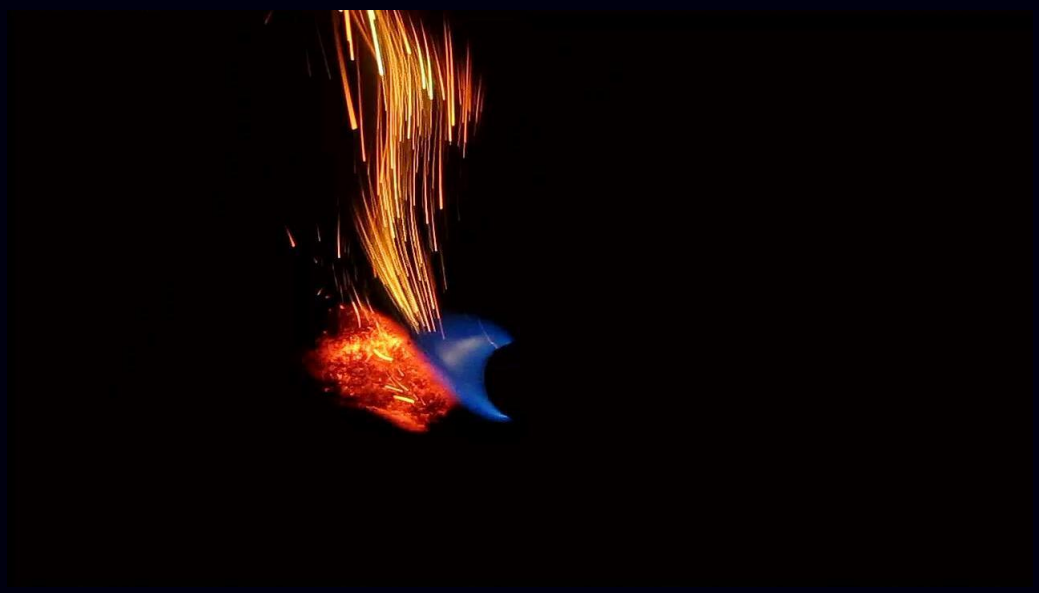


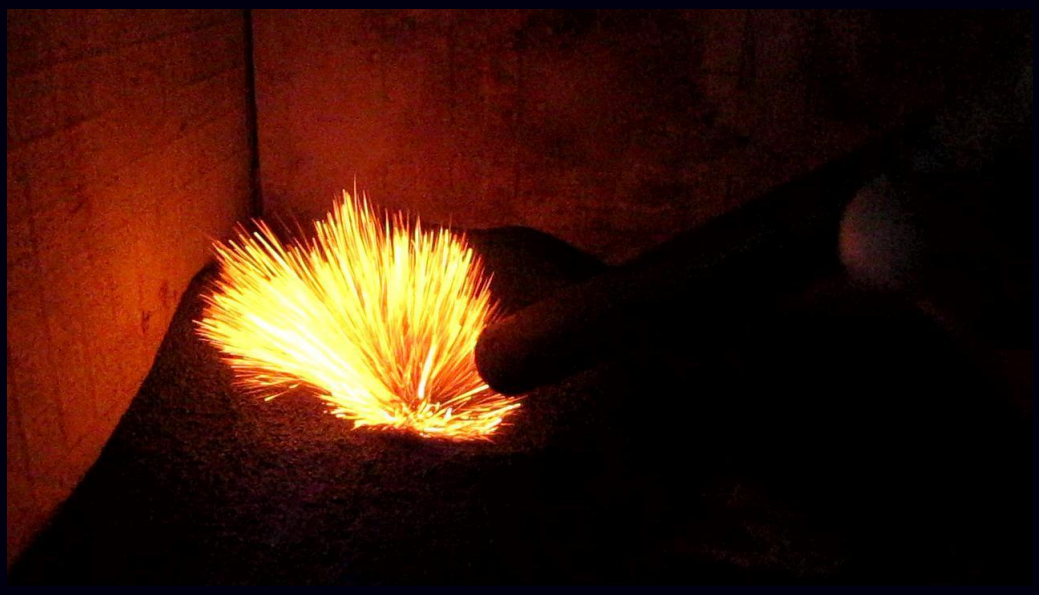
















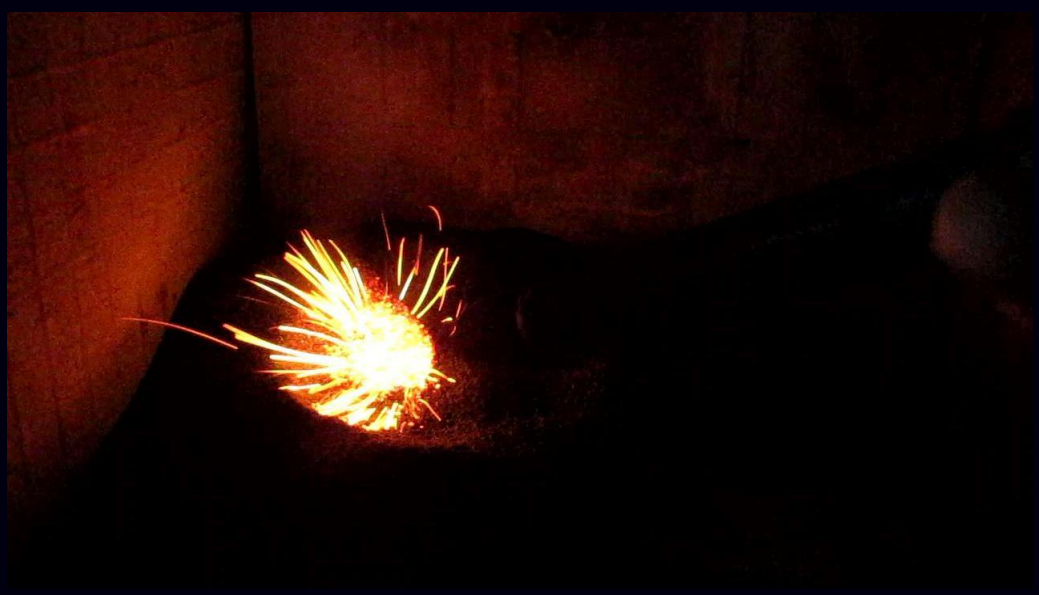




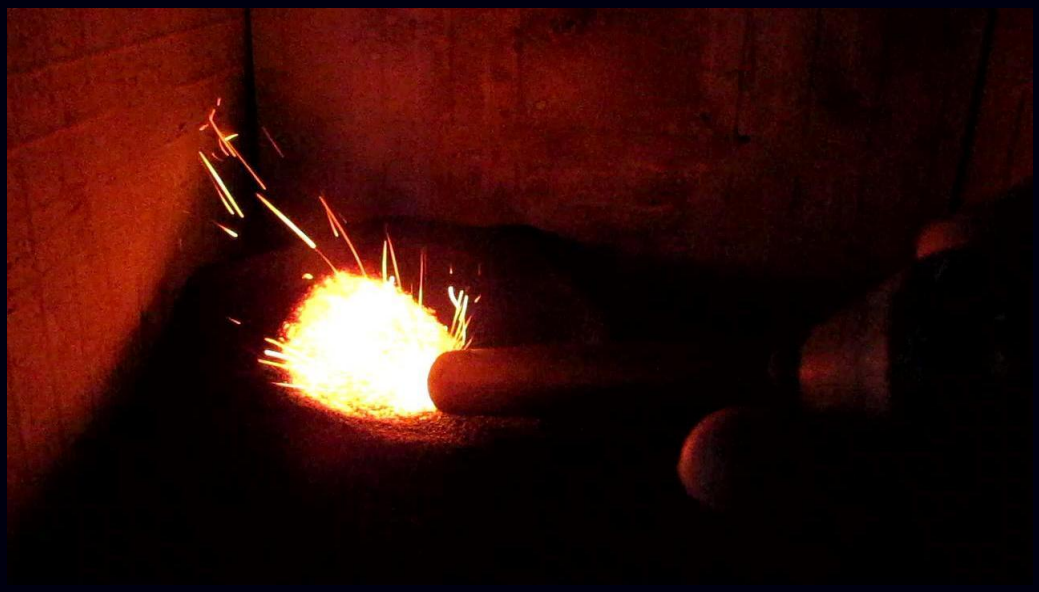
















































Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.18

В.Н. Витер

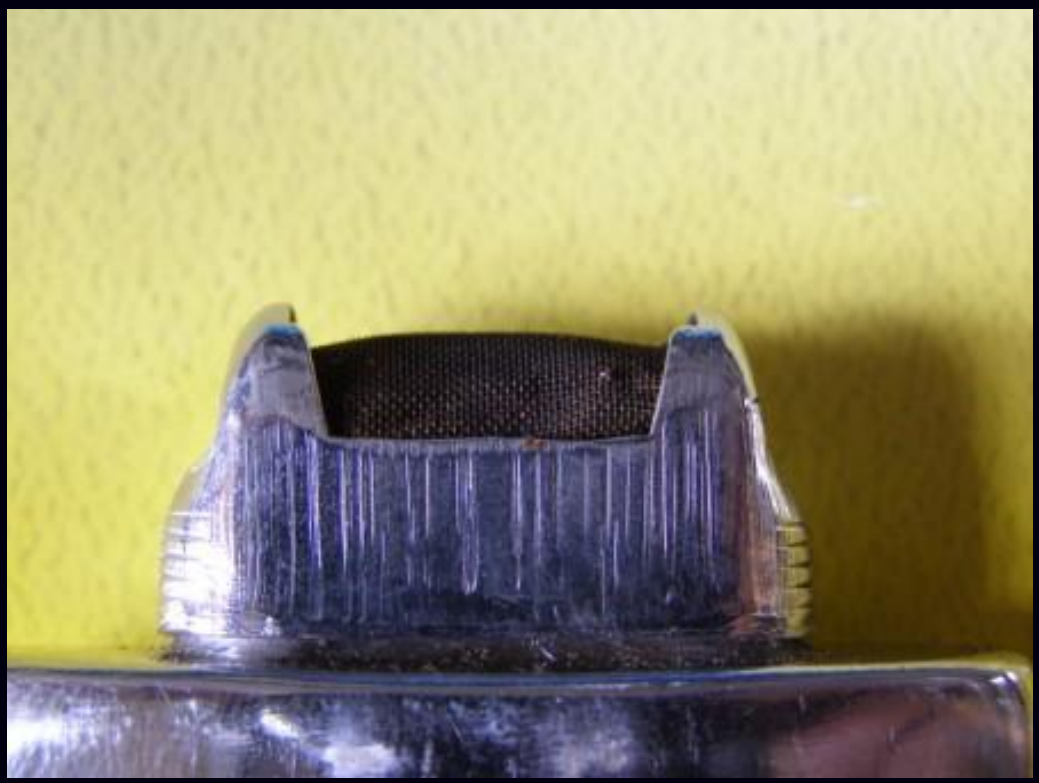
Каталитическая горелка

Для обогрева в полевых условиях, а также в неотапливаемых помещениях удобно пользоваться переносными горелками. Однако открытое пламя может стать причиной ожогов или возникновения пожара. Намного удобнее и безопаснее каталитические горелки, в которых горение происходит на поверхности твердого катализатора. Обычно катализатором служит покрытая платиной сетка. Такие горелки могут использовать многие виды жидкого топлива, которое не содержит серы (и других каталитических ядов) - авиационный керосин, очищенный бензин, спирт и т.д. Подобную горелку можно поместить под одежду, в варежку и т.п., что обеспечит вас теплом во время зимней рыбалки, похода или просто прогулки на природе.



Каталитическая (беспламенная) горелка заводского изготовления:
1 - резервуар для жидкого топлива (бензин, спирт), 2 - колпачок, 3 - катализатор





Для нужд военных была разработана большая каталитическая горелка с кобальтовым катализатором (видимо, применялся оксид кобальта Co_3O_4 в композиции с другими оксидами и добавкой палладия). Такая горелка работает на авиационном керосине и предназначена для разогрева двигателей танков в холодных условиях. В журнале

"Моделист-Конструктор" была статья, в которой предлагается следующий рецепт катализатора беспламенной горелки, предназначенной для разогрева автомобильных двигателей:

Для изготовления самого нагревательного элемента используется длинноволокнистый асбест. Он пропитывается в течение часа раствором кобальто-хромового катализатора, содержащего: 27.3% CoO; 72.1% Cr_2O_3 и 0.6% MnO_2 или, что гораздо лучше, раствором хлористой платины (правда, это дорогой реактив). Первый же изготавливается из чистых реактивов - двухромокислого аммония, азотнокислых марганца, кобальта и концентрированного аммиака. На 100 г асбеста необходимо 1000 $см^3$ раствора. При этом на асбесте осаждается хромат кобальта. Массу высушивают при 100-120°, теребят и прокаливают в течение 3 часов при температуре 350...400°С. В результате получается рыхлая, темная асбестовая масса. Ее укладывают равномерным слоем между проволочными сетками по 0.3 $г/см^2$. На горелку с поверхностью 10 $дм^2$ необходимо около 300 г катализатора.

< источник >

Нетрудно заметить, что автор описания привел количество раствора, которое необходимо для нанесения катализатора на асбест, но забыл указать концентрацию солей в растворе (или, по крайней мере, массу катализатора на 100 г носителя - асбеста), поэтому желающие воспроизвести методику будут вынуждены установить эту величину самостоятельно (при окислении оксида углерода кислородом на оксиде кобальта Co_3O_4 оптимальное количество катализатора составляло около 5% от массы носителя - на эту величину и стоит ориентироваться).

Один мой знакомый получил задание разработать каталитическую горелку, которая не использовала бы драгоценных (платина, палладий) или сравнительно дорогих (кобальт, хром) металлов. Нетрудно догадаться, что работа окончилась неудачей. Таким образом, чтобы сделать работающую каталитическую горелку, необходима платина или палладий, в крайнем случае - кобальт, хром и марганец.

Мы, однако, поставили более скромную цель: сделать модель каталитической горелки, чтобы просто продемонстрировать беспламенное горение. В качестве катализатора мы использовали оксид хрома, полученный разложением бихромата аммония (аналогично эксперименту, описанному в предыдущей части). Скажем сразу, что пылеобразный оксид хрома (III) был достаточно активным в качестве катализатора, но он причинил массу

неудобств: пыль оксида хрома уносилась потоком газа и оседала везде, где только можно.

Чтобы сделать горелку, мы отрезали верх алюминиевой банки из-под пива, в дне сделали отверстие, которое соответствовало диаметру трубки горелки Теклю, на которую и надели пивную банку. Сверху сопла горелки положили кусочек пивной банки, который служил для более равномерного распределения газа. В банку насыпали катализатор - оксид хрома Cr_2O_3.

Включили слабый ток пропан-бутановой смеси, и через несколько секунд подожгли газ над банкой. Вспыхнуло пламя, частички оксида хрома раскалились. После этого поток газа перекрыли на короткое время - так, чтобы пламя погасло, но катализатор не успел остыть. Когда поток газа включили вновь, катализатор раскалился до красного (или желтого) цвета, на его поверхности "пульсировала" раскаленная зона. Если увеличить подачу газа, начинался унос раскаленных частичек оксида хрома, что выглядело, как огненная метель. Если подачу газа еще усилить - происходила вспышка и появлялось пламя: поверхностное горение переходило в объемное. В таком случае стоило перекрыть поток пропан-бутановой смеси, а потом снова возобновить, но уже менее интенсивный.

Еще раз подчеркнем, что описанная здесь модель является упрощенной и не рассчитана для практических целей.

Смотреть Видео (54 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (45 Мб, .avi)



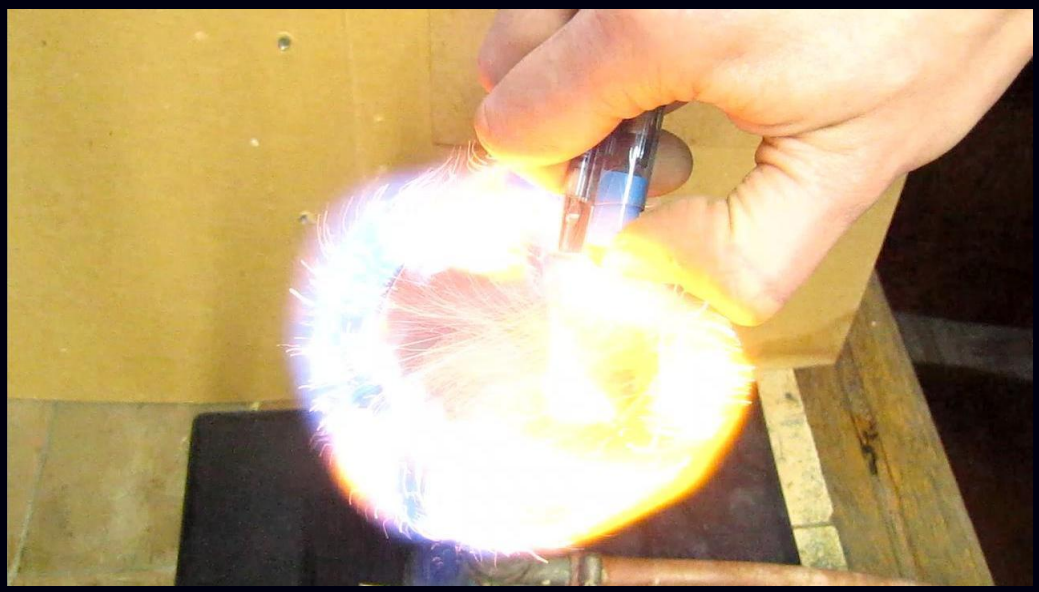
Каталитическая горелка

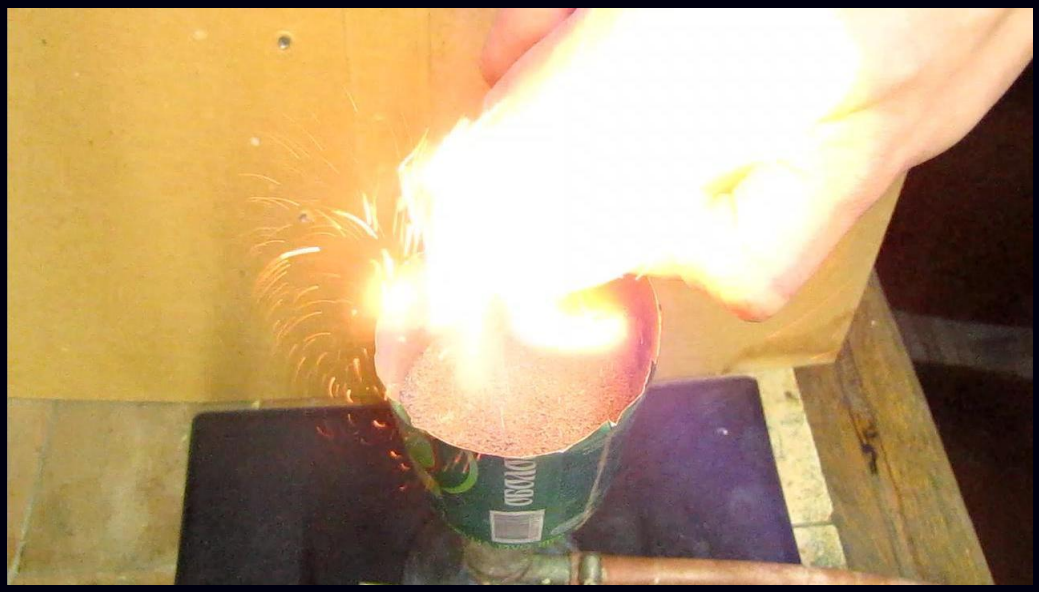










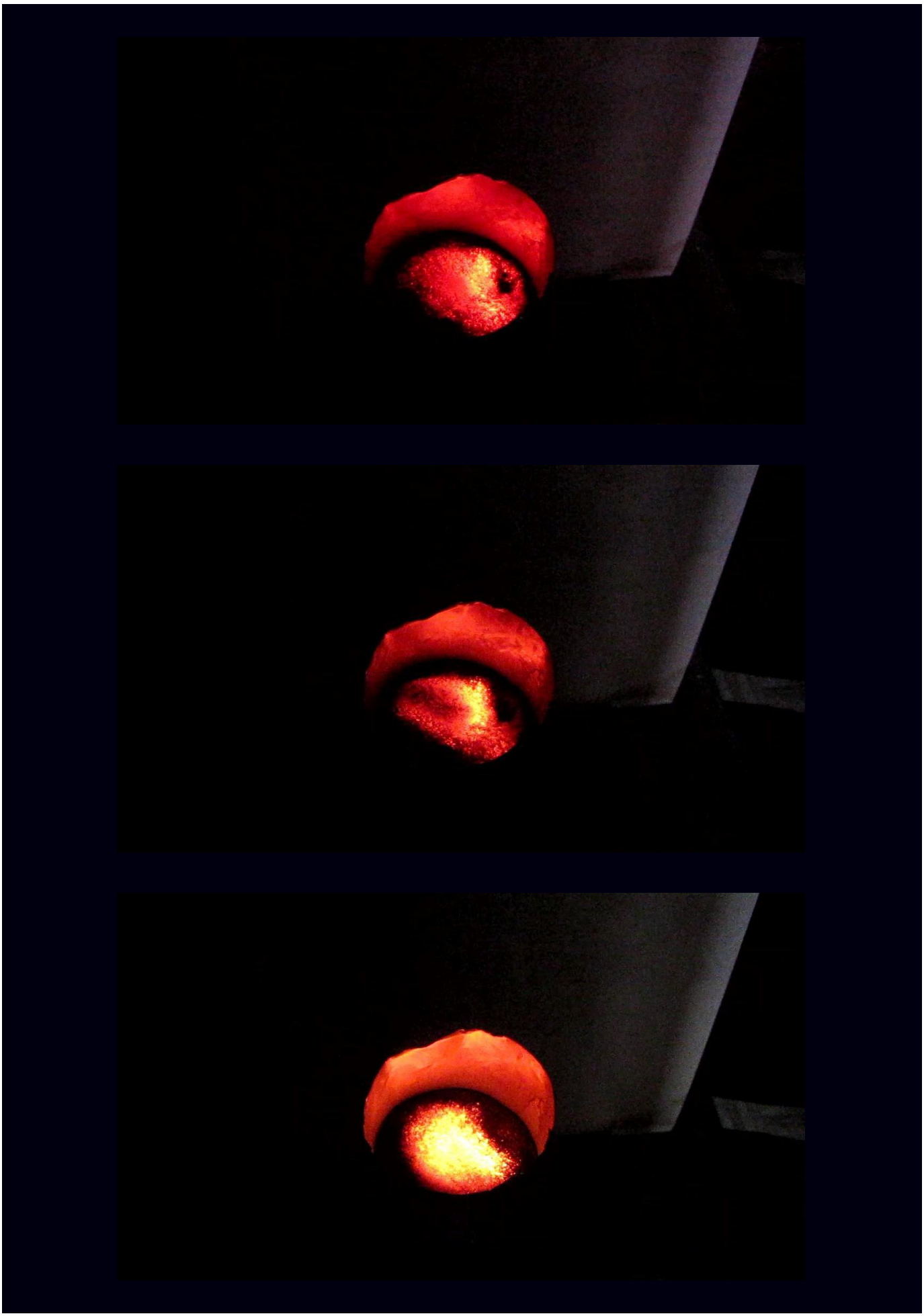


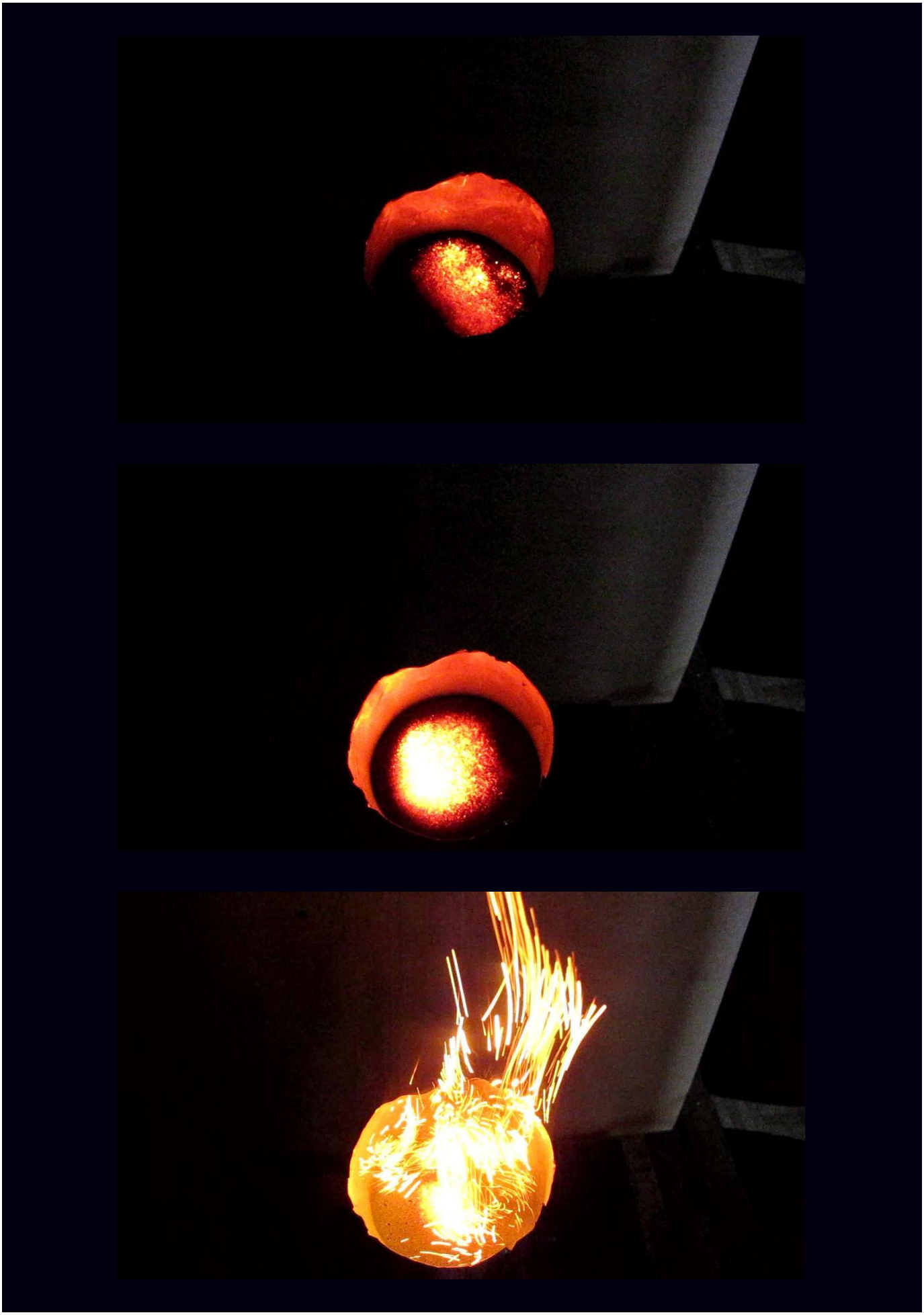


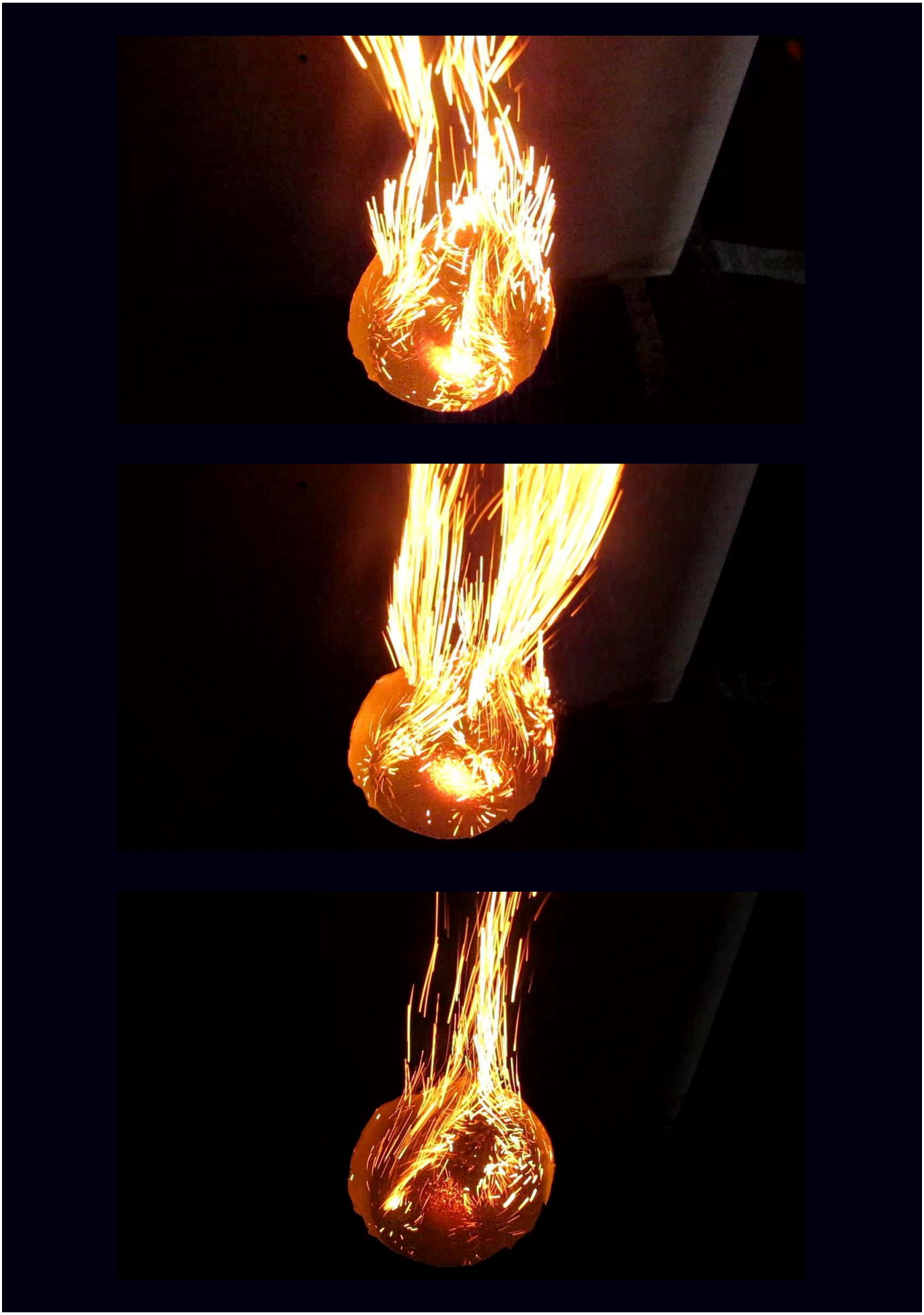


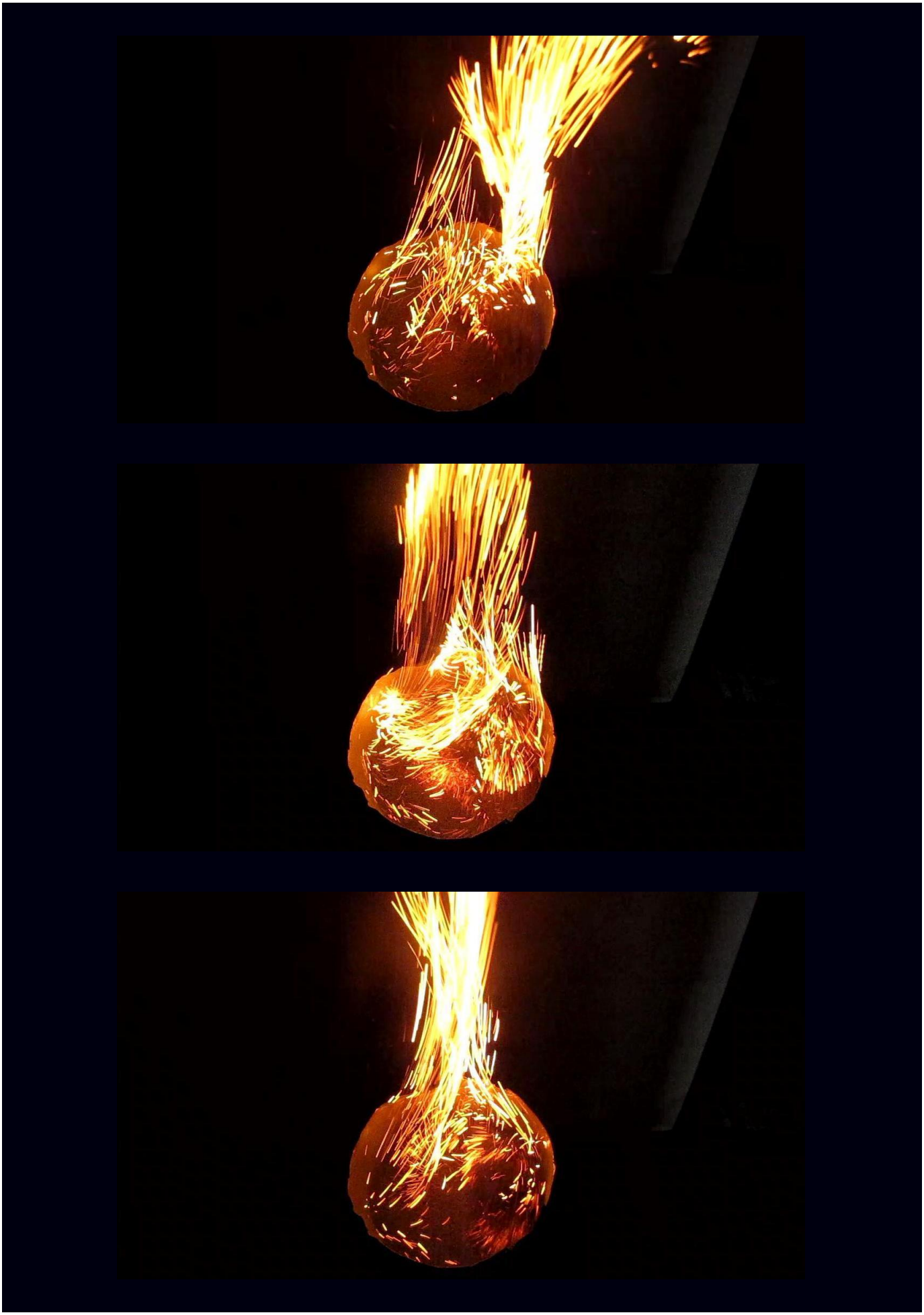


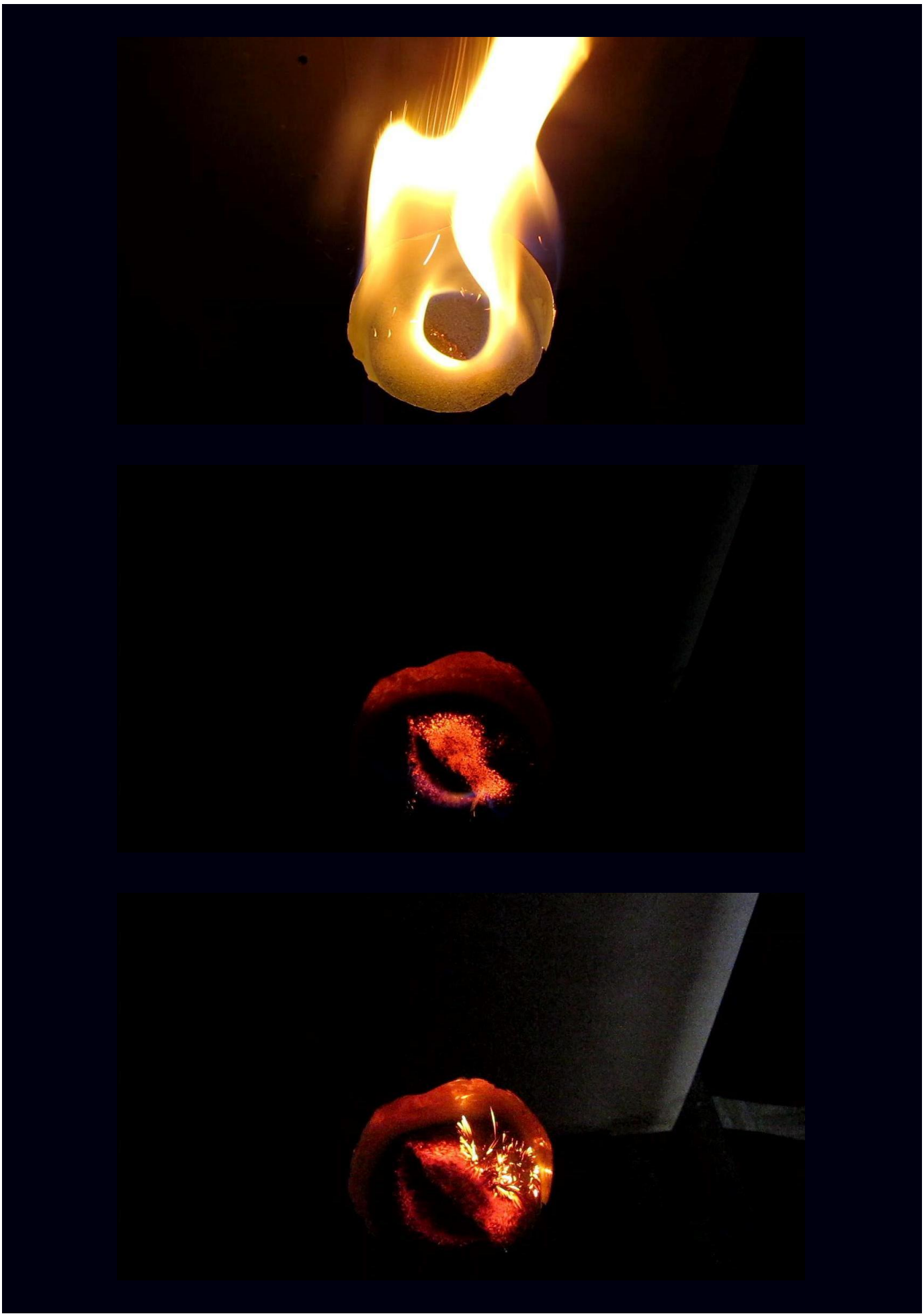








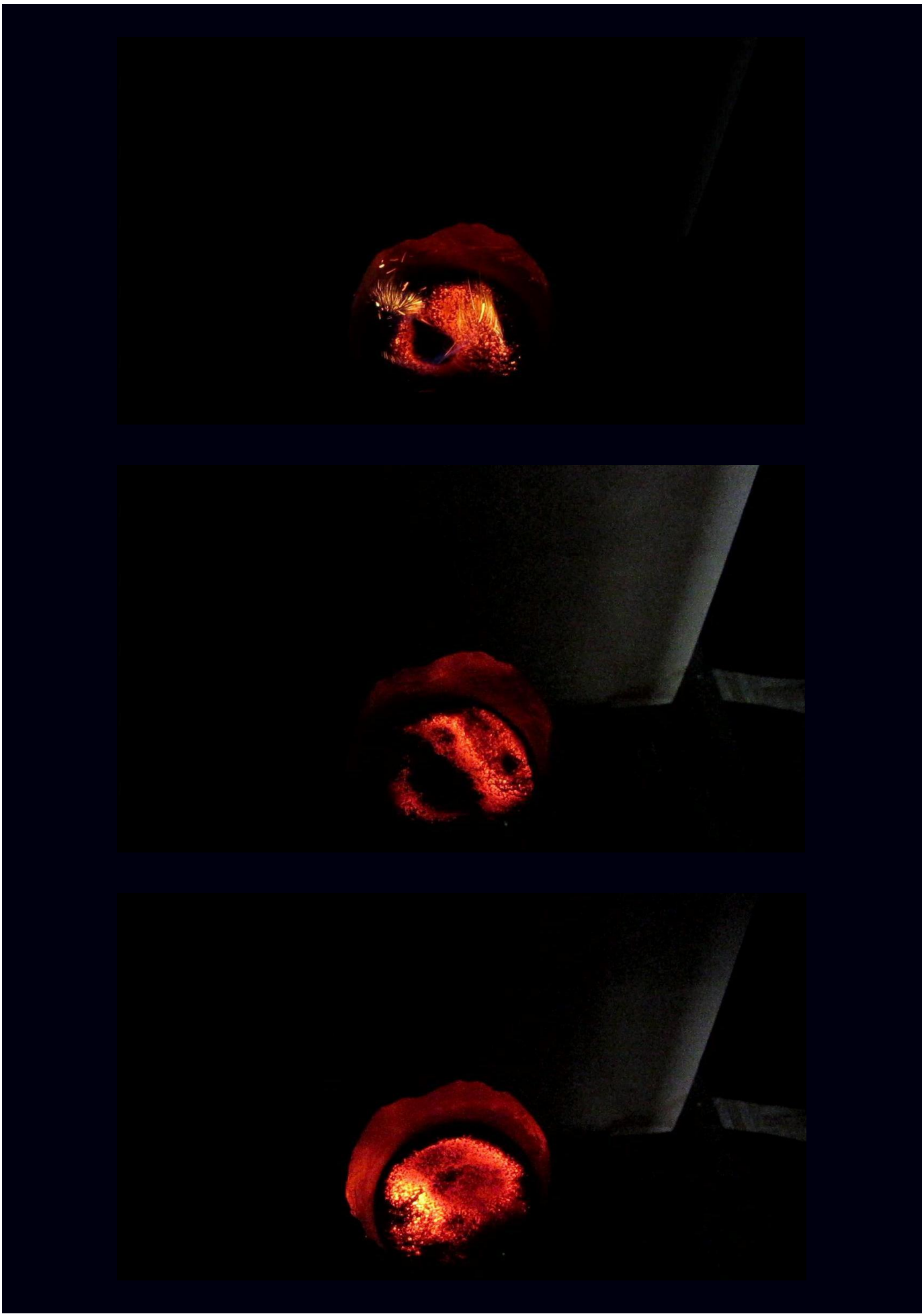


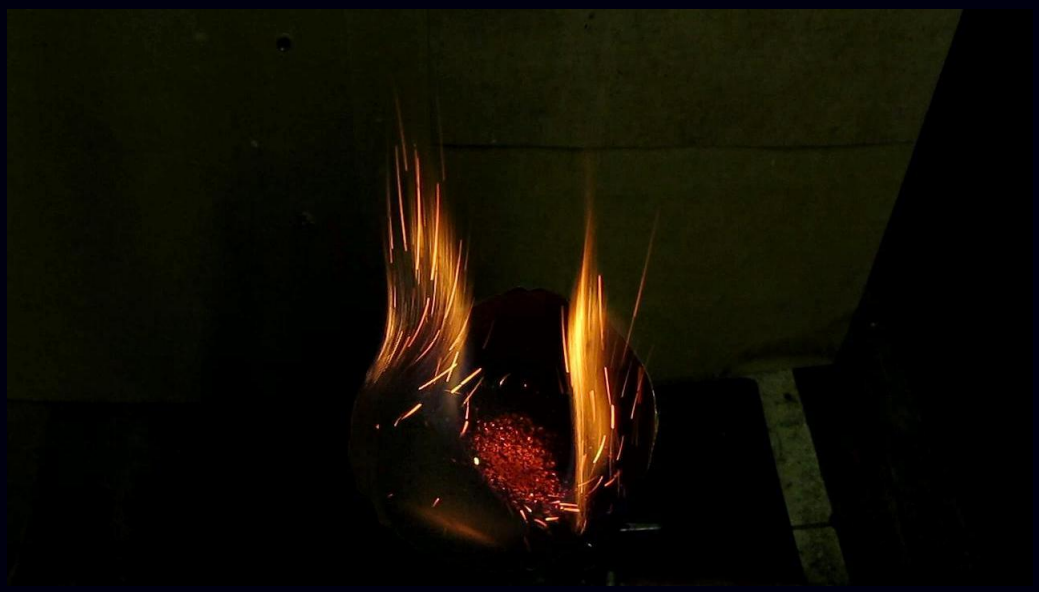






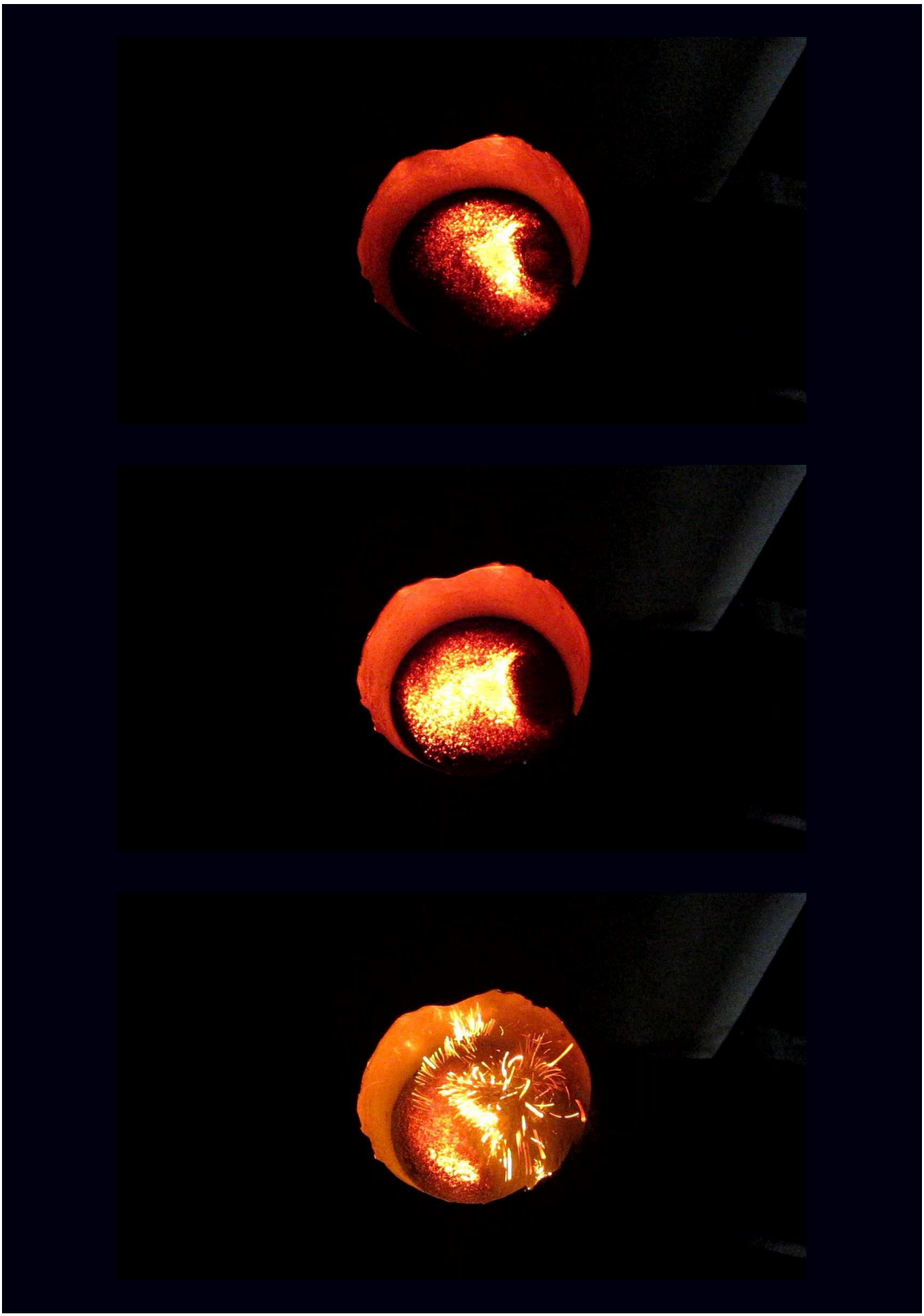










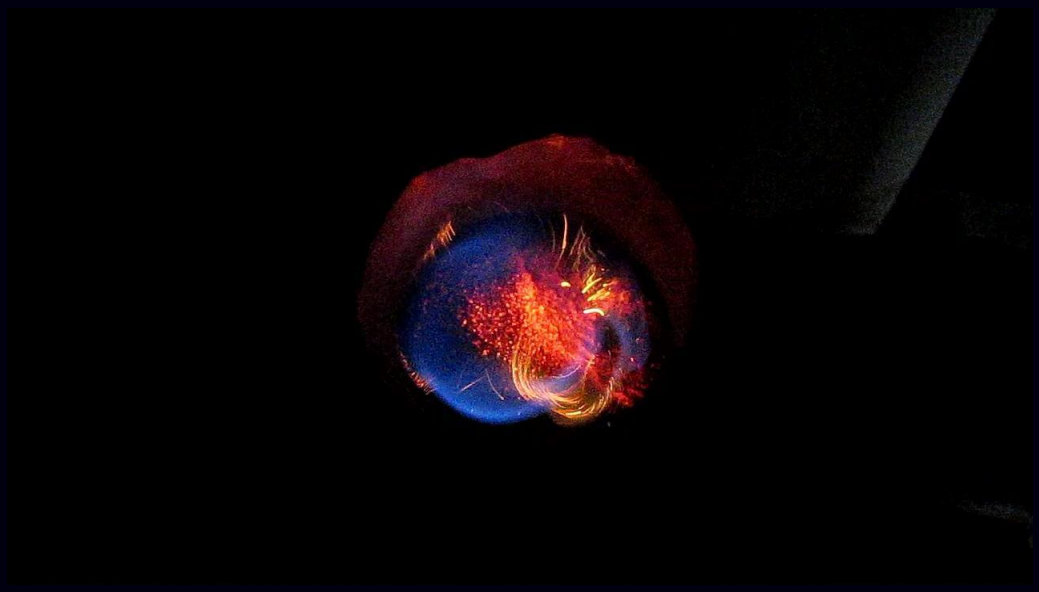


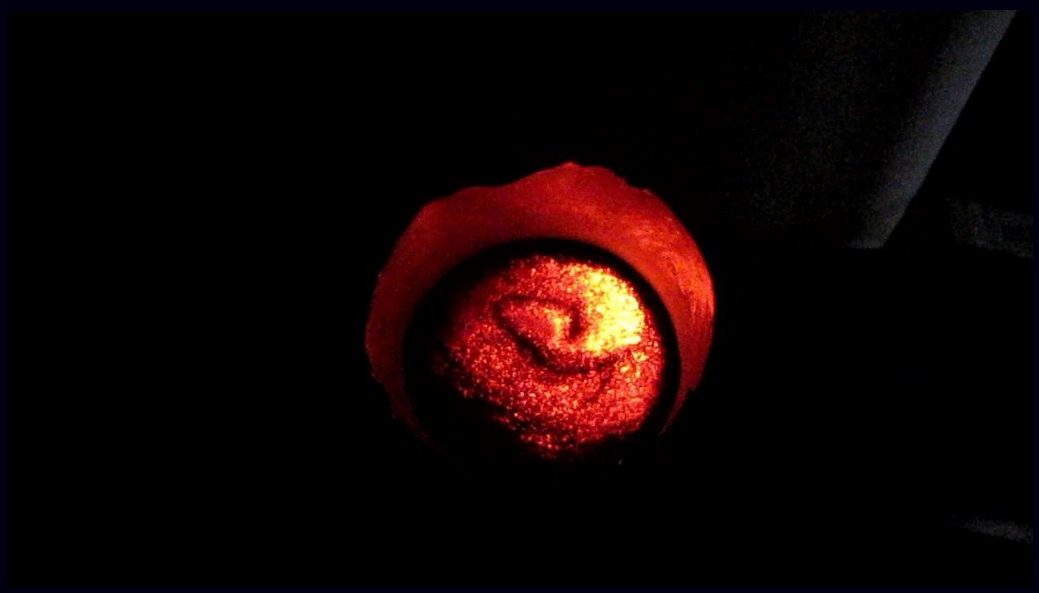


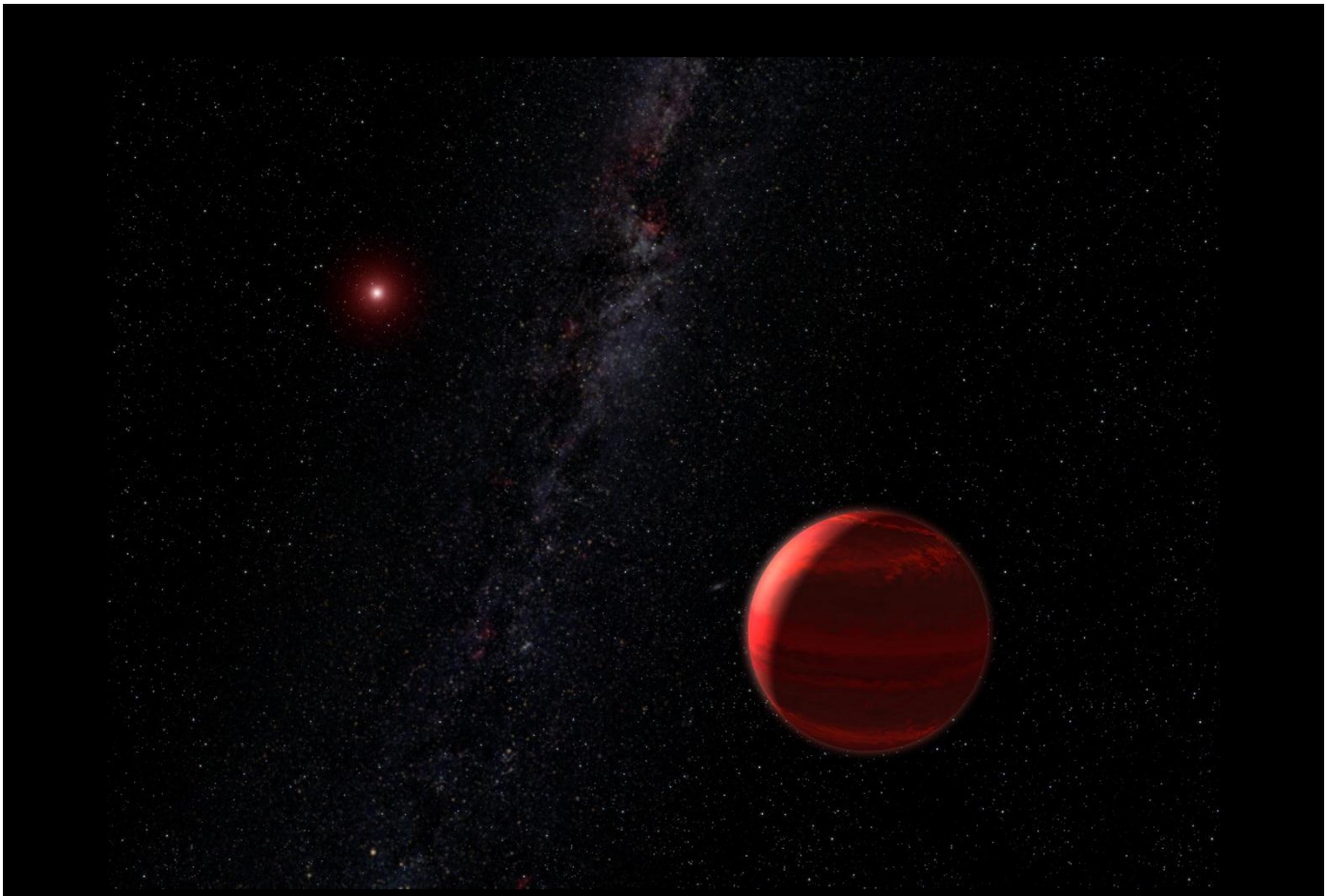












Газовый гигант, вращающийся по орбите вокруг красного карлика (рисунок художника)

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.19а

В.Н. Витер

Огненная метель

"Огненная метель" - один из самых красивых химических экспериментов. В "классическом" виде он выглядит следующим образом. В большую банку или колбу наливают немного концентрированного раствора аммиака (можно также воспользоваться смесью соли аммония и щелочи, которую немного смачивают водой). Сосуд закрывают и ждут несколько минут, пока он заполнится парами аммиака (для ускорения этого процесса банку или колбу можно слегка повращать, чтобы раствор распределялся пленкой по нижней ее части). После этого сосуд открывают и вносят в него ложечку с оксидом хрома (III) Cr_2O_3, предварительно нагретым в пламени горелки до красного каления. Легкими движениями ложечки распыляют частички оксида хрома.

В банке начинается настоящая огненная метель: вместо того, чтобы остыть и погаснуть, частицы оксида хрома раскаляются еще больше, банка заполняется искрами красного и желтого цвета, причем это не просто "огненный дождь", а именно "огненная метель": потоки газа подхватывают раскаленные частички и несут их в разных направлениях, в том числе - вверх и в стороны. Наблюдаются многочисленные огненные завихрения, иногда появляется желтое пламя.

Многие читатели уже поняли, что в эксперименте происходит каталитическое окисление аммиака кислородом воздуха на поверхности частиц оксида хрома. Однако, как мы уже убедились, оксид хрома (III) является катализатором окисления большого числа органических веществ, в частности - углеводородов. Было бы логично попробовать провести опыт "Огненная метель" с пропан-бутановой смесью. Описание такого опыта в литературе мы не встречали, но, как говорится: попытка - не пытка.

Трехлитровую банку (которую в быту называют "бутыль для консервирования") заполнили пропан-бутановой смесью. В импровизированной ложечке нагрели оксид хрома (III), полученный разложением бихромата аммония. Когда оксид хрома местами раскалился докрасна, ложечку внесли в банку со смесью и начали слегка рассыпать содержимое. В результате сначала появились отдельные красные и желтые искры, потом начался

огненный дождь, который перешел в огненную метель. Опыт напоминал аналогичный эксперимент с аммиаком, метель часто была даже более яркой, но наблюдалась и существенная разница: пропан-бутановая смесь нередко вспыхивала, т.е. вместе с поверхностным горением начиналось и объемное. Если пламя находилось внутри банки, это не сильно портило опыт (вихревое пламя с раскаленными частичками оксида хрома тоже выглядело красиво), но когда пламя сосредотачивалось возле горлышка, огненная метель прекращалась. Приходилось также следить, чтобы пропан-бутановую смесь в банке случайно не зажечь находящейся поблизости горелкой. Если это все-таки происходило, банку следовало быстро накрыть крышкой.

Во время опыта (особенно в заключительной его части) сильно осложняли жизнь пары воды, которые конденсировались на стенках банки, что мешало наблюдению (вода - продукт окисления углеводородов). При повторении опыта в одной и той же банке эта проблема исчезала: после нескольких экспериментов стенки банки нагревались, и на них переставала конденсироваться вода. Возможно, перед заполнением банки пропан-бутановой смесью ее целесообразно немного нагреть (например, в сушильном шкафу или духовке).

Заключительную часть эксперимента (каталитическое горение) лучше всего наблюдать в темноте. Для этого желательно не только выключить свет и затемнить помещение, но также погасить газовую горелку.

Смотреть Видео (51 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (55 Мб, .avi)

Смотреть Видео 3 (82 Мб, .avi)



Огненная метель







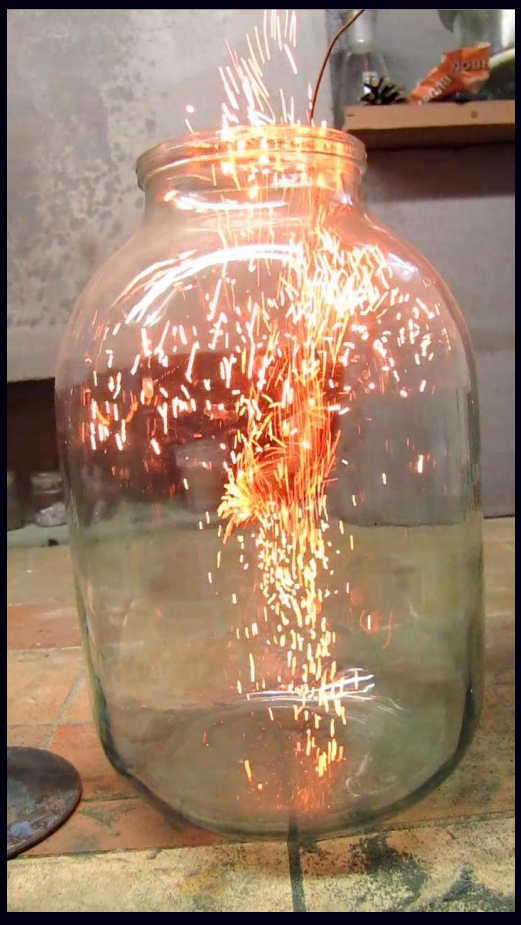








































































Коричневый карлик

(небесное тело, которое является "промежуточным звеном" между звездой и планетой)

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.19b

В.Н. Витер

Огненная метель

Описание эксперимента вы можете найти в предыдущей части (19a), здесь мы приводим фотографии и видео (замедленный повтор), которые не вошли в упомянутую часть.

Смотреть Видео (53 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (48 Мб, .avi)



Огненная метель



















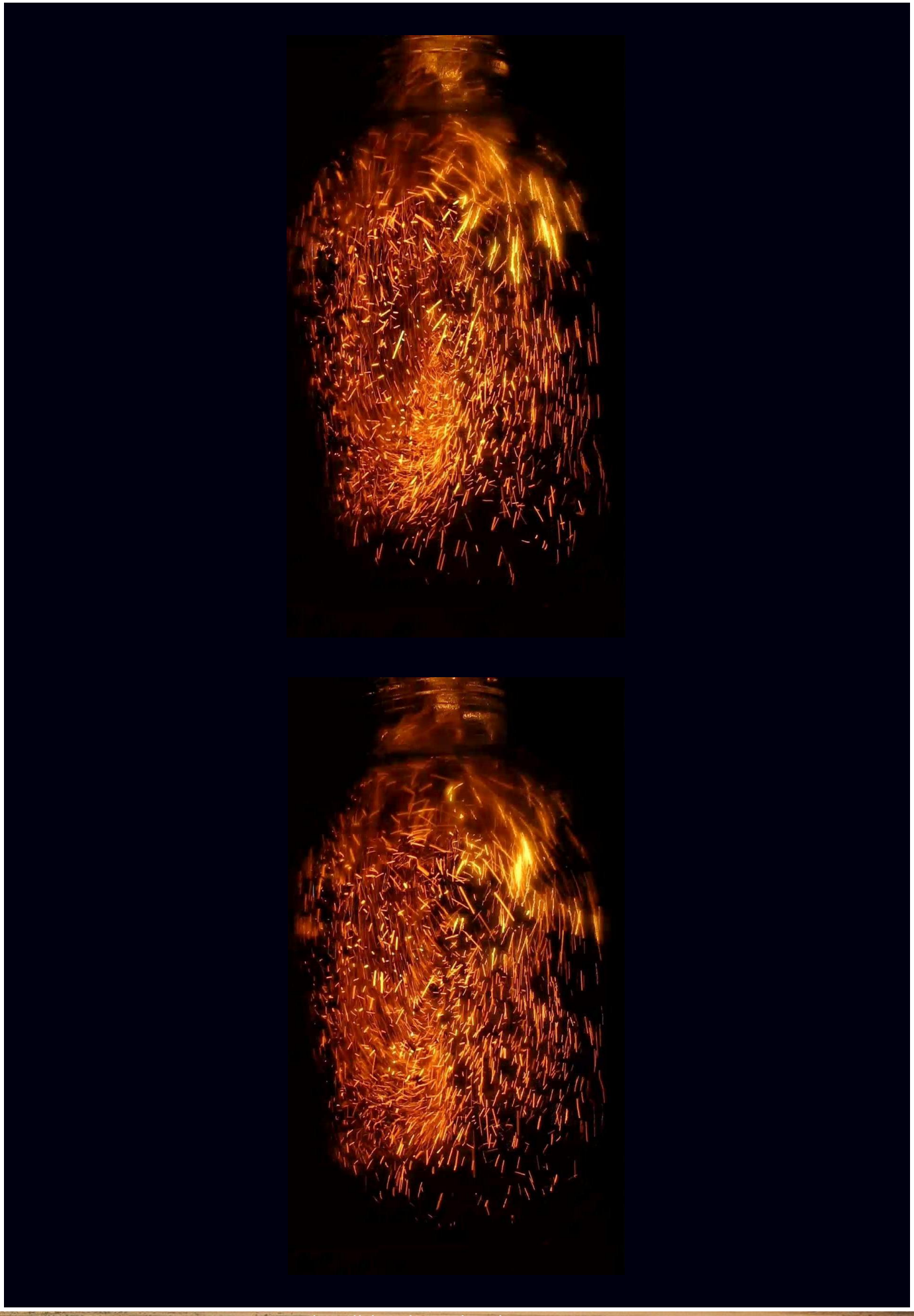


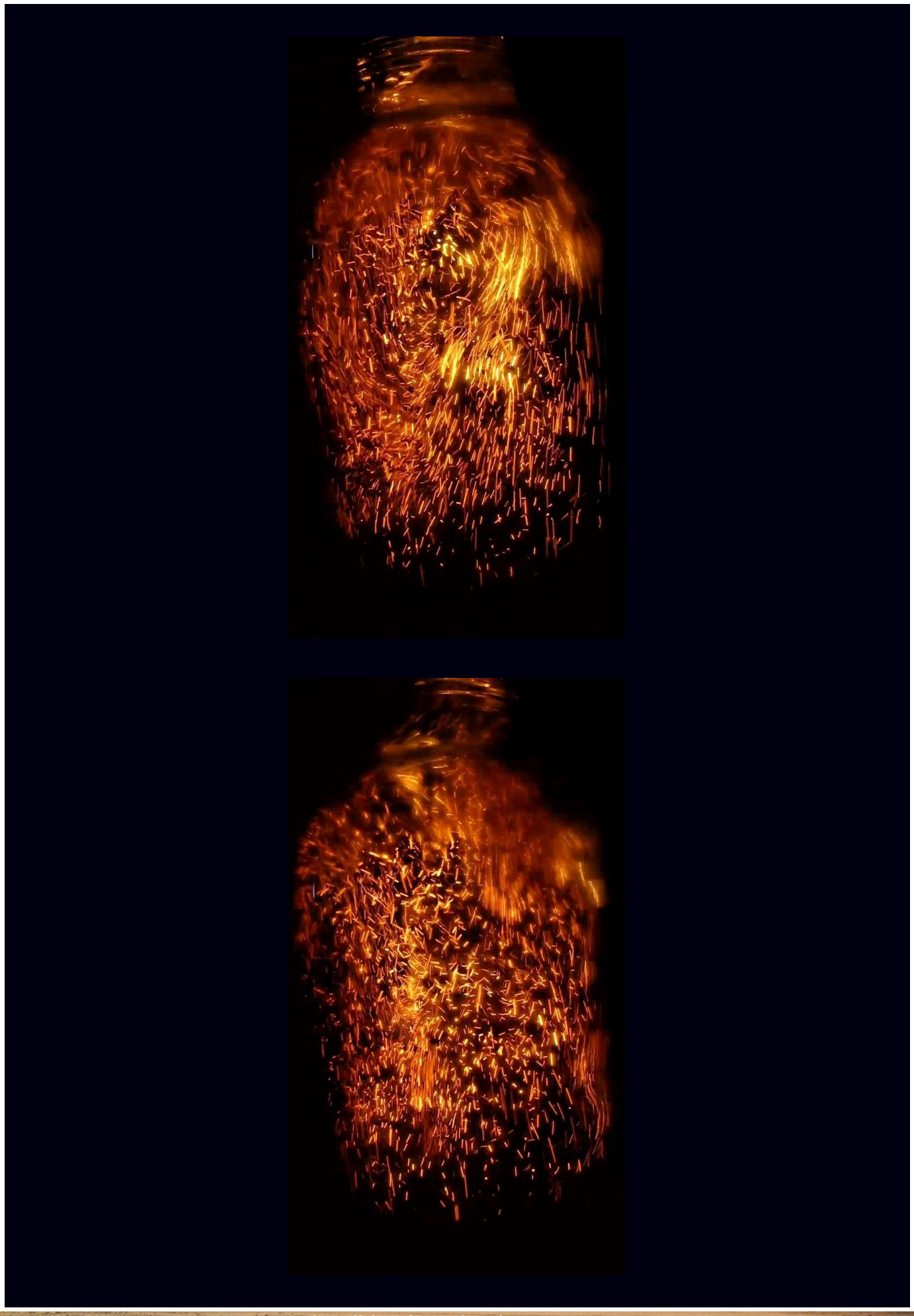


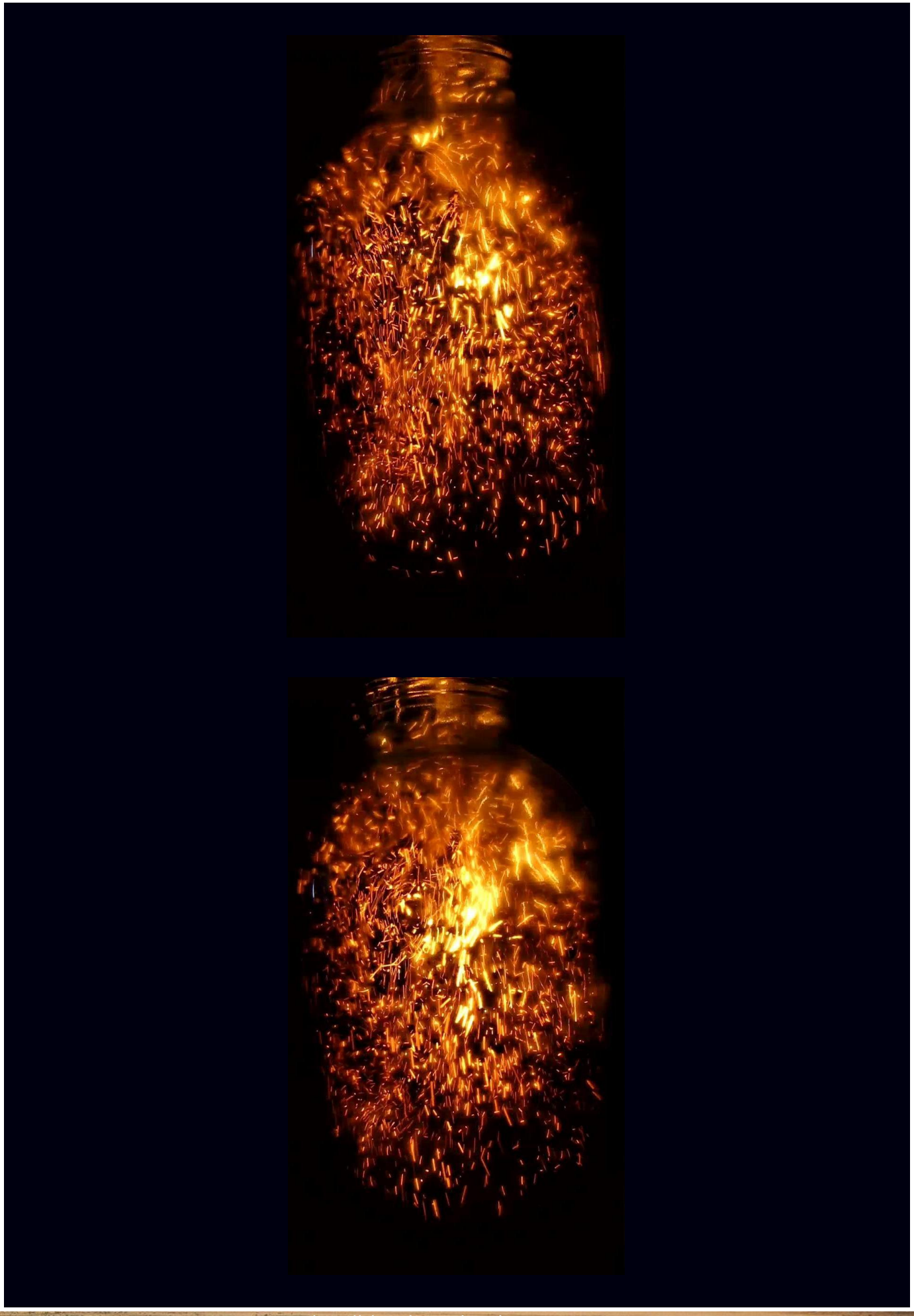


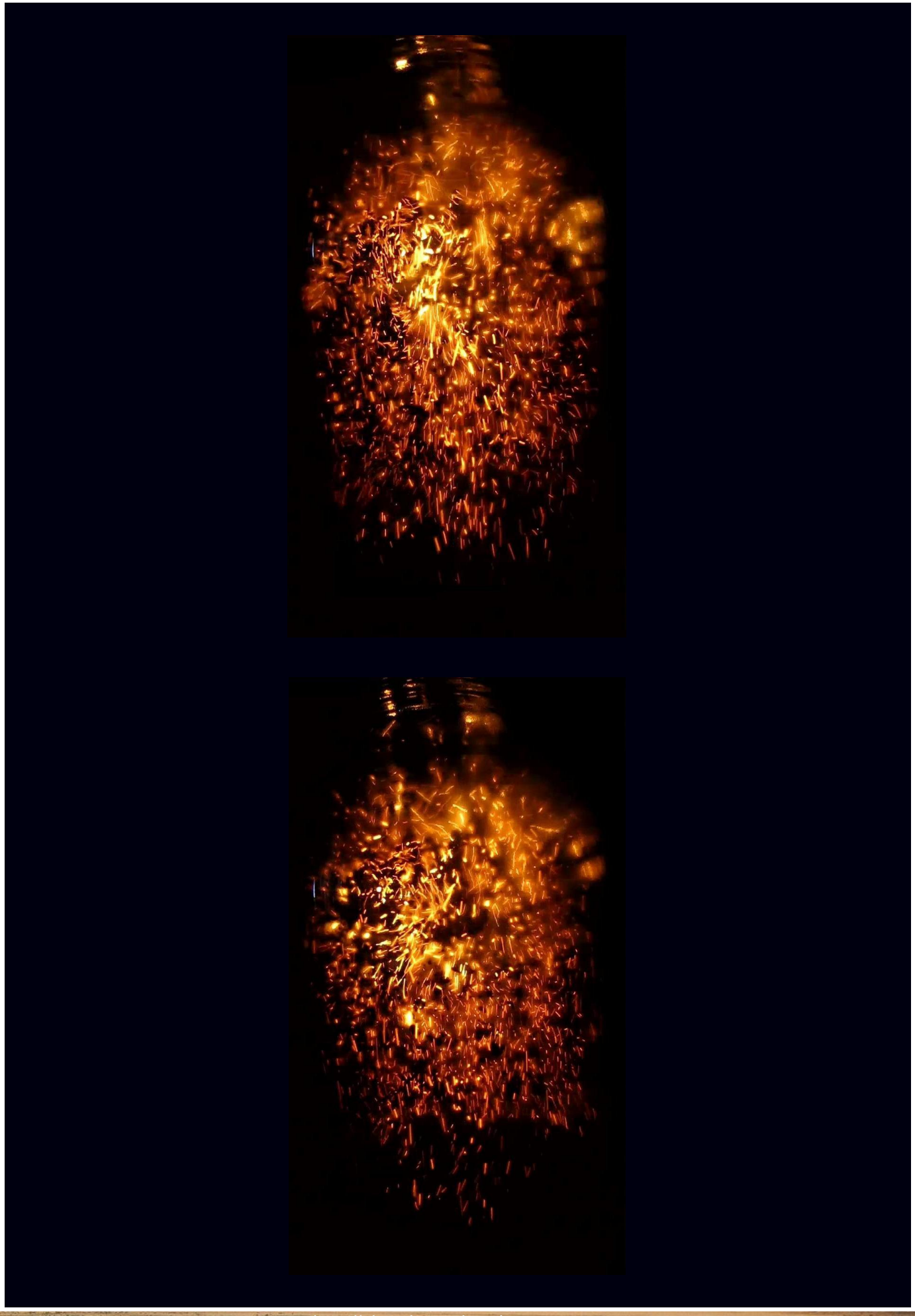


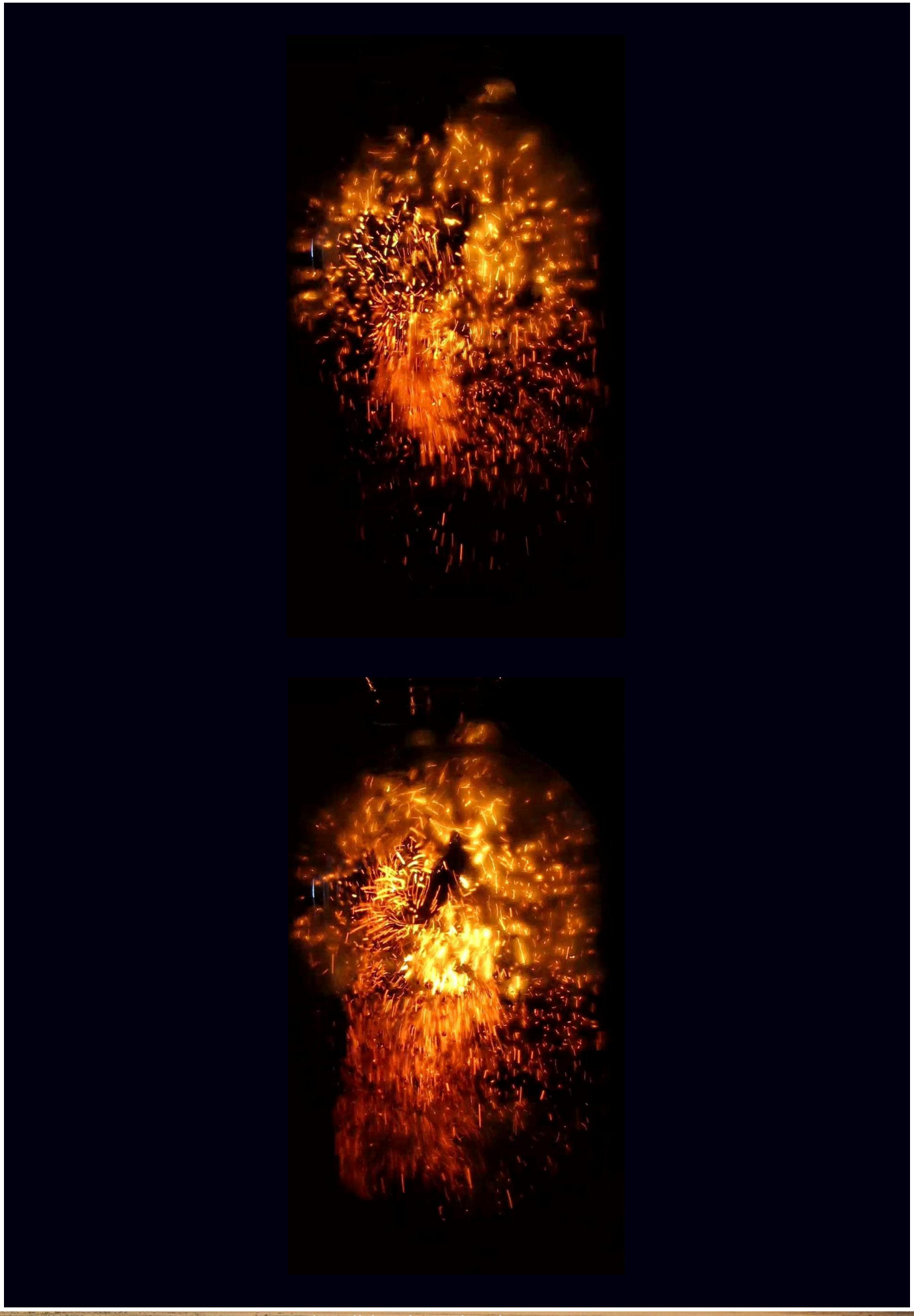










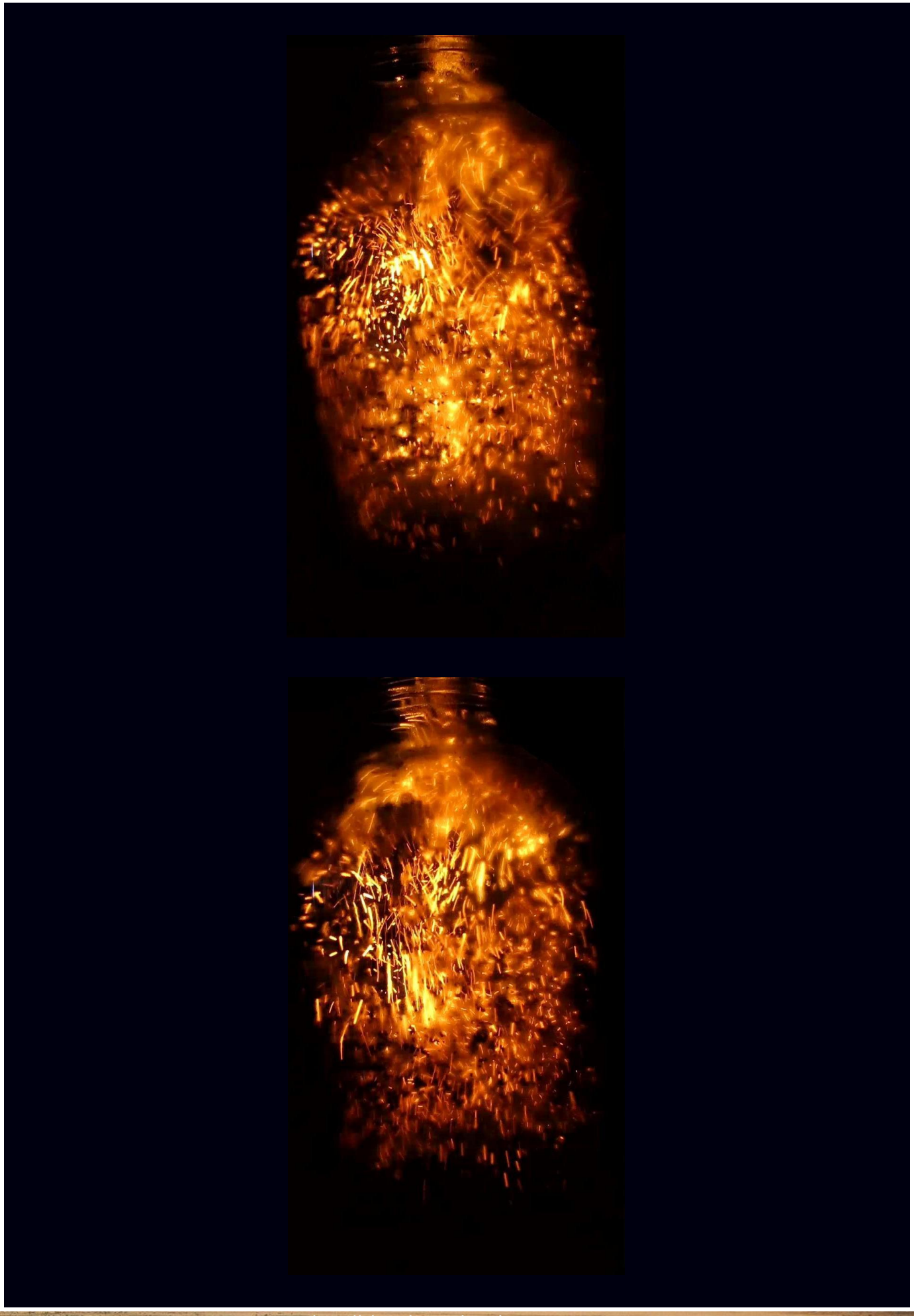


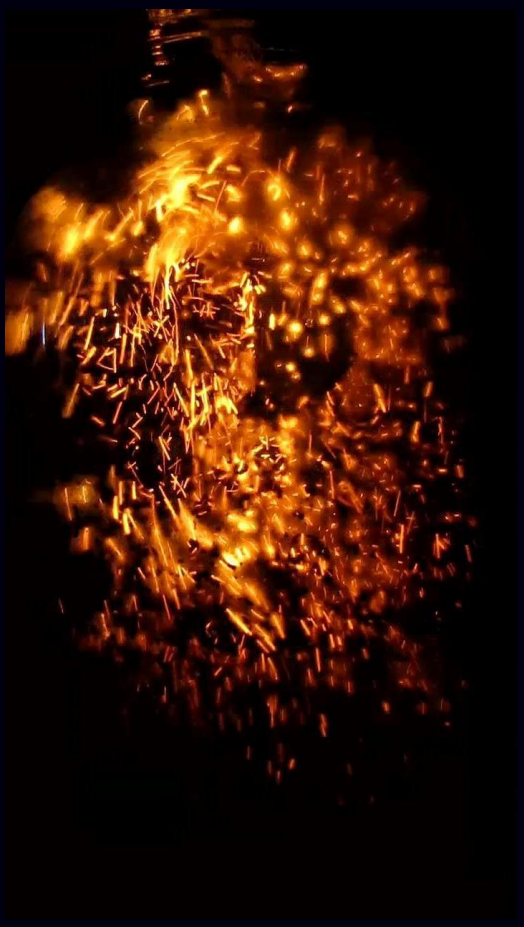








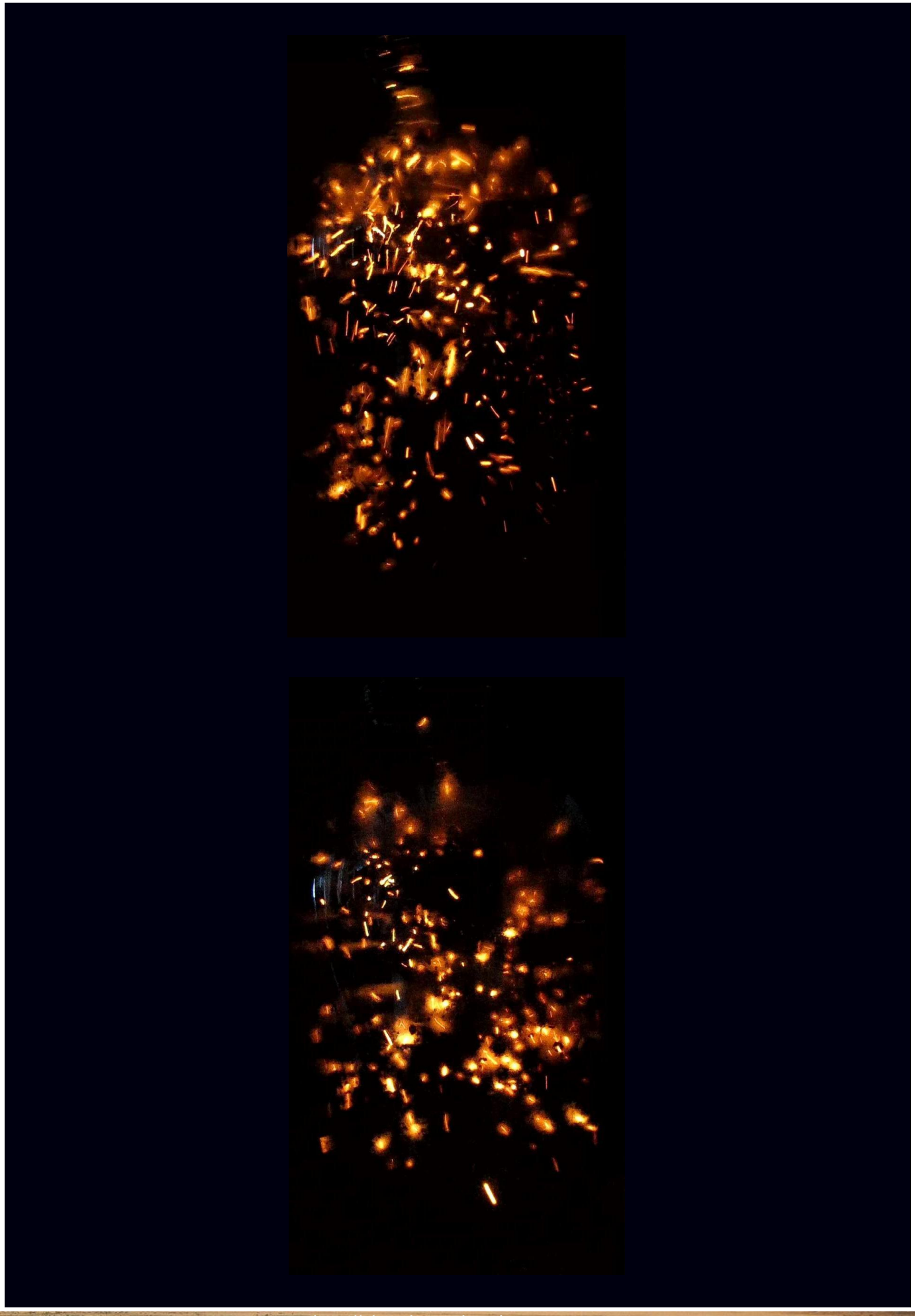
















































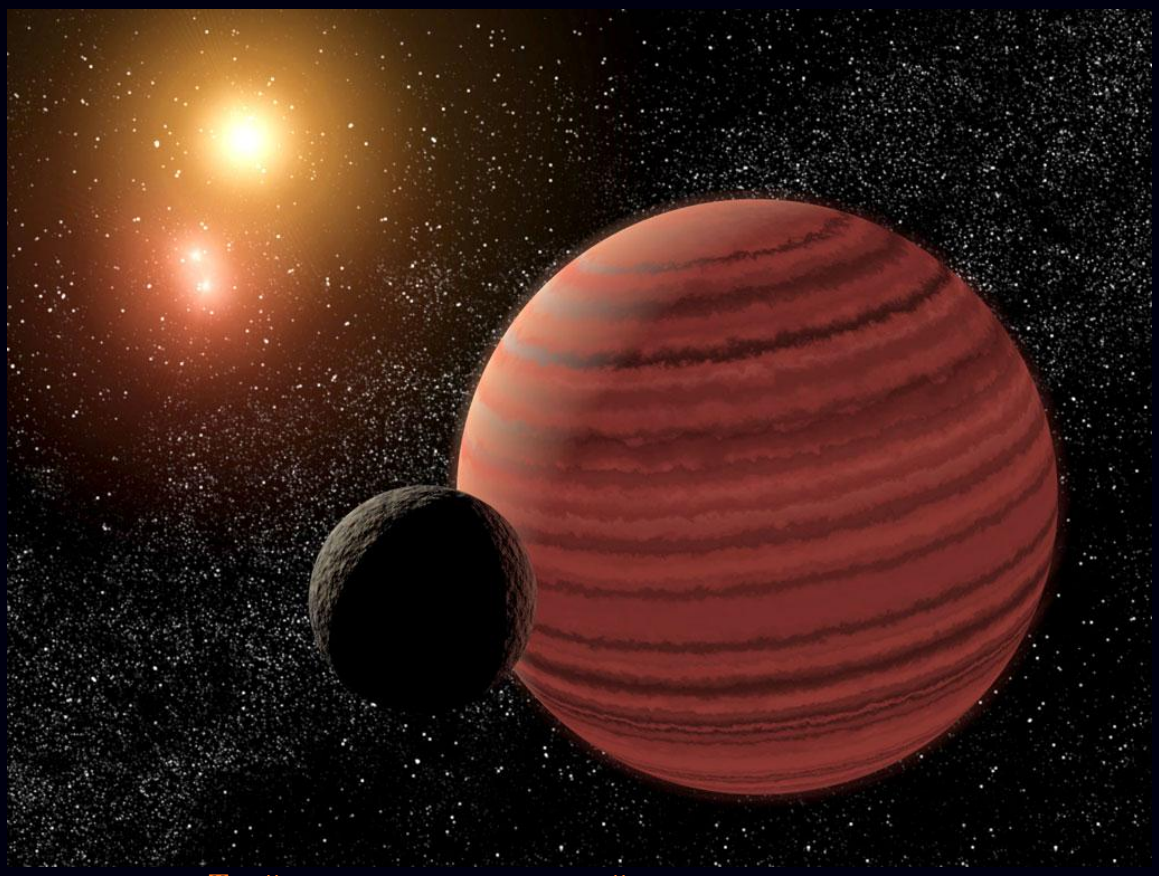












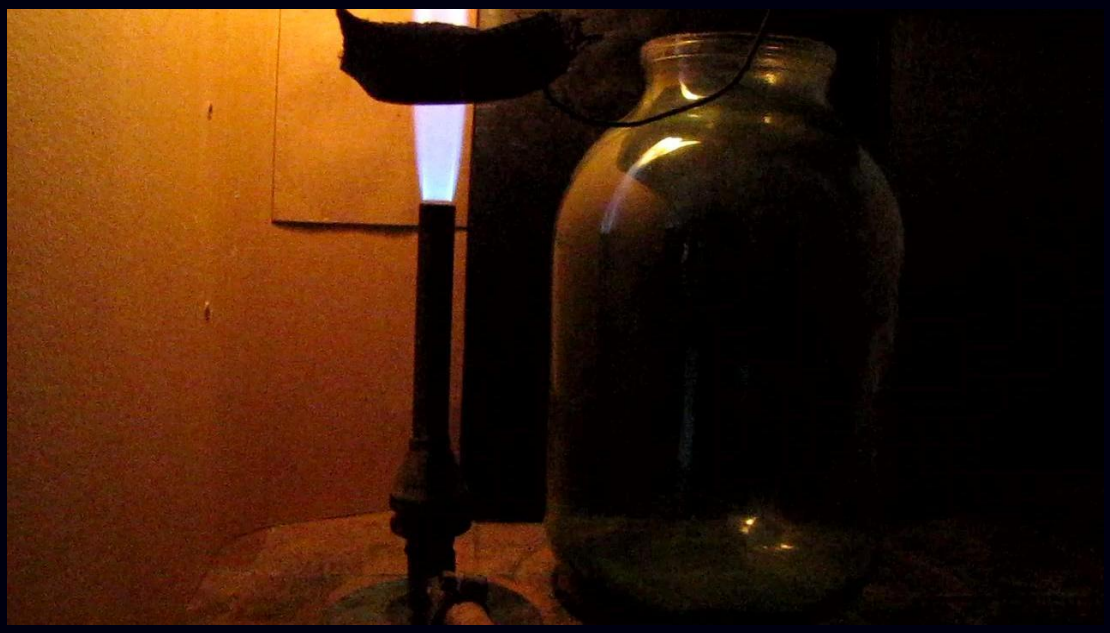
Тройная звезда, коричневый карлик и его спутник

Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.19c

В.Н. Витер

Огненная метель

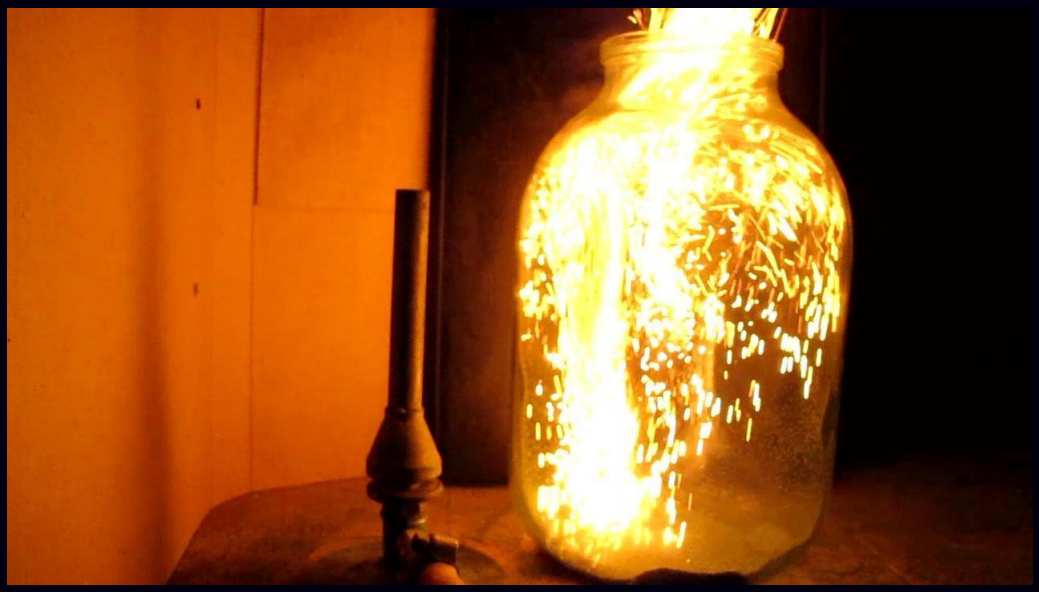
Описание эксперимента вы можете найти в части 19a, здесь мы приводим некоторые фотографии, которые не вошли в предыдущие две части.

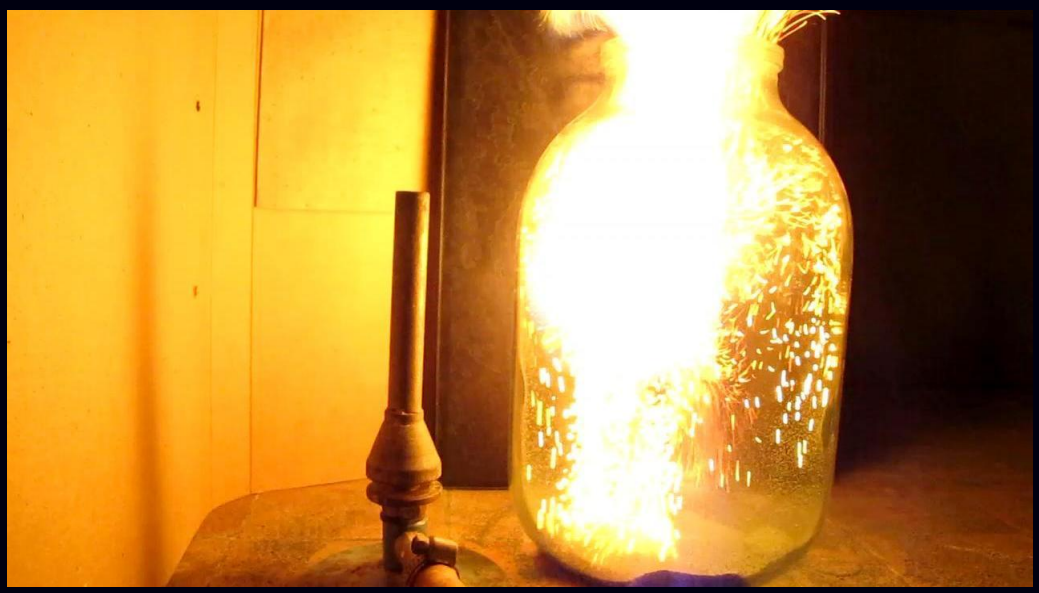


Огненная метель

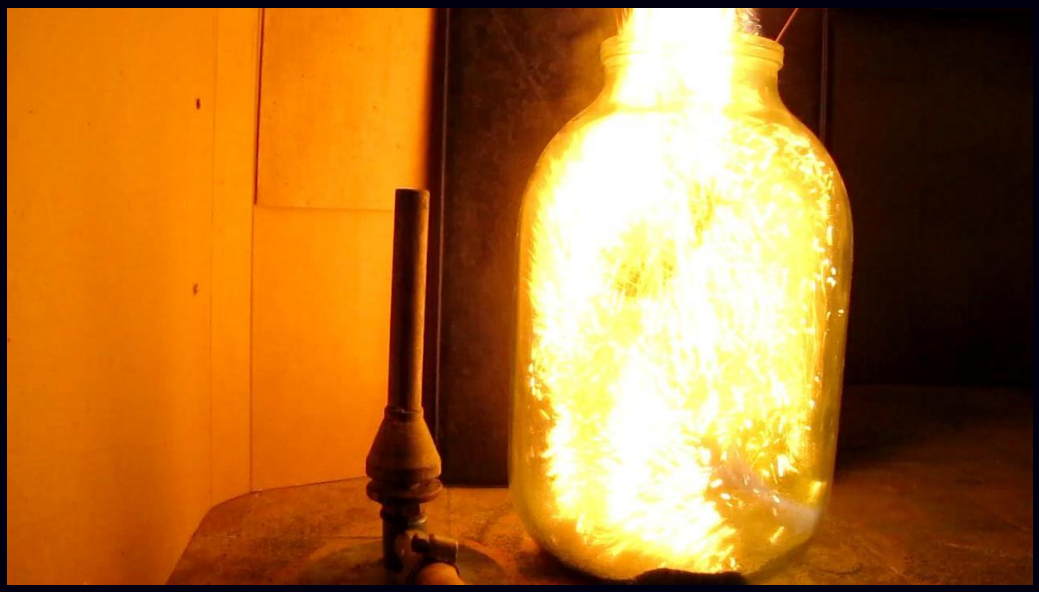




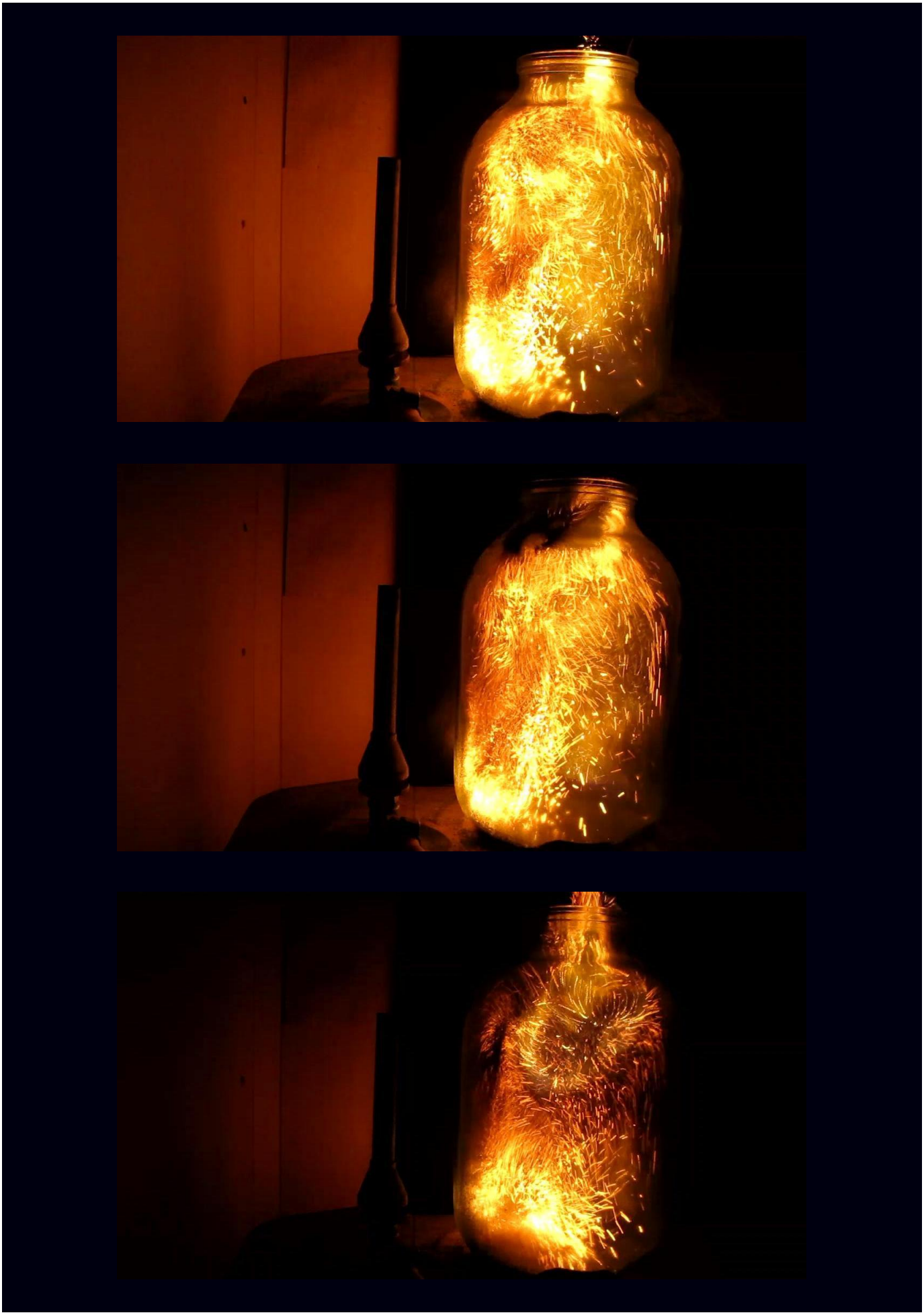








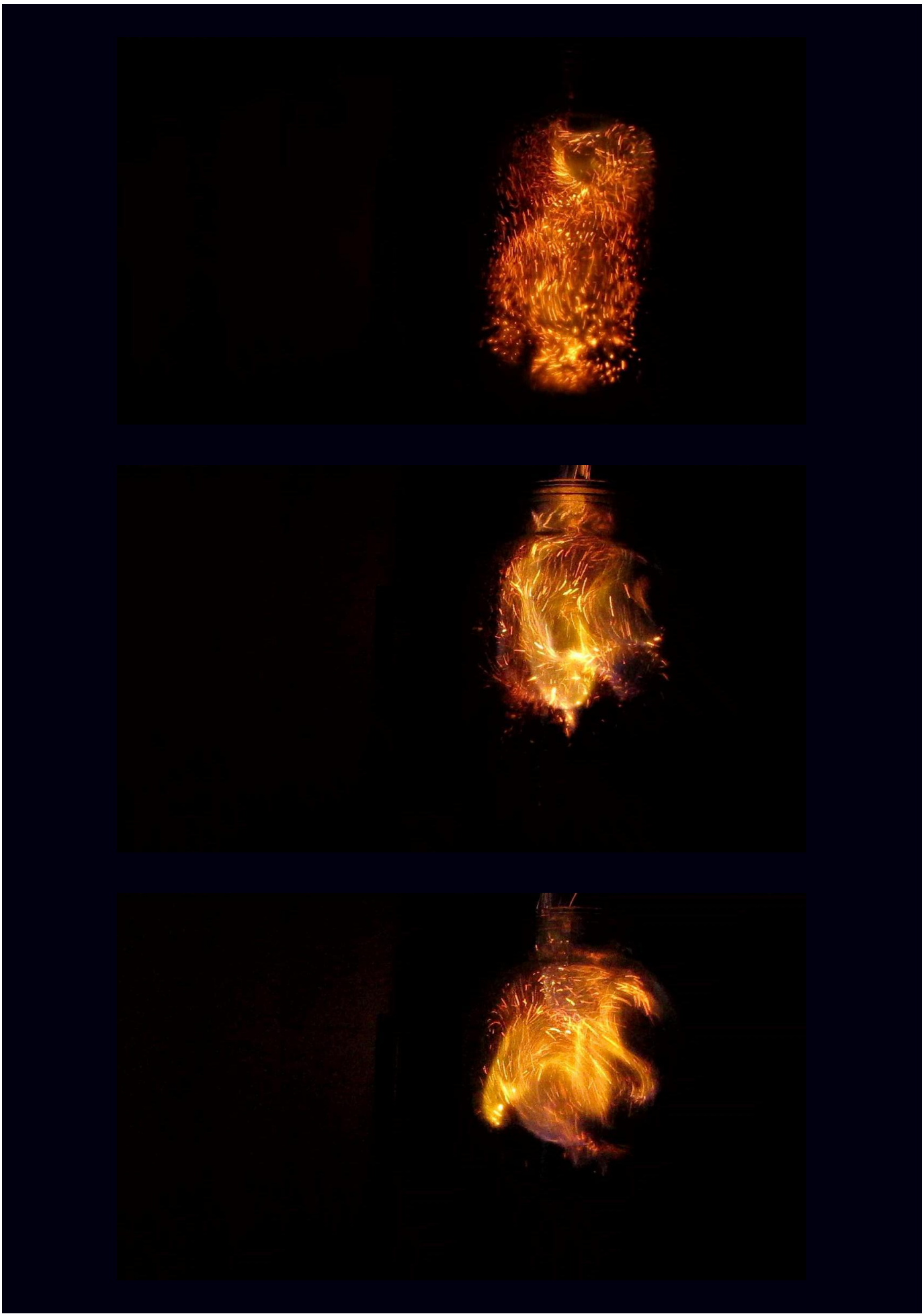










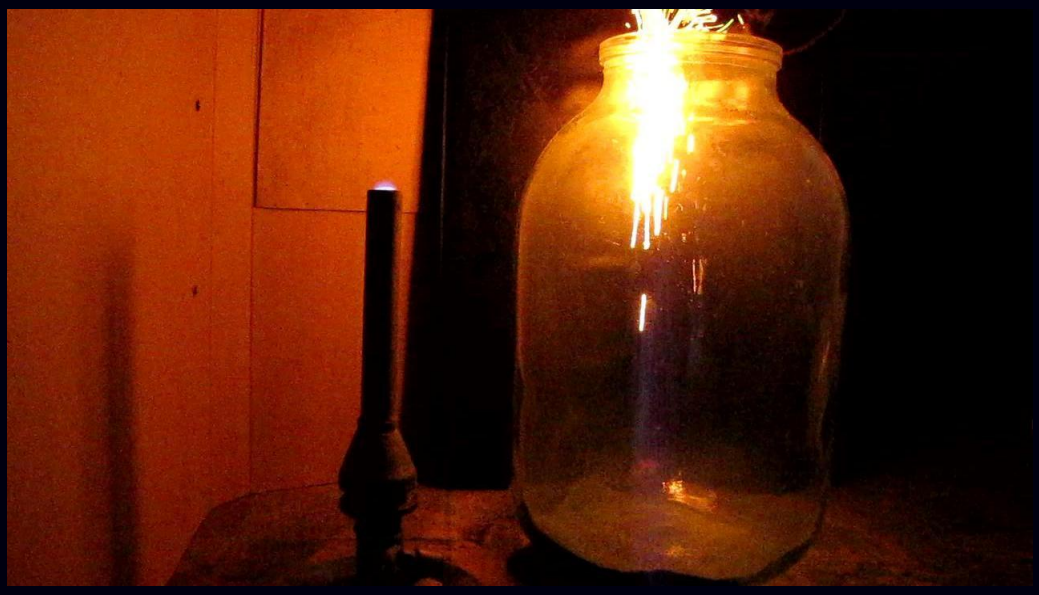




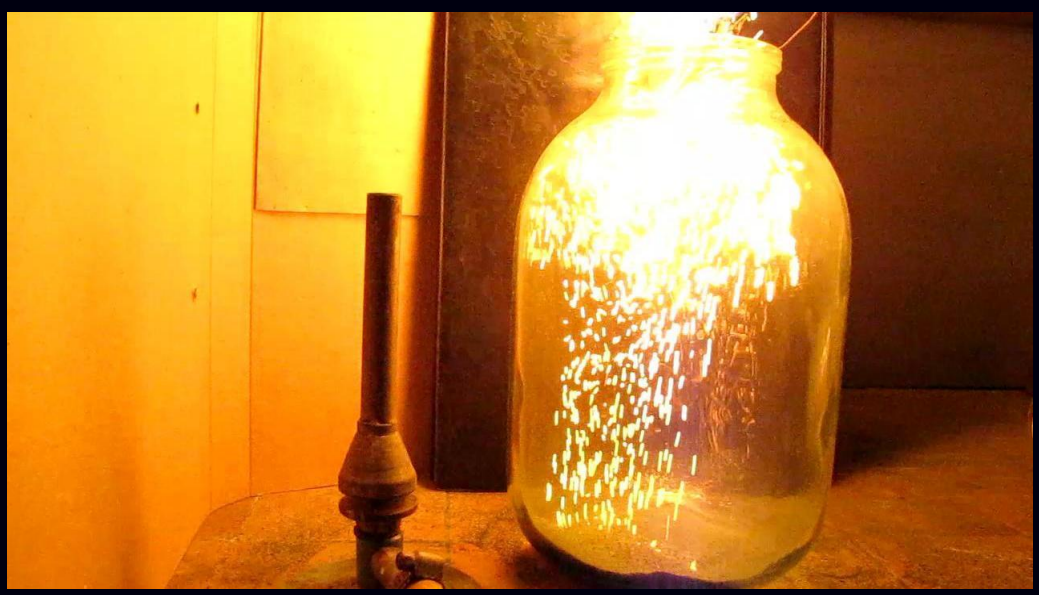


Огненная метель











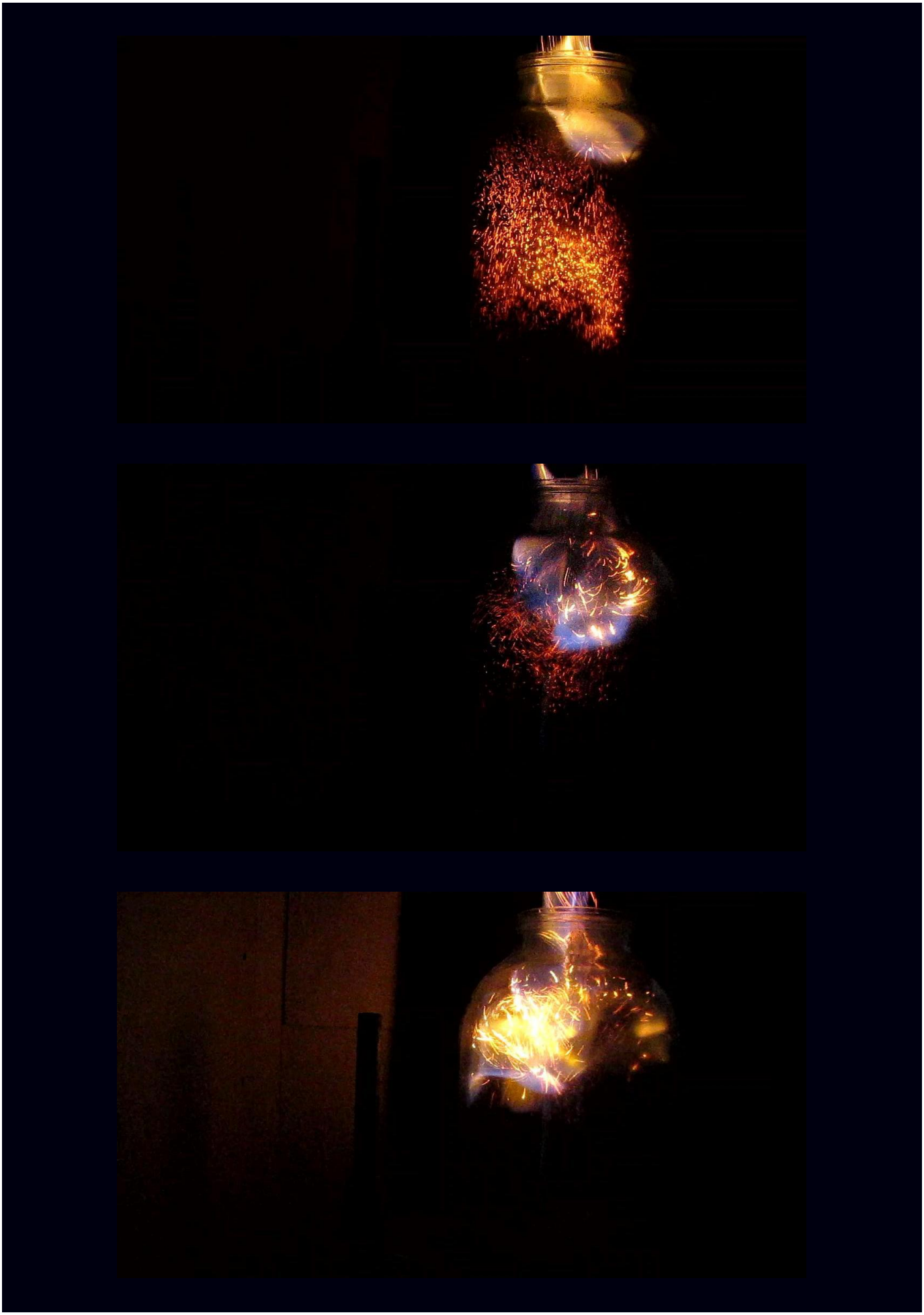


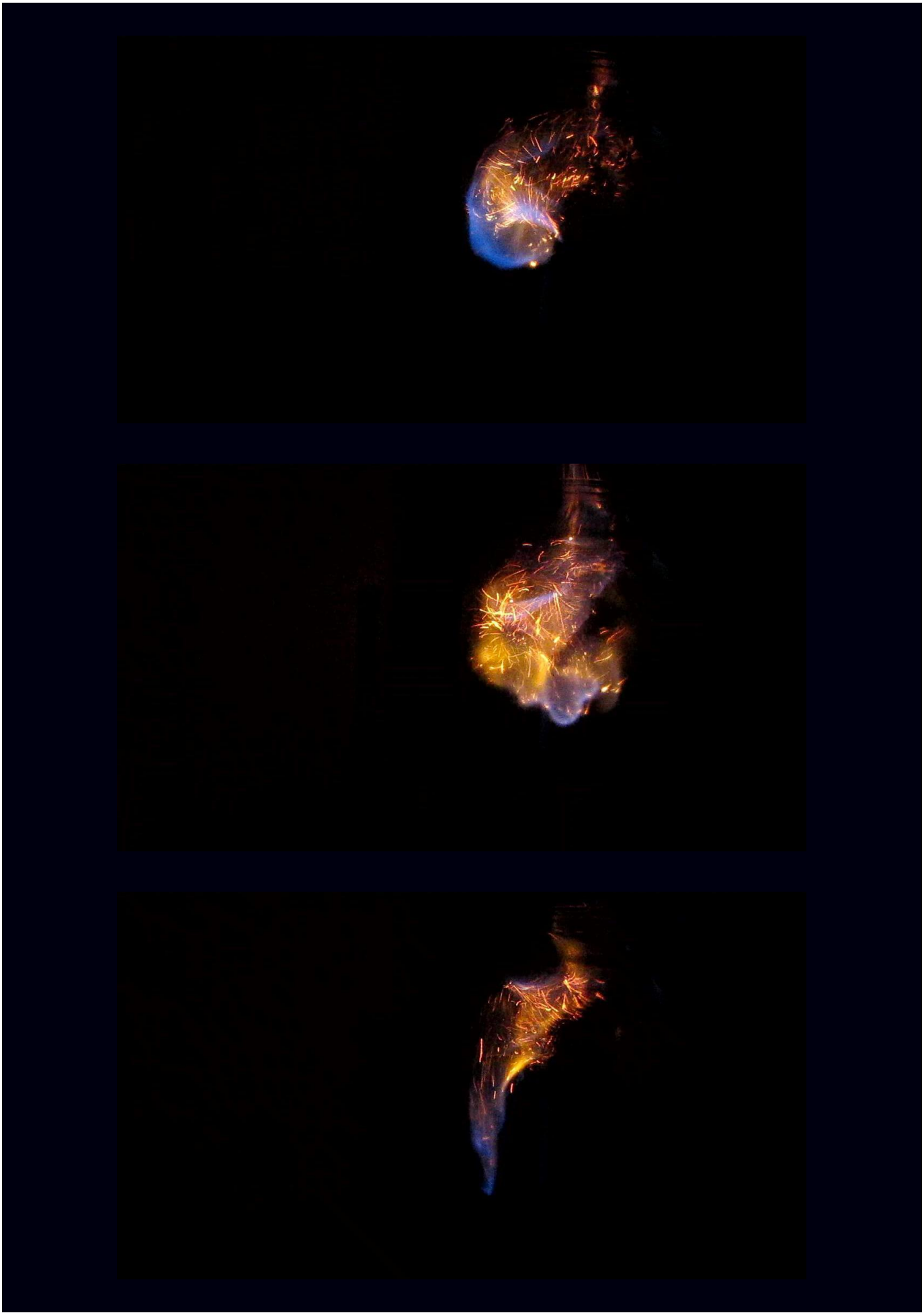








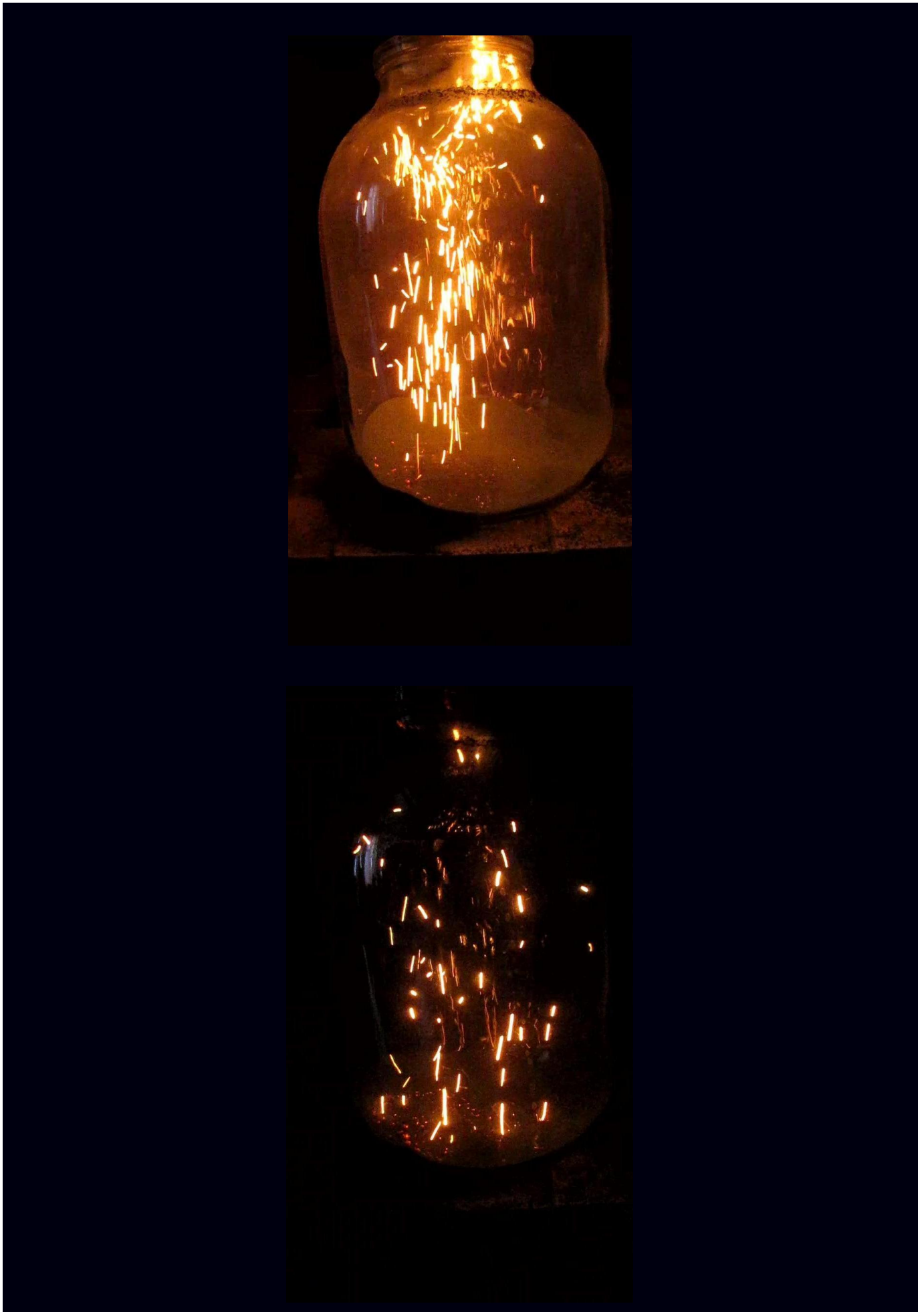


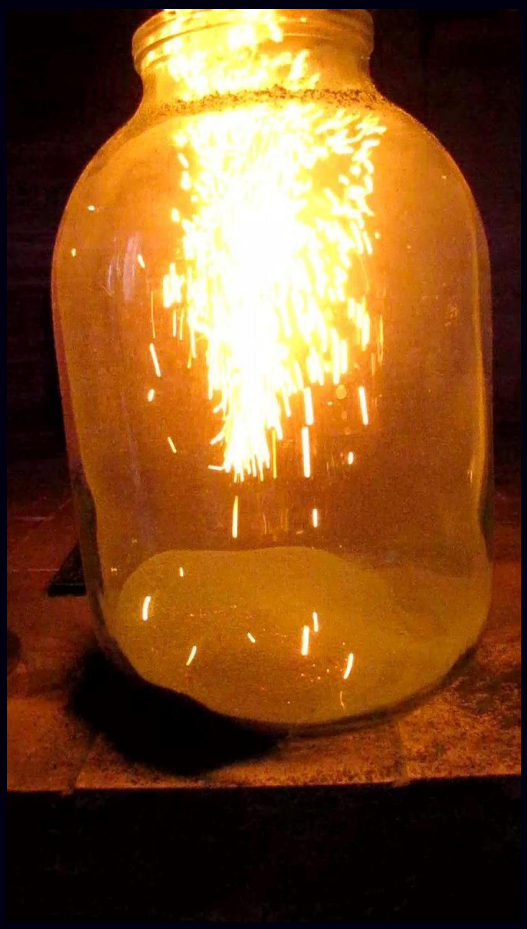






Огненная метель









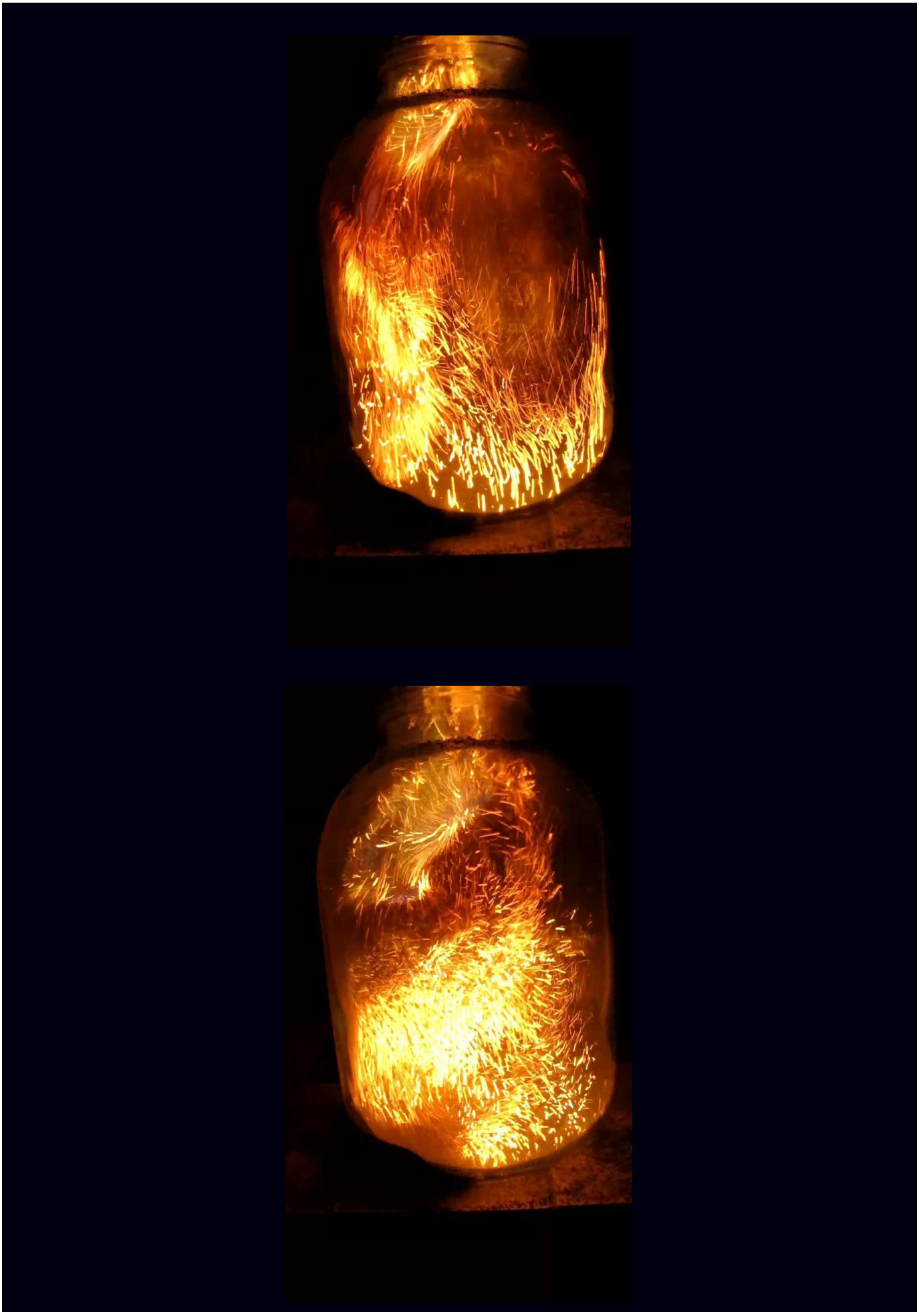


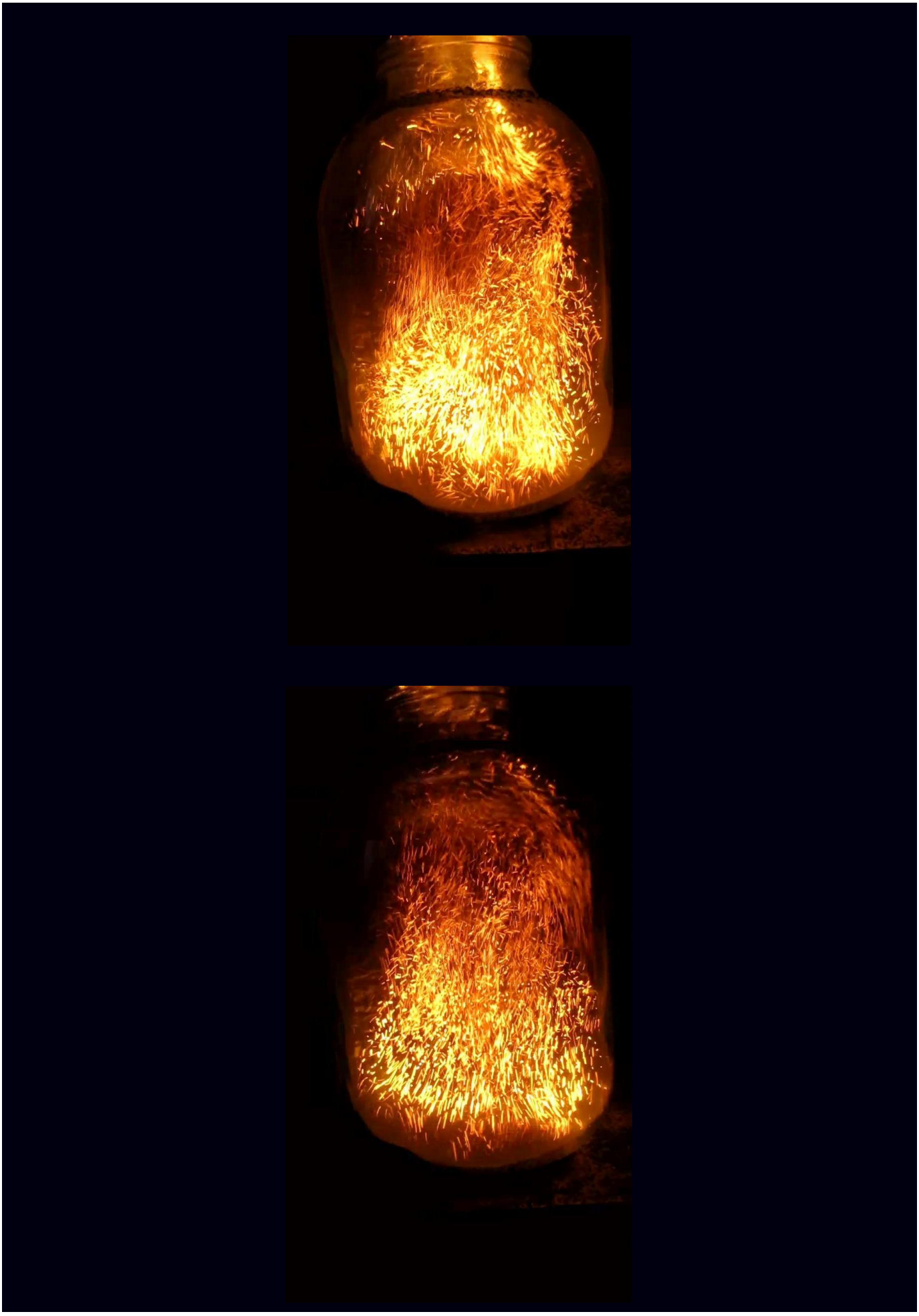


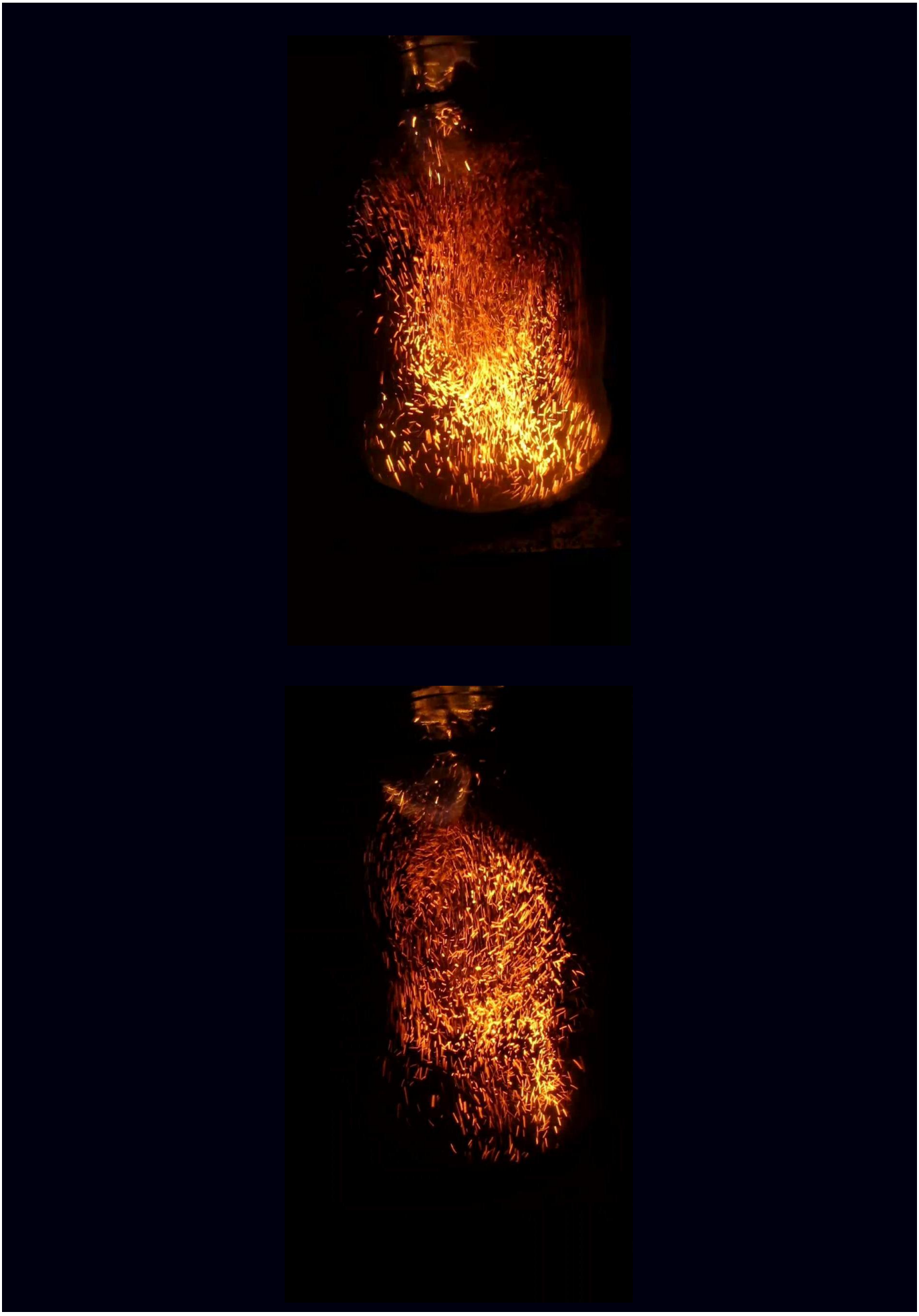


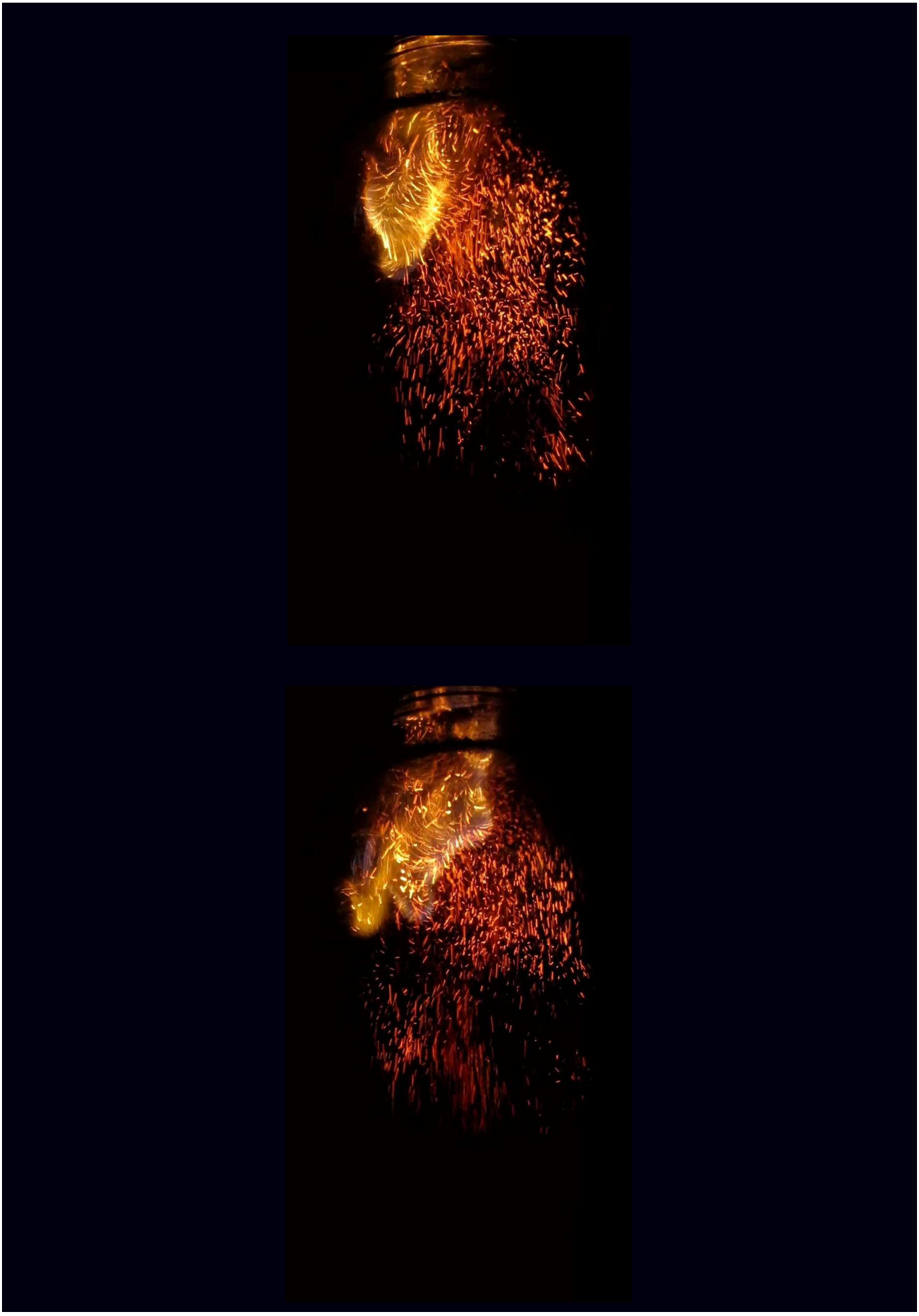


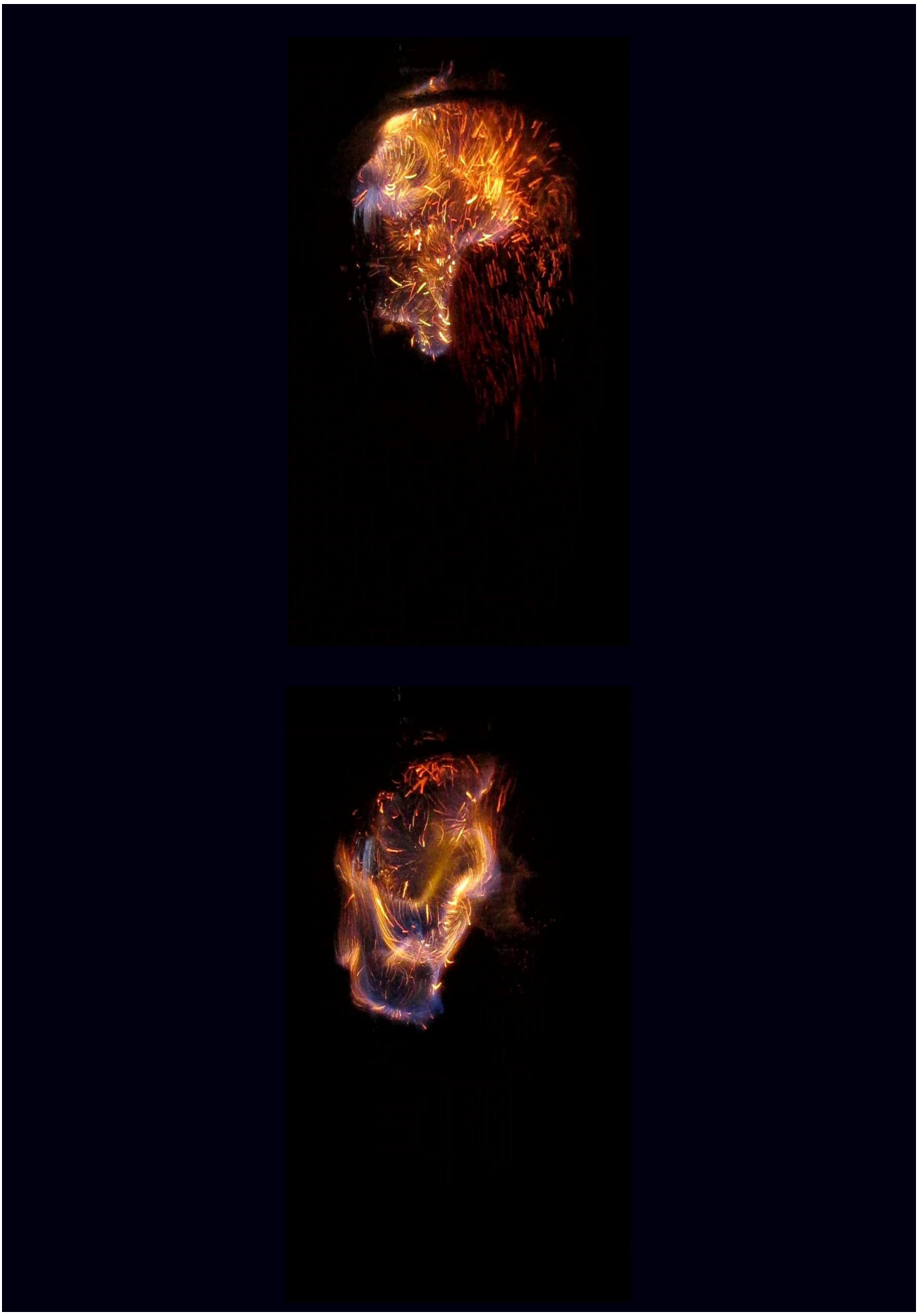






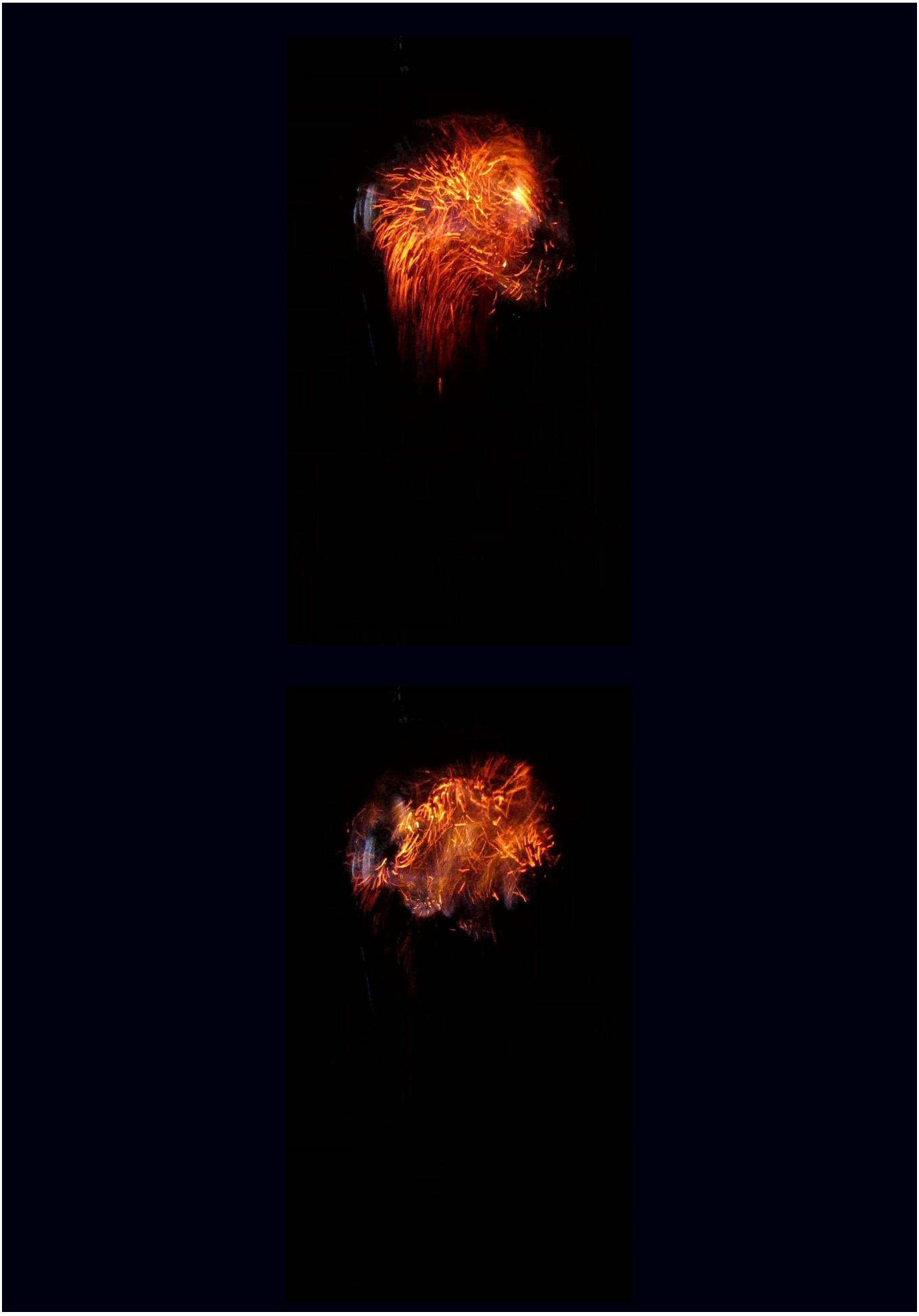


















Эксперименты с пропан-бутановой смесью ч.20

В.Н. Витер

Огненная метель

Данную серию экспериментов мы провели, используя банку примерно вдвое большего объема, чем в предыдущих случаях (вероятно, пятилитровую). Количество не совсем перешло в качество: огненная метель была аналогична той, что "бушевала" в трехлитровой банке, однако конденсация водяных паров на стенках происходила более активно, а вспышки пропан-бутановой смеси случались гораздо чаще.

Сначала после окончания каждого эксперимента мы высыпали оксид хрома (III) из банки, но скоро стало очевидно, что в этом нет необходимости: наличие оксида хрома на дне не вредит последующим экспериментам. Однако, один раз после окончания "огненной метели" оксид хрома, который лежал на дне банки, стал раскаляться: горячие частички оксида, упав сверху, "подожгли" нижний слой. Разогрев дна мог привести к тому, что стекло лопнет, но вместо того, чтобы пытаться погасить каталитическое горение мы направили в банку поток газа из горелки. В результате в банке началась огненная метель: значительная часть нижнего слоя засветилась красным, поток газа поднял целую вьюгу раскаленных частичек. Но самое главное, что эта метель была "постоянной" - она не прекращалась (единственное, нужно было постараться направить поток пропан-бутановой смеси так, чтобы одновременно в банку попадал и воздух, необходимый для реакции).

Смотреть Видео (50 Мб, .avi)

Смотреть Видео (замедленный повтор) (49 Мб, .avi)

Смотреть Видео "постоянная метель" (161 Мб, .avi)



Огненная метель

















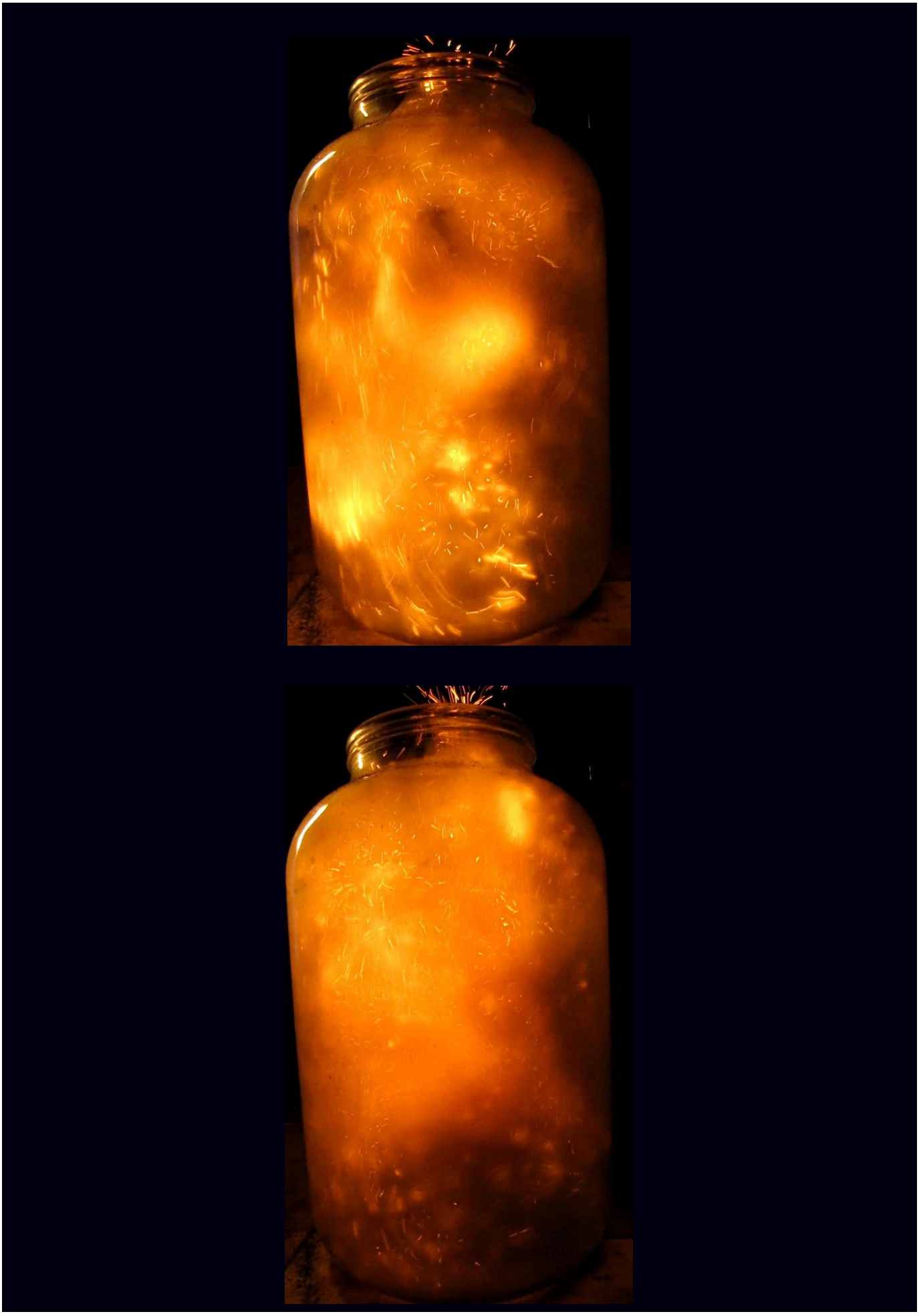


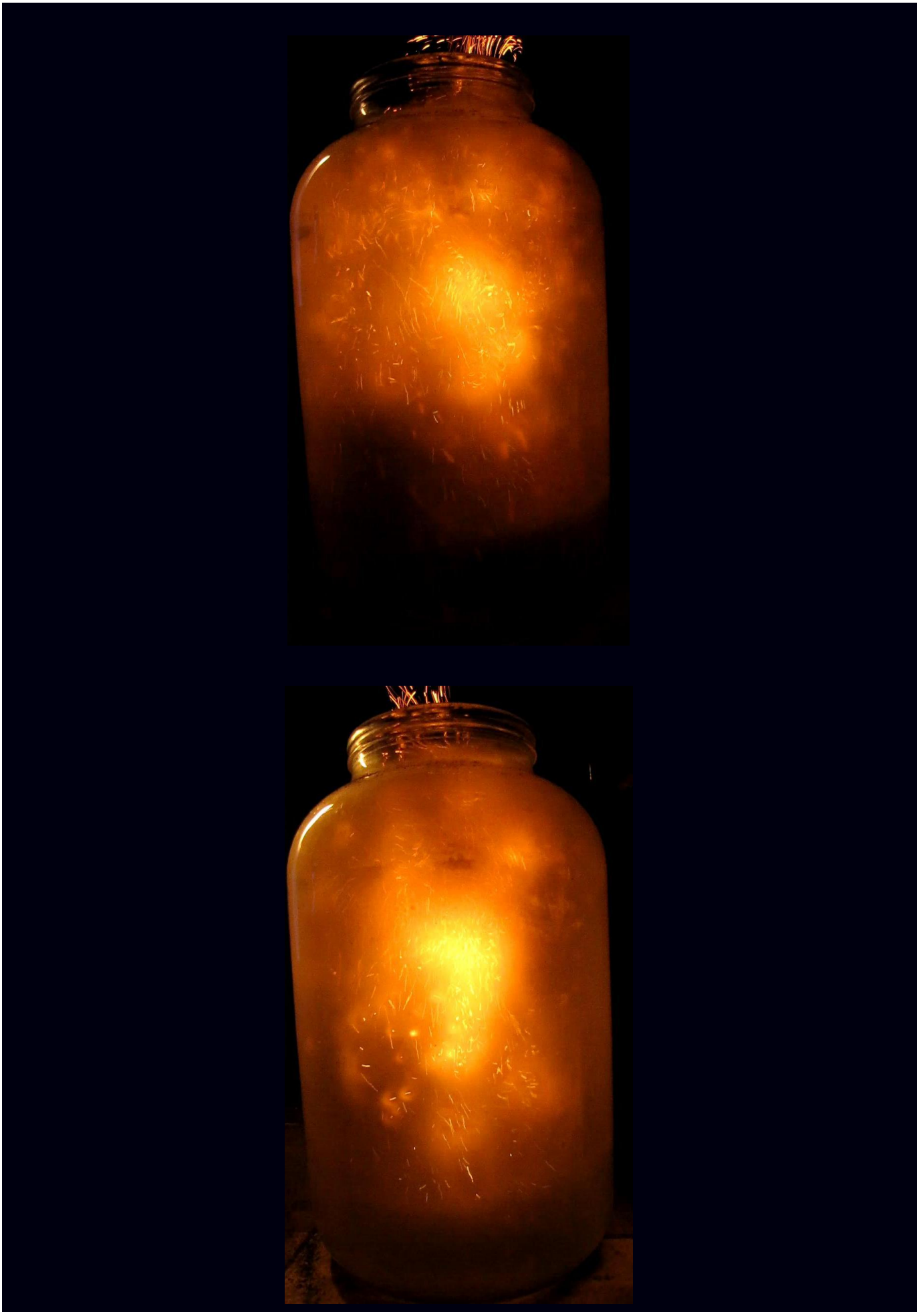






























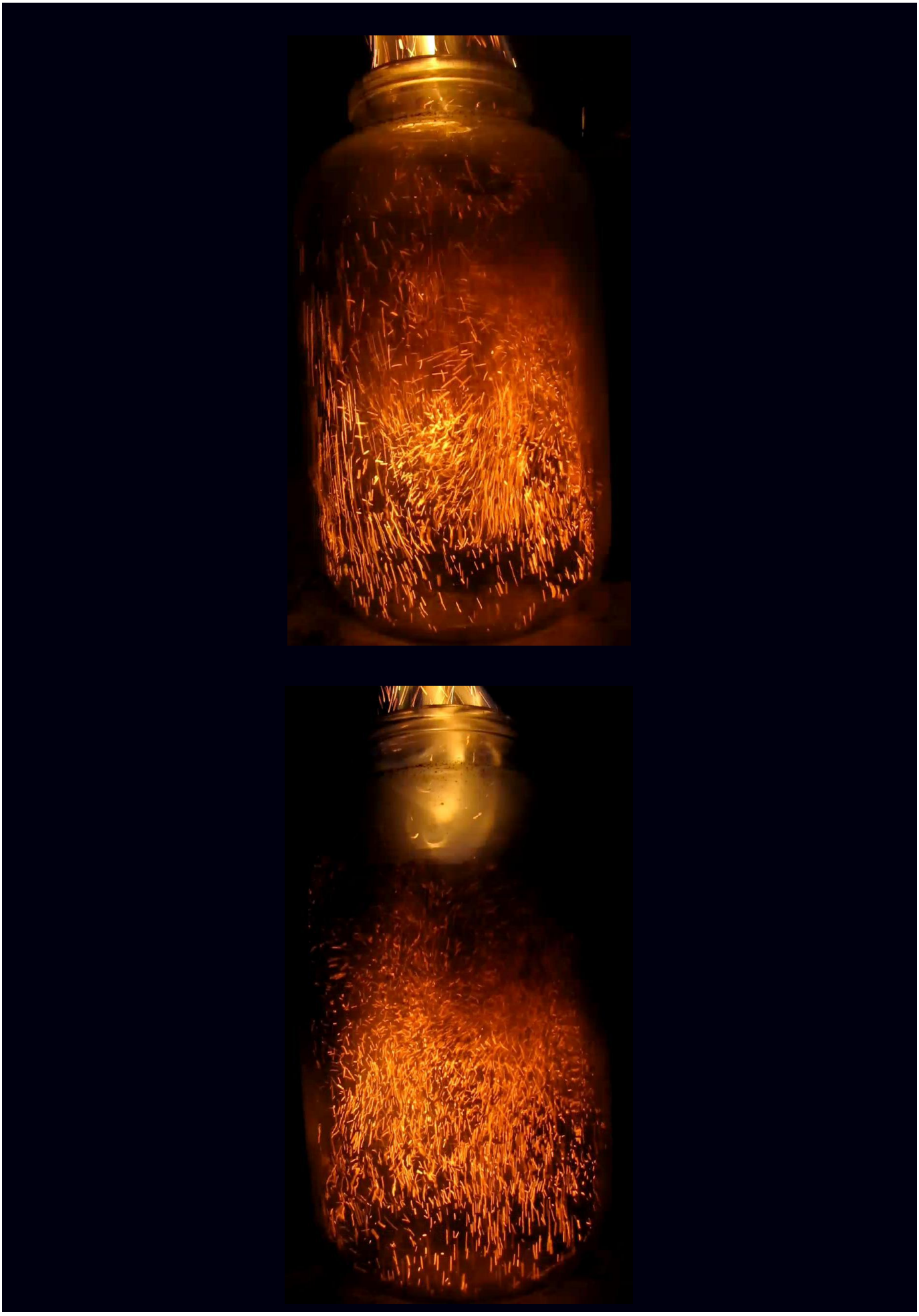




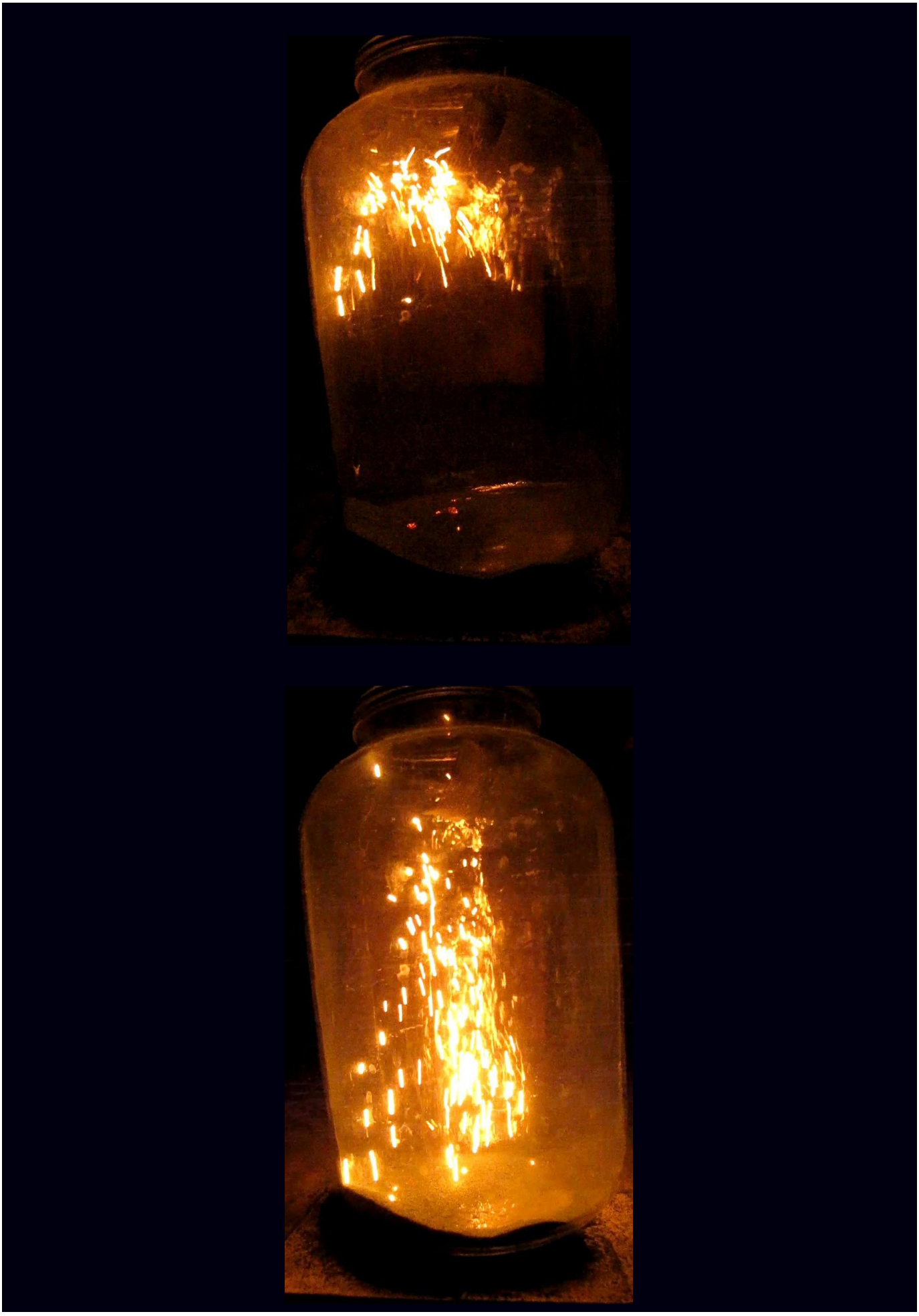








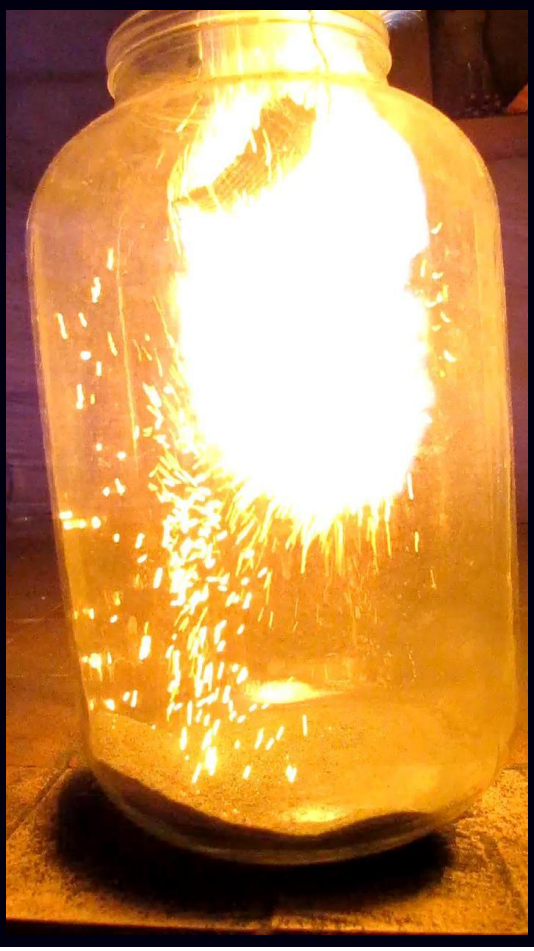


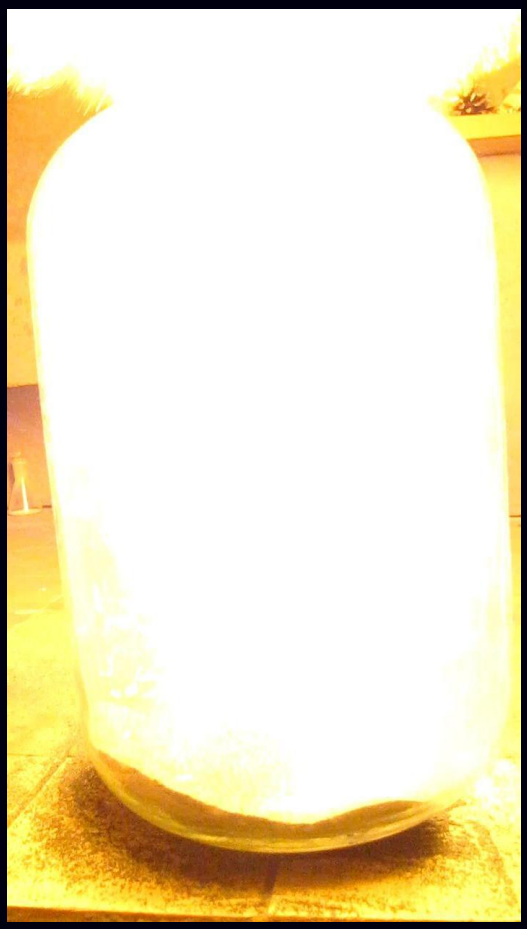




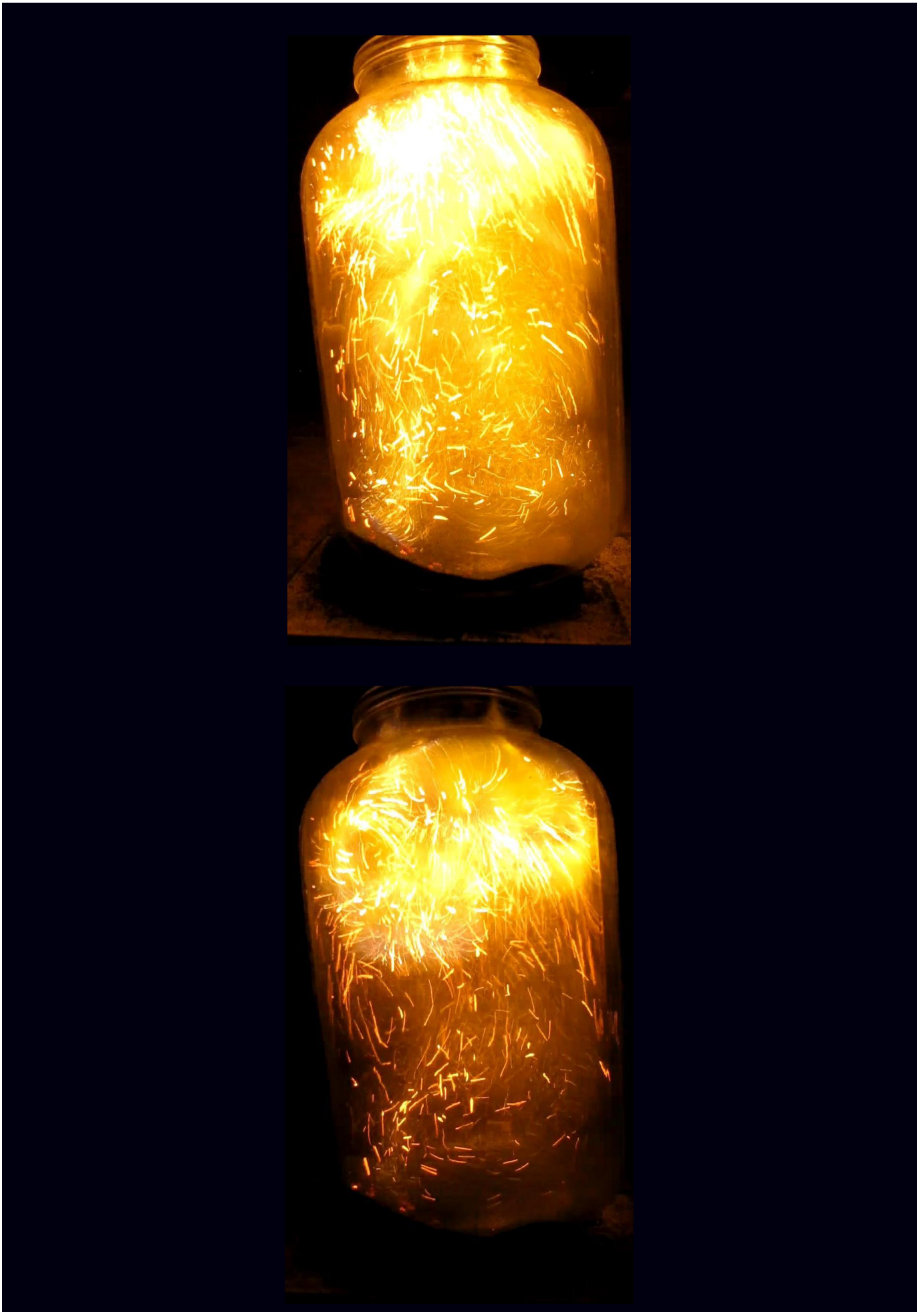


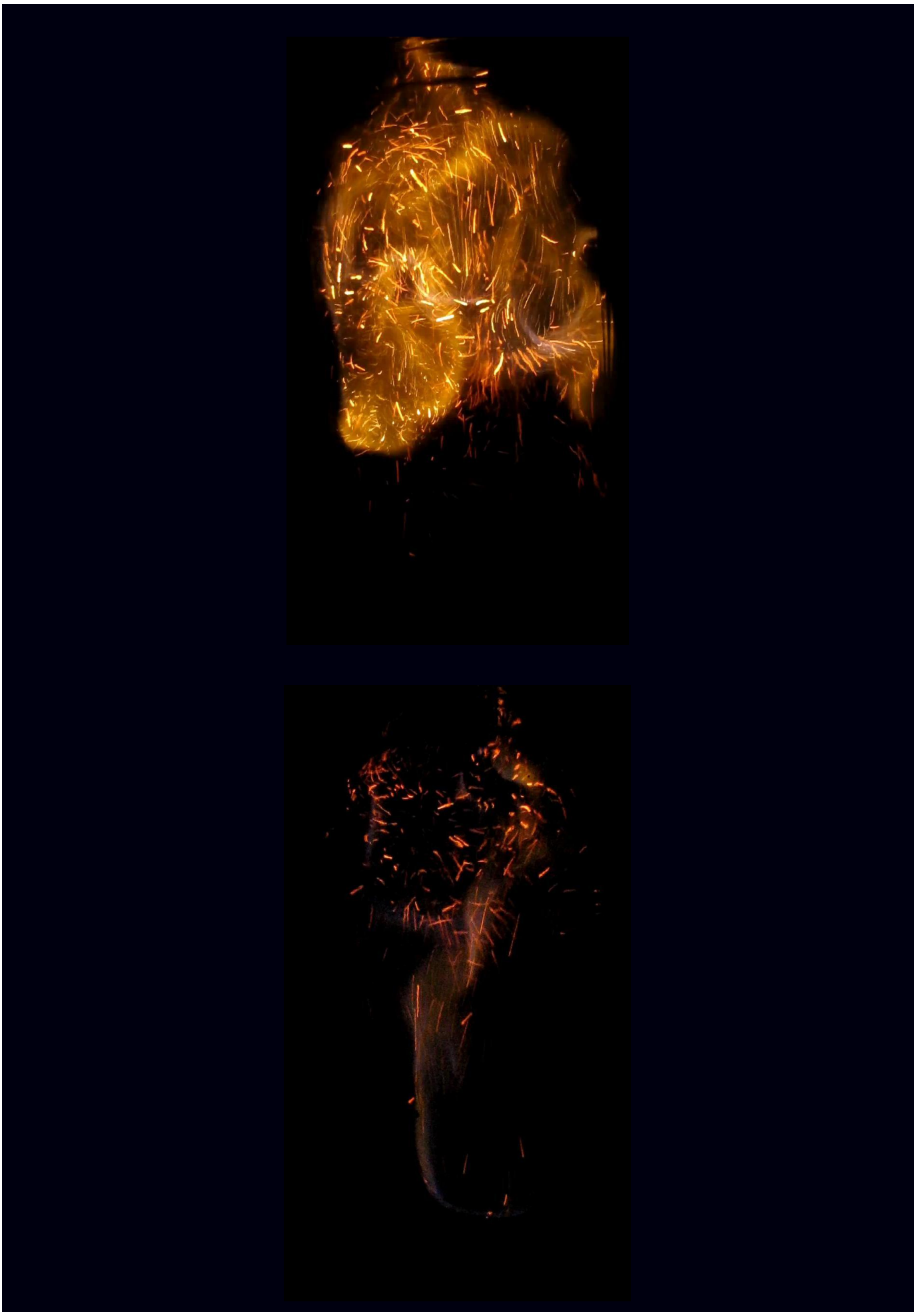


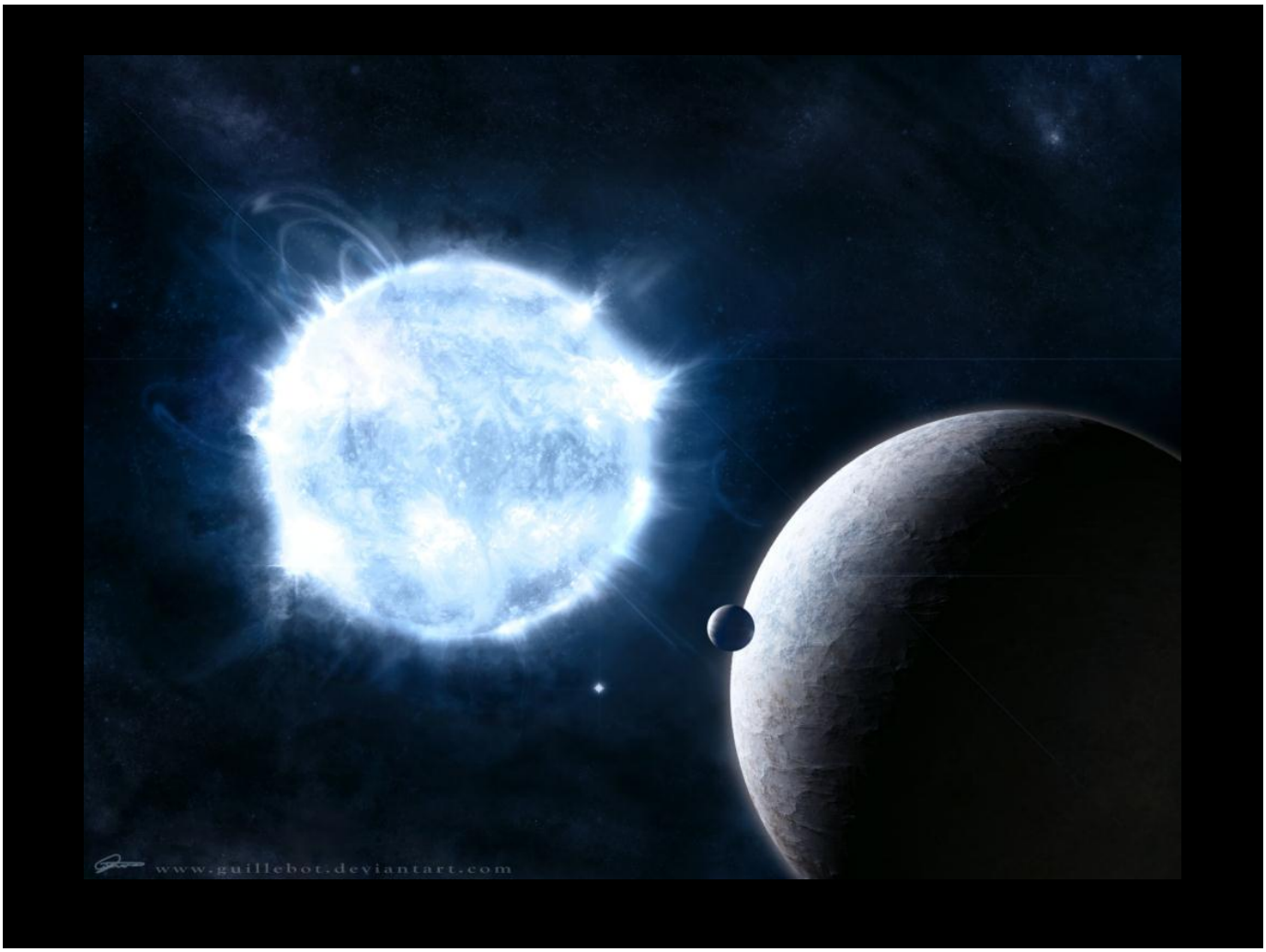











www.guillebot.deviantart.com

Эксперименты с пропан-бутановой смесью (приложение)

В.Н. Витер

Пределы воспламеняемости газов в смеси с воздухом и кислородом

В приложении к статье приводим пределы воспламеняемости смесей некоторых газов с воздухом и кислородом (согласно Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н. Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа (1990) ссылка). Как видите, области концентраций, при которых пропан, бутан и изобутан образуют опасные смеси с воздухом, довольно узкие. Именно это свойство позволило провести большую часть описанных в статье опытов. Смеси этих же газов с кислородом воспламеняются (взрываются) в гораздо более широком диапазоне концентраций, что делает их значительно более опасными (равно как и смеси водорода с кислородом или воздухом).

Пределы воспламеняемости газов в смеси с воздухом (при t = 20°C и p = 101,3 кПа)

Газ	Содержание газа в газовоздушной смеси, об. %				Максимальное давление взрыва, МПа		Коэффициент избытка воздуха α при пределах воспламенения
	При пределах воспламеняемости		При стехиометрическом составе смеси	При составе смеси, дающем максимальное давление взрыва			
	нижнем	верхнем			нижнем	верхнем	
Водород	4,0	75,0	29,5	32,3	0,739	9,8	0,15
Оксид углерода	12,5	74,0	29,5	–	–	2,9	0,15
Метан	5,0	15,0	9,5	9,8	0,717	1,8	0,65
Этан	3,2	12,5	5,68	6,28	0,725	1,9	0,42
Пропан	2,3	9,5	4,04	4,60	0,858	1,7	0,40
н-Бутан	1,7	8,5	3,14	3,6	0,858	1,7	0,35
Изобутан	1,8	8,4	3,14	–	–	~1,8	0,35
н-Пентан	1,4	7,8	2,56	3,0	0,865	1,8	0,31
Этилен	3,0	16,0	6,5	8,0	0,886	2,2	0,17
Пропилен	2,4	10,0	4,5	~5,1	~0,89	1,9	0,37
Бутилен	1,7	9,0	3,4	~4,0	~0,88	1,7	0,35
Ацетилен	2,5	80,0	7,75	14,5	1,03	3,3	0,019

Пределы воспламеняемости газов в смеси с кислородом (при t = 20°C и p = 101,3 кПа)

Газ	Содержание газа в газокислородной смеси, об. %, при пределах воспламеняемости		Газ	Содержание газа в газокислородной смеси, об. %, при пределах воспламеняемости	
	нижнем	верхнем		нижнем	верхнем
Водород	4,0	94,0	Изобутан	1,7	49,0
Оксид углерода	12,5	94,0	Этилен	3,0	80,0
Метан	5,0	61,0	Пропилен	2,0	53,0
Этан	3,0	56,0	Бутилен	1,47	50,0
Пропан	2,2	55,0	Ацетилен	2,5	89,0
н-Бутан	1,7	49,0			



Запал Кибальчича ч.1

Об устройстве запала Кибальчича и метательного снаряда

Проводя демонстрационный опыт воспламенения смеси бертолетовой соли и сахара от капли серной кислоты иногда упоминают, что эта смесь названа в честь русского революционера Н.И. Кибальчича, изготовившего бомбы для покушения на Александра II и впервые предложившего проект реактивного летательного аппарата. Подробности в популярной литературе, как правило, не приводятся, а зачастую дается и откровенная дезинформация. Например, на сайте rutube.ru был размещен ролик, в котором демонстрируется опыт воспламенения смеси бертолетовой соли, сахара и сульфата стронция. К ролику дается такой комментарий:

"Опыт воспроизводит работу **запала порохового двигателя** для летательных аппаратов. Автором этой разработки является Н.И. Кибальчич - автор первого в России проекта реактивного двигателя и пилотируемого летательного аппарата, предложивший в **1918 г.** [1] использовать **бронированный** порох для реактивного двигателя".

Собственно смесь бертолетовой соли и сахара и ее свойство воспламеняться от капли серной кислоты, были использованы только в конструкции метательных снарядов. Следует отметить, что Кибальчич не является автором этого изобретения. Вот его слова из материалов дела 1 марта 1881 г.:

"Точно так же считаю нужным заявить, что идея устройства употребленных в действие метательных снарядов, именно ударное приспособление, основанное на разбивании стеклянной трубочки грузом, принадлежит не мне; я только больше других употребил времени на осуществление этой идеи снаряда".

В дореволюционной военной энциклопедии под ред. Новицкого нам удалось найти подробности об этом воспламенительном устройстве.

Власовская трубка, для воспламенения зарядов в фугасах, предложенная в 1826 г профессором Власовым и состояла из стеклянной трубки с серной кислотой, вставленной

в бумажную гильзу с бертолетовой солью. Будучи помещена в пороховой ящик, Власовская трубка переламывалась туго натягиваемым шнуром, серная кислота смешивалась с бертолетовой солью и производила вспышку, воспламеняющую порох. Позднее с успехом применялись трубки, которые предложил инженер-генерал Эльснер: стеклянная трубочка с серной кислотой 4.75 дм. длиной и 1.33 лин. диаметром вставлялась в другую стеклянную трубку, 5 дм. длиной и 3.33 лин. диаметром. Конец последней трубки предварительно наполнялся на 0.5 дм. расплавленным сургучом, в который вдавливался закупоренный конец тонкой внутренней трубочки. Пространство между стенками трубочек заполнялось смесью из 4 ч. бертолетовой соли и 1 ч. сахара. Отверстие наружной трубки закрывалось пробкой и заливалось сургучом. Одновременно с Власовской, подобная же трубка была предложена французским генералом Legris. Электрический способ взрывания горнов ограничил применение Власовской трубки. Она стала применяться лишь в самовзрывающихся фугасах. (См. Дистанционные огни).

---

[1] Николай Кибальчич был казнен 15 апреля 1881 г.

ВЛАСОВСКАЯ ТРУБКА, для воспламенения зарядовъ въ фугасахъ, предложена въ 1826 г. проф. Власовымъ и состояла изъ стекл. трубочки съ сѣрн. кисл., вставленной въ бумаж. гильзу съ бертол. солью. Будучи помѣщена въ порох. ящикъ, В. тр. переламывалась туго натягиваемымъ шнуромъ, сѣрн. кисл. смѣшивалась съ бертол. солью и производила вспышку, воспламенявшую порохъ. Позднѣе съ успѣхомъ примѣнялись трубки, предложенныя инж. ген. Эльснеръ: стеклян. трубочка съ сѣр. кисл. $4^{3}/_{4}$ дм. длиной и $1^{1}/_{3}$ лин. въ свѣту, вставлялась въ другую стекл. же, дл. 5 дм. и $3^{1}/_{3}$ лин. въ свѣту. Конецъ этой послѣдней предварительно наполнялся на $^{1}/_{2}$-дм. растоплен. сюргучемъ, въ к-рый вдавливался закупорен. конецъ тонкой внутр. трубочки. Пространство между стѣнками трубочекъ заполнялось смѣсью изъ 4 ч. бертол. соли и 1 части сахара. Отверстіе наруж. трубки закрывалось пробкой и заливалось сюргучемъ. Одновр-но съ В. подобная же трубка б. предложена франц. ген. Legris. Электрич. способъ взрыванія горновъ ограничилъ примѣненіе В. тр. Она стала употребляться лишь для самовзр. фугасовъ. (См. Дистанціонные огни).

Кибальчич предлагал несколько вариантов воспламенительных устройств, но было решено остановиться на инерционном. От исполнителя теракта, таким образом, требовалось лишь метнуть бомбу.

Рассмотрим устройство метательного снаряда. Описание его можно найти в материалах судебного дела. Обратимся к официальным документам.

Вот как описывает устройство сам Кибальчич:

"Для приготовления их мне пришлось употребить много времени и труда, прежде чем я собрал нужные технические сведения и изобрел данное устройство снаряда. Нужно заметить, что я среди своей партии был первым, взявшимся добыть нитроглицерин. С целью ознакомиться с предметом я перечитал все, что мог найти в литературе на русском, французском и немецком языках. Но для того чтобы, во-первых, производить собственными средствами приготовление динамита и, во-вторых, чтобы устроить вполне удовлетворяющий цели метательный снаряд с динамитом, мне приходилось придумывать много новых, нигде не употреблявшихся приспособлений. Я предлагал несколько типов метательных снарядов, отличающихся между собою по приспособлению для получения огня, сообщающего взрыв динамиту, и только в последнее время придумал данную форму снаряда. Сущность устройства его состоит в том, что оловянный груз, надетый на стеклянную трубочку, наполненную серной кислотой, в момент удара метательного снаряда о какую-либо поверхность разламывает трубочку вследствие силы инерции, серная кислота, вытекая из разбитой трубочки, зажигает прикрепленный к трубочке стопин особого приготовления (нитка, покрытая смесью бертолетовой соли, сахара и сернистой сурьмы), огонь по стопину передается к запалу с гремучей ртутью, гремучая ртуть, взрываясь, сообщает взрыв патрону, состоящему из смеси мучнистого пироксилина и нитроглицерина, а от патрона взрыв передается уже гремучему студню. В снаряд помещены две стеклянные трубочки, продольная и поперечная, с грузами на каждой, так что, какой бы стороной ни упал снаряд, во всяком случае, хоть одна трубочка должна разбиться. Огонь по стопину передается моментально, и, следовательно, взрыв должен произойти в то мгновение, как только снаряд ударится о препятствие".

Из официального отчета о цареубийстве 1 марта

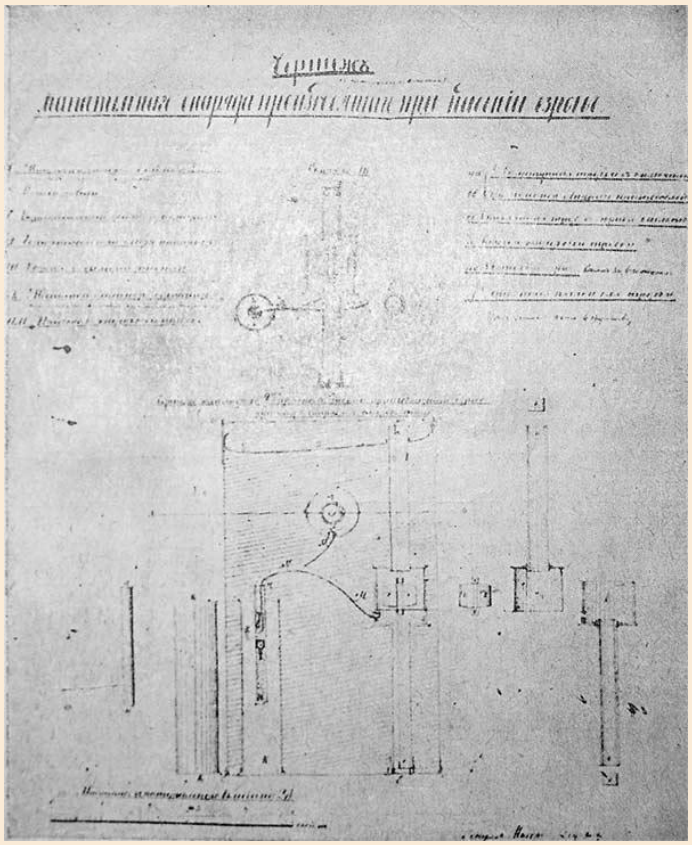
"По расследовании, оказалось, что разрывной снаряд, послуживший орудием злодеяния 1 марта, имеет следующее устройство. Главную составную часть его составляет так называемый гремучий студень, состоящей из раствора 10 частей пироксилина (хлопчатобумажный порох, получающийся от обрабатывания хлопчатой бумаги в смеси дымящейся азотной и крепкой серной кислоты), в 90 частях нитроглицерина (маслообразной, сильно ядовитой жидкости, получаемой от действия на глицерин азотной кислоты). Гремучий студень, составляющей полупрозрачную вязкую массу, похожую на обыкновенный студень, при зажигании обыкновенно сгорает совершенно тихо, без взрыва. Он, как и многие другие нитроглицериновые препараты, обладает способностью передавать взрыв на расстоянии, т.е. если в присутствии части гремучего

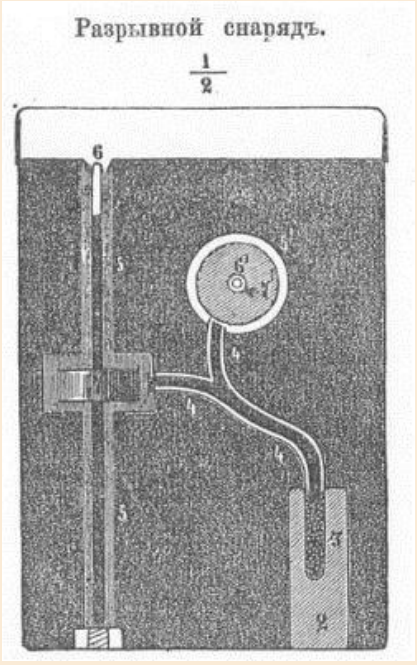
студня будет произведен взрыв другой его части, то и первая взорвет, хотя бы они и не прикасались между собою, причем каждый фунт способен передать взрыв на расстоянии одного фута. Прибавка к обыкновенному студню 4% камфоры сильно изменяет его свойства. Гремучий студень с камфорой не взрывает от гремучей ртути, не взрывает также от сотрясения, произведенного взрывом студня, находящегося по соседству, и вообще более безопасен при обращении. Чтобы его взорвать, нужно сообщить огонь посредством обыкновенного гремучего студня, или же просто с помощью пироксилина, напитанного нитроглицерином.

Все эти свойства были отлично изучены теми, которые решились применить их к снаряду, употребленному для выполнения преступного замысла: они взяли гремучий студень с камфорою, а для доставления ему свойства взрыва - пироксилин, напитанный нитроглицерином. Для воспламенения последнего была употреблена гремучая ртуть, огонь для которой должен был сообщиться стопином, напитанным бертолетовой солью и антимонием. Для сообщения гремучей ртути огня воспользовались свойством серной кислоты воспламенять смесь бертолетовой соли с антимонием.

Чтобы достигнуть этой цели, серную кислоту поместили в запаянную стеклянную трубочку, которая разбивалась от удара об нее груза во время падения снаряда на то место, где должен произойти взрыв.

Согласно изложенным условиям, снаряд состоял из жестяного корпуса с крышкой, внутри которого помещался гремучий студень с камфорой, изображенный на прилагаемом рисунке пунктиром.





Сообщение огня в снаряд было устроено следующим образом: к дну снаряда припаяна гайка, в которую ввинчивалась трубка (5), латунная, состоявшая из двух частей: верхней и нижней; верхняя часть заходила за нижнюю; трубка имела посредине уширение и верхним концом укреплялась в задержке жестяной планочкой, припаянной к бокам

жестянки. В эту латунную трубку вставлялась стеклянная трубочка (6), наполненная серной кислотой и запаянная с обоих концов; на средине трубочки надет грузик (7), который и помещался в уширение латунной трубки; внутренняя поверхность последней была спудрена смесью антимония и бертолетовой соли; в отверстие, имевшееся в уширении латунной трубки, вставлен стопин (4), напитанный бертолетовой солью и антимонием; стопин для защиты от внешних влияний помещен в гутаперчевой трубочке. Точно такого же устройства трубка (6' и 7') была помещена перпендикулярно к оси цилиндра; стопин от последней сращивался с первым и затем шел общим наколом к капсюлю, поставленному на дно жестянки.

Капсюль состоял из широкой трубки (2), в которую помещена маленькая латунная гильза и был вмазан стопин; пространство между внешними стенками капсюля и внутренней стенкой широкой гильзы наполнено пироксилином, напитанным нитроглицерином.

При падении снаряда на землю, грузик (7) ломал стеклянную трубочку (6), серная кислота обливала смесь бертолетовой соли и антимония, от чего последняя загоралась, огонь по стопину (4) шел к капсюлю (3), воспламенял гремучую ртуть, последняя передавала взрыв пироксилину, напитанному нитроглицерином (2), а этот студню, которым было наполнено все остальное пространство большой жестянки. Вторая трубка (6' и 7'), расположенная перпендикулярно оси, назначалась, на случай если бы снаряд упал дном; тогда грузик мог бы только скользнуть по первой трубке, но зато вторая в этом случай должна разбиться. Общий вес снаряда 6 ф., высота 7,5 дюймов".

Нам представляется излишним усложнением добавка камфары в состав гремучего студня, что потребовало более мощного комбинированного детонатора. Сам детонатор тоже излишне сложен - гремучая ртуть хорошо восприимчива к огню и дает безотказные взрывы. Но, несмотря на незначительные недоработки и опасность обращения, устройство было достаточно надежным. Для полной гарантии было два воспламенителя, хотя крайне маловероятно, чтобы один из них не сработал.

Позднее революционеры-террористы усовершенствовали конструкцию бомб. В качестве основного взрывчатого вещества использовался фабричный динамит. Для инициации - гремучертутные детонаторы. Стопины, как правило, не использовались. Конструкции имели незначительные вариации.

В качестве примера приведем отрывок из воспоминаний Валентины Поповой, техника боевой организации эсеров.

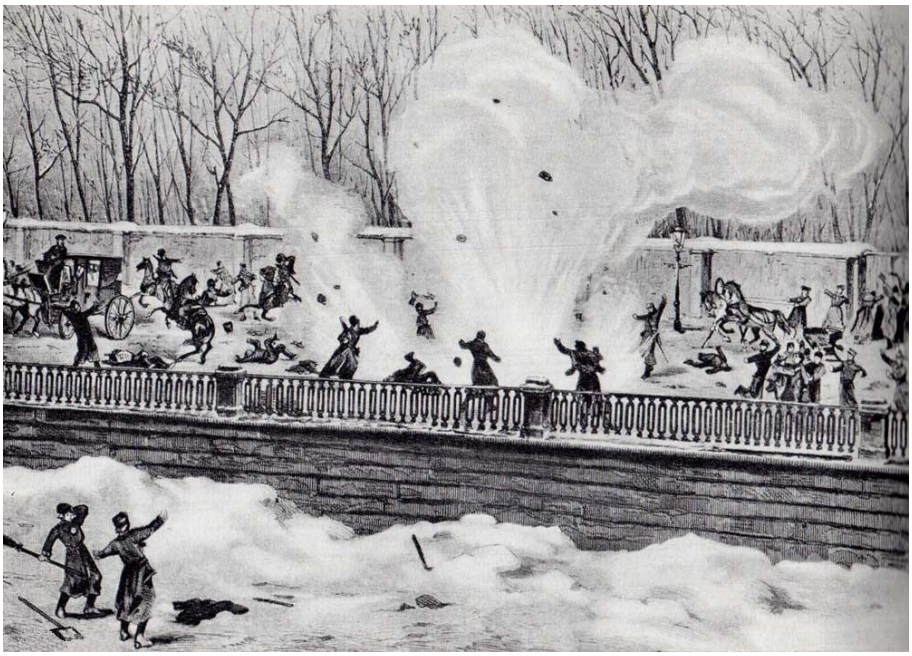
"Сопоставляя теперь условия нашей работы в динамитных мастерских с теми, при которых приходилось работать нашим предшественникам-народовольцам, видно, насколько в наше время уже были преодолены трудности, так осложнявшие их работу. Техники Б.О. находились по сравнению с террористами "Народной Воли" в привилегированном положении. В распоряжении Б.О. всегда имелся готовый (фабричный) динамит, гремучий студень. Все это получалось от финнов. Не приходилось готовить их кустарным способом. Следовательно, самая опасная и длительная часть работы прежних динамитных мастерских была устранена. На нашу долю выпадала более легкая, чисто техническая часть: изготовление оболочек для снарядов, уменье наполнить и зарядить их. Для того же, чтобы приготовить оболочку, необходимо было всего только научиться паять. Всю работу по приготовлению снаряда можно разделить на несколько частей: изготовление запальных трубок, затем - самой оболочки снаряда и начинка ее динамитом. Последний момент работы, это вложить запалы в снаряд, т.е. зарядить его. Инструменты для работы были самые примитивные: медный молоток, который нагревали на спиртовке, напильник, ножницы для жести; наждачная бумага, пипетка для наполнения серной кислотой стеклянной трубочки запала, циркуль.

Обычно сначала мы изготовляли запальные трубки, точно вычислив их необходимый размер. Спаяв при помощи медного молотка запальную трубочку из жести, готовили для нее крышку, тоже жестяную, а к оболочке, уже вычисленной и вырезанной из большого листа жести, припаивали в двух местах под перпендикуляром еще две трубочки, также из жести, куда и вкладывались впоследствии запалы. В запальную трубку помещали стеклянную трубочку, наполненную серной кислотой. Эти трубочки особой формы с двумя дутыми шариками на концах мы получали также от финнов, а кислотой наполняли их сами, сами же и запаивали свободный конец. Затем привязывали тонкой проволокой на средину трубочки свинцовый грузик. Он должен был скользить по стержню трубки от шарика к шарику, но не падать резко, чтобы при случайном или неосторожном движении не разбить трубки. На дно жестяной трубки запала помещали патрон гремучей ртути, вставляли трубку с серной кислотой, на наружный конец которой одевали пробковый кружок. Последний придавал ей устойчивость. В запал насыпали смесь бертолетовой соли с сахаром. Закрывали запал крышкой. При падении свинцовый груз разбивал стеклянную трубочку, вспыхивала смесь бертолетовой соли с сахаром, огонь взрывал патрон гремучей ртути, от которого в свою очередь взрывался динамит, наполнявший

снаряд. Таким образом, успех взрыва зависел от тщательного оборудования запала. Словом, это были такие же снаряды, какие приготовлял еще Кибальчич, - но только значительно усовершенствованные.

Оболочки снаряда отличались разнообразием своей формы. В каждом отдельном случае внешний вид снаряда приходилось приспосабливать к требованиям предполагаемой обстановки покушения. Наиболее удобным являлся обычно снаряд плоской формы, который можно, например, вложить в портфель, или снаряд в виде большой коробки конфет. Когда заканчивали работу над оболочкой снаряда, внутри выстилали ее парафиновой бумагой, чтобы динамит не соприкасался с жестью. Это делали во избежание процесса разложения в том случае, если бы снаряд почему-либо пришлось хранить в таком виде долгое время. Оболочку наполняли динамитом и плотно закрывали крышкой, которую прикрепляли для прочности тонкой проволокой. Количество динамита, употреблявшегося нами, также зависело от обстановки покушения, например, на снаряд для Дубасова я употребила не менее пяти кило. Готовые трубки запалов хранили отдельно от снарядов. Их вкладывали перед тем, когда снаряд передавался метальщику. Обычно снаряды вручались метальщикам незадолго, за несколько часов, перед покушением. Если почему-либо снаряд оставался неиспользованным, его немедленно возвращали технику, который разряжал его, т.е. вынимал запалы и разбирал их.

Всякая небрежность в работе запала могла привести к трагическим осложнениям, так как именно с ними технику приходилось постоянно иметь дело".



Покушение на Александра II. Взрыв снаряда на Екатерининском канале 1 марта 1881 г. Гравюра на дереве, 1881 г.

Запал Кибальчича ч.2

Попытка реконструкции запала Кибальчича

Предупреждаем об опасности подобных самоделок! Трубка с кислотой легко ломается при малейшей неосторожности, что приведет к срабатыванию запала!

Было решено попробовать реконструировать запал Кибальчича. В качестве исходного материала была выбрана луженая жесть от консервной банки из-под сгущенного молока. Паяли свинцово-оловянным припоем, флюс - ортофосфорная кислота. Используя в качестве формы небольшую бутылку от коньяка, спаяли два цилиндра, с трением входящие один в другой. Предварительно проделали отверстия для трубок в крышках цилиндров и припаяли к ним тонкие трубочки из жести. Грузик был отлит в предварительно обожженной от краски пробке от той же бутылки. Осталось лишь просверлить в нем отверстие.



Запал Кибальчича (модель)



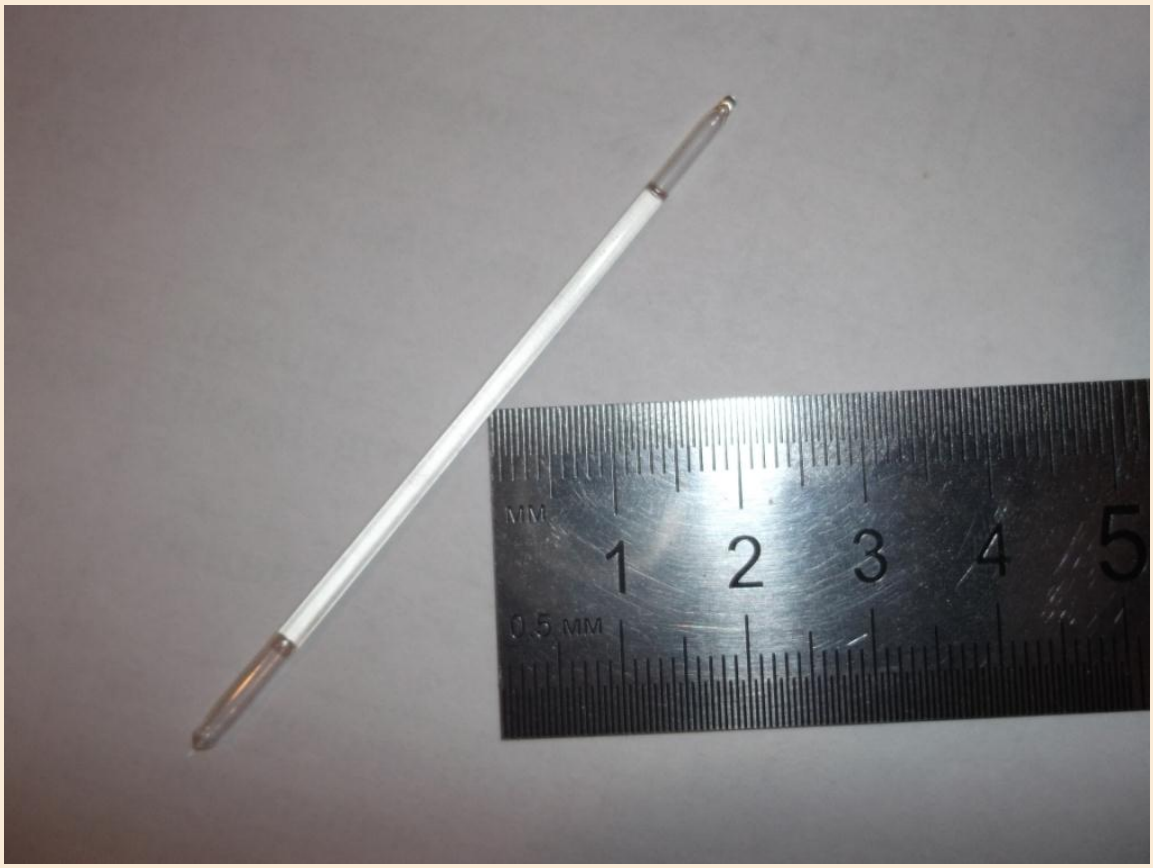


Грузик

Как оказалось, самое сложное - изготовить стеклянную трубочку с серной кислотой - балансирующую на грани хрупкости и прочности. Лучше всего оттянуть пробирку или пипетку Мора, чтобы полученный капилляр был толщиной около 1,5-2,0 мм. Как показали испытания подобная трубочка (длина около 75 мм) с надетым грузиком (масса около 55 г) выдерживает случайные толчки, но ломается при падении запала с совсем небольшой высоты, достаточно даже 30 см. Для запаивания капилляра мы воспользовались обычной газовой горелкой. При этом желательно сделать один из концов капилляра оттянутым. Запаивается серная кислота так - набрав в капилляр кислоты, наклоняя его, добиваемся, чтобы расстояние слоя кислоты от края трубочки было не менее сантиметра и при вращении вносим в пламя горелки. Аналогично запаивается второй конец, но нужно выдерживать определенное время нагрева: если передержать расширяющиеся пары раздуют шарик, недодержать - не полностью заплавится капилляр.



Капилляр с кислотой



После запаивания необходимо с помощью лупы осмотреть спай - он должен быть герметичным. Трубка обмывается водой, и осторожно вытирается. Жестяную оболочку также промываем водой от остатков флюса после пайки. Мы решили отказаться от изготовления стопина. Заменили его так: внутренняя поверхность была смазана спиртовым раствором шеллака (продается в магазинах радиодеталей) и напудрена пылеобразной смесью Кибальчича. Напоминаем соотношение: 2,86 ч. бертолетовой соли и 1,0 ч. сахара. Обмазывать следует **только внутренние части запала**, не допускайте попадания смеси между трущихся жестяных поверхностей.

После высыхания образовался тонкий слой смеси, прилипший к жести. Проверка показала, что он мгновенно вспыхивает от малейшей капли серной кислоты.

К одной из половинок запала мы припаяли короткую трубочку (см. фото выше), в которую решили набить немного гремучей ртути (около 0,28 г), поверх набили слой смеси Кибальчича. Трамбовали с помощью деревянной палочки.



Напудренные смесью Кибальчича внутренние поверхности запала

Испытывали на открытом воздухе. Внутрь по примеру эсеров насыпали немного смеси Кибальчича (с чайную ложку). Всего мы использовали 4,29 г бертолетовой соли и 1,50 г. сахара.

После того, как насыпали смесь Кибальчича, осторожно сводим половинки вместе. Для этого стеклянная трубка с кислотой для безопасности предварительно просовывается в обе жестяные трубочки половинок. Запал в собранном виде допускает плавные движения и небольшие толчки, можно почувствовать, как грузик скользит по трубке, если покачать из стороны в сторону, но при резком толчке трубочка ломается.

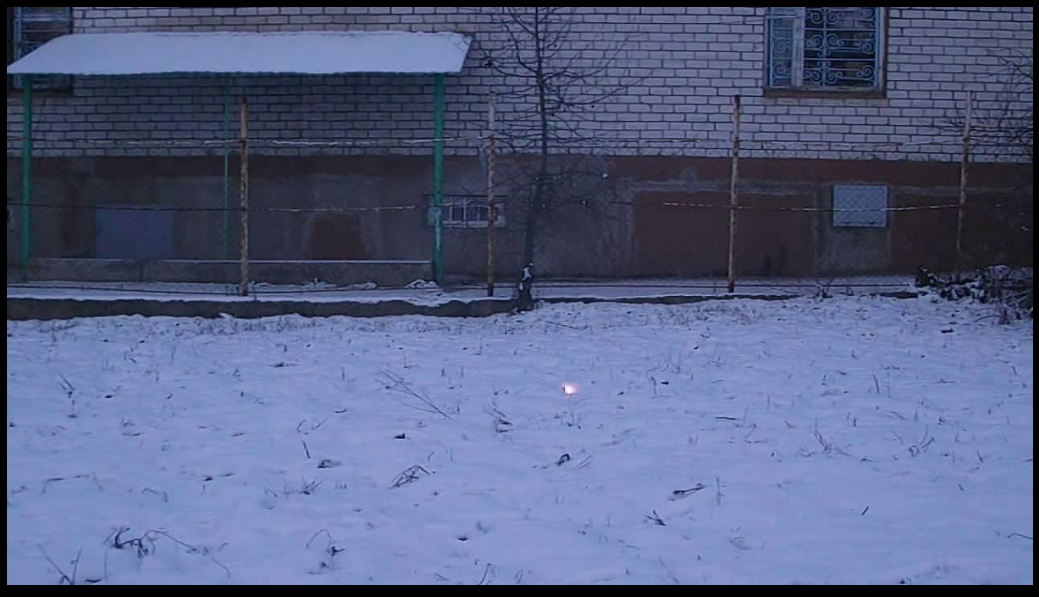
Запал вспыхнул мгновенно, как только коснулся земли, но взрыв гремучей ртути произошел с задержкой в 3 с, из-за того, что поверх ее был слой смеси Кибальчича. Мгновенный взрыв легко может быть сделан, для этого нужно набить инициирующее взрывчатое вещество почти доверху. После взрыва снег слегка разбросало. Одна из половинок запала осталась невредимой, другая была повреждена взрывом гремучей ртути.

Смотреть Видео (5 Мб, .avi)



Испытание запала Кибальчича























Запал Кибальчича ч.3

Запал Кибальчича (простая модель)

Для демонстрации принципа запала Кибальчича можно обойтись и гораздо более простой моделью (по сравнению с той, что описана в предыдущей части статьи).

Мы поступили следующим образом. Для запаивания серной кислоты использовали "носик" ампулы от медикаментов. С помощью шприца ввели туда несколько капель концентрированной серной кислоты H_2SO_4. Трубку нагрели на бытовой газовой плитке и пинцетом сплющили ее отверстие[1].

Для опыта мы взяли около 0.8 грамм смеси Кибальчича. В цилиндрик из плотной бумаги была насыпана смесь и помещена ампула. Модель положили на керамическую плитку и осторожно надавили ручкой ножа. Раздался треск и смесь вспыхнула. Поскольку скорость горения высока, а цилиндрик с одной стороны был открыт, то сработала реактивная тяга, и цилиндр улетел метров на пять в сторону (не долетев полметра до окна с занавесками). Интересно что, несмотря на высокую температуру горения, бумагу не прожгло.

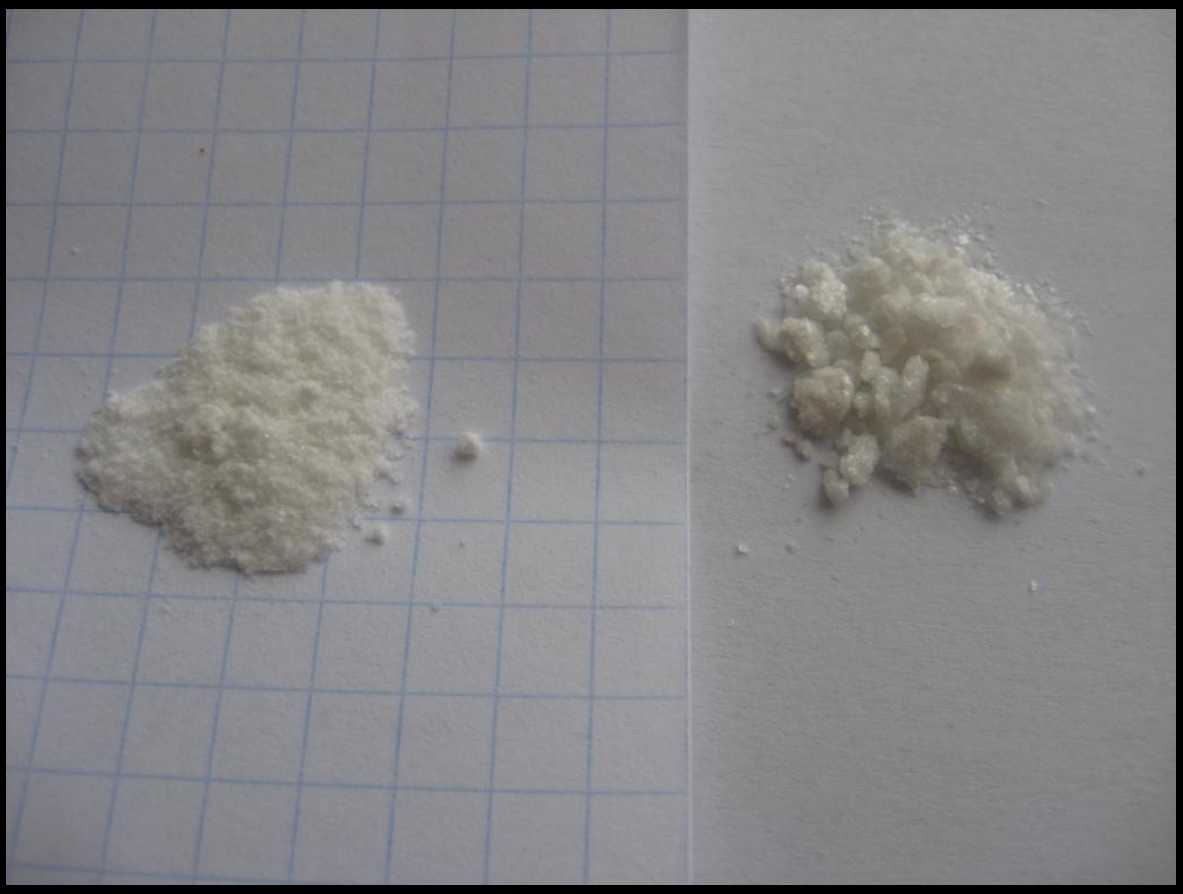
Во втором опыте мы учли реактивный эффект и примотали цилиндр скотчем. В этот раз он не улетел.

---

[1] Делать так не рекомендуется: подобный спай ненадежен. Чтобы запаять трубку (ампулу), ее нагревают в пламени горелки, пока не образуется перемычка, которую необходимо осторожно "оттянуть" (не допуская утончение стекла). Разумеется, нагревать нужно не самый конец трубки, а отступив от него хотя бы 1 см. Если это не возможно, к концу трубки временно припаивают другую трубку или палочку, которую используют для оттягивания (марки стекла должны быть одинаковыми, иначе спай при охлаждении треснет) - прим. ред.

Смотреть Видео 2 (11 Мб, .avi)

Смотреть Видео (3 Мб, .avi)











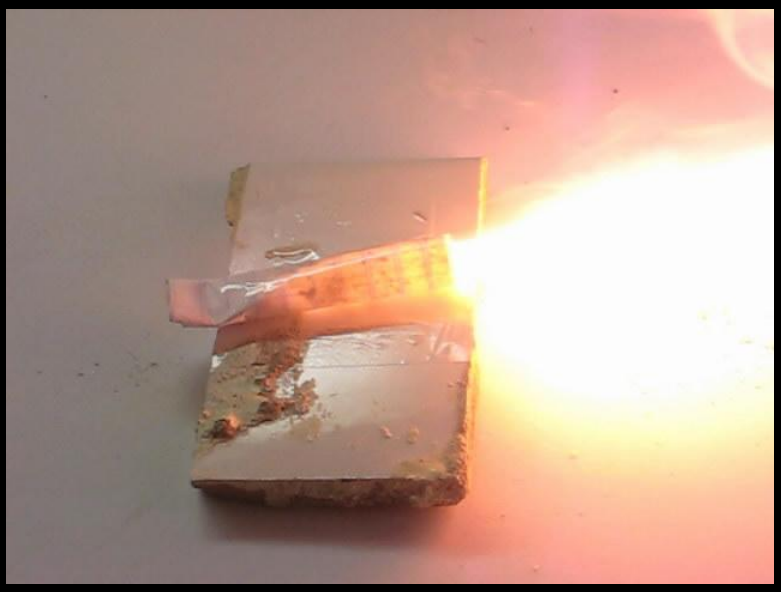


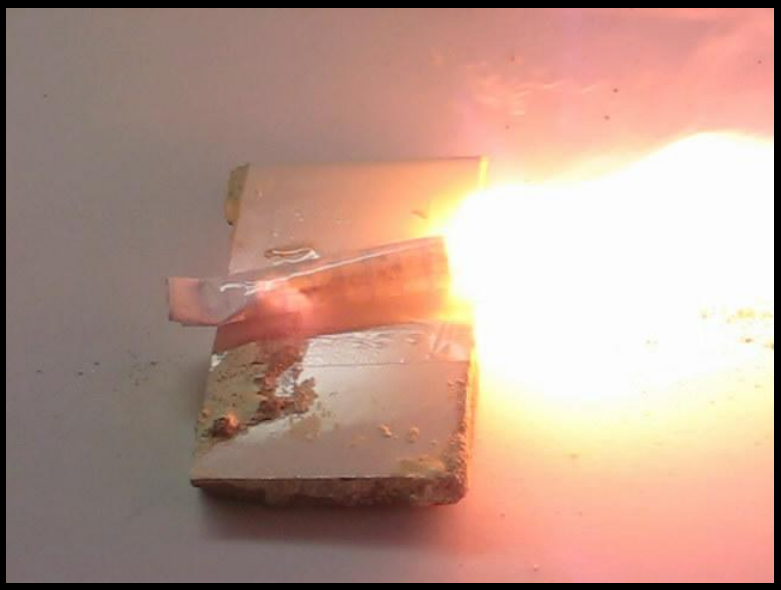




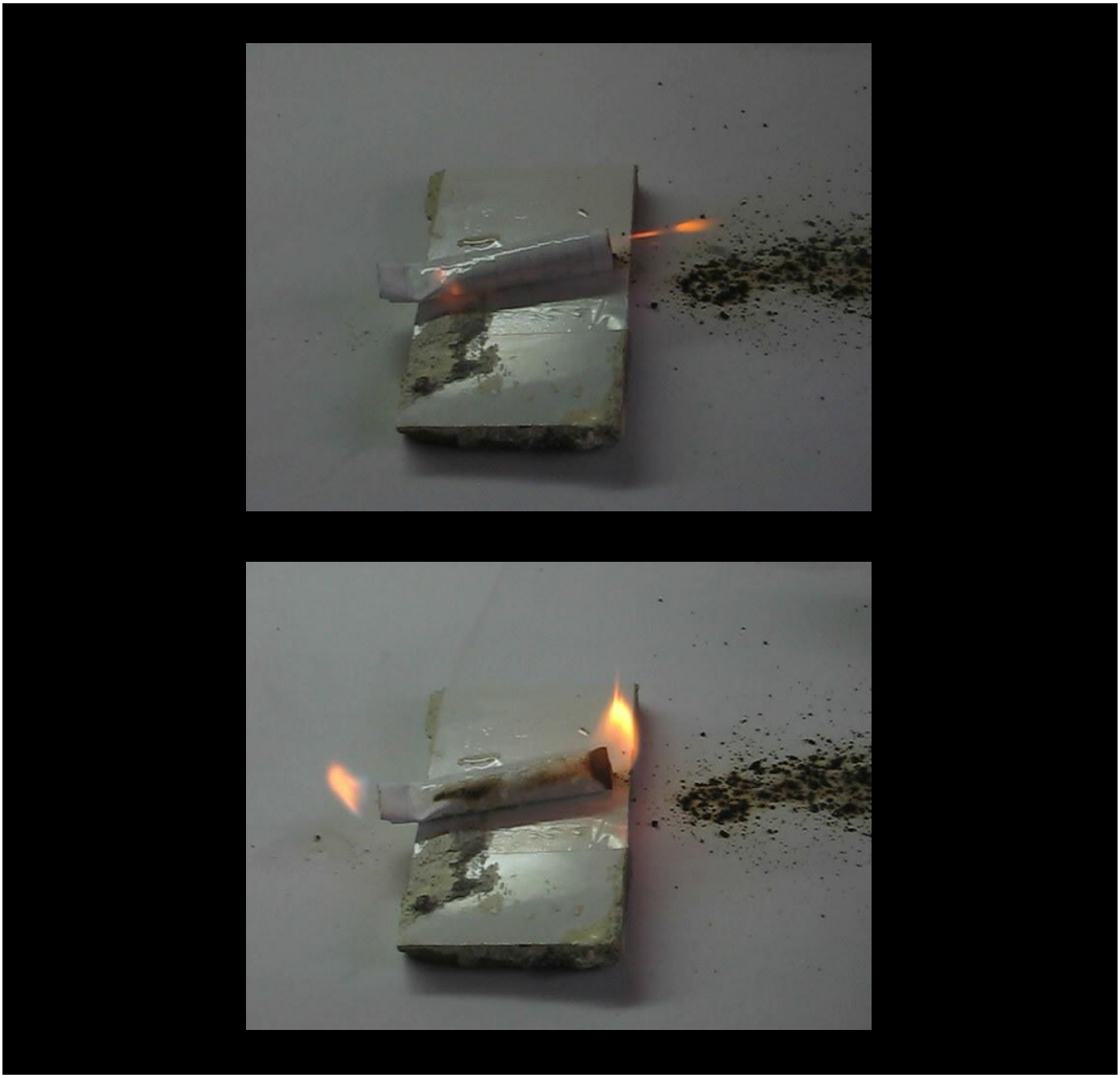












Некоторые комментарии к статье о закиси азота (№1 2012)

(письмо в редакцию)

Закись азота - крупнотоннажный побочный продукт промышленности (или, что правильнее, - отход). В значительных количествах образуется в производстве азотной кислоты каталитическим окислением аммиака кислородом и при производстве сырья для полиамидов (путем перегруппировки Бекмана оксимов циклических кетонов). Закись азота является озоноразрушающим газом, а также парниковым газом с эффектом действия сравнимым с эффектом углекислого газа по порядку величины. По первой причине промышленное применение закиси азота регулируется законодательно и маловероятно, что оно будет расширяться в будущем.

Производители азотных соединений устанавливают каталитические конвертеры для разрушения закиси азота в отходящих газах процессов, так как ее выделение (в виде товарного продукта), как правило, экономически нецелесообразно.

Из применений закиси азота можно отметить промышленный синтез солей азидоводородной кислоты действием N_2O на амиды щелочных металлов. Производство полупроводниковых приборов использует небольшое количество закиси азота в некоторых процессах плазменной обработки материалов.

В аналитической химии закись азота применяли в качестве окислителя для ацетилена при пламенном определении трудно атомизируемых элементов [1] методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Пламя ацетилен-закись азота более холодное, чем ацетилен-кислород. Однако скорость горения смеси C_2H_2-N_2O ниже, чем C_2H_2-O_2, что позволяет регулировать безопасное соотношение газов в более широких пределах, уменьшить расход газов при той же форме горелки и таким образом повысить концентрацию атомного пара в пламени.

Для проведения анализа используется восстановительное либо стехиометрическое пламя смеси ацетилен-закись азота. Такое пламя имеет внутренний конус светящийся пурпурным цветом за счет излучения циан-радикала. Внешняя зона пламени излучает

яркий белый свет за счет догорающих углеродсодержащих частиц. Аналитической зоной является внутренний конус. Несмотря на меньшую (по сравнению с зоной полного сгорания) температуру, концентрация атомного пара здесь максимальна - как за счет меньшего объема газов, так и (главным образом) за счет химических реакций между молекулами монооксидов металлов и восстановительными компонентами пламени.

Разумеется, такая тонкая игра состава пламени зоны наблюдения делает метод весьма строгим к настройке. Тем не менее, руками и головой грамотного специалиста достигаются вполне удовлетворительные результаты для большинства элементов с пределами обнаружения от ~1 ppb (Be, Ca, Ba) до нескольких ppm (Ce, La) и нескольких десятков ppb для большинства остальных элементов [2].

В настоящее время метод почти вытеснен спектроскопией с аргоновой высокотемпературной плазмой в качестве атомизатора (метод индуктивно-связанной плазмы).

Закись азота в жидком и в сверхкритическом состоянии применяют также для экстракции следов органических соединений из водных растворов и некоторых твердых объектов. По полярности такой экстрагент занимает промежуточное место между неполярным CO_2 и полярными спиртами, водой, что позволяет эффективно извлекать умеренно полярные вещества.

P.S. В свое время, работая с пламенем ацетилен-закись азота в атомно-абсорбционном анализе, имел возможность ощутить кратковременное воздействие этого газа при импульсном попадании его в воздух рабочего места. Явственно чувствовал прилив крови к лицу (похоже на дуновение теплого воздуха). Эффект был вполне воспроизводим и подтвержден объективно. Никаких других ощущений при таком кратковременном воздействии малых доз N_2O не возникало и не могло возникнуть.

И. Ковалев

---

[1] Трудно атомизируемые элементы (англ. - refractory elements) - элементы, что образуют устойчивые соединения, которые плохо разлагаются в пламени атомно-адсорбционного спектрометра. В качестве примеров можно привести: B, Al, Ca, Sr, Ba, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Hf, P, As, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, редкие земли и т.д.

[2] ppb (parts per billion) - миллиардная доля ("частей на миллиард");
ppm (parts per million) - миллионная доля ("частей на миллион")



Атомно-абсорбционный спектрометр (пламенный)

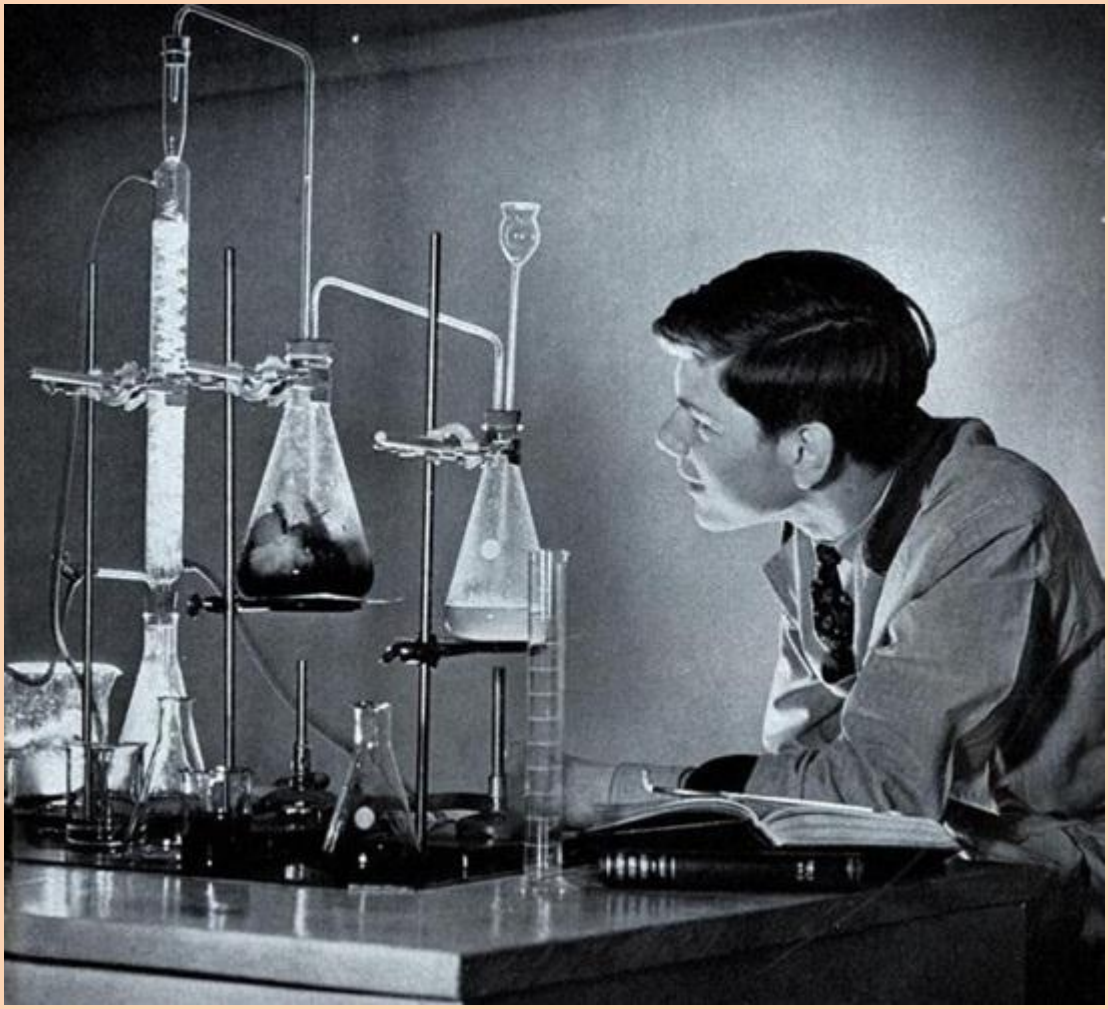








Юный Химик



Ртутное сердце (пульсация капли ртути)

И.Н. Григорьев

"Ртутное сердце" - один из классических физических экспериментов. Опыт этот очень простой и в то же время увлекательный. Главный недостаток - необходимо довольно много ртути. Существует несколько вариантов данного эксперимента. Для начала приведем описание из книги: М.А. Грабовский, А.Б. Млодзеевский, Р.В. Телеснин, М.П. Шаскольская, И.А. Яковлев; Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Лекционные демонстрации по физике (1972) ссылка

"Ртутное сердце". Изменение поверхностного натяжения жидкости под действием электрического заряда удобно демонстрировать на пульсирующей капле ртути, называемой "ртутным сердцем". Каплю ртути размером 15-20 мм помещают на часовое стекло, на которое налит 10%-ный по объему раствор серной кислоты (плотность 1,093). Предварительно в этот раствор вводят двухромокислый калий в количестве 0,05 г на 10 $см^3$ раствора. При соприкосновении с раствором электролита ртуть заряжается, вследствие чего уменьшается ее поверхностное натяжение и капля слегка сплющивается под действием силы тяжести. Далее касаются края капли железной проволокой (толщиной около 1 мм). Тогда ртуть, железо и раствор образуют гальваническую цепь, в которой течет ток, разряжающий каплю. В результате этого поверхностное натяжение капли увеличивается и капля несколько стягивается к центру, причем край ее отстает от проволоки и капля заряжается вновь. Тогда она снова сплющивается, прикасается к проволоке и замыкает цепь, после чего движение повторяется. В результате получается постоянная пульсация капли, сопровождающаяся образованием стоячих волн на поверхности раствора.

Опыт следует показывать в горизонтальной проекции, причем, как и в других случаях, для большей устойчивости часового стекла его следует поместить на достаточно широкое кольцо. Раствор наливать на стекло рекомендуется сначала, а потом уже пускать ртуть из склянки, сквозь пробку которой продета стеклянная трубка с оттянутым концом. При этом условии можно наблюдать эффектное явление слияния между собой отдельных ртутных капелек, сопровождающееся своеобразными толчками. Для успеха опыта очень важно поддерживать железную проволоку в точно установленном положении, для чего рекомендуется укрепить ее в штативе или, что проще, прикрепить к куску дерева, который

может передвигаться по стеклянной пластинке, на которой находится и часовое стекло. Можно держать проволоку и просто рукой, но это требует некоторого навыка. Конец проволоки, прикасающийся к капле ртути, необходимо предварительно зачистить шкуркой или напильником. При перемещении проволоки относительно капли изменяется амплитуда колебаний, и при достаточно большой амплитуде капля приобретает звездообразную форму.

Этот опыт служит хорошим введением к изучению электрокапиллярных явлений.

Мы взяли 10% раствор серной кислоты с добавкой хромпика. Приготовили его так: смешали 7,6 мл электролита для аккумуляторов, 12,1 мл воды и добавили 0,1 г дихромата калия (бихромата калия). Если у кого-то нет весов, можно насыпать дихромат по объему (кучка из мелких кристаллов диаметром 11 мм, высотой 4 мм). Фарфоровая чашка (в нашем случае диаметр - 75 мм) стояла на кольце-подставке. Вначале надо налить ртуть, а потом раствор, иначе ртуть разбивается на капли, которые не сливаются.

Опыт получился не сразу. Вначале мы прикасались кончиком заточенной проволоки к ртути, просто держа проволочку в руках. Эффект наблюдался, но продолжительного биения не было (поэтому ролик удалось снять не сразу - что видно по наличию осадка). Секрет успеха в том, чтобы проволоку **прижать к краю чашки**, рукой можно опереться о стол (левой рукой при этом придерживать чашку) и касаться самого края капли. Тогда можно обойтись без штатива (со штативом, наверное, будет менее удобно работать) и даже регулировать пульсацию (касаясь железом края капли на разной высоте). Капризность опыта в том чтобы выдержать нужную "степень касания", но этому легко научиться в процессе опыта.

Позволим себе немного дополнить описание причин пульсации капли ртути. В растворе бихромата калия ртуть окисляется, на ее поверхности образуется пленка сульфата ртути (I) Hg_2SO_4. В результате поверхностное натяжение ртути уменьшается, капля расширяется и соприкасается с железной проволокой. В этот момент образуется гальванический элемент, в котором ртуть играет роль катода, а железо - анода. Железо растворяется, а сульфат ртути восстанавливается до металла. В результате поверхностное натяжение капли снова растет, капля сжимается и контакт с железом теряется. Поверхность ртути опять окисляется, капля покрывается слоем сульфата, расширяется и опять касается гвоздя и т.д.

В результате капля ртути пульсирует подобно живому сердцу. Отсюда и название опыта - "Ртутное сердце".

Образование пленки:

$2Hg_{(жидк.)} + SO_4^{2-}{}_{(р\text{-}р)} \Rightarrow Hg_2SO_{4(пленка)} + 2\,e^-$

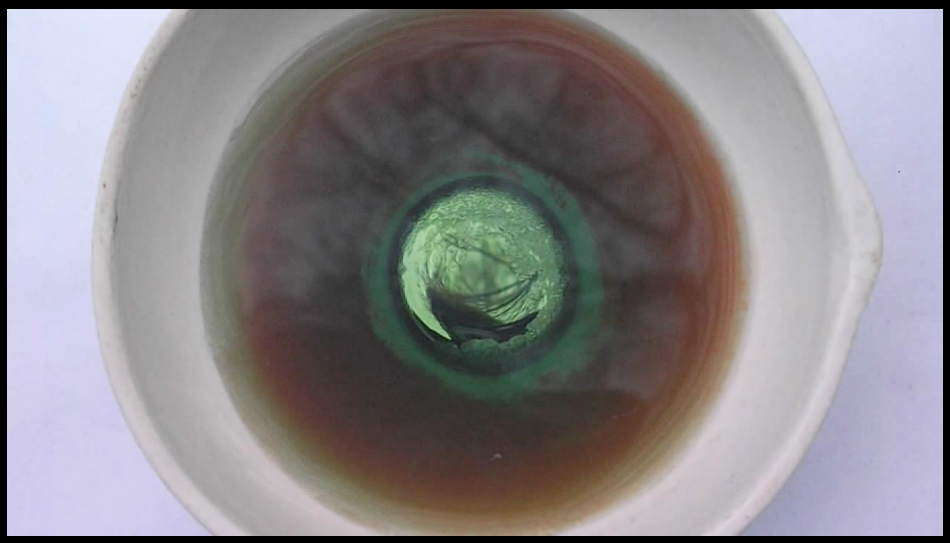
$Cr_2O_7^{2-}{}_{(р\text{-}р)} + 14H^+{}_{(р\text{-}р)} + 6e^- \Rightarrow 2Cr^{3+}{}_{(р\text{-}р)} + 7H_2O_{(жидк.)}$

Разрушение пленки:

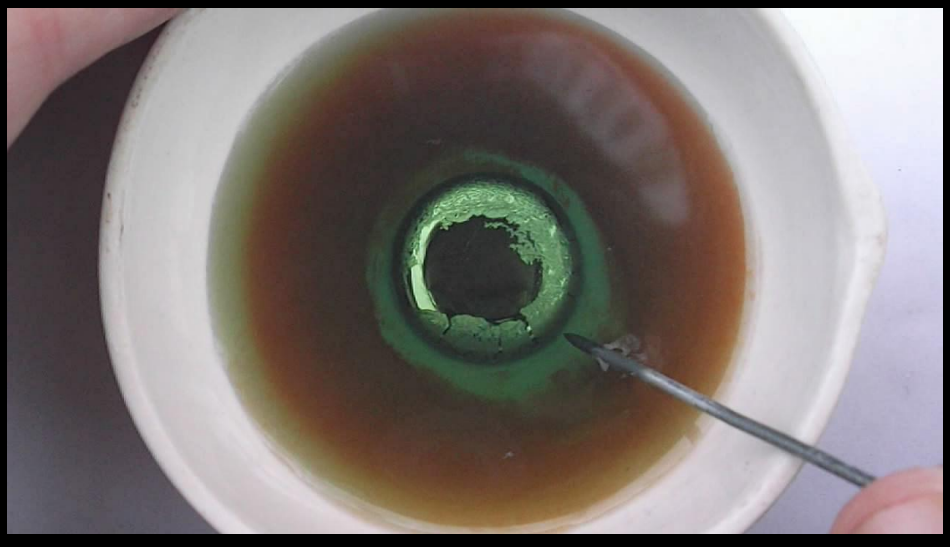
$Hg_2SO_{4(пленка)} + 2\,e^- \Rightarrow 2\,Hg_{(жидк.)} + SO_4^{2-}{}_{(р\text{-}р)}$

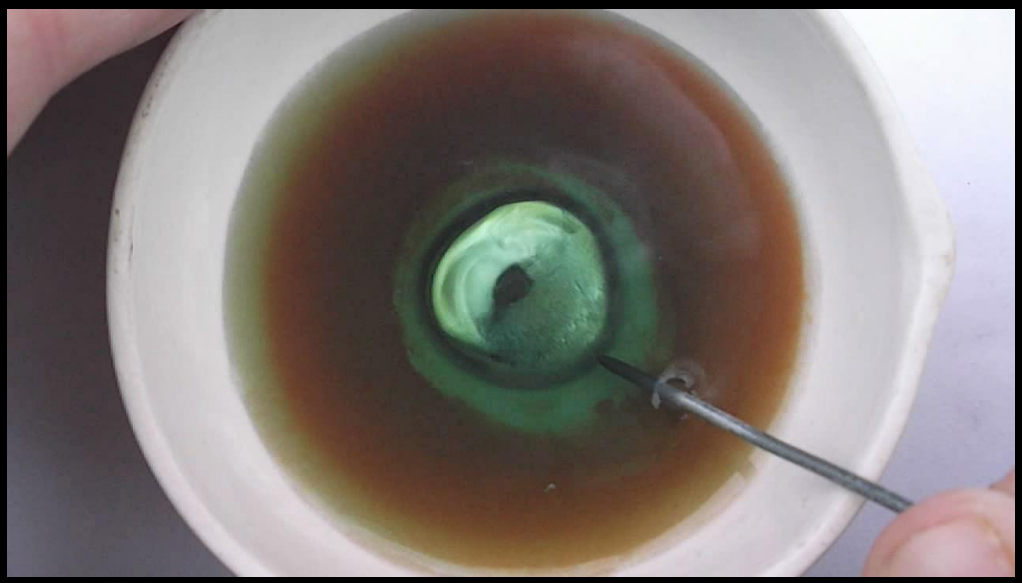
$Fe_{(тв.)} \Rightarrow Fe^{2+}{}_{(р\text{-}р)} + 2e^-$

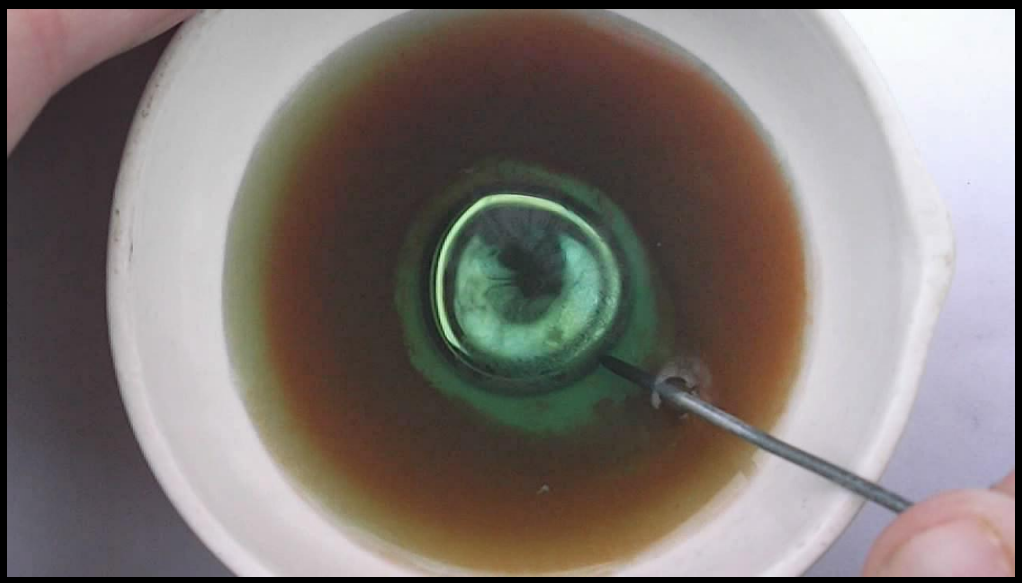
Смотреть Видео (42 Мб, .avi)

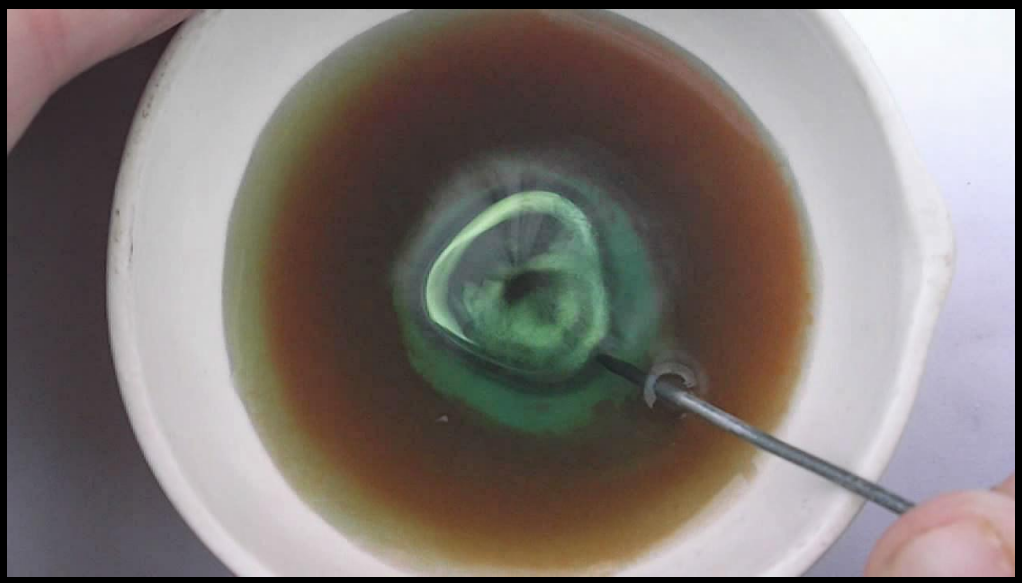


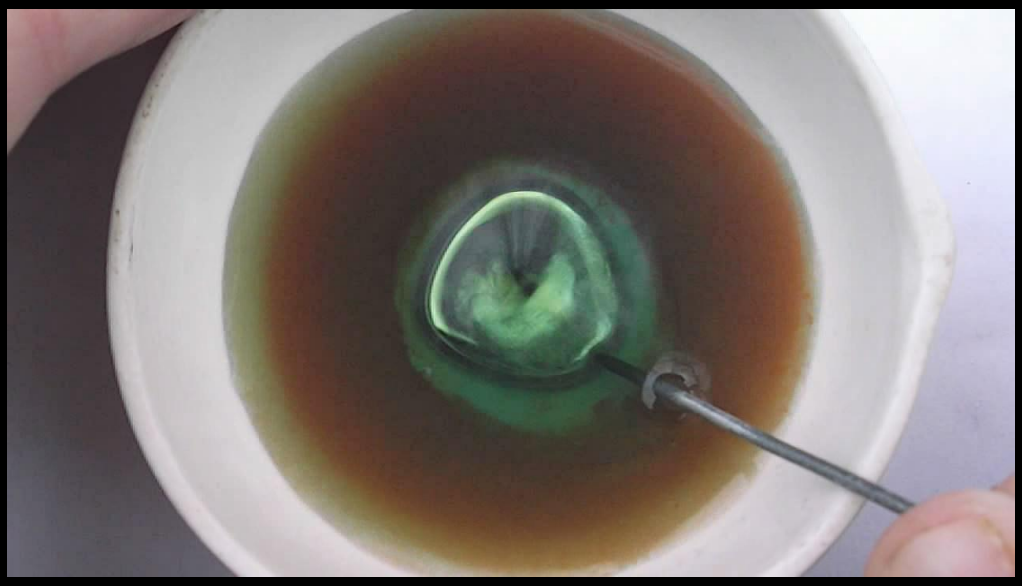
Ртутное сердце (пульсация капли ртути)

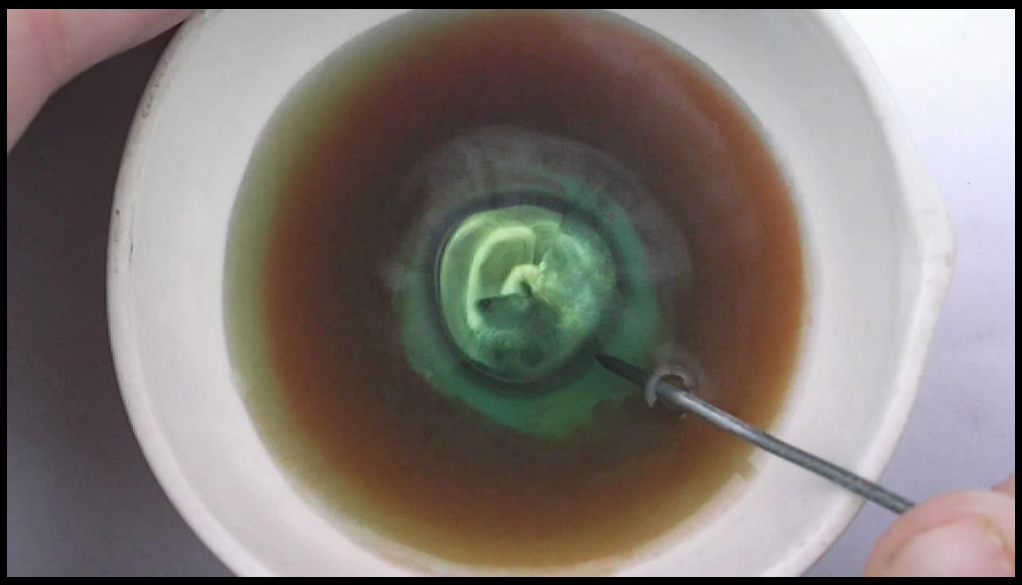


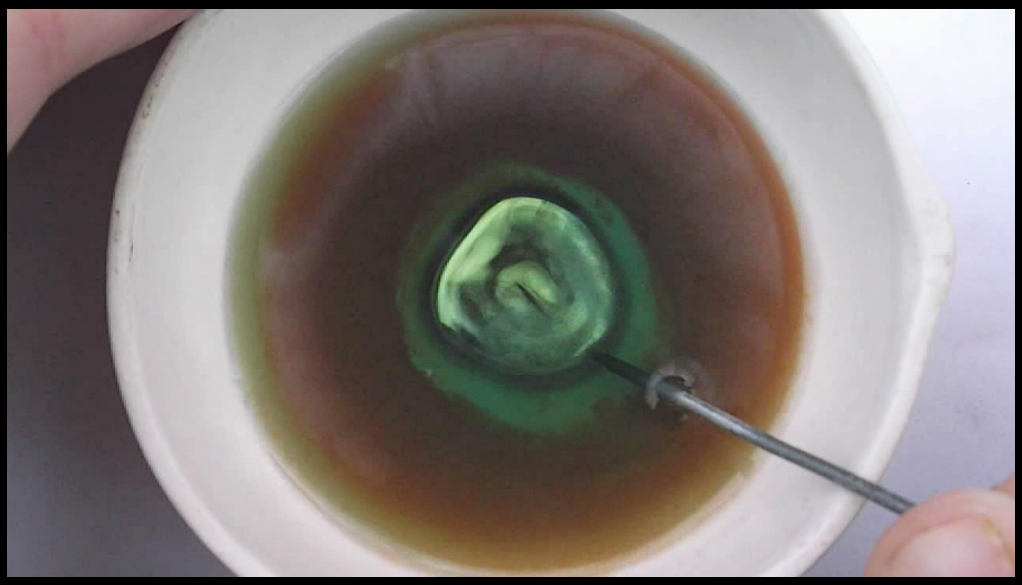


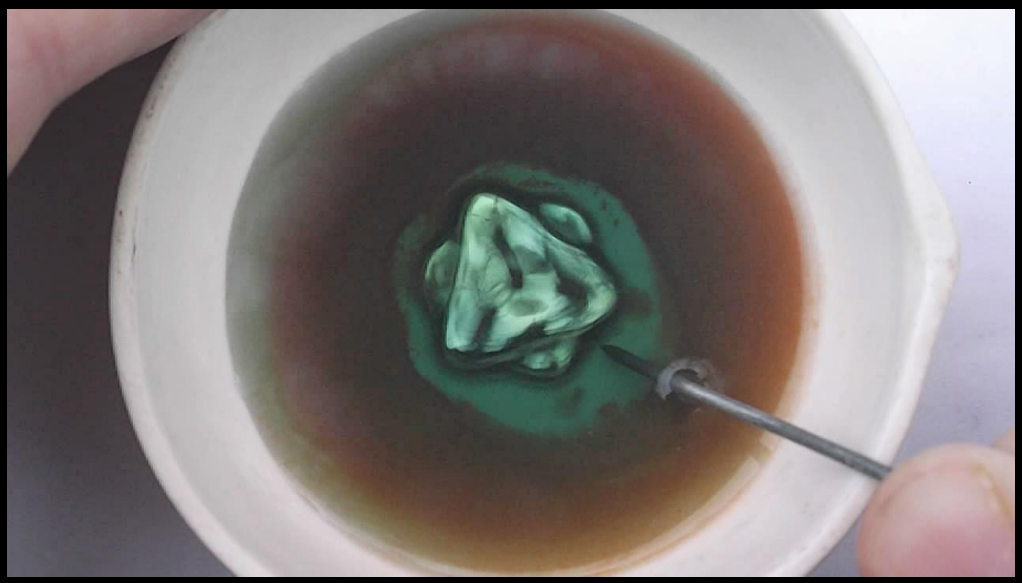




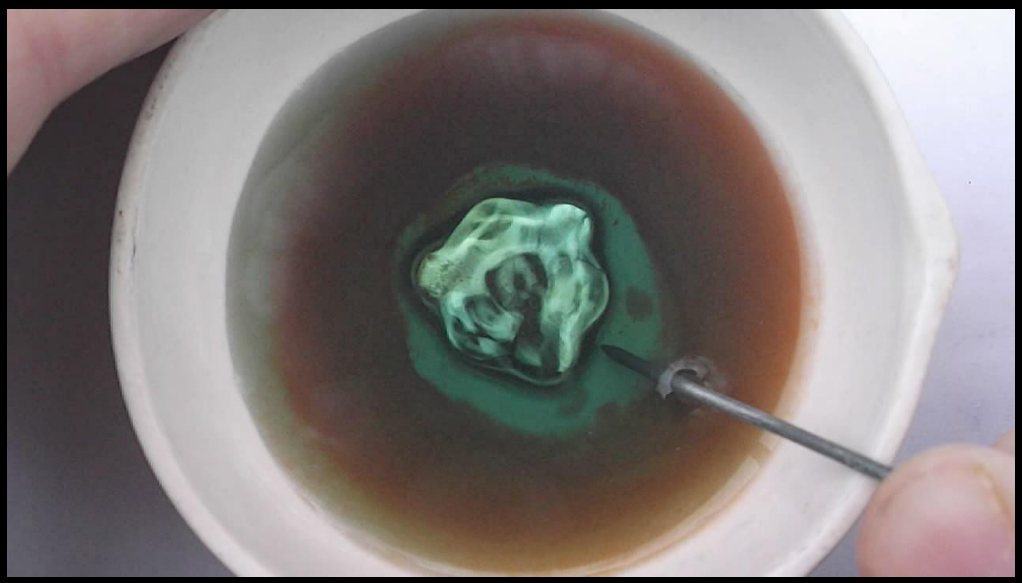


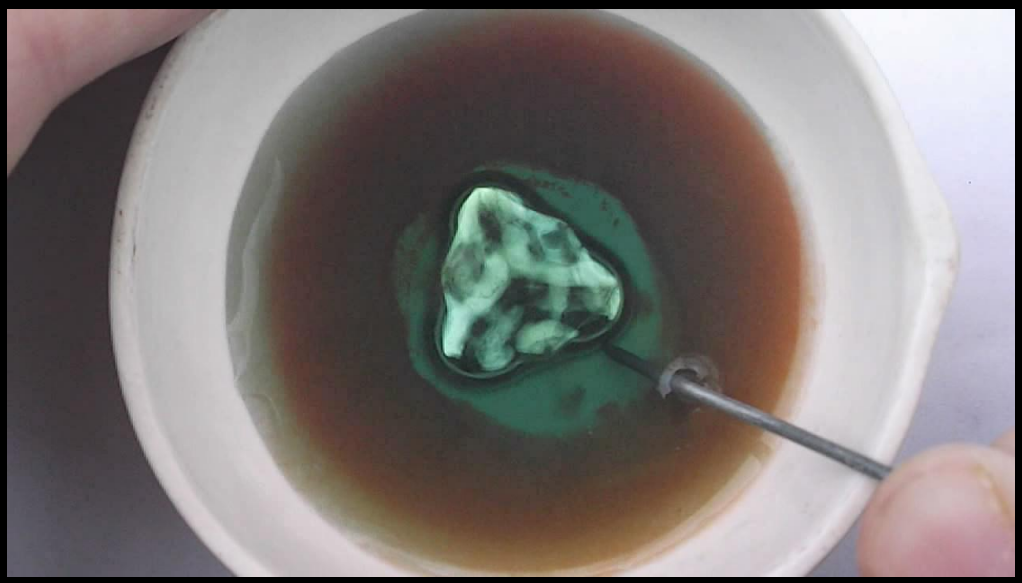


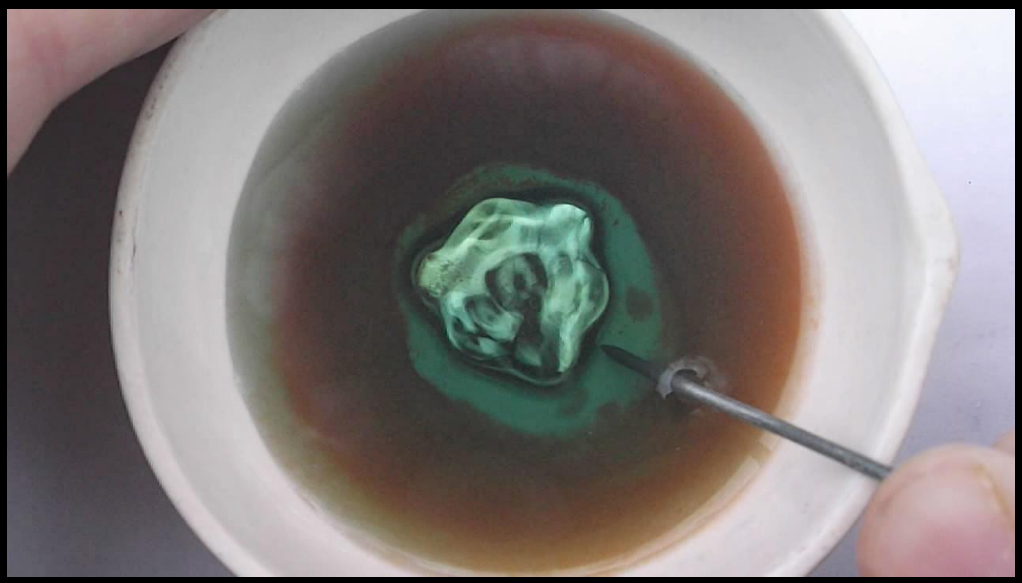


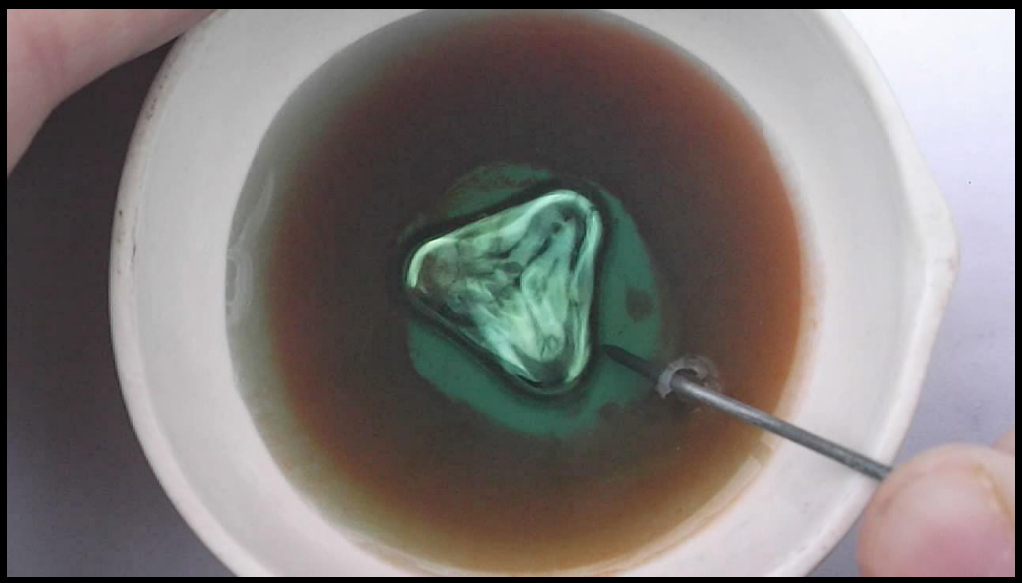




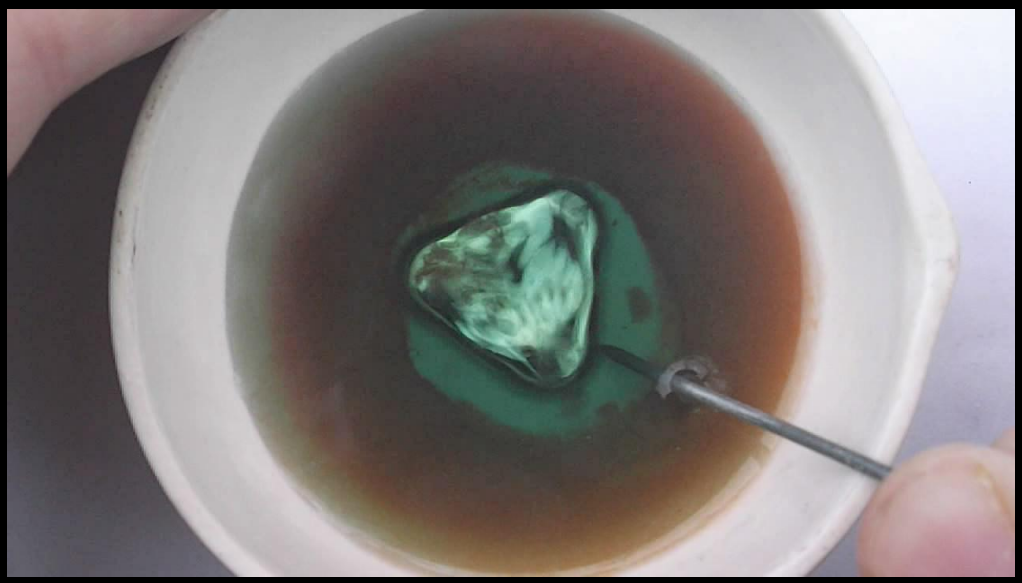


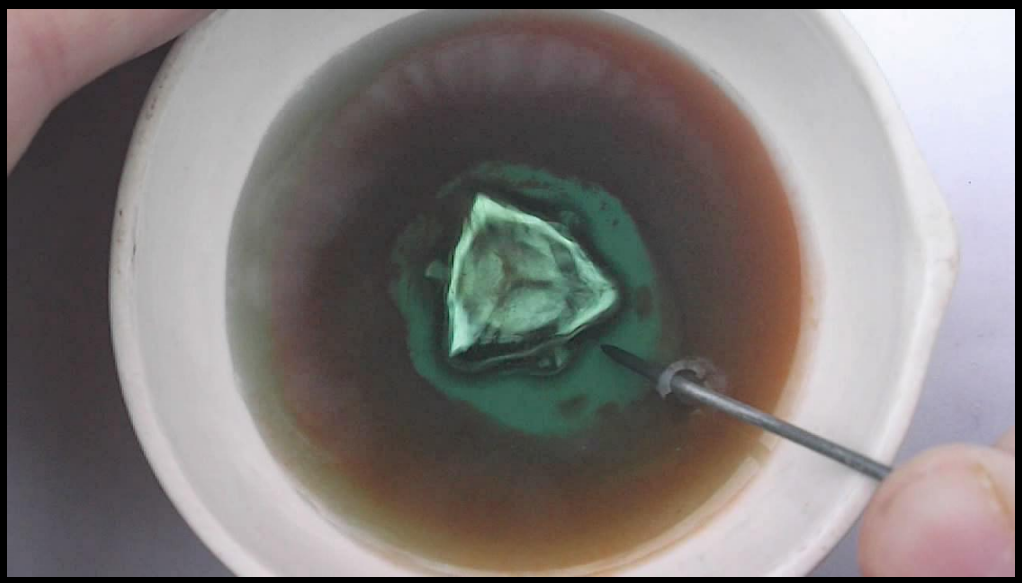


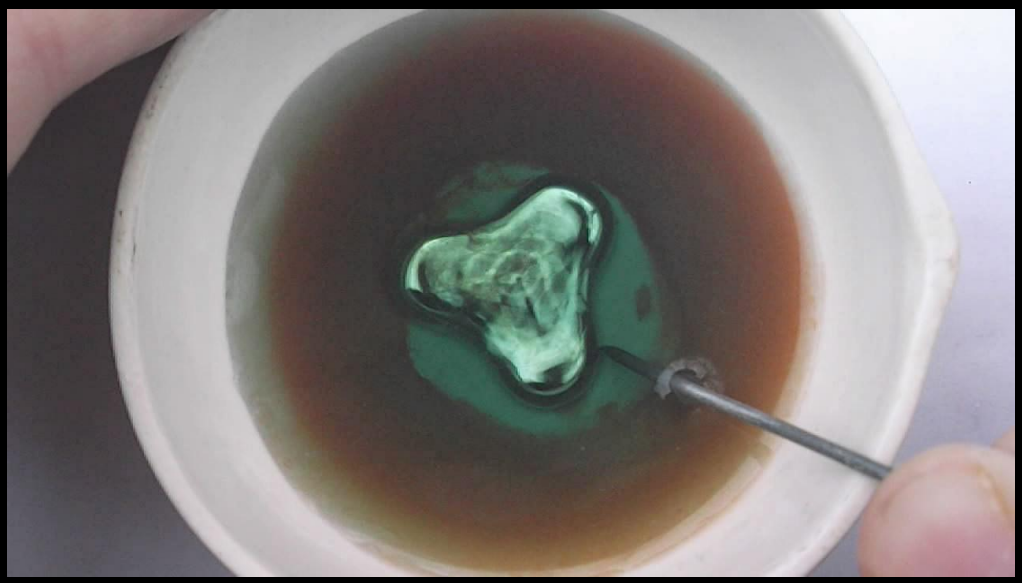




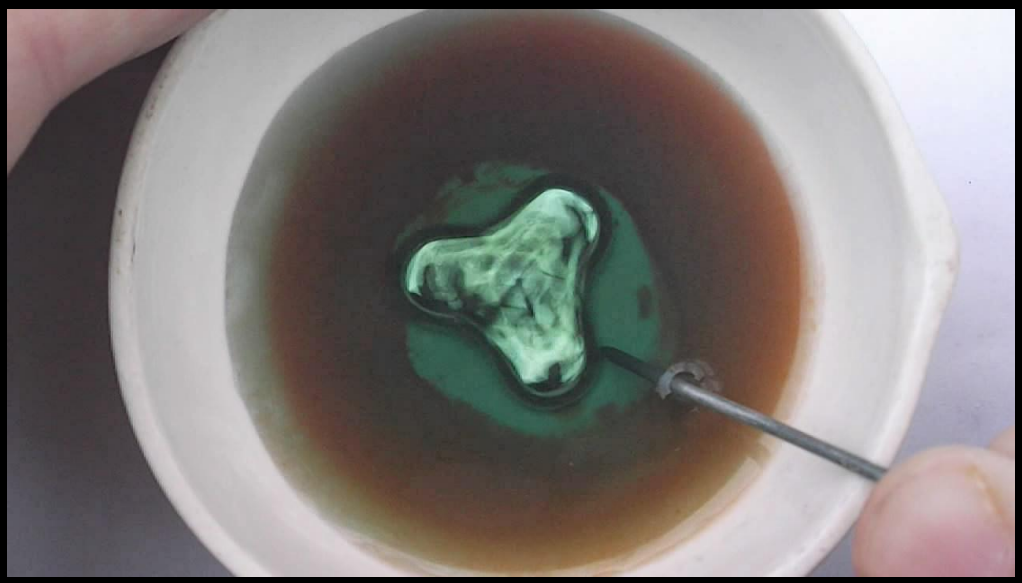












Левитация ч.1

В.Н. Витер

Что такое левитация?

Левитация - явление, при котором тело без видимой опоры "висит" над поверхностью - левитирует. Случаи левитации можно условно разделить на три группы.

1. иллюзия;
2. фотомонтаж (видеомонтаж);
3. "физическая левитация".

В первом случае имеет место обыкновенный фокус. Тело на самом деле не висит над поверхностью, а опирается на опору (как ему и положено). Только благодаря "ловкости рук" фокусника заметить эту опору очень трудно или практически невозможно. В качестве примера приведем оригинальный фонтан в форме крана. Не трудно догадаться, что труба-стояк находится внутри струи воды, которая вытекает из крана. Тем не менее, вид "парящего в воздухе" крана вызывает неподдельный восторг у многих зрителей.



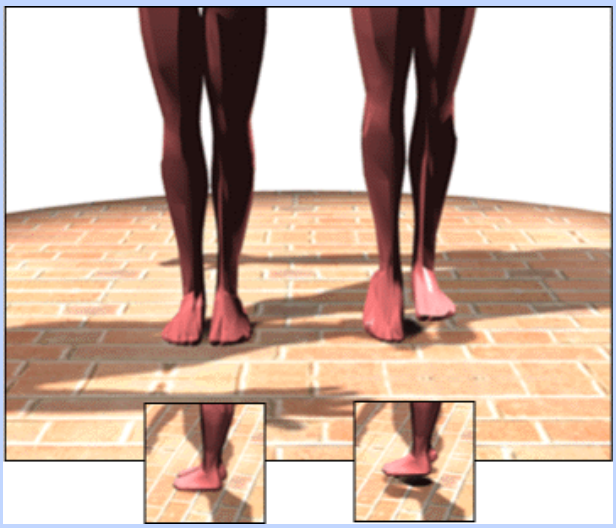
Кран, висящий в воздухе







Простой способ, как создать иллюзию левитации, не отрываясь от земли, вы можете увидеть из схемы:



Левитация (как научиться летать) howtodotricks.com

Далеко не во всех случаях техника создания иллюзий столь очевидна, тем более, что большинство фокусников не спешат делиться своими профессиональными секретами с широкой публикой. Способы монтажа изображений очень многообразны, и мы их

рассматривать не будем. Скажем только, что в некоторых случаях в монтаже нет надобности: например, кадры, снятые во время прыжка или падения вполне можно выдать за левитацию.



Левитация (фокус)







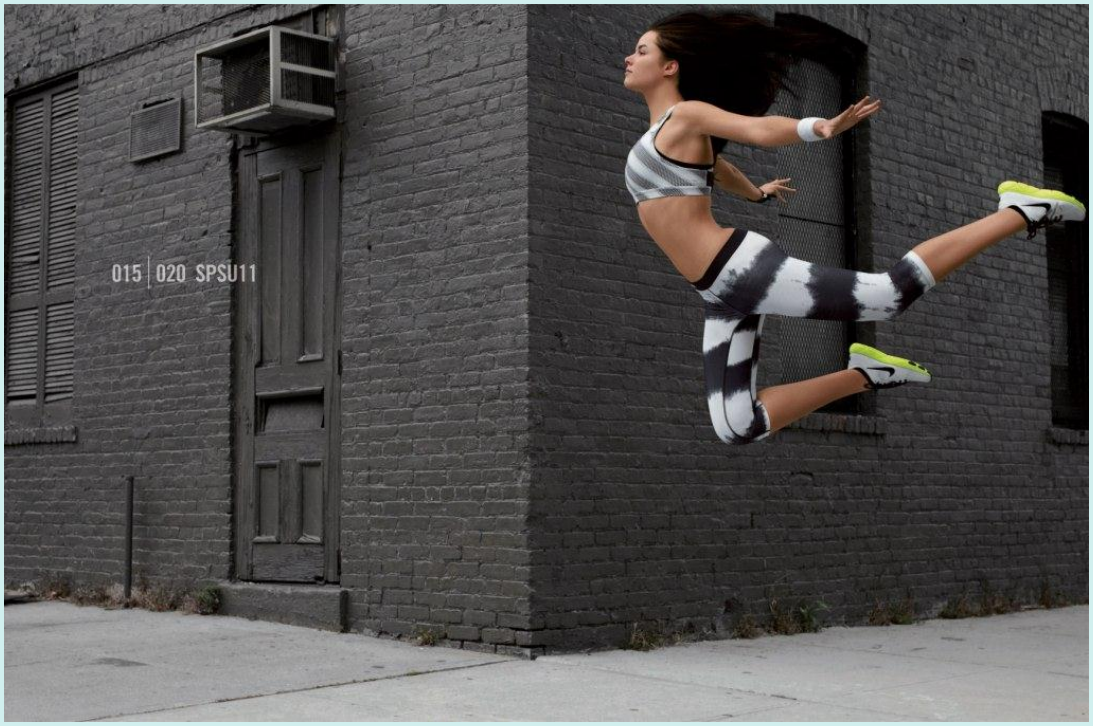
Левитация (монтаж)







<Увеличить>



<Увеличить>

Разумеется, нас больше всего интересует третий случай, когда левитация вызвана действием физических сил. В данном случае опору, которая поддерживает "левитирующий" объект, никто не прячет от зрителя, однако она невидима. Природа этой

"опоры" может быть самой разнообразной. Например, теннисный мячик или воздушный шарик могут висеть в потоке воздуха, который выбрасывается из трубы пылесоса: давление потока воздуха компенсирует силу тяжести (в данном случае важно, чтобы поток был строго вертикален, а мячик находился по центру). В большой и достаточно мощной аэродинамической трубе может "левитировать" человек - подобно мячику над пылесосом - причем это уже давно перестало быть экзотикой.



Левитация шарика для настольного тенниса в струе воздуха



Левитация теннисного мячика в струе воздуха

Кусочек сверхпроводника может левитировать над обычным магнитом. Дело в том, что сверхпроводники являются диамагнетиками, поэтому они выталкиваются из магнитного поля[1]. Но стоит сверхпроводнику нагреться выше температуры перехода, как сверхпроводимость исчезает и кусочек падает (большинство сверхпроводников

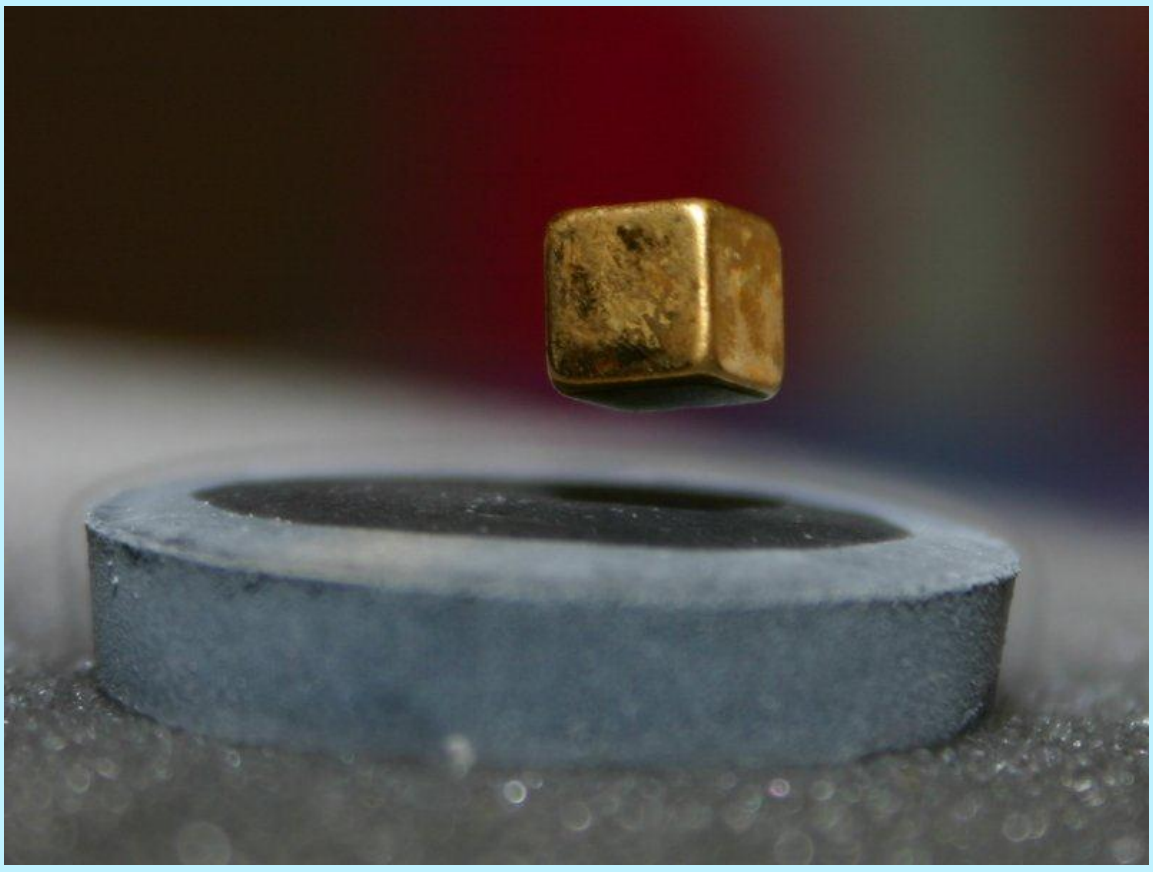
проявляют свои свойства при довольно низких температурах - температурах жидкого гелия или жидкого азота). Опыт получил специфическое название: "Магометов гроб" (по преданию гроб пророка Магомета висел без какой-либо опоры в пространстве).

---

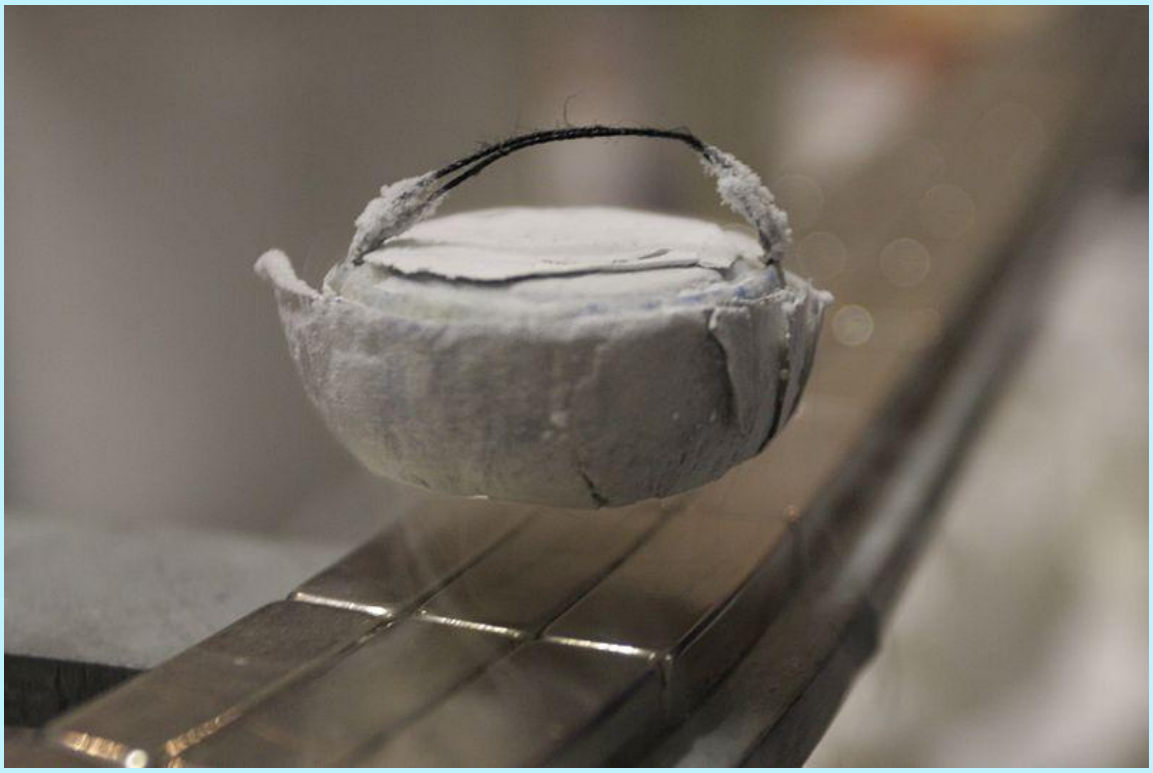
[1] В отличие от "обычных" диамагнетиков (о которых речь пойдет чуть ниже), сверхпроводники являются идеальными диамагнетиками ("супердиамагнетиками" с эффективной магнитной проницаемостью -1). Можно условно сказать, что сверхпроводники не пропускают магнитное поле в свою массу.

В обычных диамагнетиках магнитные моменты атомов ориентируются против направления внешнего магнитного поля. Благодаря этому диамагнетики ослабляют магнитное поле и выталкиваются из него.

В сверхпроводниках природа диамагнетизма абсолютно иная: она создается токами, протекающими без затухания в поверхностном слое материала (эффект Мейснера). В достаточно слабом внешнем поле результирующий поток магнитного поля внутри сверхпроводника равен практически нулю. Напротив, снаружи сверхпроводника магнитный поток возрастает - поле "выталкивается" из материала. Сила, возникающая при взаимодействии внешнего поля и поля индуцированного тока, выталкивает сверхпроводник в область с меньшим магнитным потоком.



"Магометов гроб": магнит левитирует над охлажденным жидким азотом сверхпроводником



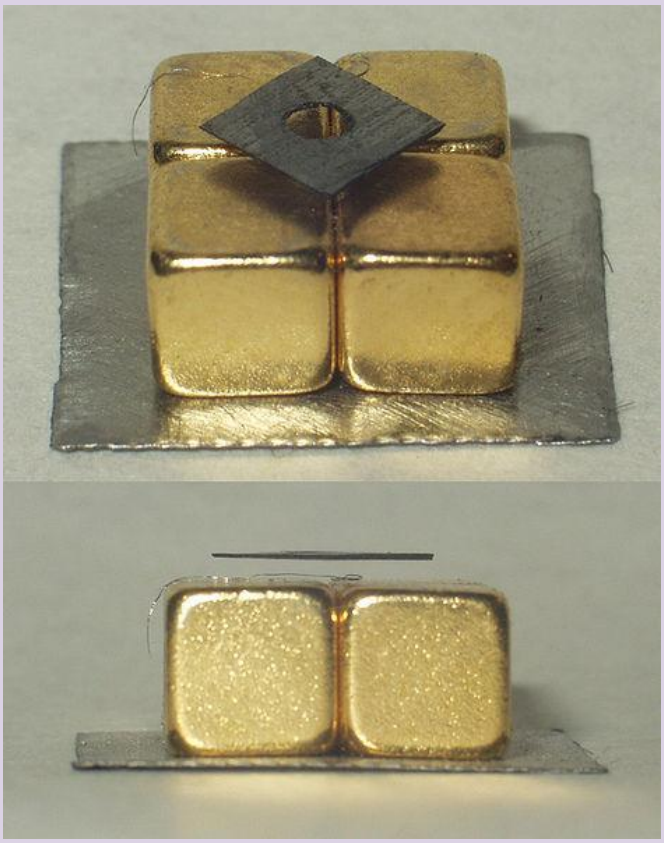
Высокотемпературный сверхпроводник левитирует над магнитом

Однако совсем не обязательно обладать жидким азотом (а тем более - жидким гелием), чтобы продемонстрировать левитацию тел в магнитном поле. Дело в том, что диамагнитными свойствами (т.е. способностью намагничиваться против направления магнитного поля) обладает много веществ:

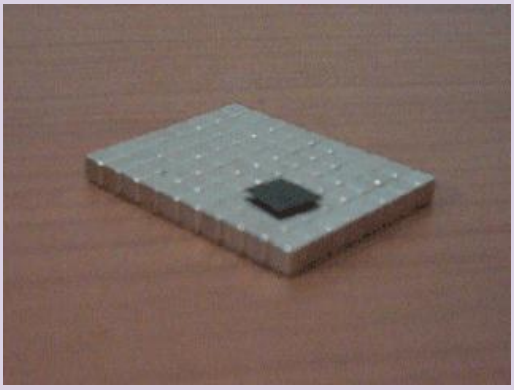
азот, водород, медь, бериллий, цинк, серебро, золото, ртуть, висмут, германий, кремний, вода (жидкая), поваренная соль, ацетон, глицерин, нафталин, пиролитический графит и другие.

Среди металлов наиболее сильными диамагнитными свойствами обладает висмут. Мощный магнит из сплавов, содержащих редкоземельные металлы (с индукцией около 1 Тл) вполне может висеть между двумя блоками из висмута[2].

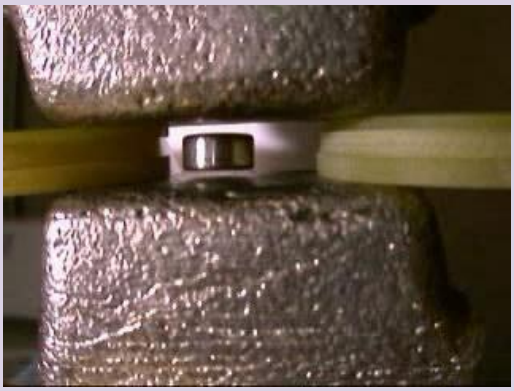
[2] Возможен и обратный вариант (левитация висмута между двумя магнитами), однако достать небольшой, но мощный магнит и два блока из висмута проще, чем два больших магнита из сплавов редкоземельных металлов и небольшой кусочек висмута.



Левитация пиролитического графита над магнитом



Левитация пиролитического графита над неодимовым магнитом

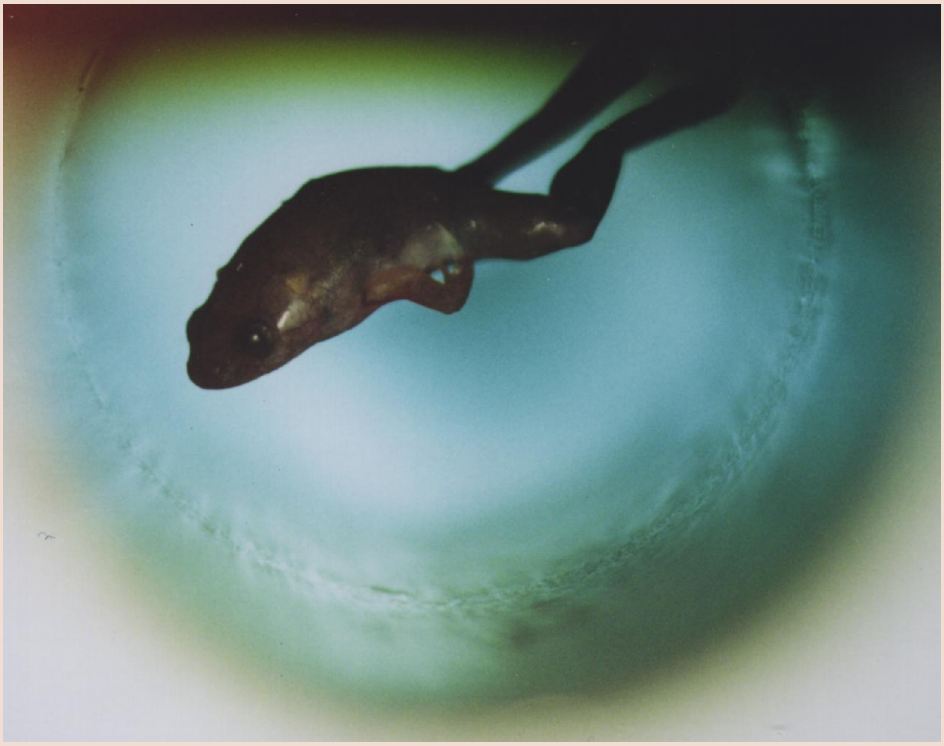


Левитация магнита между двумя блоками из висмута
<Смотреть видео> http://netti.nic.fi

Обратите также внимание, что в список диамагнитных веществ входит вода. Это означает не только, что капелька воды способна левитировать благодаря мощному магниту. Вспомните, что живые организмы состоят в основном из воды - благодаря этому они также обладают диамагнитными свойствами. С помощью магнита можно заставить левитировать ягоды, насекомых и даже небольших животных, например, лягушку или мышь. К сожалению, магнит должен быть довольно мощным (в упомянутом случае с лягушкой около - 16 Тл).

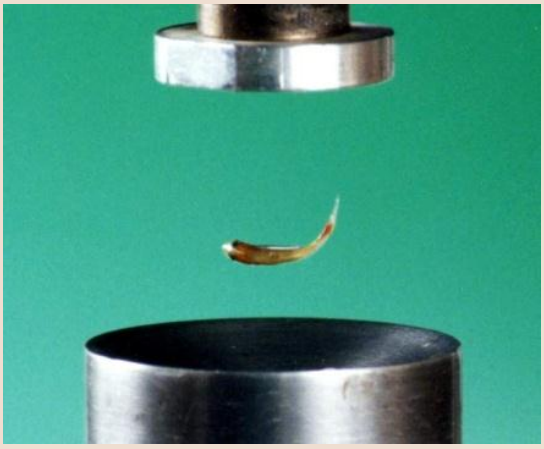


Левитирующая лягушка (магнитное поле)
<Смотреть видео> http://www.ru.nl





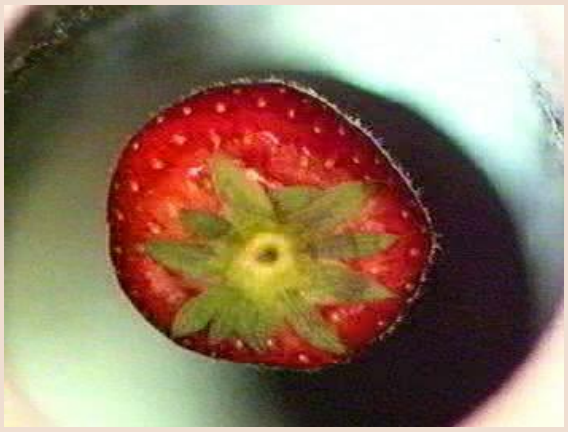
Левитирующий кузнечик (магнитное поле)
<Смотреть видео> http://www.ru.nl



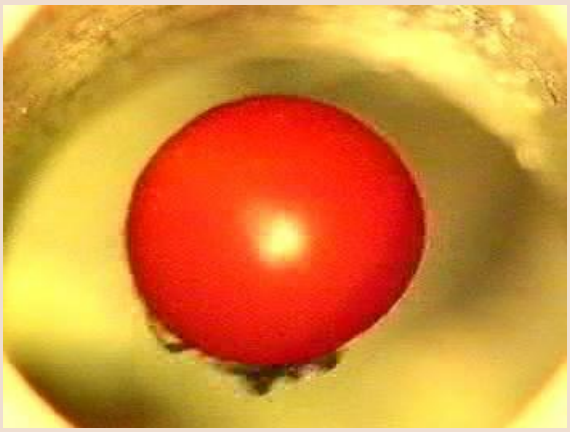
Левитирующая рыбка (магнитное поле)



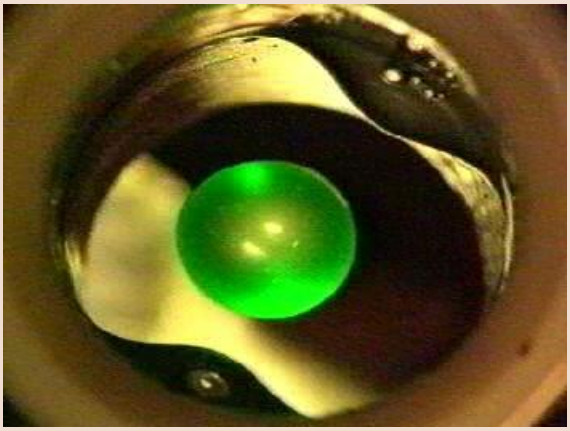
Левитирующий жук (магнитное поле)



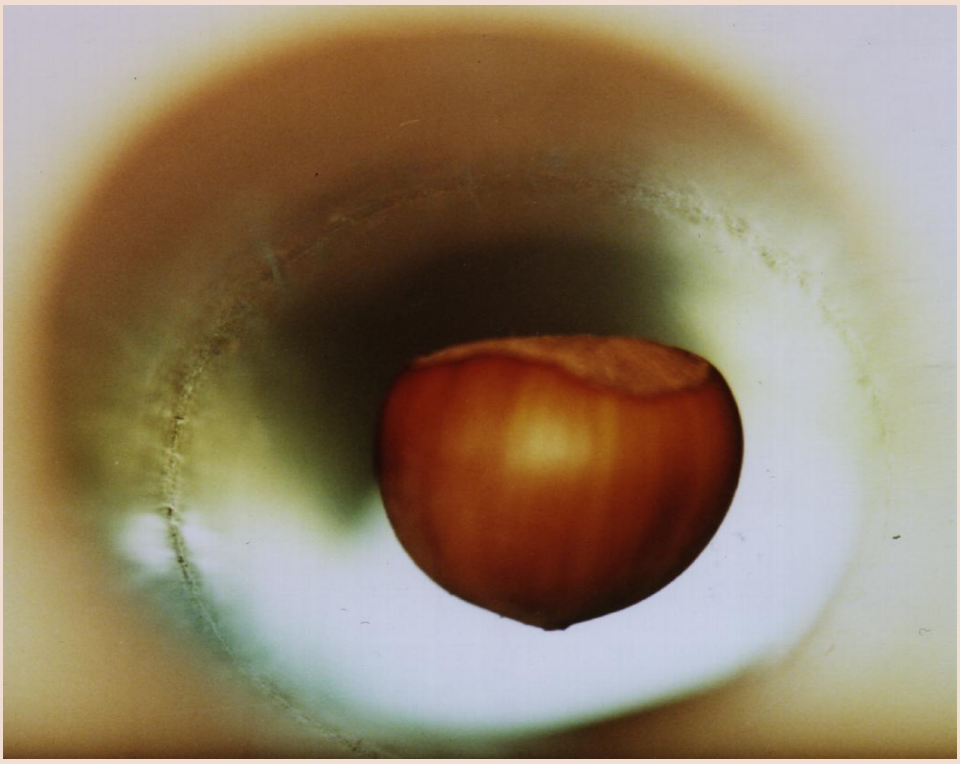
Левитирующая клубника (магнитное поле)
<Смотреть видео> http://www.ru.nl



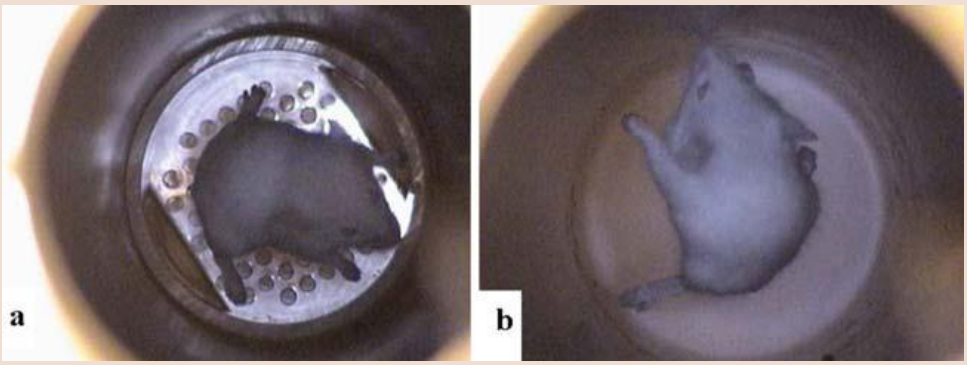
Левитирующий помидор (магнитное поле)
<Смотреть видео> http://www.ru.nl



Левитирующая вода (магнитное поле)
<Смотреть видео> http://www.ru.nl



Левитирующий орех (магнитное поле)



Левитирующая мышь (магнитное поле)

Есть и другой способ достичь "магнитной левитации", например небольшой магнит может "левитировать" между пальцами руки, если все это поместить в сильное магнитное поле (диамагнитная стабилизация левитации).



Диамагнитная стабилизация левитации

<Читать статью>

Левитация в магнитном поле используется не только для экзотических опытов: уже давно возникла идея поезда на магнитной подушке, он же - маглев (от англ. magnetic levitation - "магнитная левитация"). В отличие от обычных поездов "магнитные" поезда не касаются поверхности рельса, что исключает трение и резко увеличивает скорость. Единственная сила, которая тормозит движение - аэродинамическое сопротивление, поэтому скорость поезда на магнитной подушке может быть сопоставима со скоростью самолета. Несмотря на простоту идеи, перед разработчиками магнитных поездов возникло много технических, а также социальных проблем. Строительство путей для поездов на магнитной подушке обходится исключительно дорого. "Модернизация" традиционных железнодорожных линий под поезда на магнитной подушке пока невозможна. Как и все новое, "магнитные поезда" встречают ожесточенное сопротивление части общества, которая считает, что маглев - напрасная (и небезопасная) трата денег.

После нескольких не совсем удачных попыток построить и эксплуатировать маглев, предпринятых в разных странах, в Китае вошла в строй коммерческая железнодорожная линия на магнитной подушке, которая соединяет аэропорт Пудун и Шанхай.



Первая в мире коммерческая железнодорожная линия на магнитной подушке



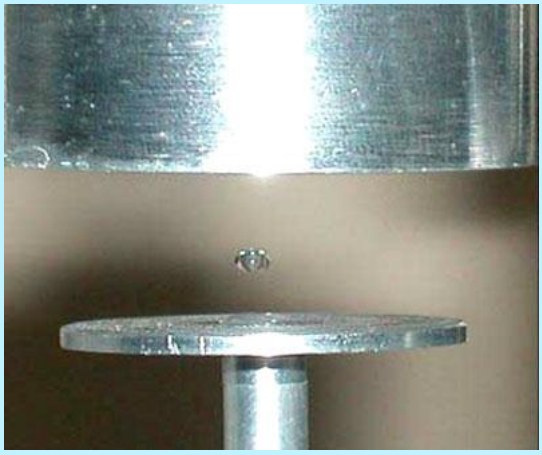
Левитацию можно вызвать с помощью мощного акустического поля (звука). Естественно, предмет должен быть небольшой.

В случае левитации, вызванной силой Архимеда, ограничение размера снимается. Например, если капля жидкости попадает в другую жидкость с такой же плотностью, то капля зависнет, как в невесомости (разумеется, две жидкости не должны смешиваться). При этом капля может быть столь угодно большой. Упомянутый эксперимент уже был описан в журнале (Солнечная система в банке (сотворение мира за семь минут) - ссылка).

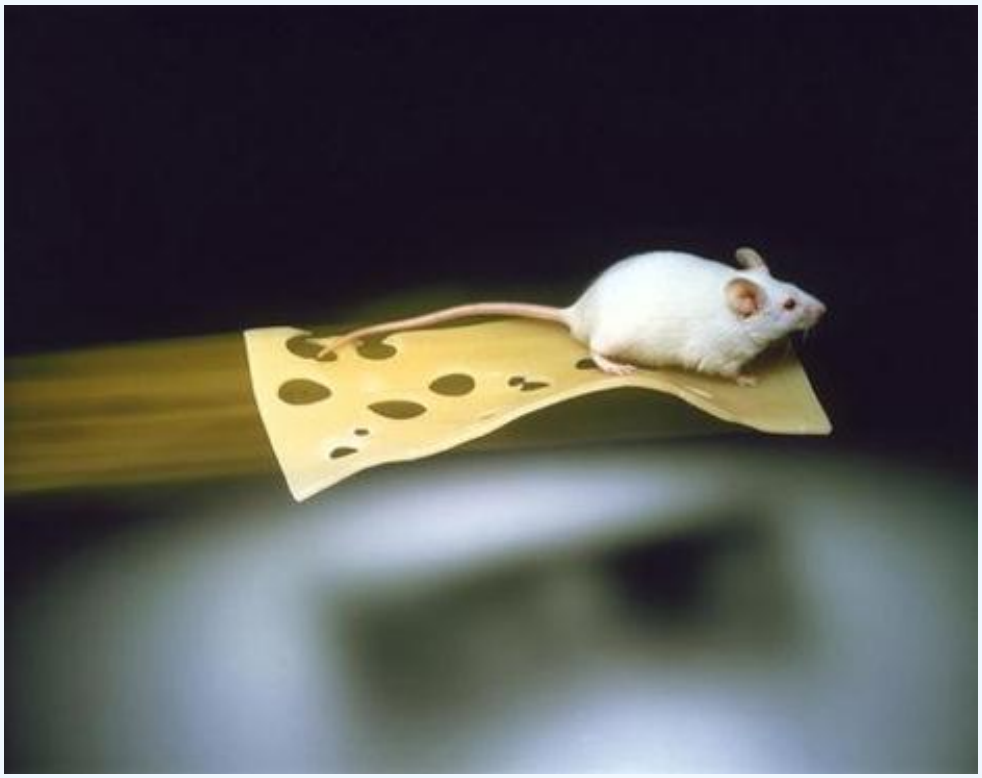
Тело человека немного легче воды, однако, с помощью грузиков можно сделать так, что эти плотности сравняются: в результате человек будет находиться под водой в состоянии невесомости (подобно капле в описанном опыте). Этот метод используют для тренировки космонавтов.

Сила Архимеда может также заставить левитировать мыльные пузыри: если мыльный пузырь с воздухом попадает в большой сосуд, заполненный более тяжелым газом, он всплывает и начинает плавать по границе раздела газов. Однако, мы немного забежали

вперед: экспериментам по левитации мыльных пузырей посвящена следующая часть статьи.



Акустическая левитация капли



Ковер-самолет

Левитация ч.2

В.Н. Витер

Левитация мыльных пузырей

Обычно опыт выполняют следующим образом. Банку или другой большой и прозрачный сосуд (желательно объемом не менее 10 л) заполняют углекислым газом[1]. Уровень газа проверяют горящей свечой. Потом аккуратно выдувают мыльный пузырь так, чтобы он оторвался и медленно опустился в сосуд. Попав в атмосферу углекислого газа, пузырь заполненный воздухом "всплывает" и начинает плавать возле границы раздела газов. Если пузырь не столкнется со стенками, "левитация" может продлиться несколько минут.

У нас не оказалось под рукой источника углекислого газа. Конечно, углекислый газ можно легко получить, но вместо него мы решили воспользоваться пропан-бутановой смесью, которая значительно тяжелее воздуха. По сравнению с углекислым газом, пропан-бутановая смесь имеет существенный недостаток: она горюча. Поэтому поблизости не должно быть открытого пламени и, разумеется, недопустимо пытаться определить уровень этой смеси с помощью горящей свечи.

Итак, пластиковое ведро мы заполнили пропан-бутановой смесью и начали пускать в него мыльные пузыри. Попав в ведро, пузыри сначала опускались, но потом всплывали и до нескольких минут плавали возле границы раздела газов. Пузыри выдували с помощью пластиковой трубки. Скоро стало ясно, что пузыри следует пускать в ведро с небольшой высоты (относительно уровня пропан-бутановой смеси), отделяя их от трубки легким движением вверх. Если поднять трубку над ведром слишком высоко, то пузыри будут падать быстро и врезаться в дно (так и не успев всплыть). Большие пузыри выглядели гораздо эффектнее, чем средние, но их быстро сносило к стенкам (от контакта с которыми они лопались). Когда уровень пропан-бутановой смеси в ведре понизили (отсосав часть газа), это значительно увеличило время жизни мыльных пузырей, поскольку теперь стенки ведра защищали их от воздушных потоков.

---

[1]Углекислый газ не должен содержать следов кислоты, что может резко уменьшить продолжительность жизни мыльного пузыря.

Смотреть Видео (33 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (20 Мб, .avi)

Смотреть Видео 3 (34 Мб, .avi)



Левитация мыльных пузырей





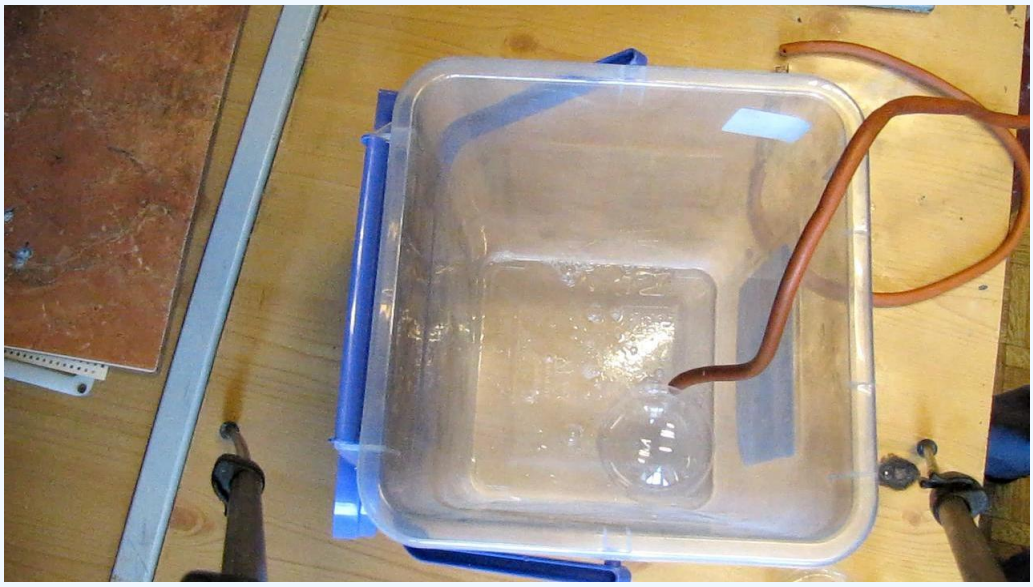


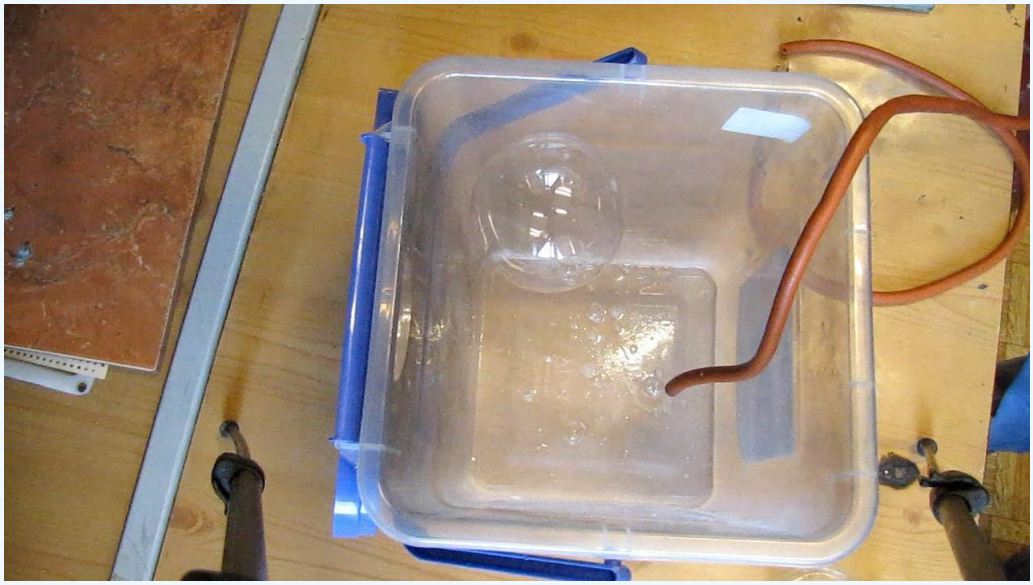


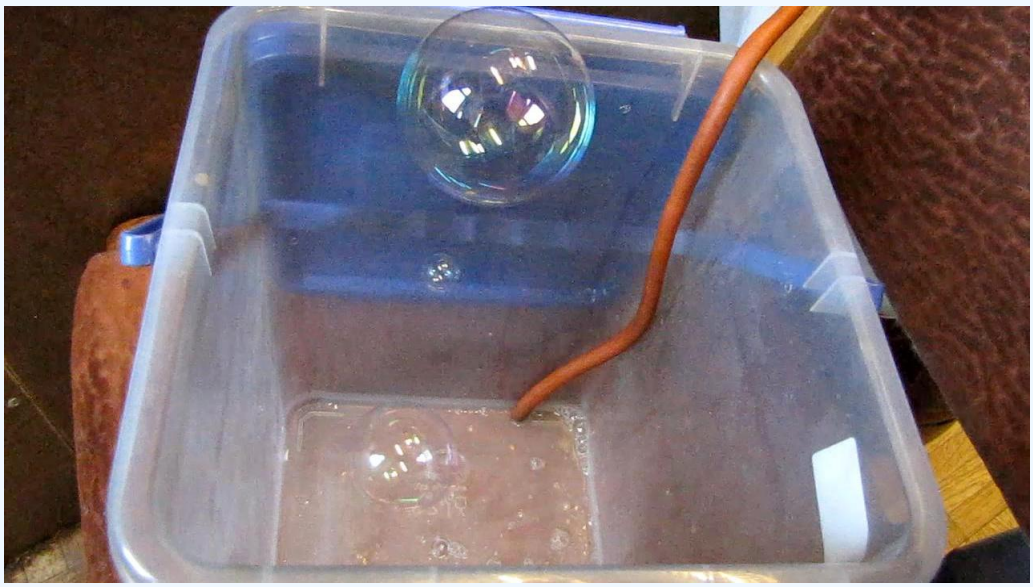


































Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)? ч.1

В.Н. Витер

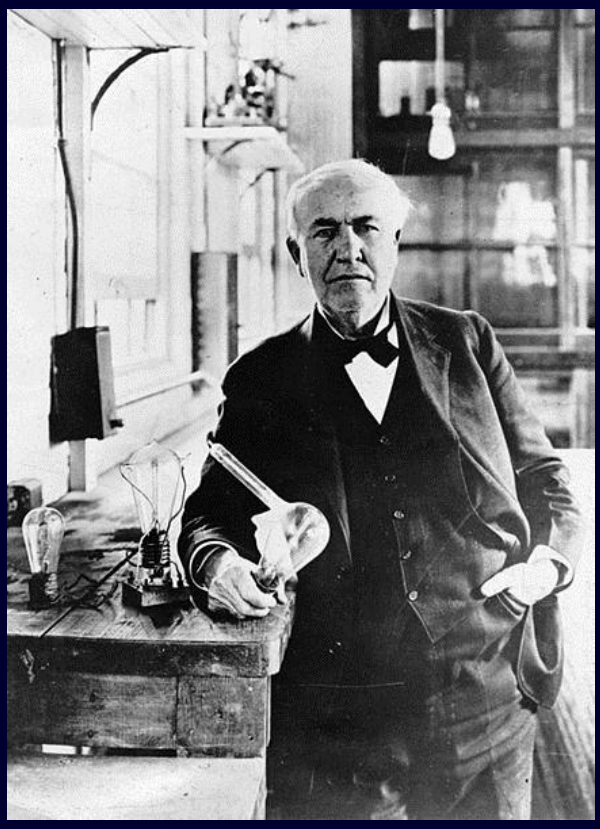
Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)?

Лампа накаливания светится за счет тонкой нити из тугоплавкого материала, которая нагревается током до высоких температур[1]. Светоотдача лампы возрастает с увеличением температуры нити накала. Именно с этим и связан выбор материала нити накала лампы, который должен выдерживать как можно более высокую температуру. Первые лампы имели угольную нить, в современных лампах используется в основном вольфрамовая спираль. (Графит возгоняется при температуре около 3700°С (атмосферное давление), вольфрам плавится при 3422°С).

Однако тугоплавкость спирали еще не означает ее устойчивость к действию кислорода воздуха - особенно при высокой температуре. Чтобы уберечь нить накала от действия воздуха, ранние лампы были вакуумными. Вакуум не только предохранял раскаленную спираль от кислорода, но и доставлял массу неудобств (в частности - вакуум усиливает испарение материала спирали). Поэтому колбы большинства современных ламп накаливания заполнены инертными газами: смесью азота и аргона, чистым аргоном, криптоном, ксеноном или криптон-ксеноновыми смесями (под пониженным давлением). Использование более тяжелых инертных газов (ксенона и криптона) уменьшает потери тепла, однако эти газы намного дороже, чем аргон. Вакуумные лампы все еще выпускают, но только небольшие и малой мощности.

---

[1] Строго говоря, вместо нити накала может применяться, например, ленточка, поэтому более правильное название "тело накала".



Томас Эдисон - американский изобретатель и предприниматель, который внес большой вклад в дело внедрения ламп накаливания



Лампа Томаса Эдисона с нитью накала из угольного волокна



Лампы накаливания с угольной нитью



Двойная вольфрамовая спираль лампы мощностью 200 Вт (фотография с увеличением)



Перегоревшая лампа накаливания. Черный налет на стекле - вольфрам, который испарился из спирали и конденсировался на стенках

Итак, колба обыкновенной лампы накаливания заполнена инертным газом. В вакуумных лампах из колбы откачан воздух. Это делается для того, чтобы раскаленная вольфрамовая спираль не контактировала с воздухом. А что случится, если защиту инертного газа (или вакуума) убрать? Дать ответ на этот вопрос очень легко.

Для этого мы вкрутили лампу накаливания на 100 Вт (220 В) в патрон, пропилили колбу лампы треугольным напильником и осторожно обломали стекло пинцетом.

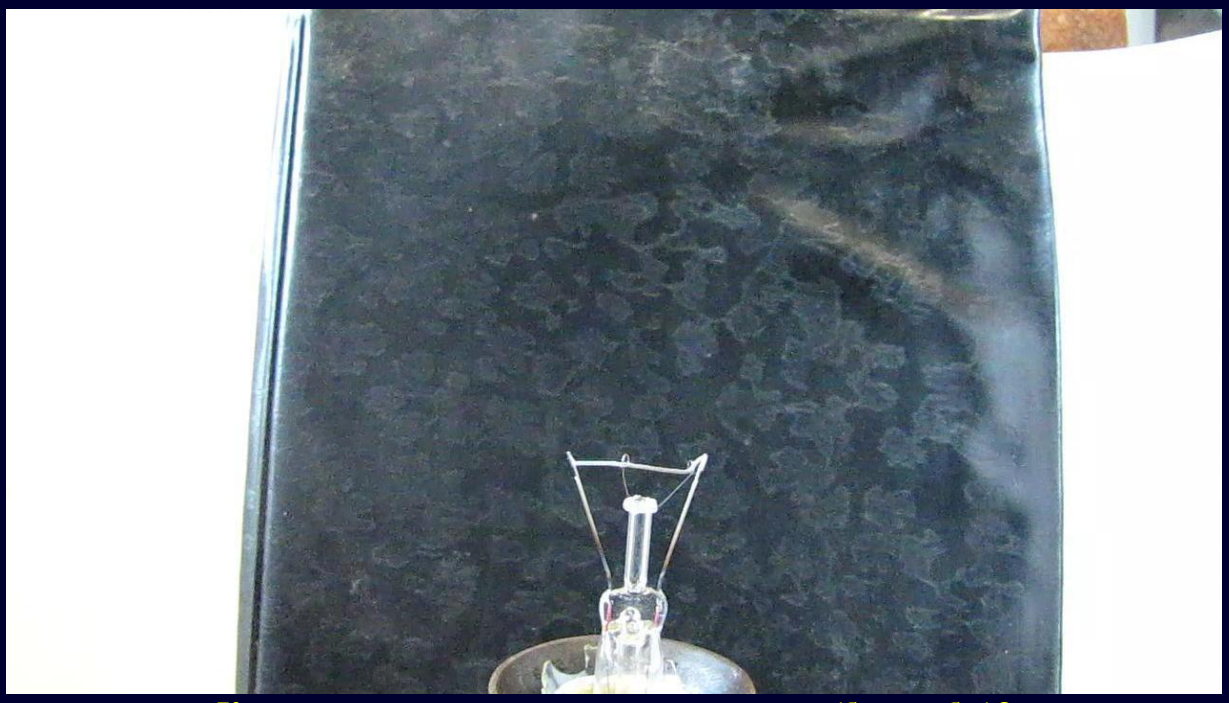
Когда включил ток, спираль ярко засветилась, от нее пошел белый дым триоксида вольфрама WO_3 (вольфрамового ангидрида), а через несколько секунд спираль перегорела и погасла, поскольку нарушился контакт. Спираль стала черной. Все это происходило практически беззвучно.

Выключив ток, мы снова присоединили оборванную спираль к контактам и повторили опыт. Эксперимент прошел аналогично, с той разницей, что на этот раз спираль рассыпалась на несколько кусочков, которые уже не годились для повторения опыта.

Тогда мы подключили к электродам лампы вольфрамовую спираль от другой лампочки, мощностью 150 Вт. При включении тока спираль ярко загорелась, пошел белый дым, после чего раздался треск и спираль погасла. На вид спираль была целой, но от прикосновения рассыпалась.

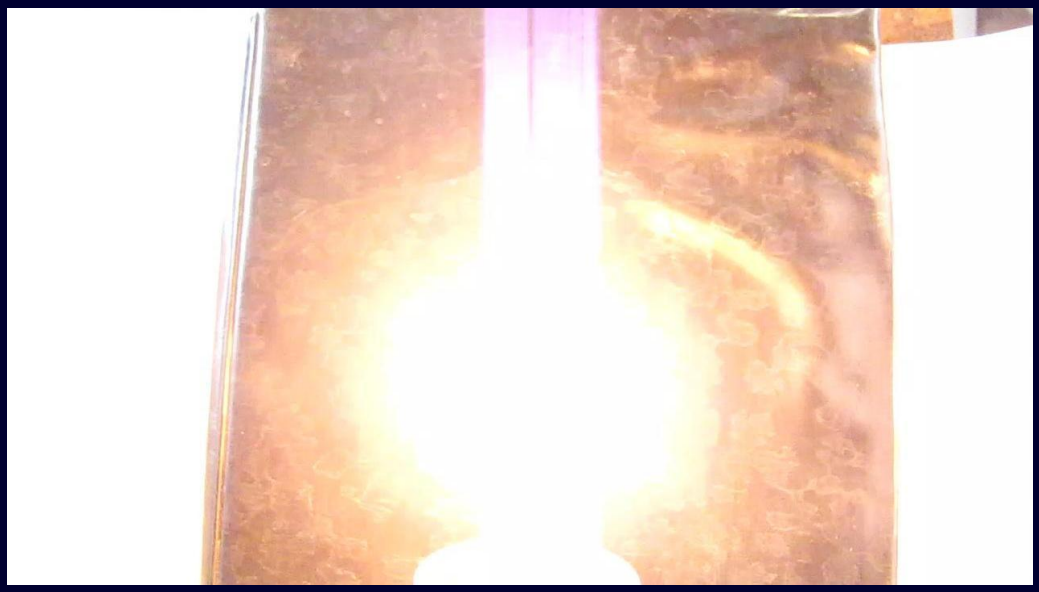
Таким образом, вольфрамовая нить накала сгорает на воздухе за считанные секунды. При этом образуется белый дым вольфрамового ангидрида. Иногда такое явление удается наблюдать без всяких экспериментов. Случается, что при попытке включить казалось бы целую лампу накаливания она ярко вспыхивает и сразу же перегорает, при этом колба покрывается изнутри белым налетом. Не трудно догадаться, что лампа потеряла герметичность, и внутрь колбы попал воздух. Белый налет на стенках - уже знакомая нам трехокись вольфрама.

Смотреть Видео (25 Мб, .avi)



Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)?











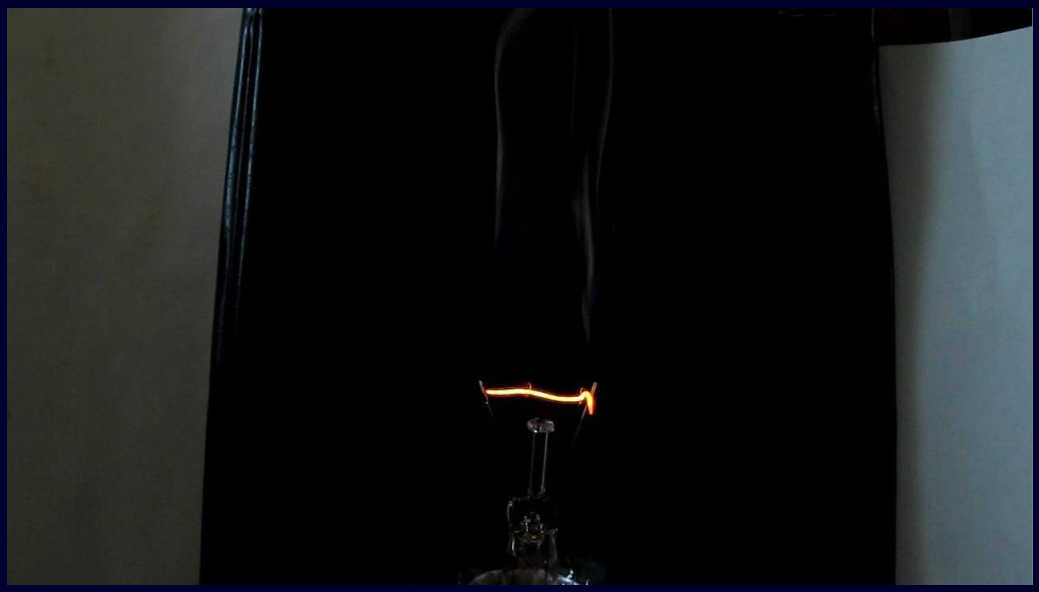


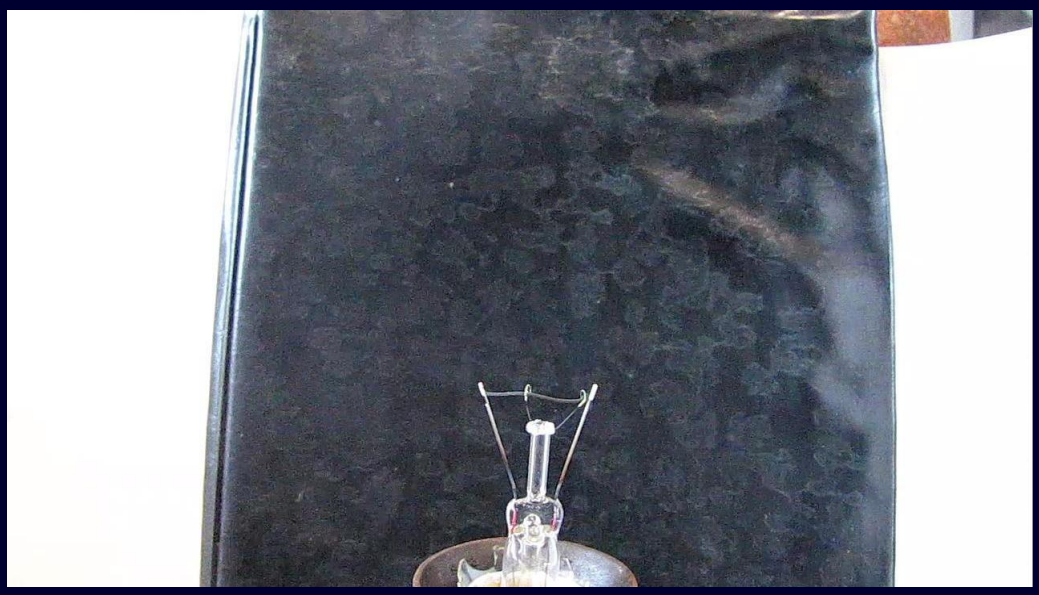


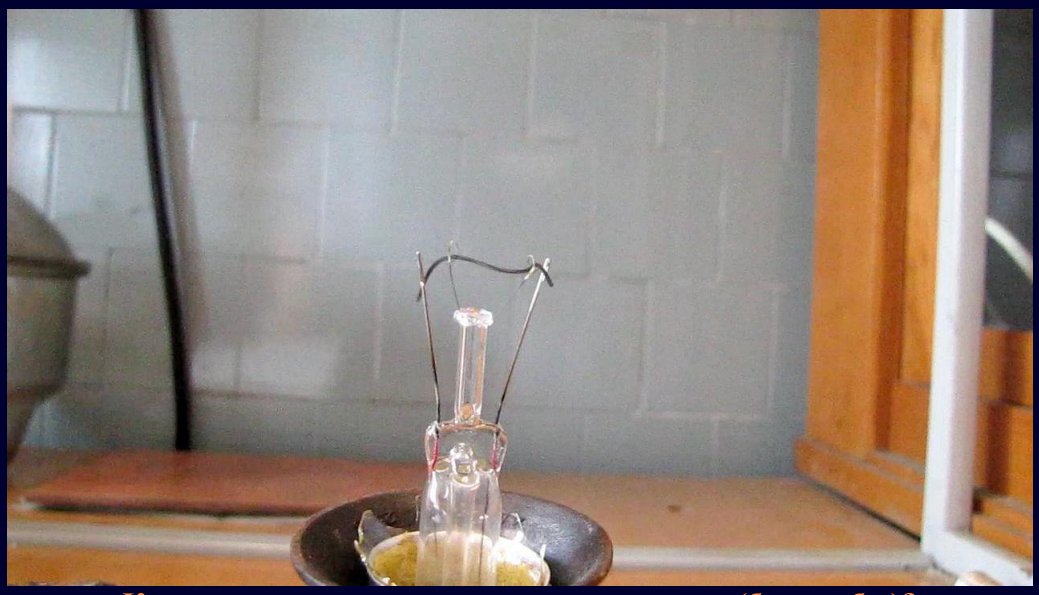






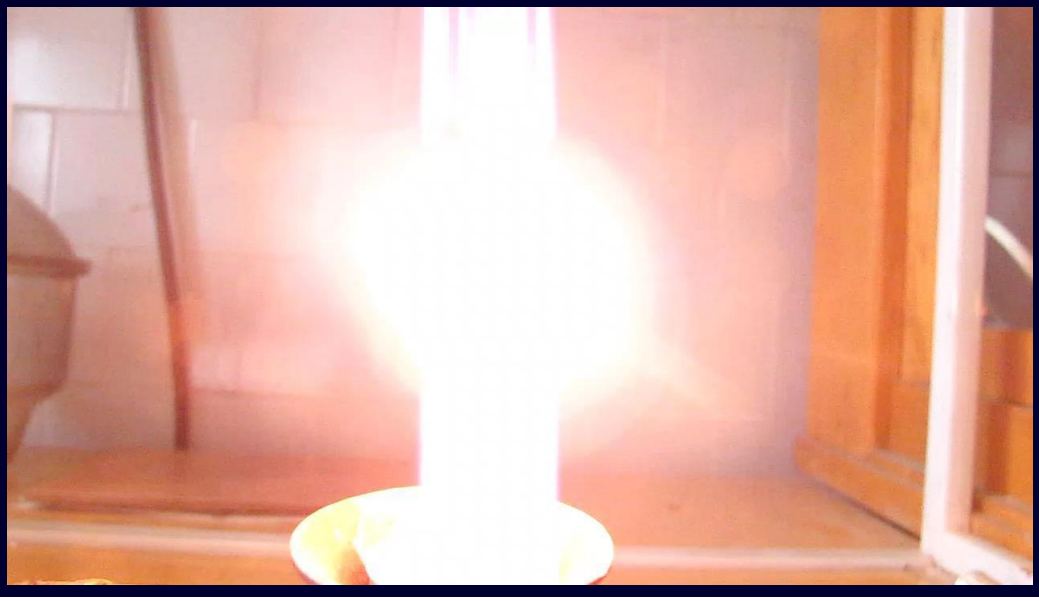






Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)?





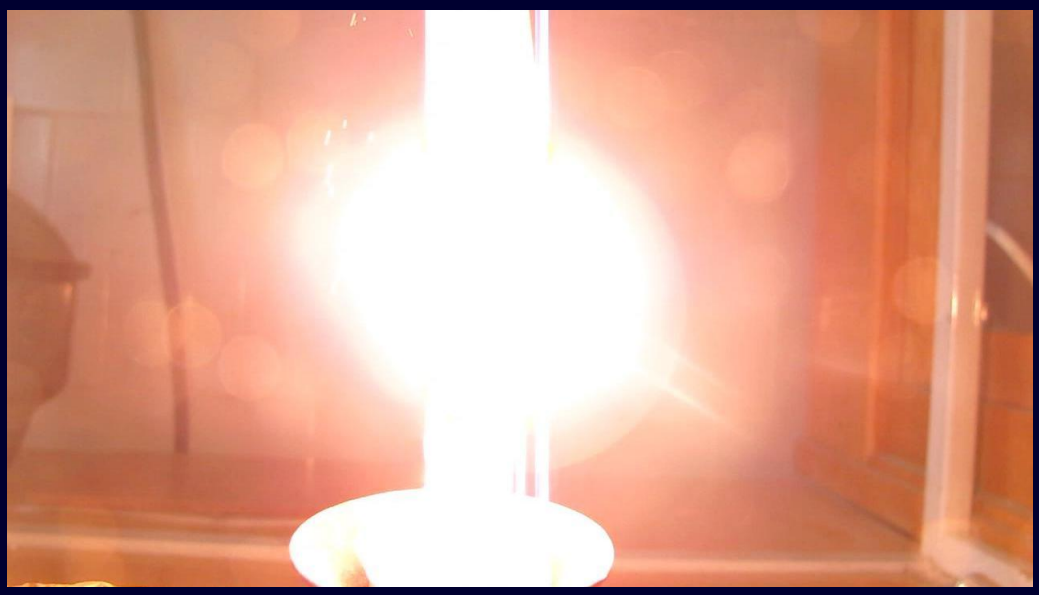














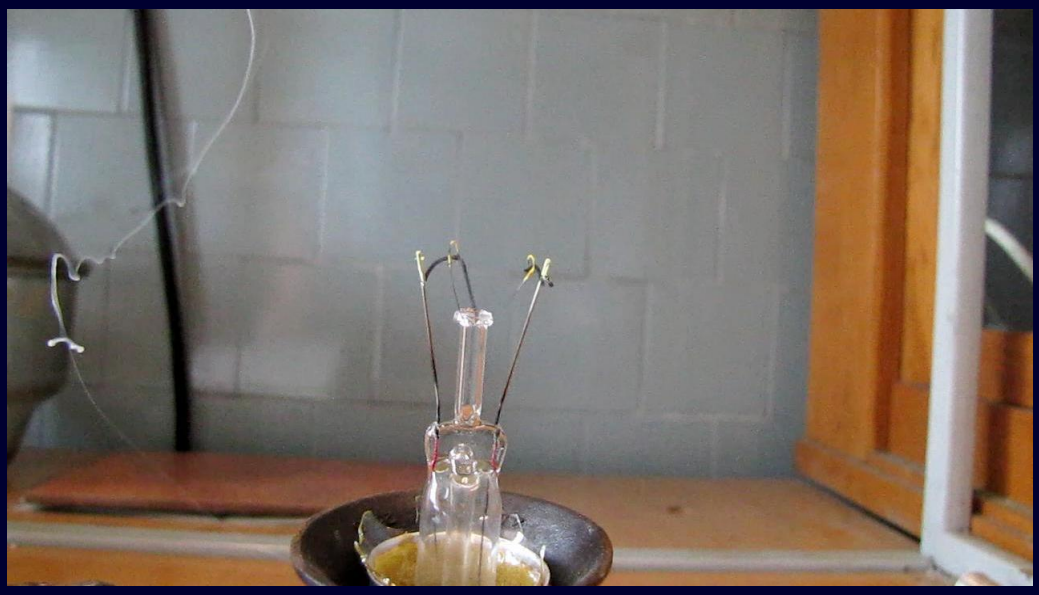










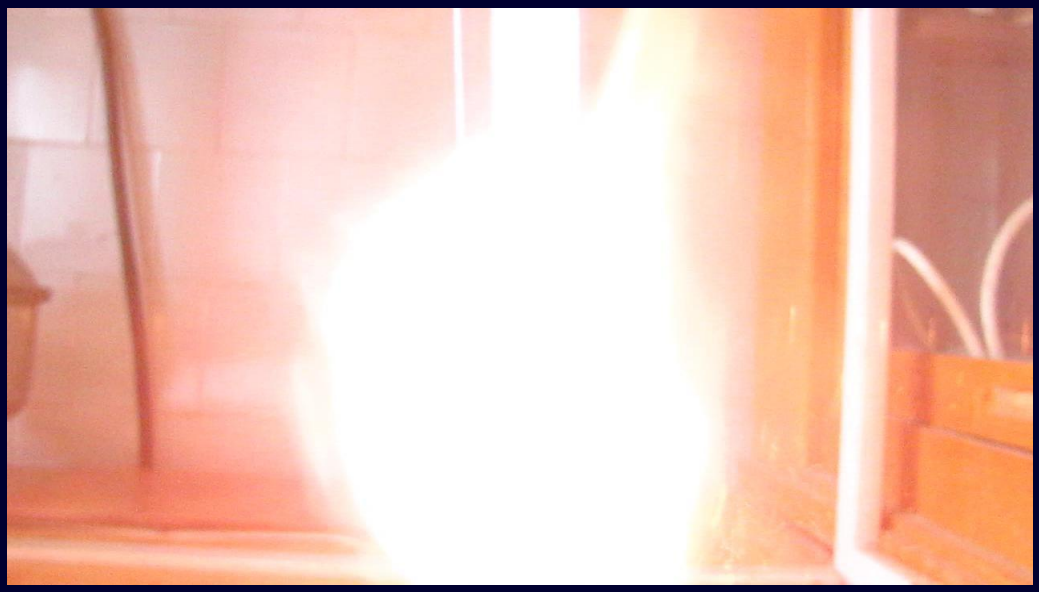




Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)?





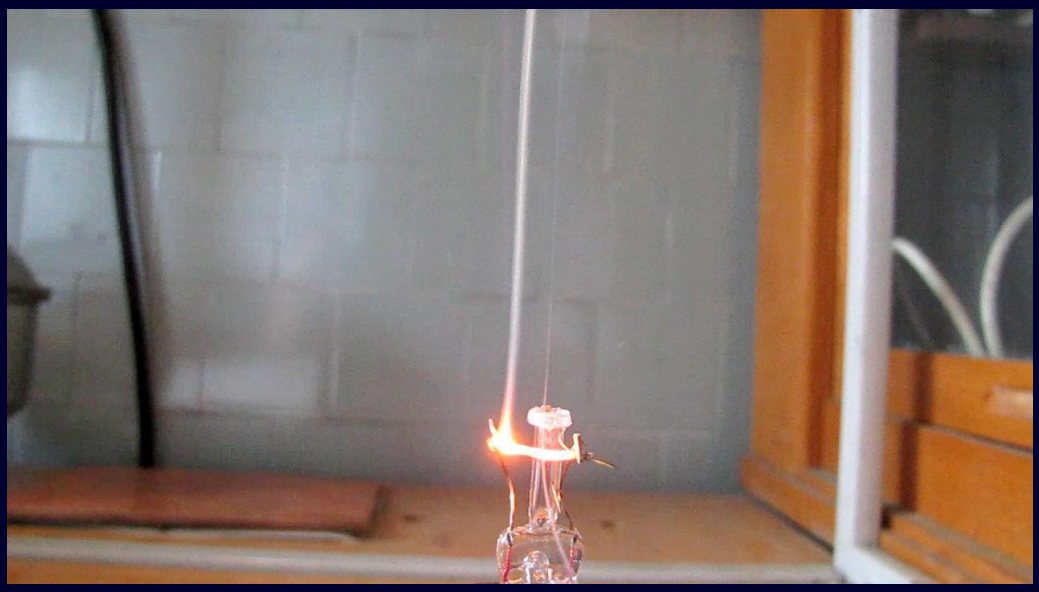






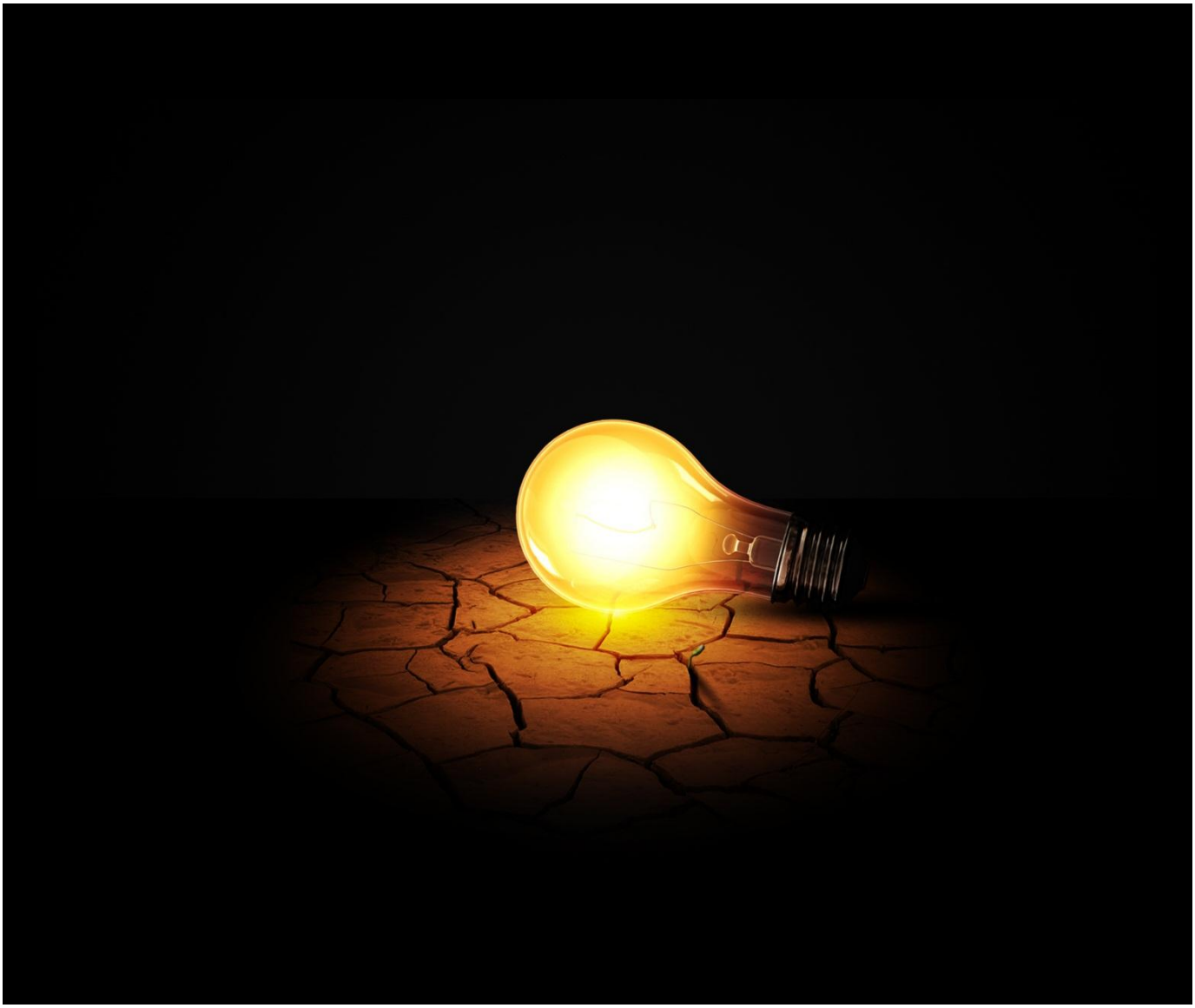












Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)? ч.2

В.Н. Витер

Медная проволока между контактами лампы

После того, как вольфрамовые спирали от двух лампочек сгорели, мы решили попробовать использовать вместо вольфрамовой спирали медную проволочку толщиной с волос (от многожильного провода). Понимая, что дело может кончиться коротким замыканием (КЗ), последовательно с лампой подсоединили электрическую плиту.

Когда включили ток, ничего не произошло. Совсем ничего. Проверили соединения - вроде все подключено. Снова включили ток - и ничего. Рискнули включить лампочку напрямую - без электрической плитки, и тоже ничего. Когда мы выкрутили лампочку (вернее то, что от нее осталось) из патрона, то обнаружили, что перегорел один из электродов, которые подводят ток к спирали.

Взяли другую лампу (спираль от которой была использована в третьем опыте) и подсоединили к ее электродам медную проволоку (последовательно подключили плитку). Включили ток. Сначала в месте контакта проволочки и электродов лампы появились искры, потом с проволочкой ничего не происходило, но правый электрод снизу раскалился и стал светиться желтым. Запахло горелым, и через несколько секунд пришлось выключить ток.

Смотреть Видео (17 Мб, .avi)



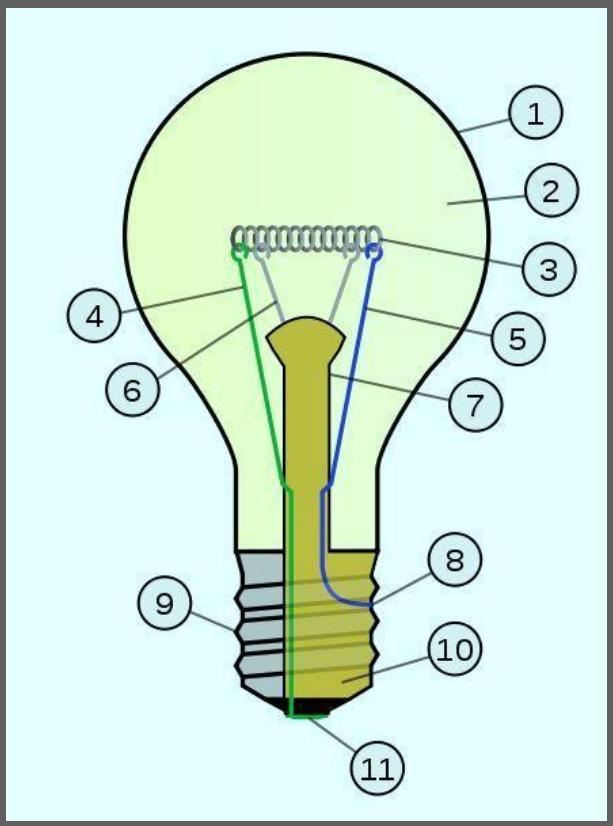
Медная проволока между контактами лампы











Конструкция лампы накаливания :
1 — колба; 2 — полость колбы (наполненная инертным газом или вакуумированная); 3 — тело накала; 4, 5 — электроды (токовые вводы); 6 — крючки-держатели тела накала; 7 — ножка лампы; 8 — внешнее звено токоввода, предохранитель; 9 — корпус цоколя; 10 — изолятор цоколя (стекло); 11 — контакт донышка цоколя.

Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)? ч.3

В.Н. Витер

Графит между электродами лампы

После медной проволочки мы решили поместить между контактами электрической лампы графитовый грифель от простого карандаша. Когда ток включили, послышался треск, грифель загорелся, появился дым. Через несколько секунд расплавились электроды лампы (в месте контакта с графитом) и грифель упал[1].

Стало очевидно, что электрическая лампа в этом опыте лишняя: стержень необходимо закрепить между двумя более надежными электродами. Что из этого получилось, вы узнаете из следующей части статьи.

---

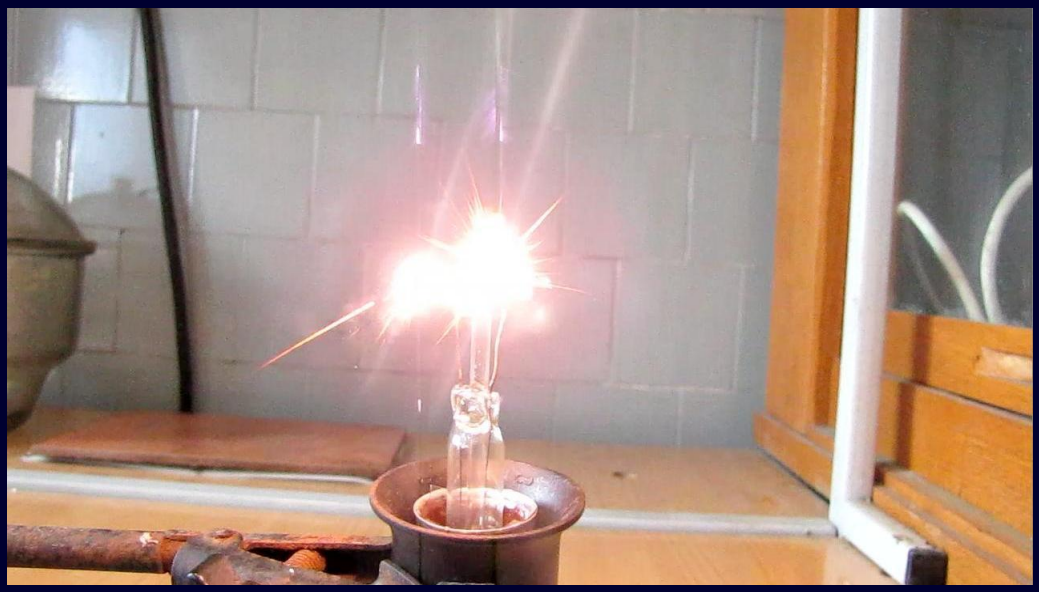
[1] **Последовательно** с грифелем следует включить хорошее сопротивление, например, электрическую плитку (как в нашем случае), утюг или мощный кипятильник (кипятильник должен быть в воде!). Это необходимо, чтобы избежать короткого замыкания (КЗ).

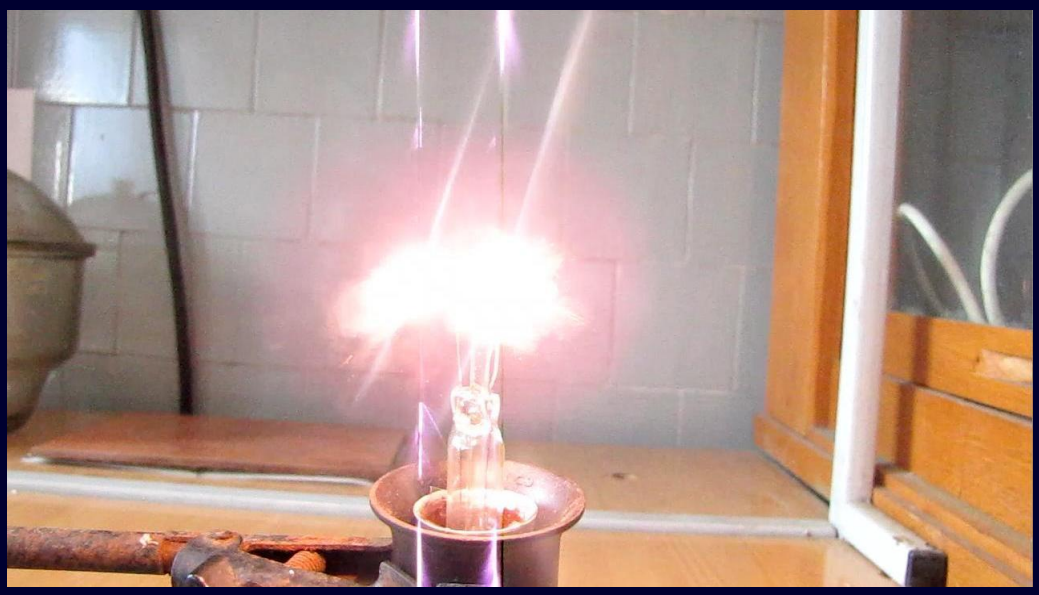
Смотреть Видео (14 Мб, .avi)

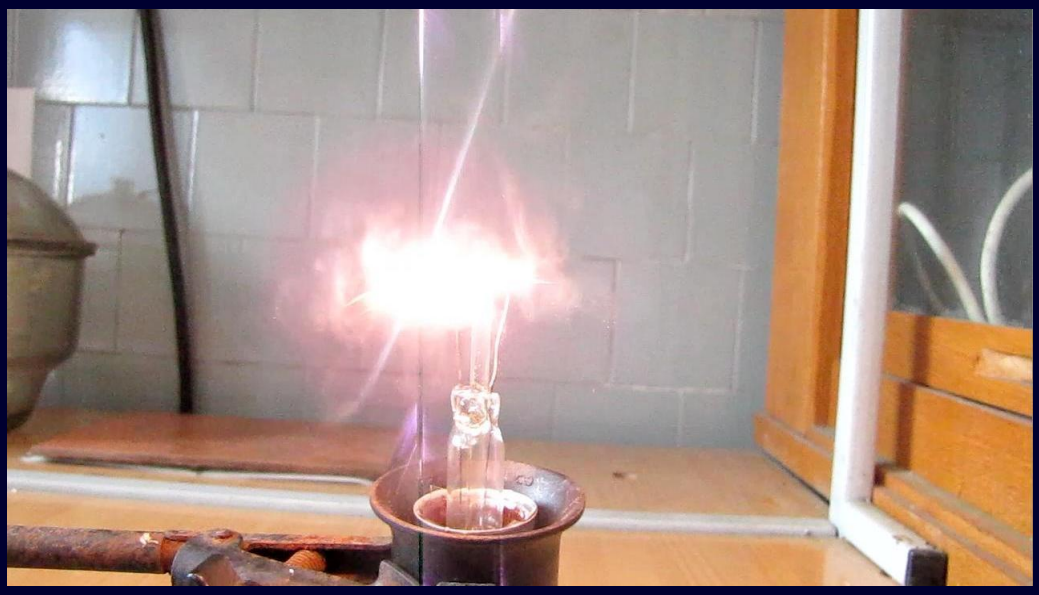


Графит между электродами лампы















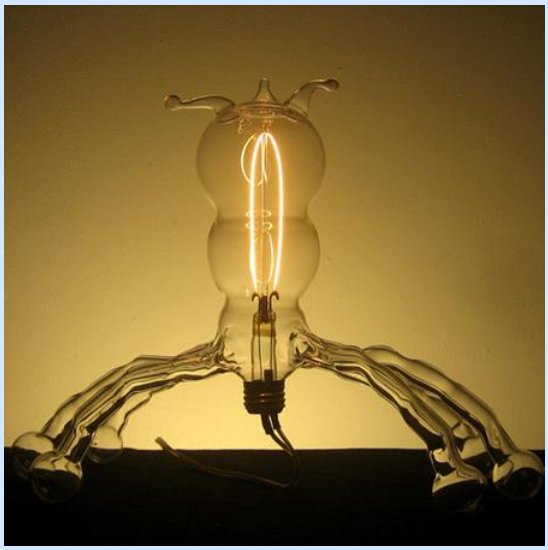


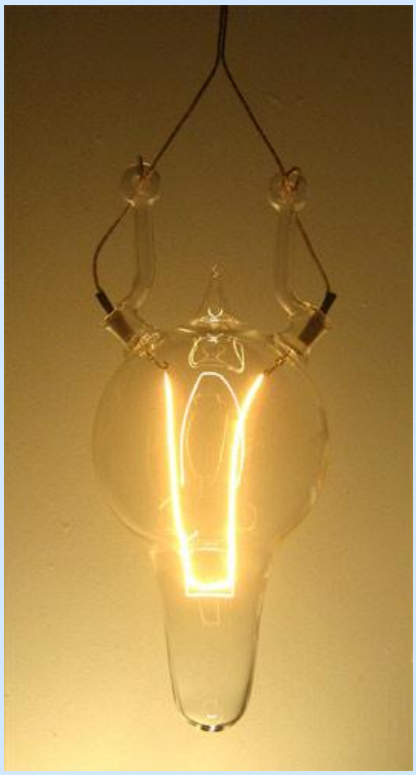




Необычные лампы накаливания (автор Дилан Кеде Ролофс)









Как горит лампа накаливания на воздухе (без колбы)? ч.4

В.Н. Витер

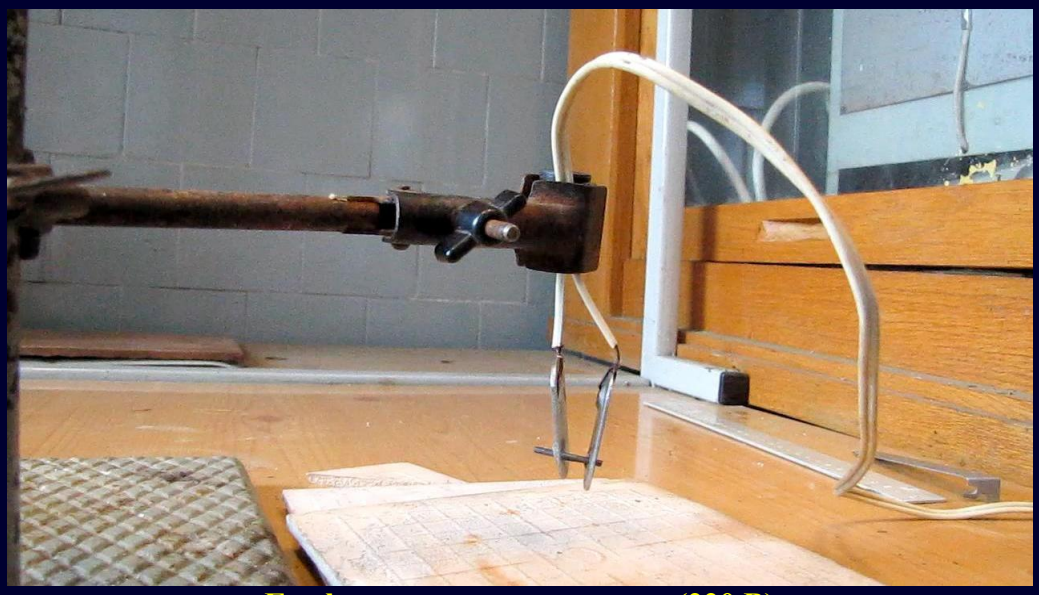
Графит между электродами (220 В)

Как мы убедились из предыдущего опыта, графит, подсоединенный между двумя электродами лампы накаливания, довольно ярко горит. Однако сами электроды быстро плавятся и графитовый стержень падает. Другими словами, необходимы электроды понадежнее.

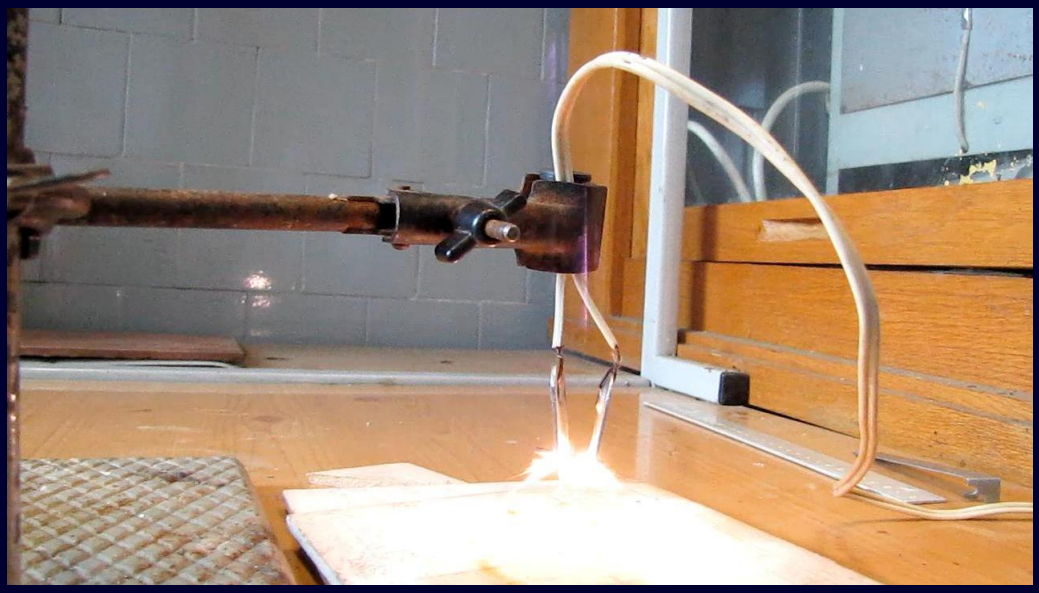
Мы закрепили грифель от простого карандаша с помощью двух металлических пластинок с отверстиями. К пластинкам подключили ток (осветительная сеть: переменный ток напряжением 220 В). Первые несколько секунд после включения тока появилось пламя (из угля выделялись и сгорали летучие продукты термолиза), потом пламя исчезло, в местах контакта металла и графита наблюдалось искрение (вернее, образовывалась небольшая дуга), слышался характерный треск. Иногда в месте контакта вспыхивала яркая электрическая дуга. В целом "горение" протекало в пульсирующем режиме. Сам грифель накалялся до красного и желтого цвета. Эксперимент длился несколько минут, после чего грифель либо перегорал и размыкал цепь, либо контакт нарушался без видимой причины и грифель остывал (в последнем случае нарушение контакта происходило из-за образования на поверхности грифеля слоя золы: грифель от простого карандаша - не совсем чистый графит).

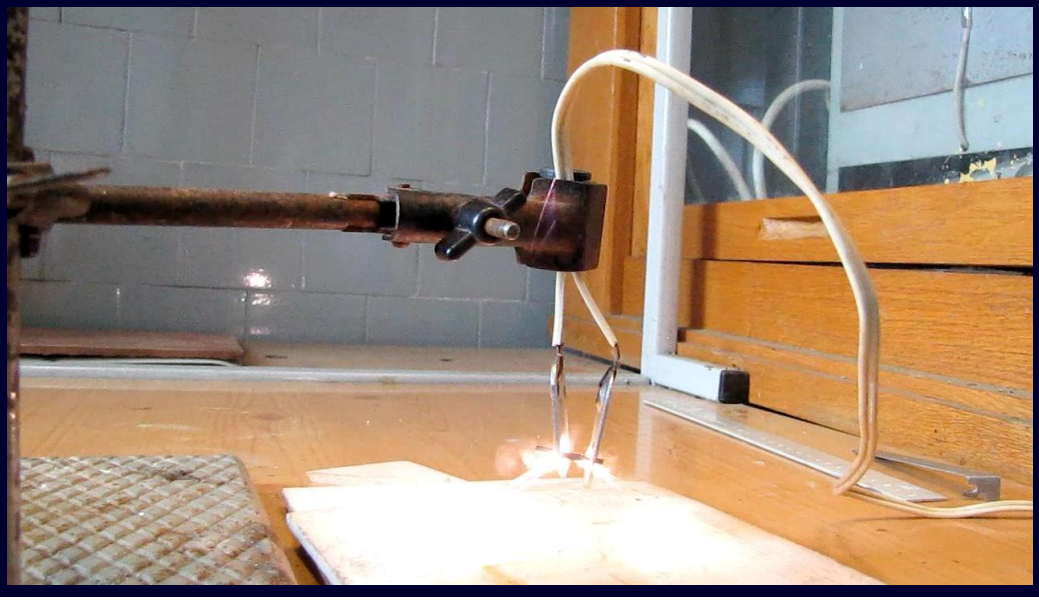
Смотреть Видео (42 Мб, .avi)

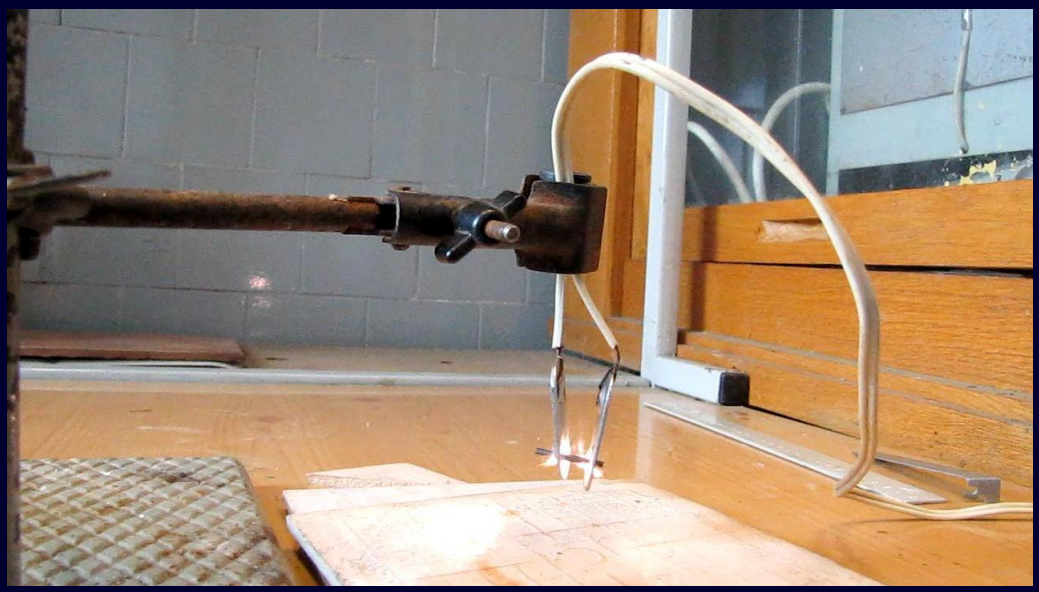
Смотреть Видео 2 (62 Мб, .avi)

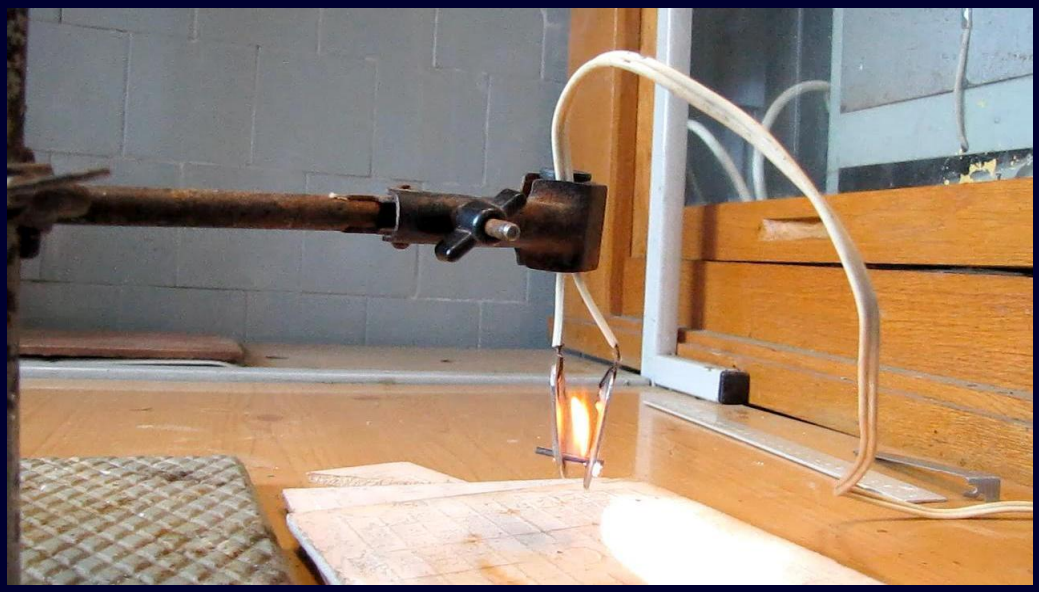


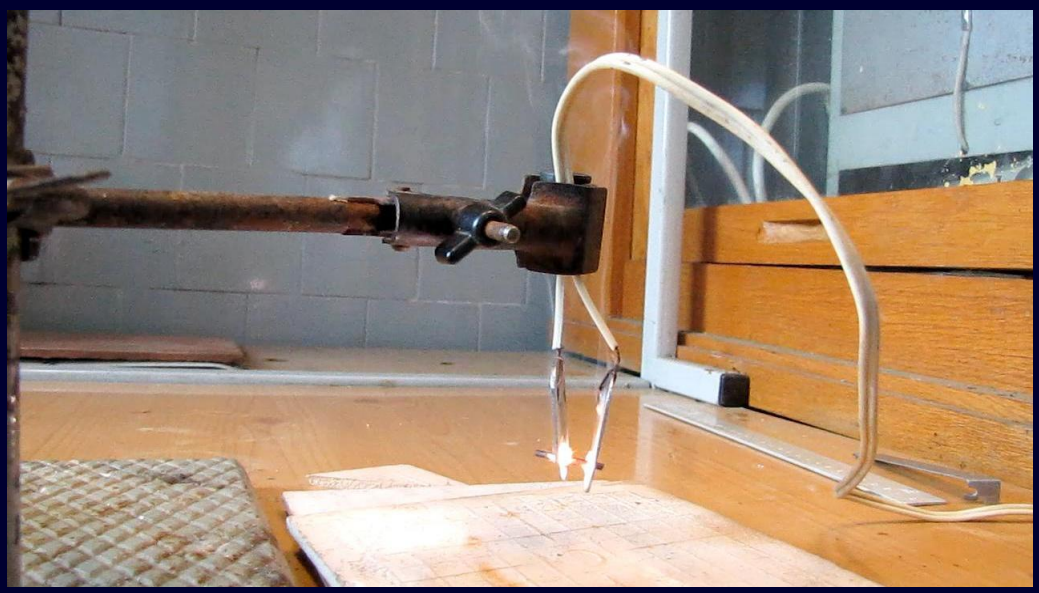
Графит между электродами (220 В)

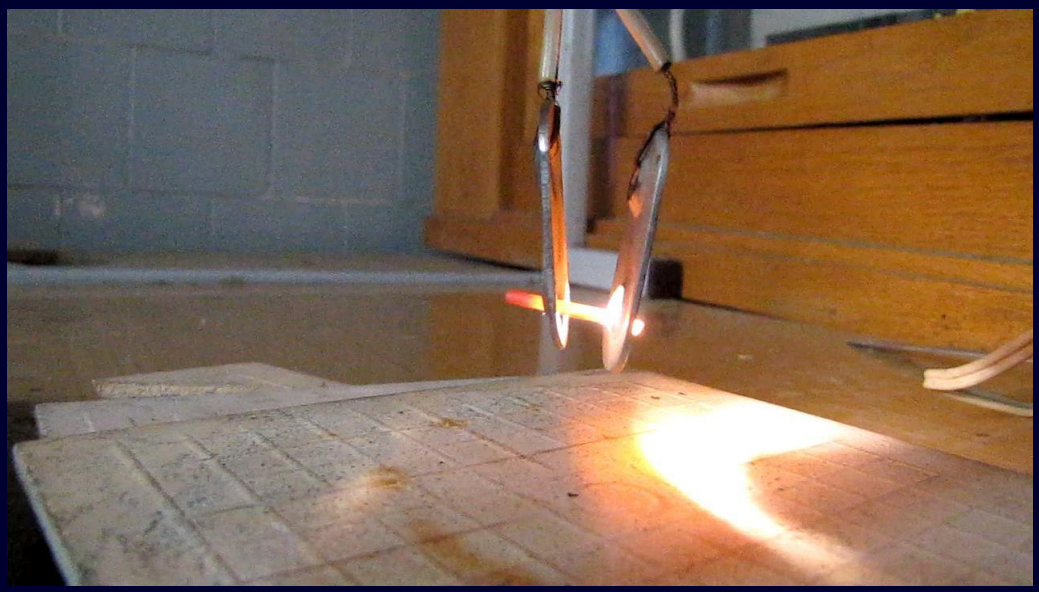


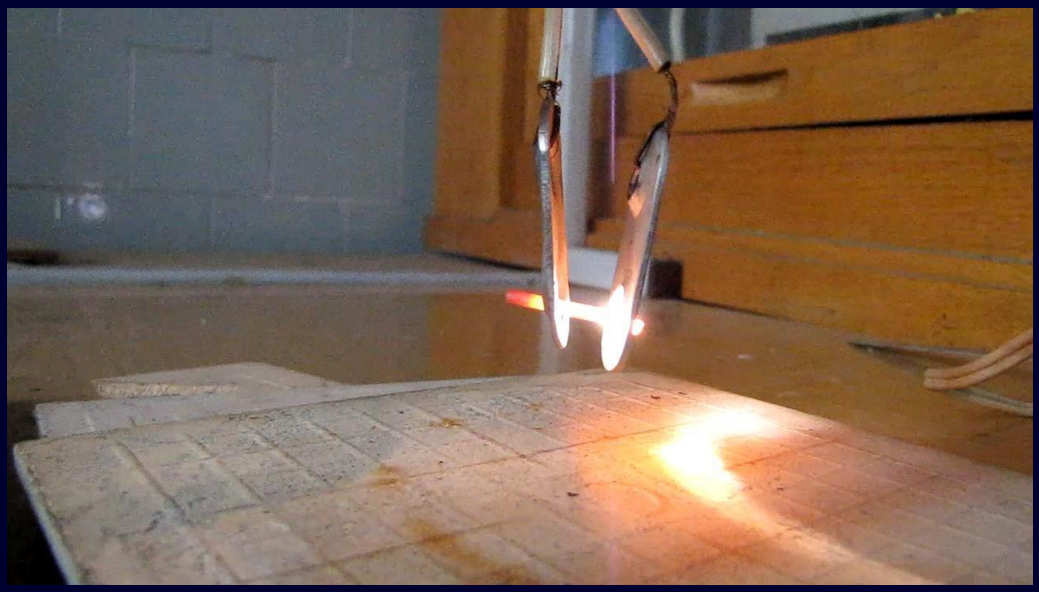


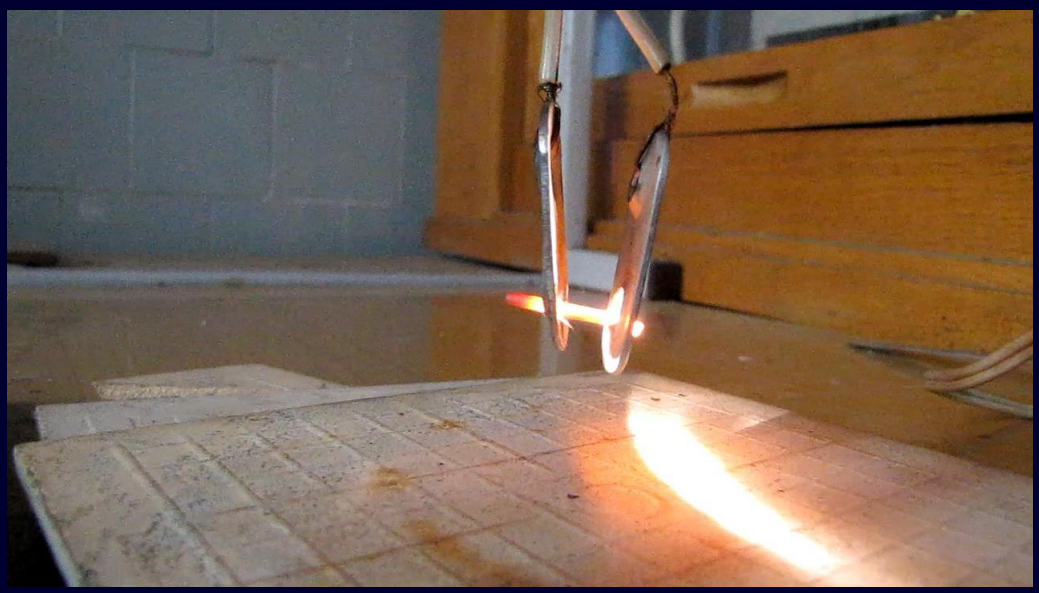


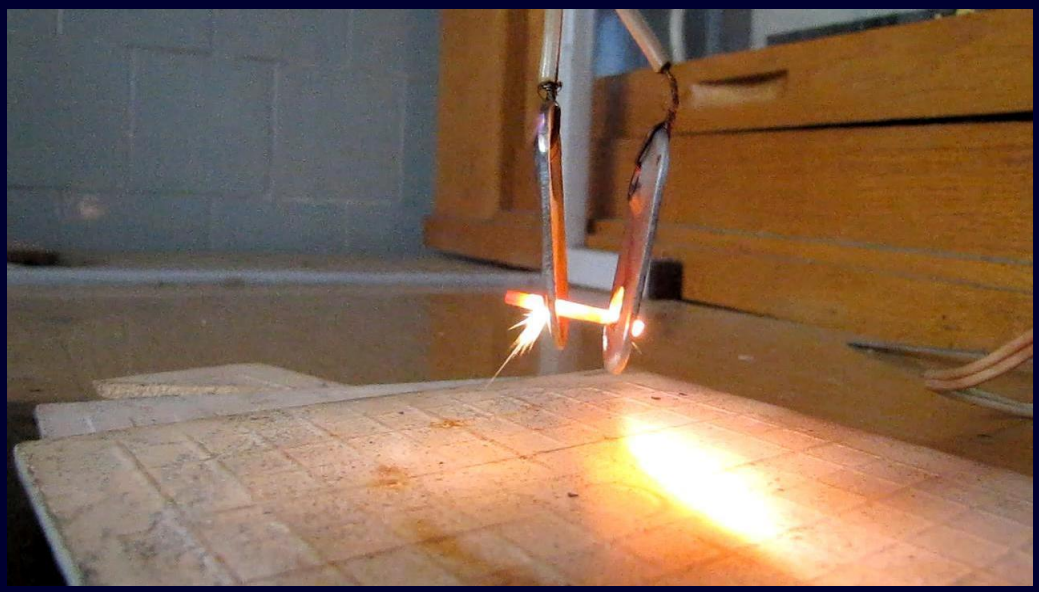


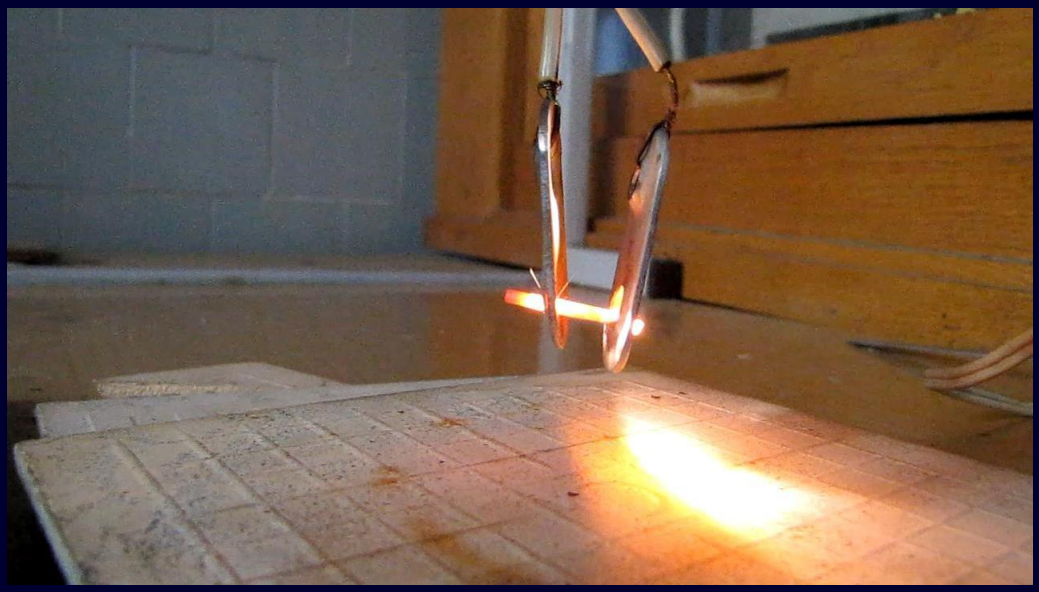


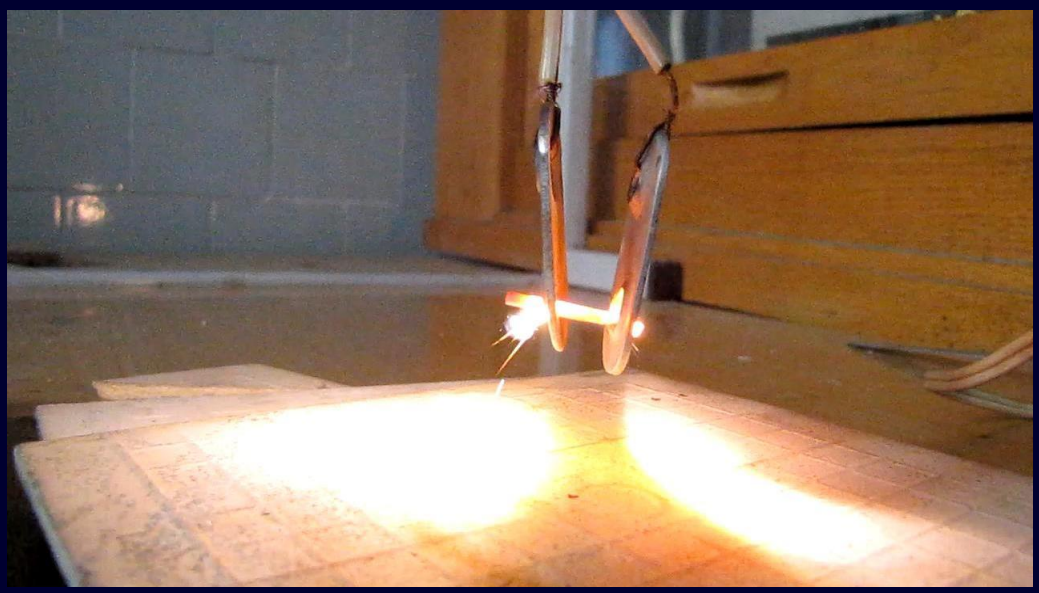


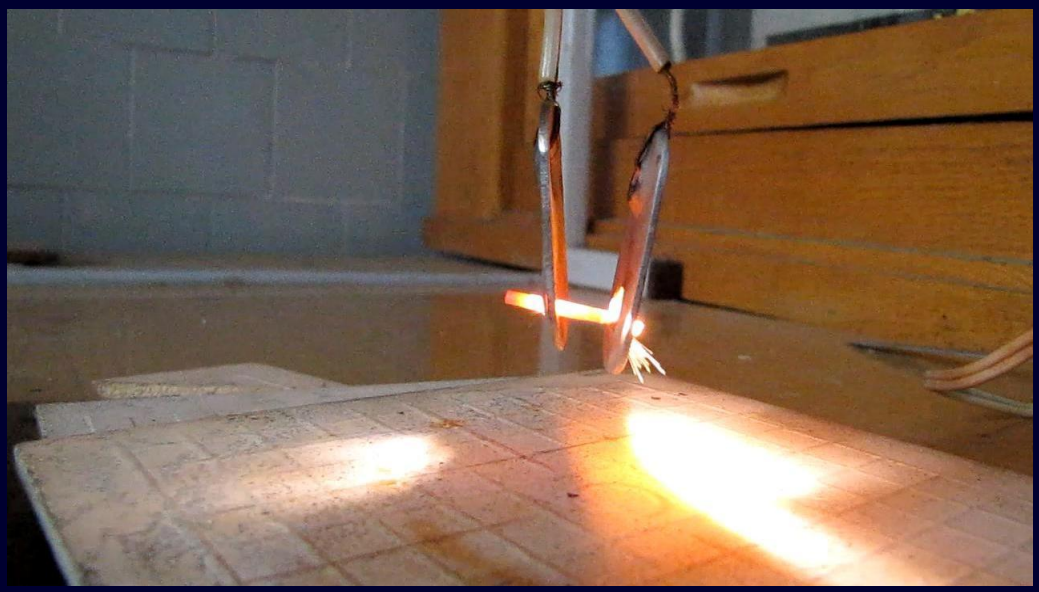


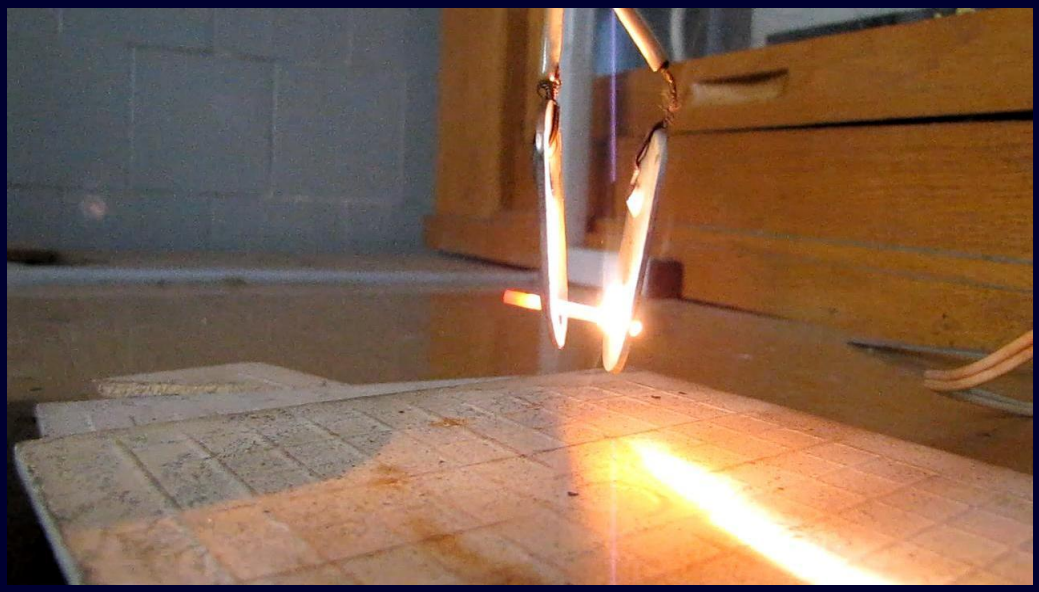


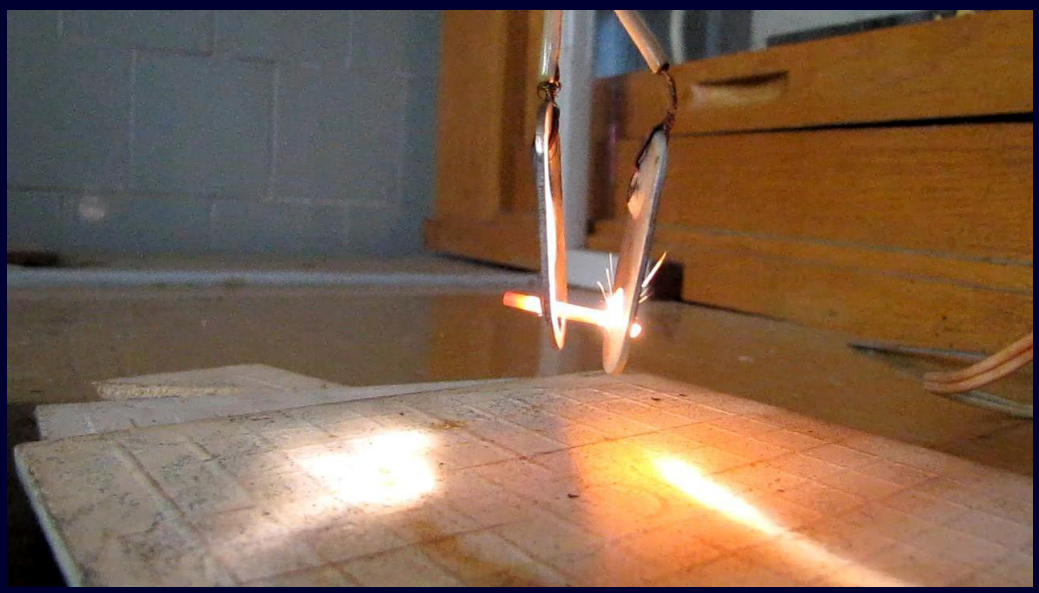


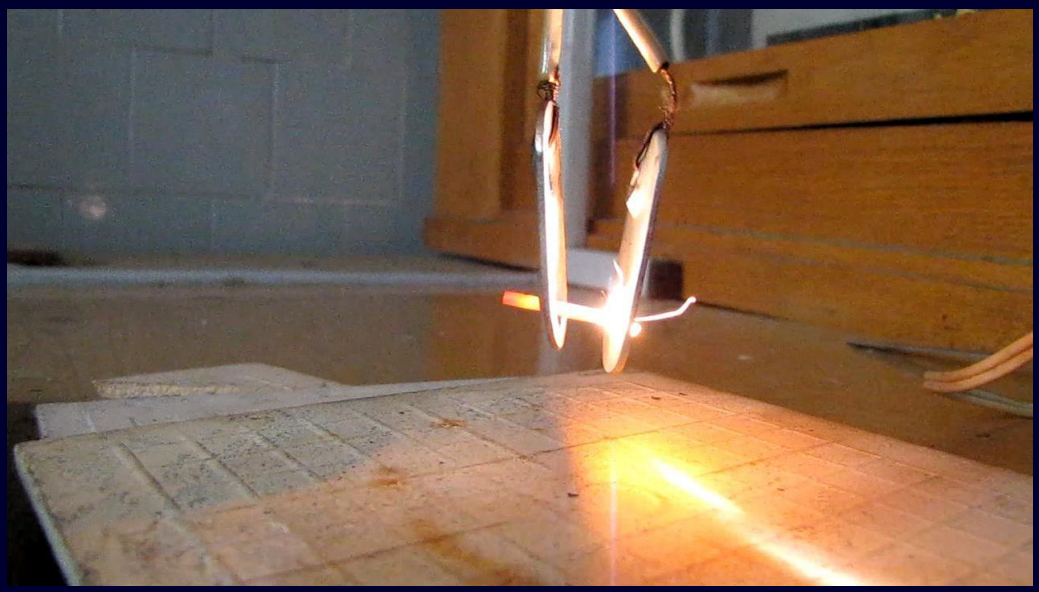


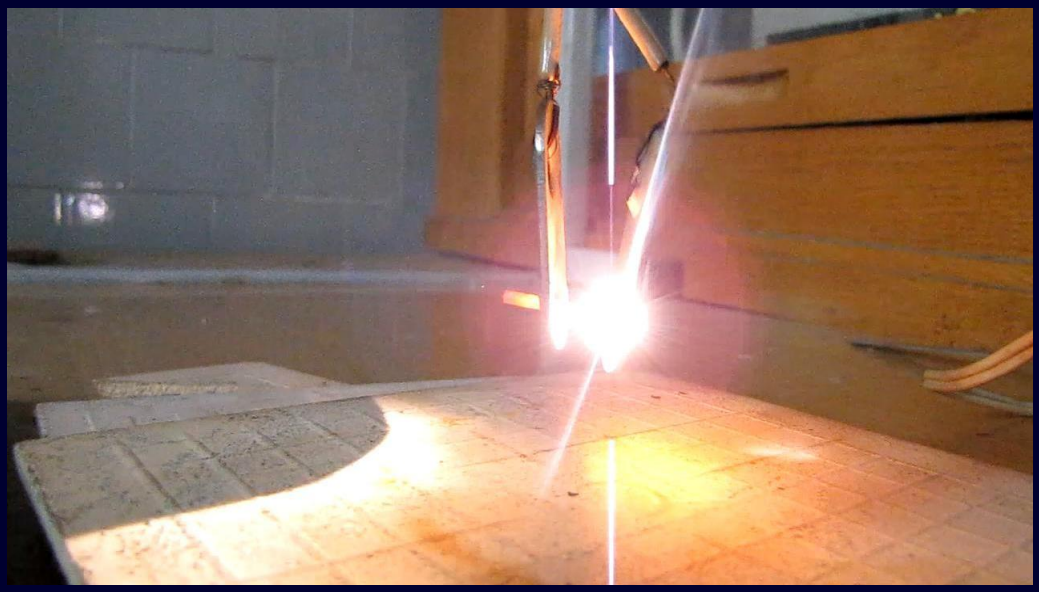


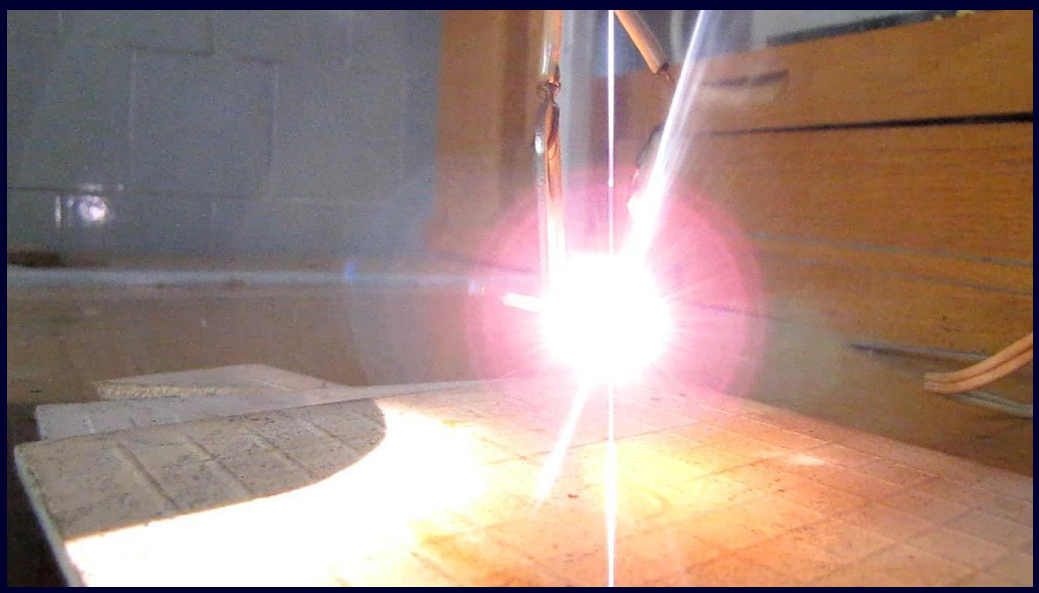


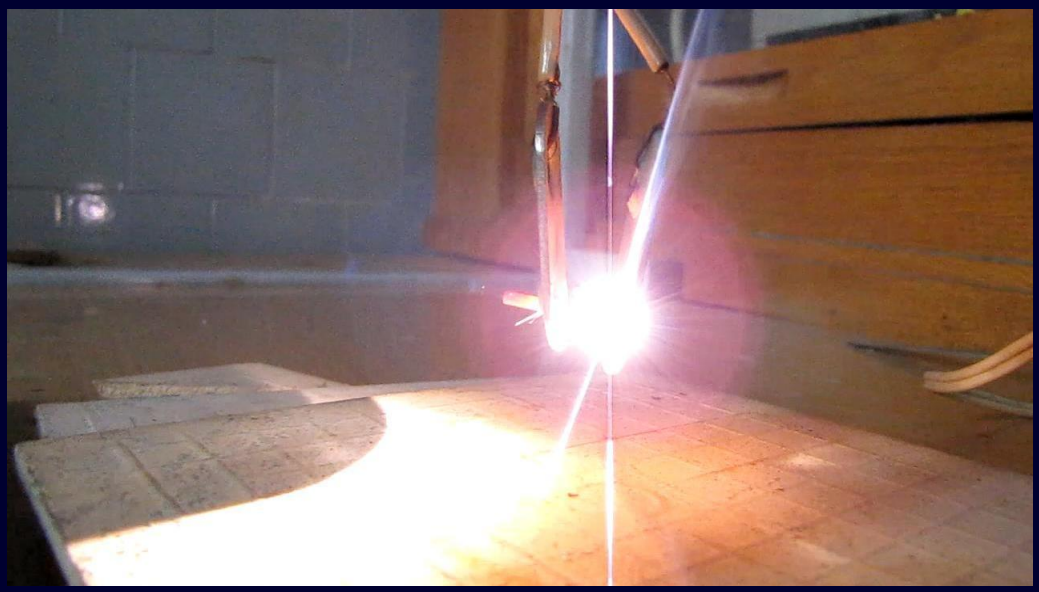


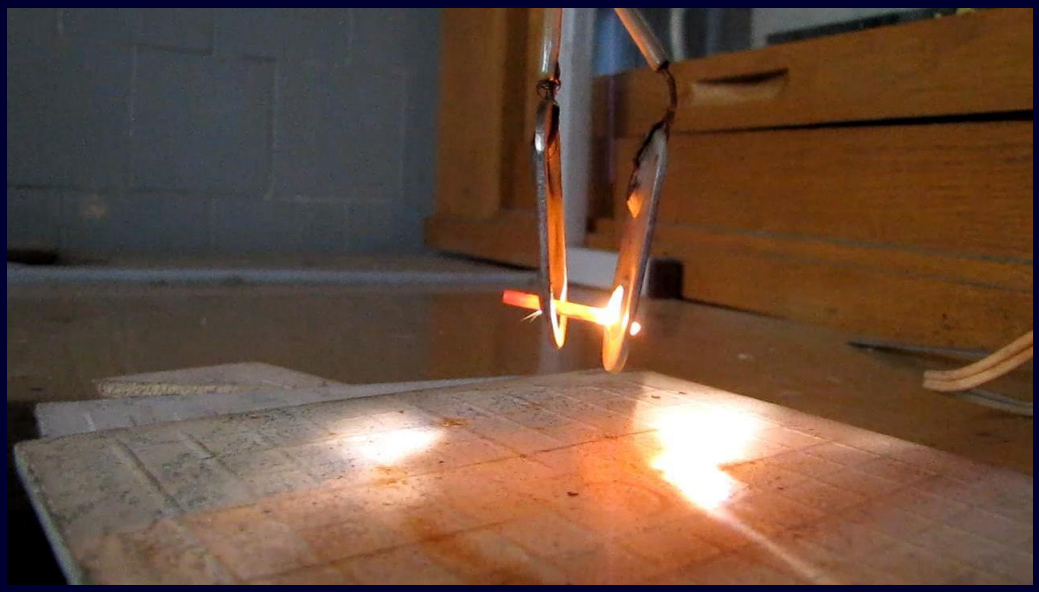


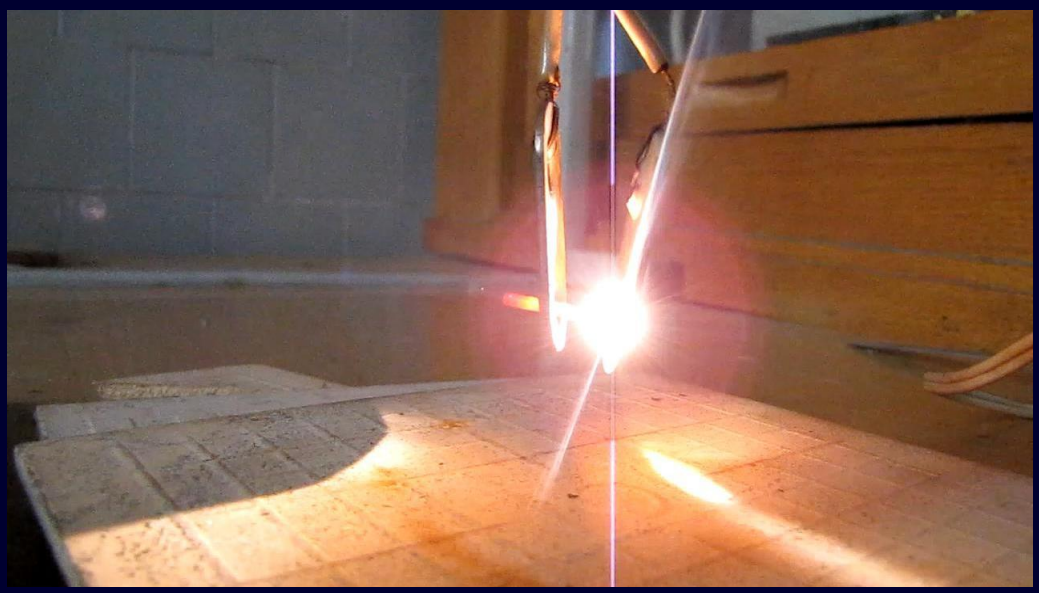


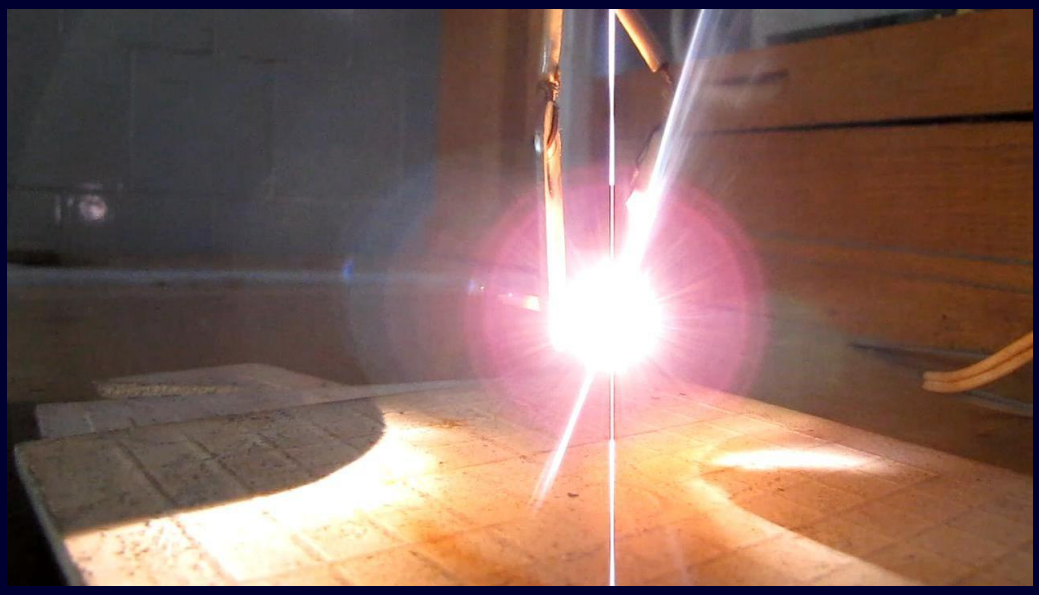


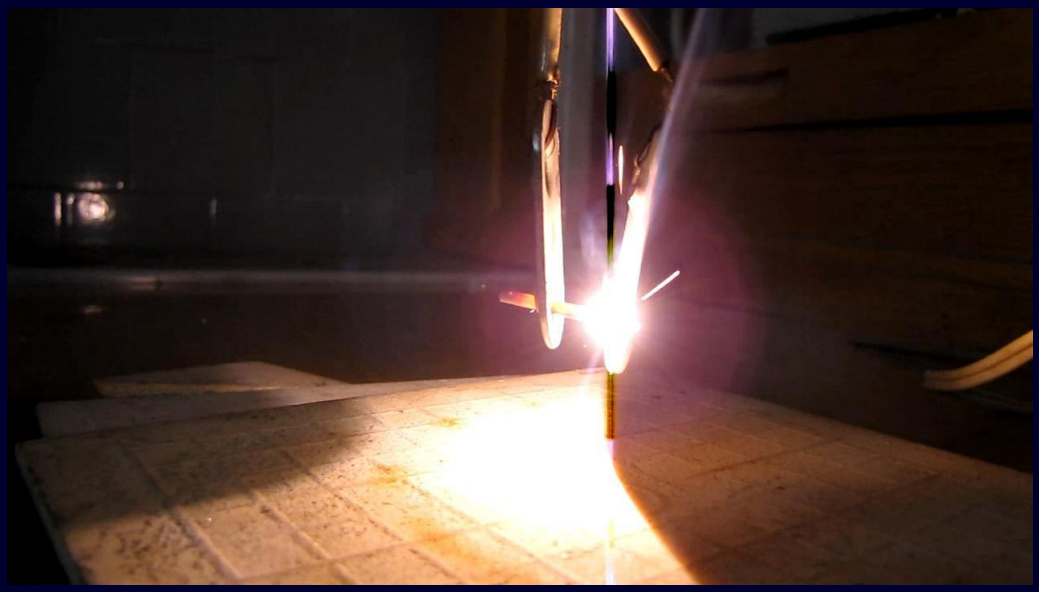




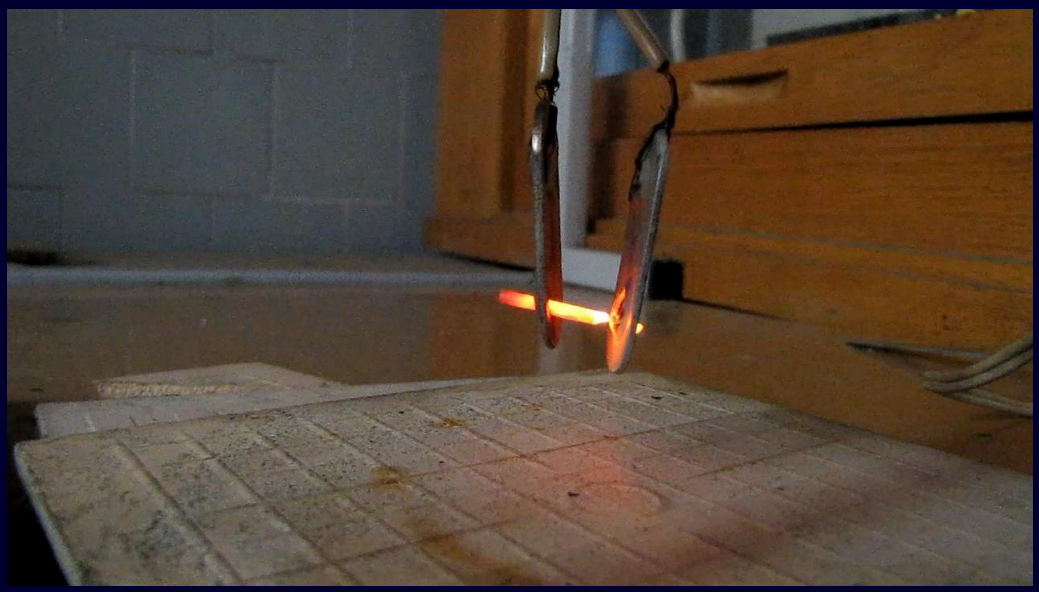


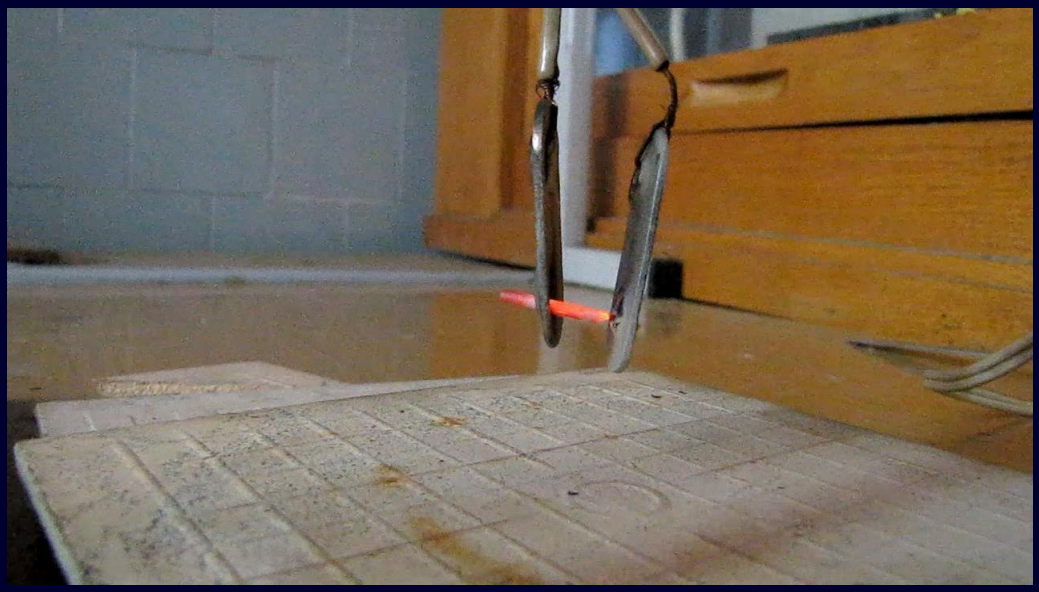








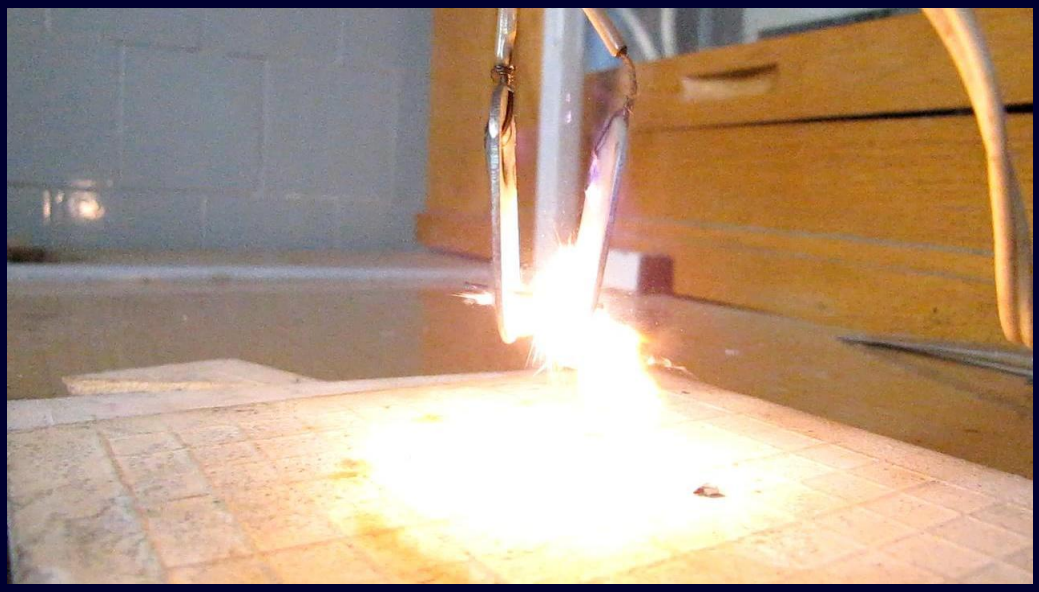


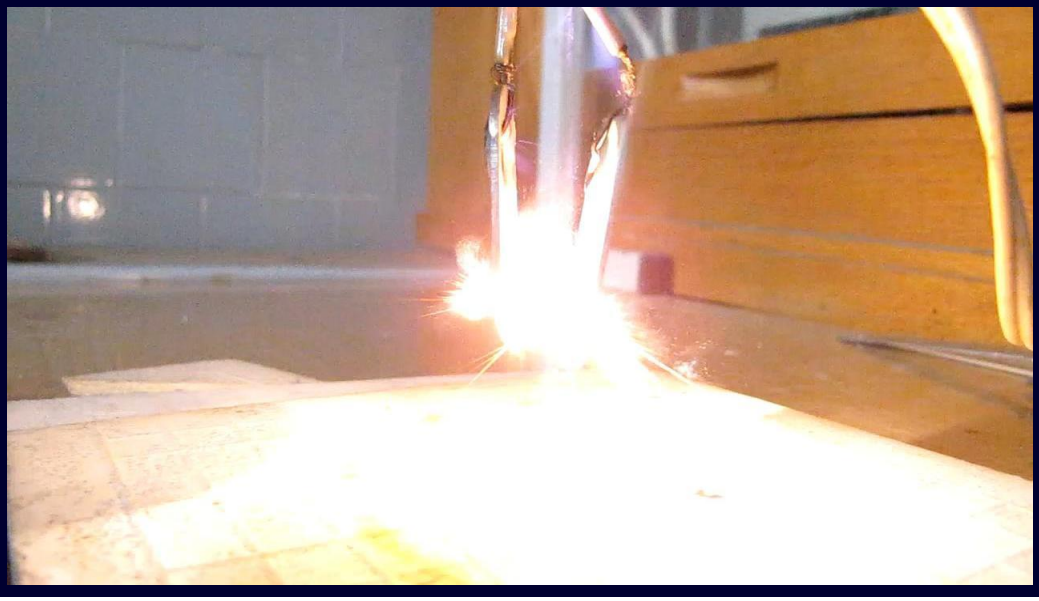


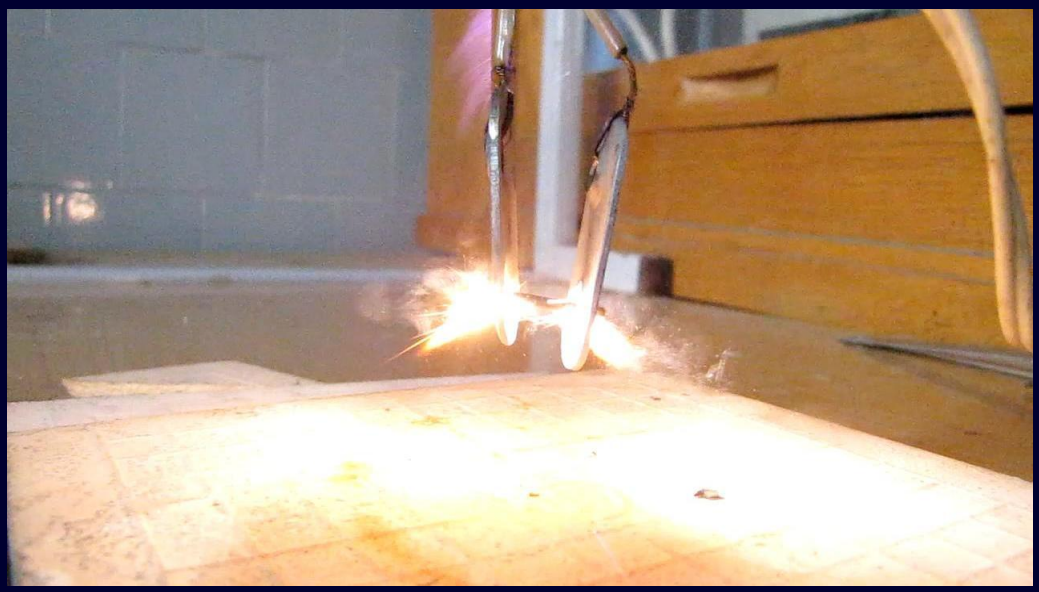


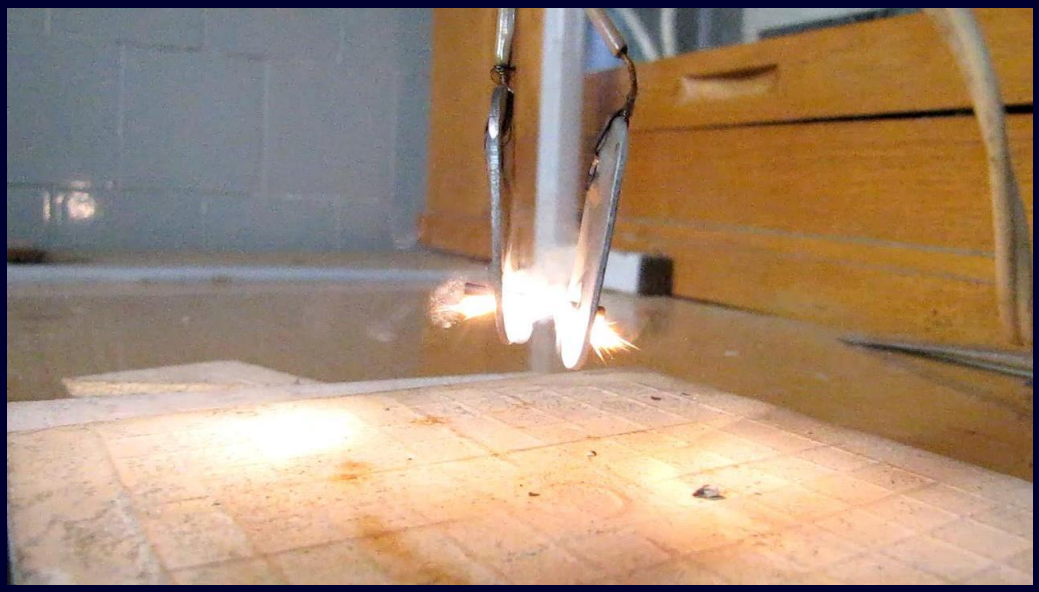


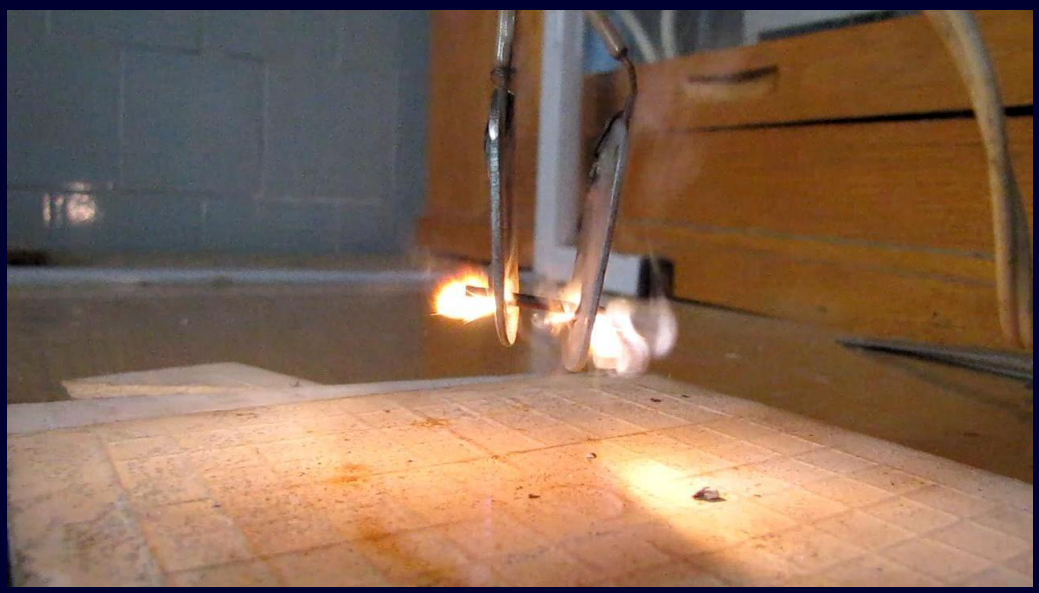
Графит между электродами (220 В)

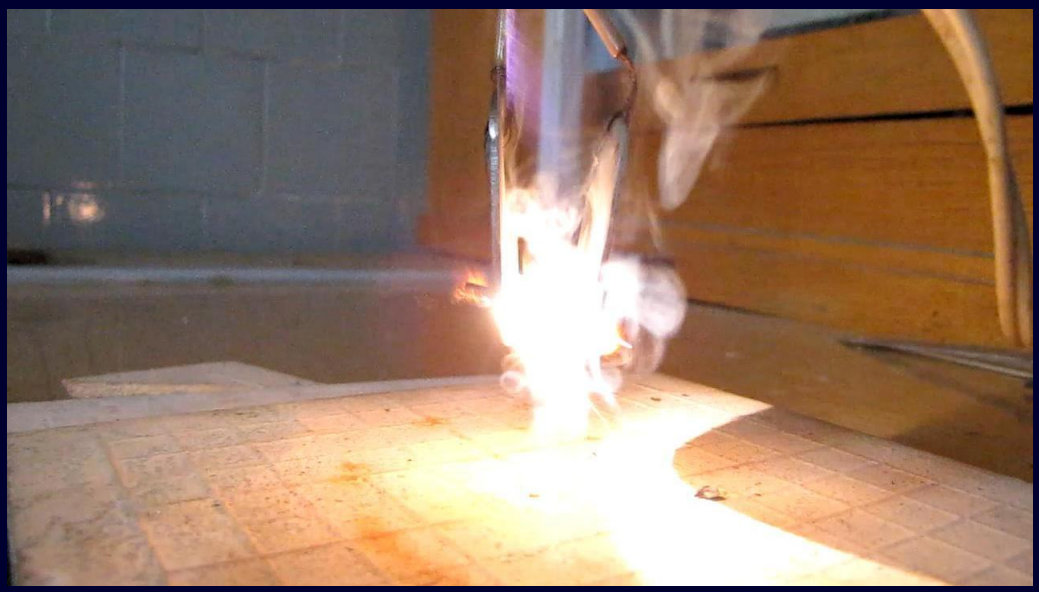


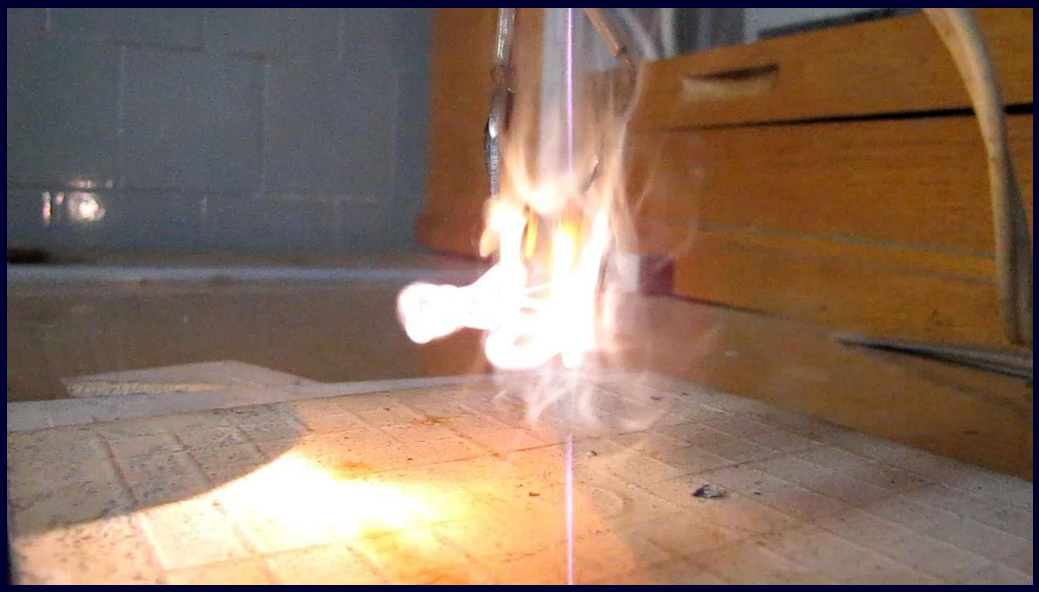




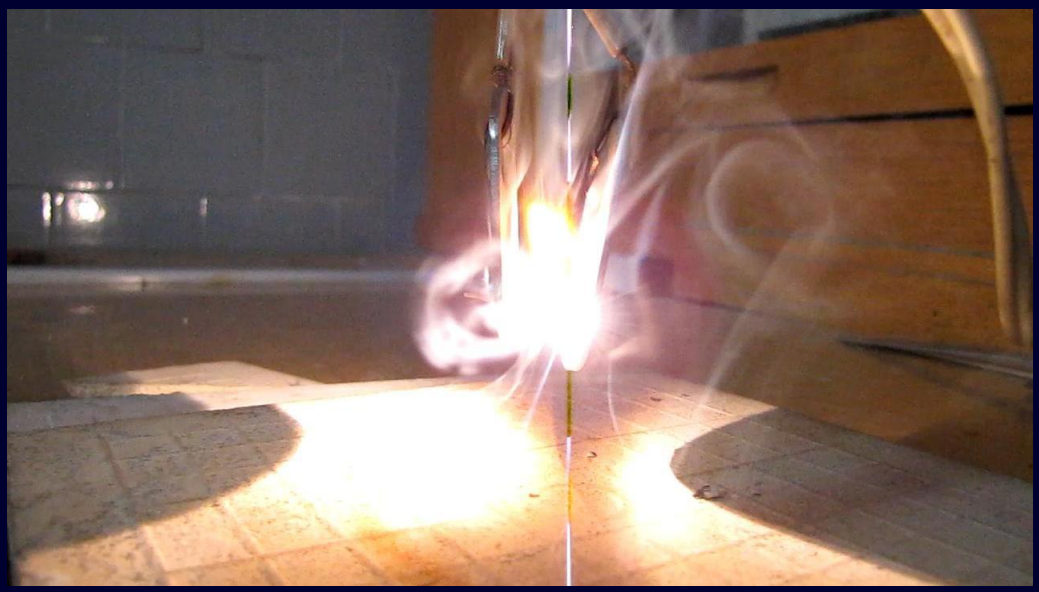


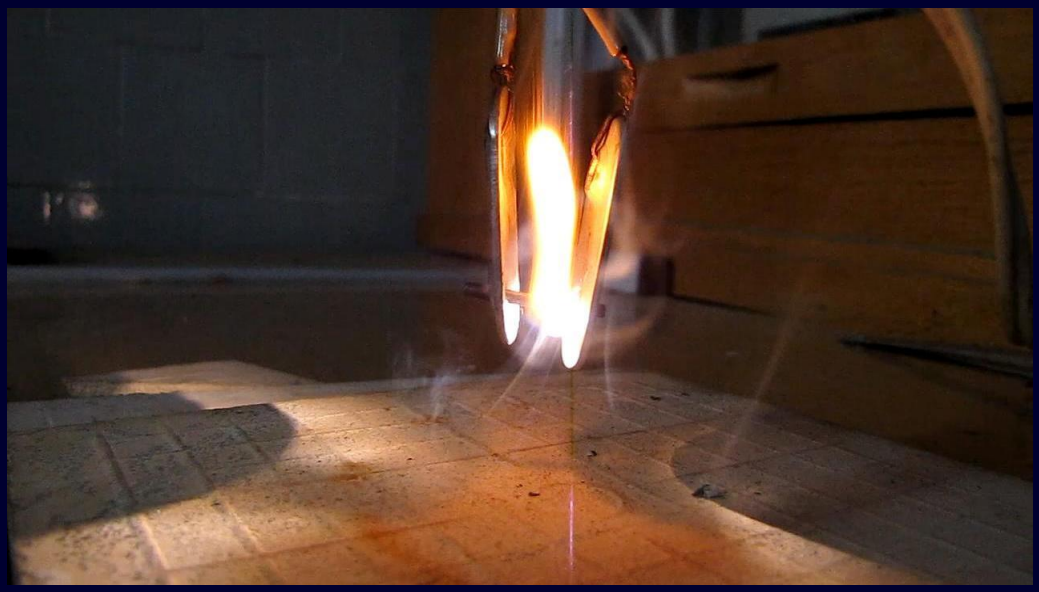


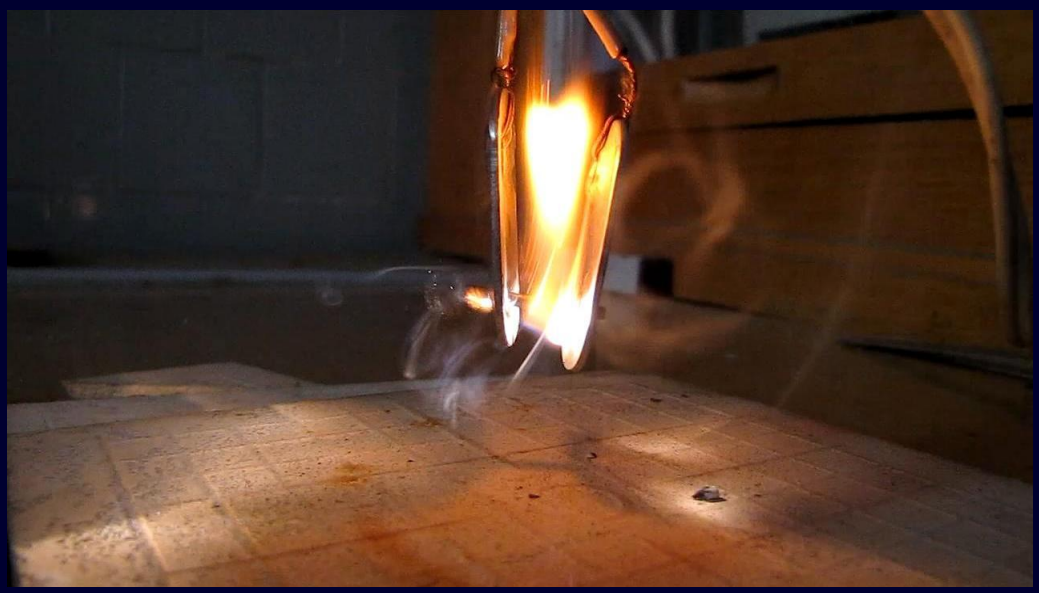




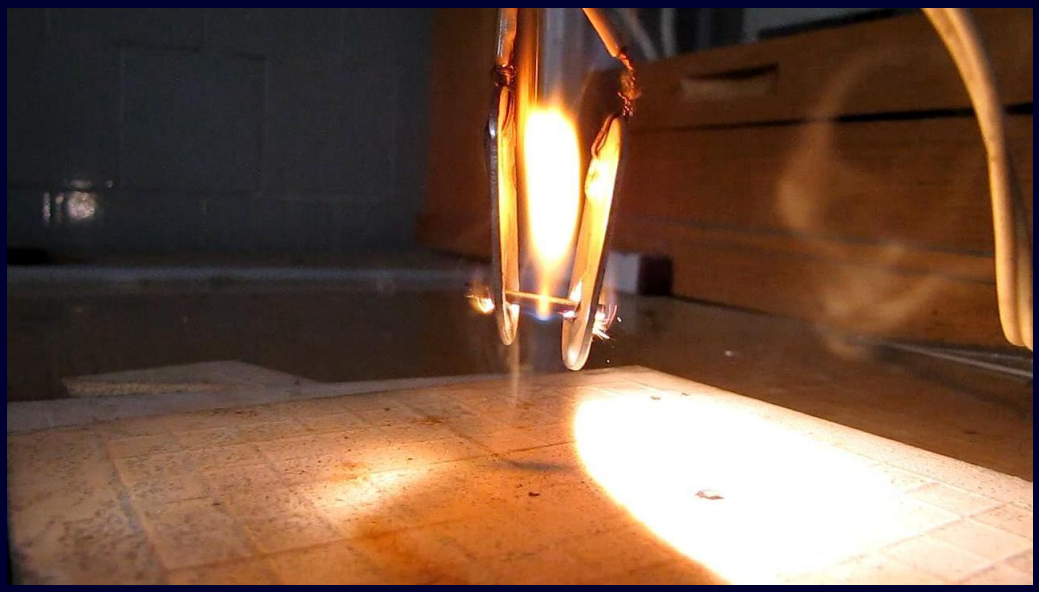


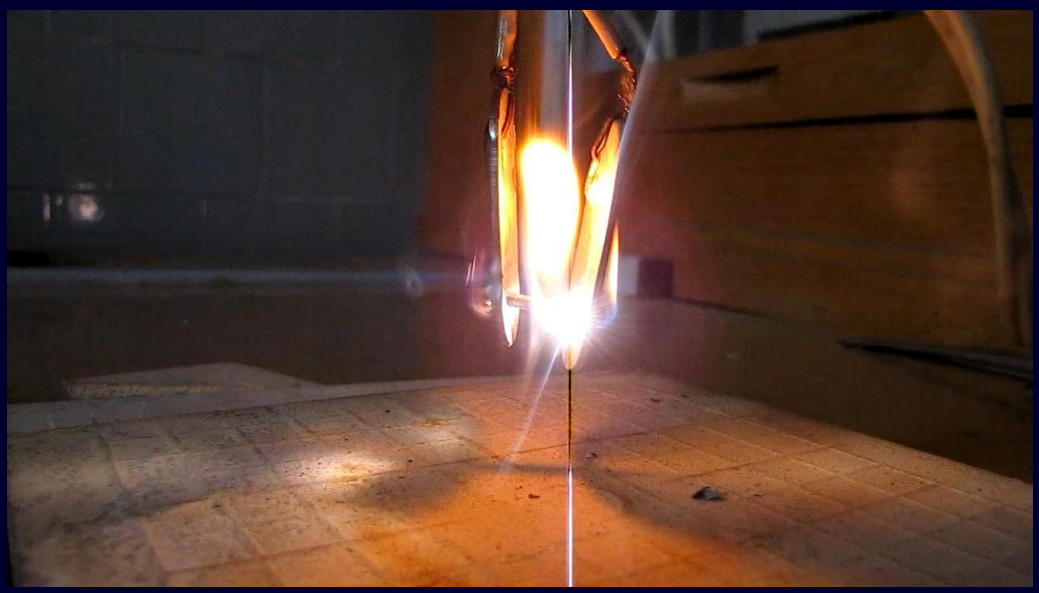


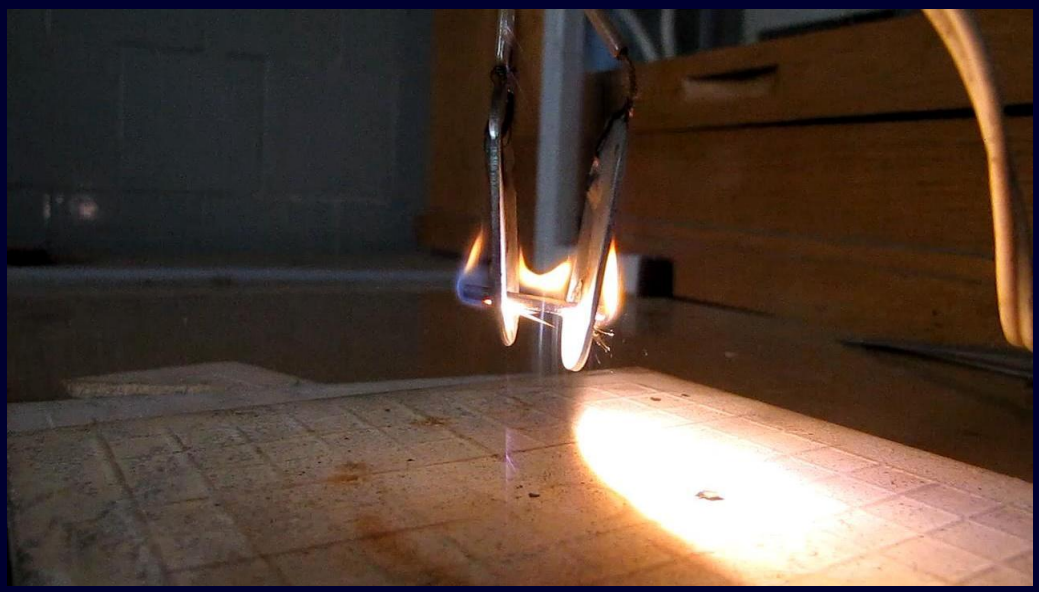


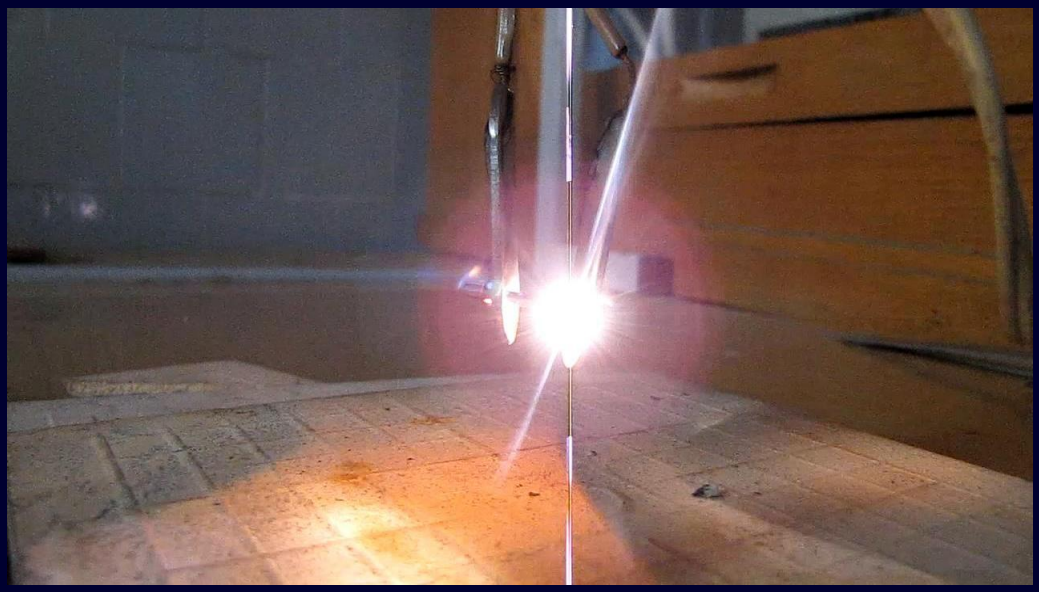


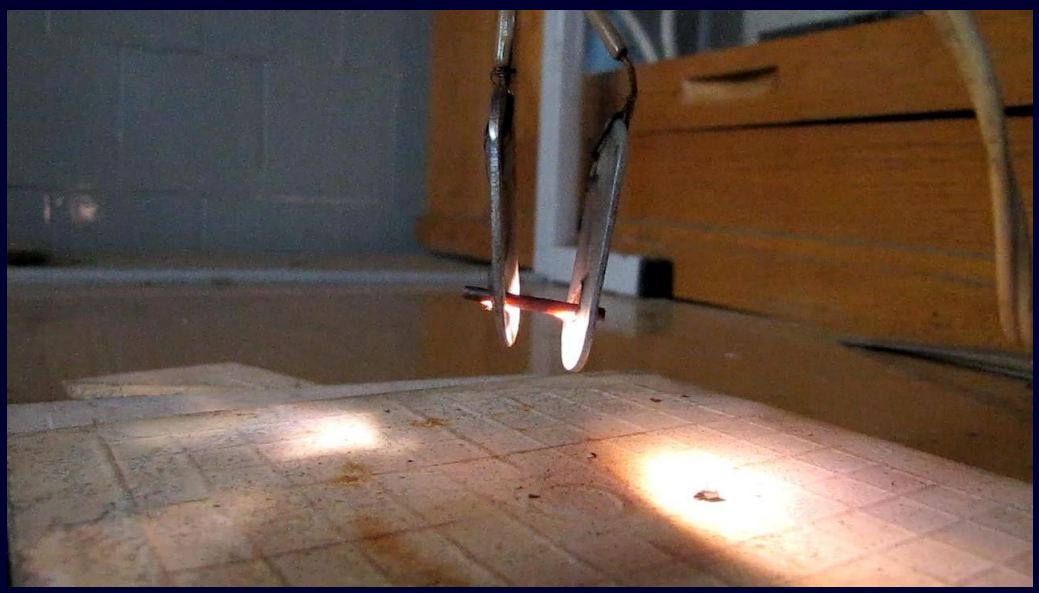


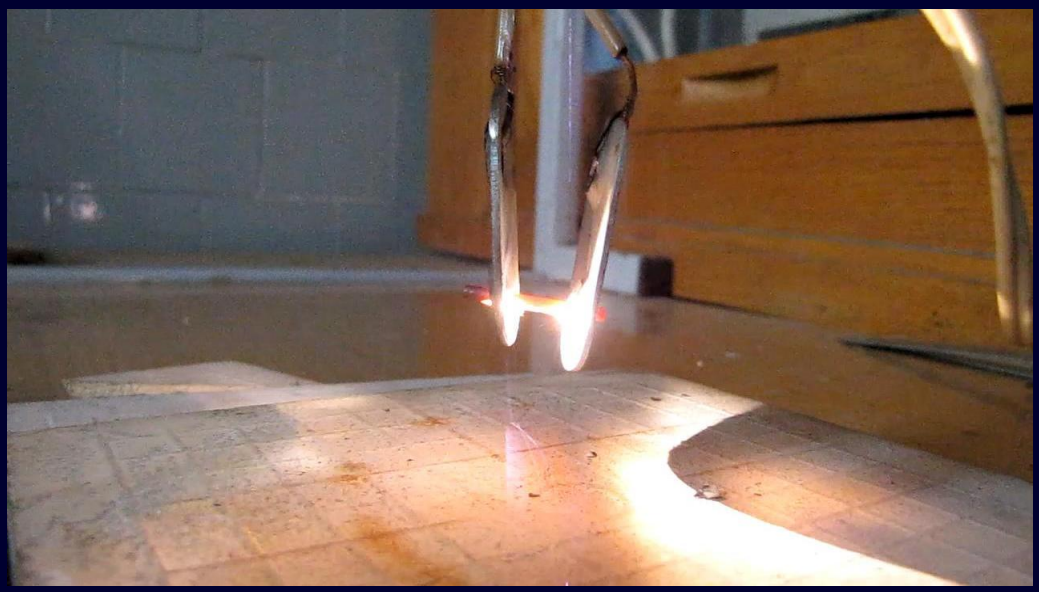


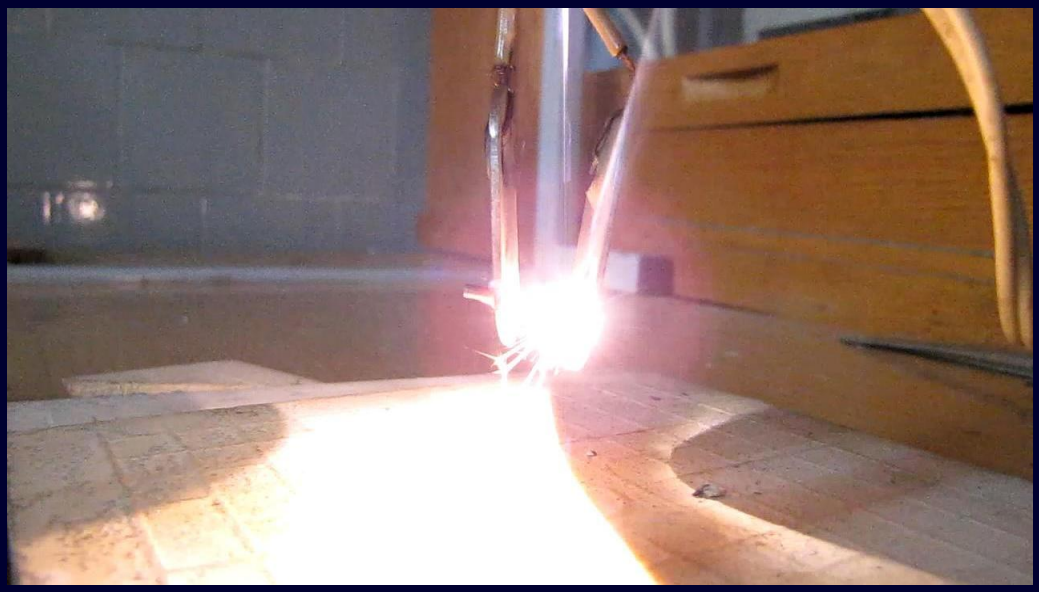


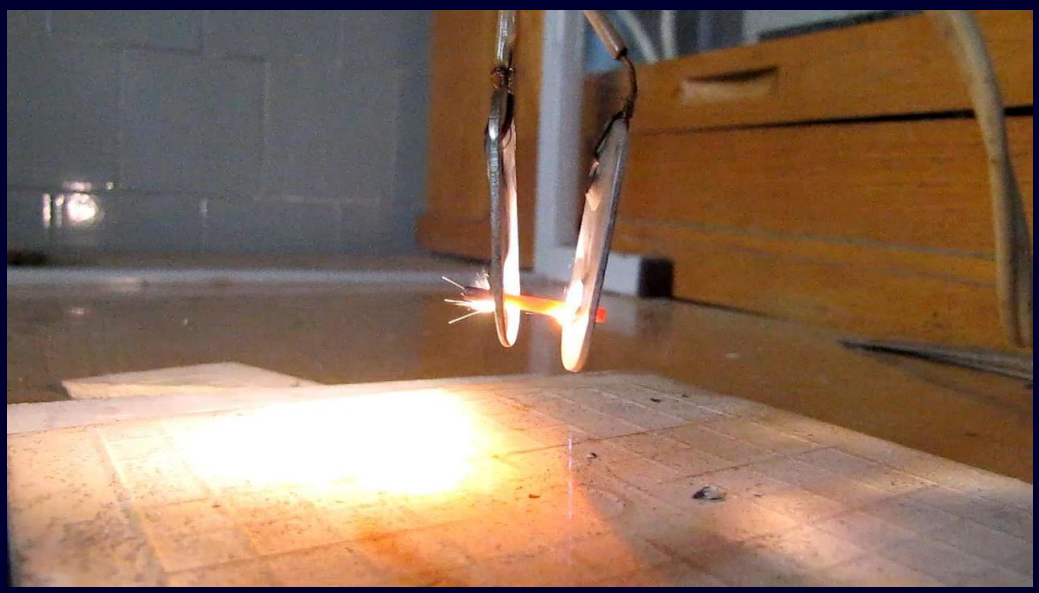


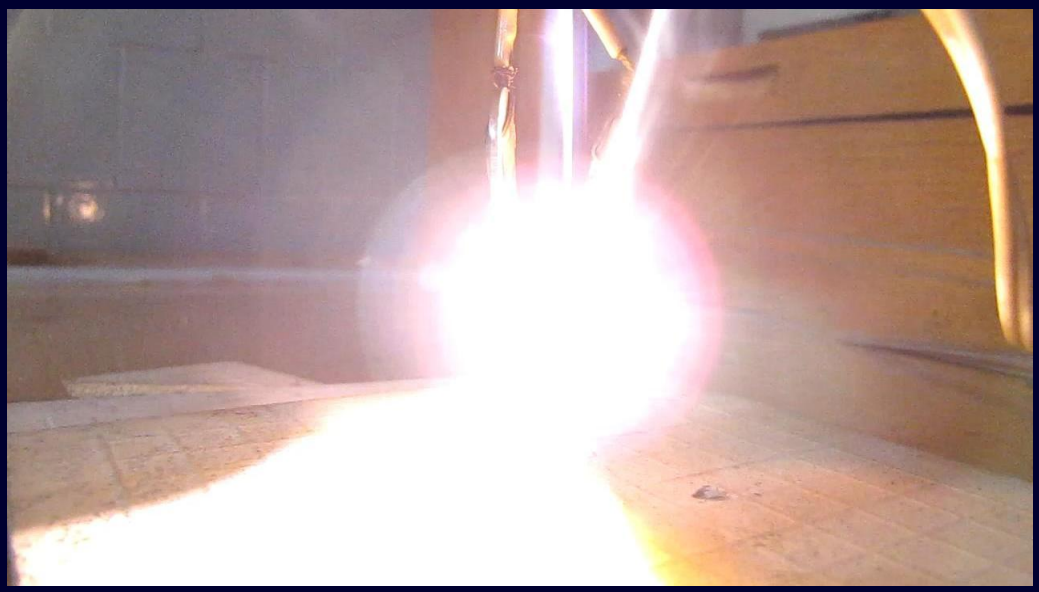


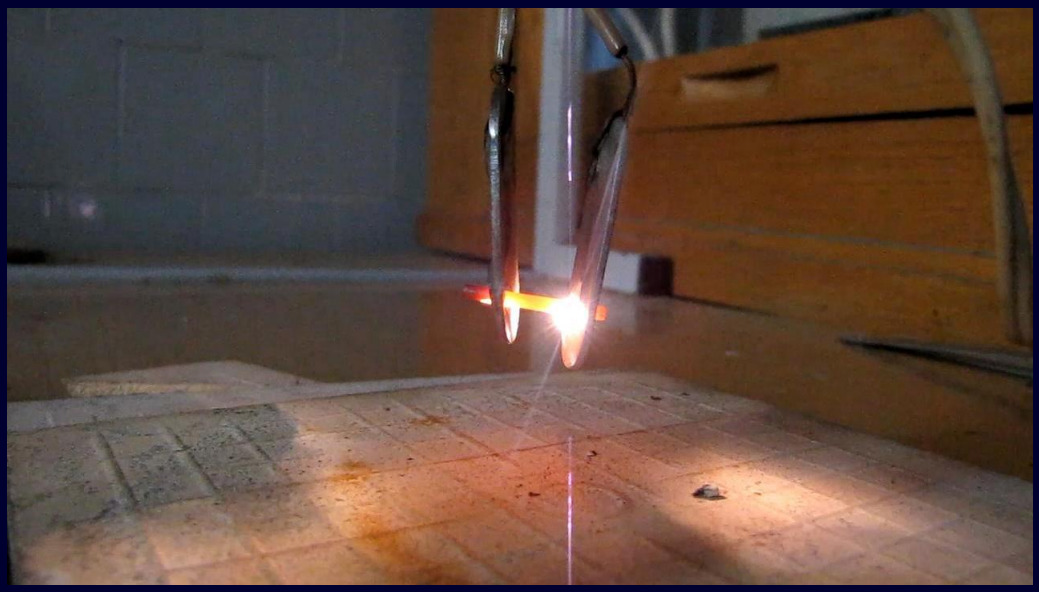


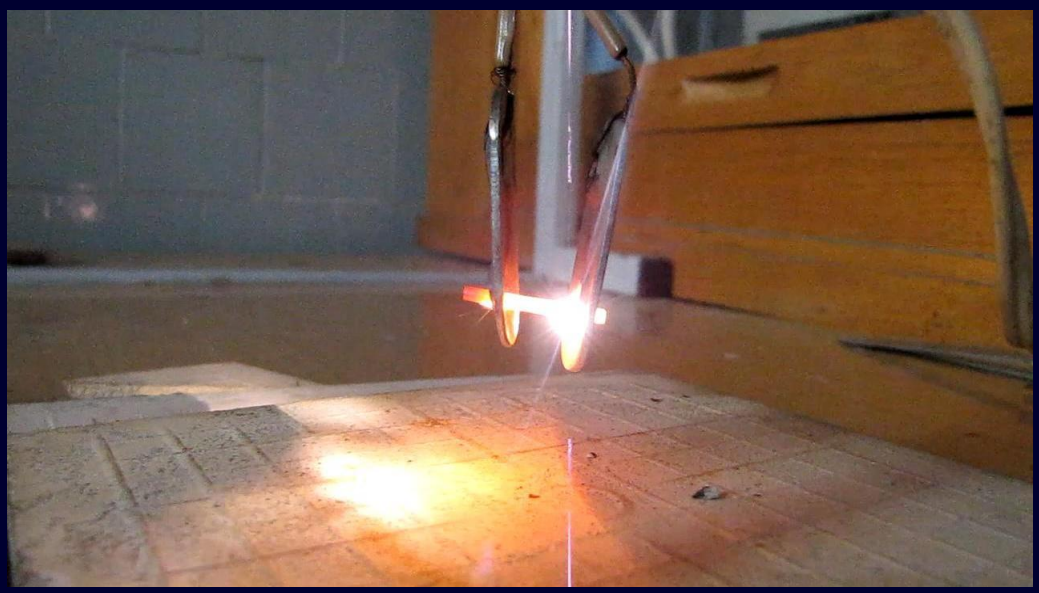


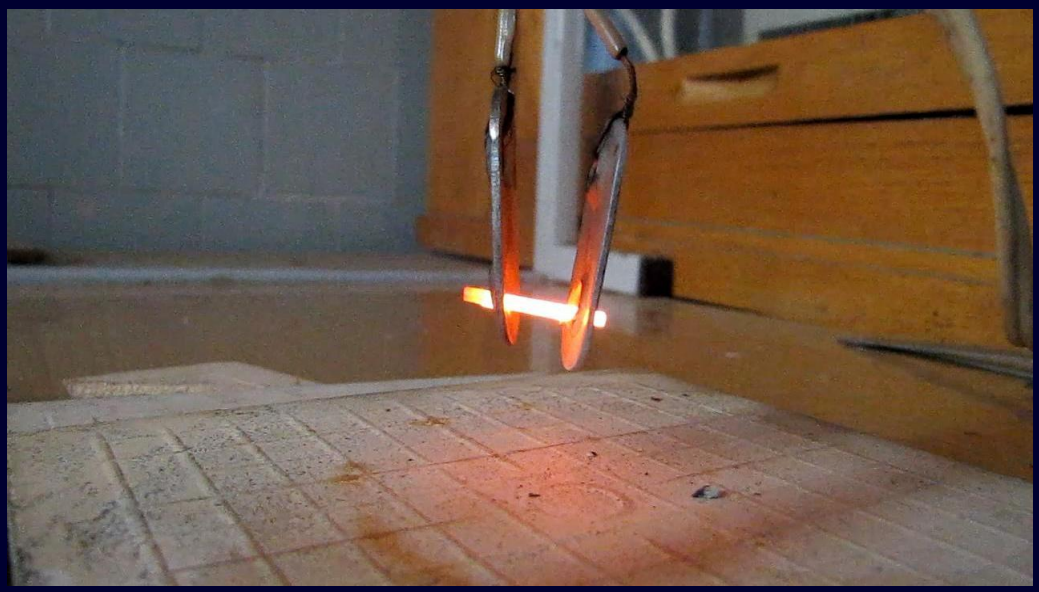


















Угольный карьер



Угольный карьер (Южная Африка)

Лампа и ЛАТР
(лабораторный автотрансформатор) ч.1

В.Н. Витер

Что такое трансформатор?

Трансформатор - аппарат, предназначенный для изменения напряжения и силы переменного тока. Трансформаторы работают на принципе электромагнитной индукции. Обычно трансформатор состоит из нескольких обмоток, объединенных общим магнитным сердечником.

Одна из обмоток подключена к источнику переменного тока. Эта обмотка называется **первичной**. На этом же сердечнике расположена вторичная обмотка, число витков в которой отличается от числа витков первичной обмотке. Переменный ток в первичной обмотке вызывает переменный магнитный поток, который передается через сердечник на вторичную обмотку, в результате во вторичной обмотке возникает электродвижущая сила (э.д.с.). Если контакты вторичной обмотки соединить[1], потечет переменный электрический ток.

Электродвижущая сила во вторичной обмотке равна напряжению в первичной обмотке, умноженному на отношение количества витков вторичной и первичной обмотки:

$$U_s = U_p \cdot N_s / N_p$$

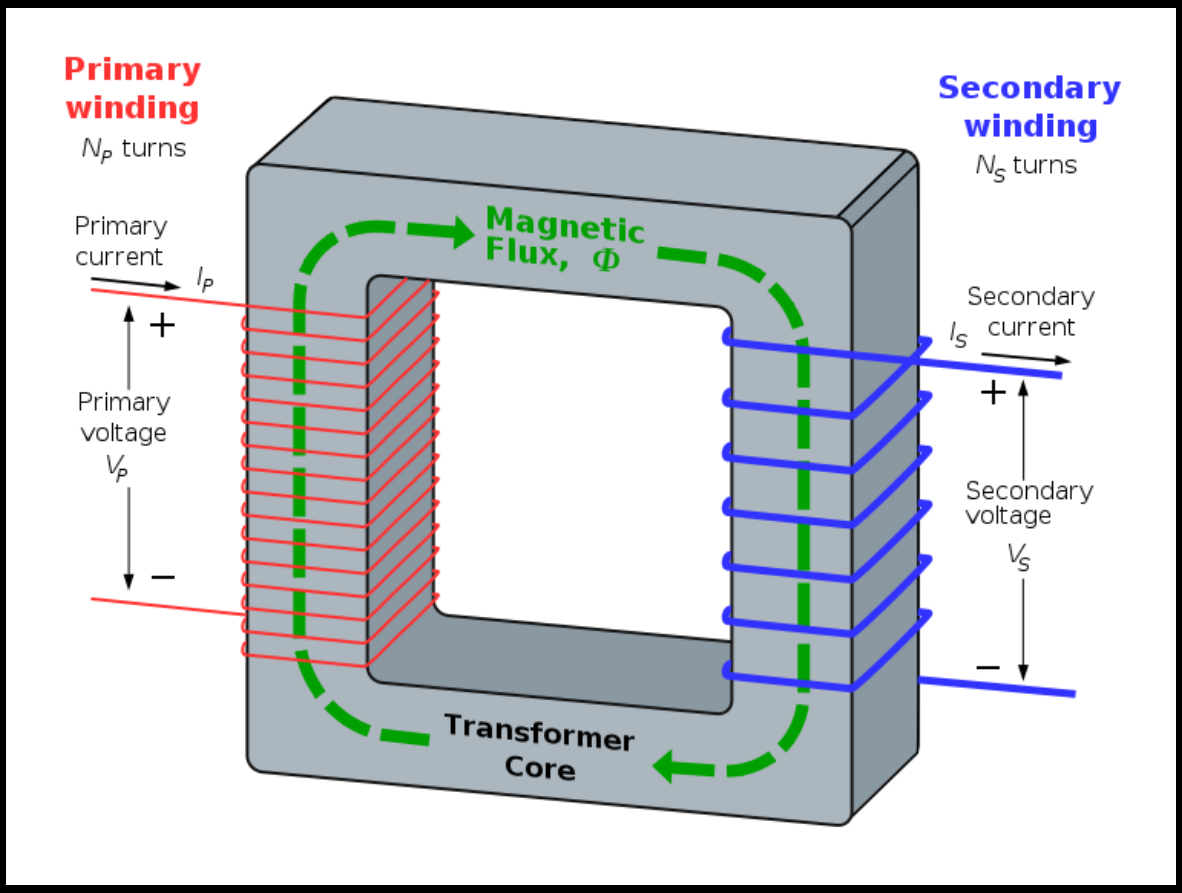
или в более общем виде:

$$U_s / U_p = N_s / N_p = I_p / I_s$$

где величины с индексом P относятся к первичной обмотке (англ. - primary winding), а величины с индексом S - к вторичной обмотке (secondary winding), U - напряжение, N - количество витков, I - сила тока.

---

[1] Конечно, соединить не напрямую, а через нагрузку (электрическое сопротивление), иначе будет короткое замыкание!

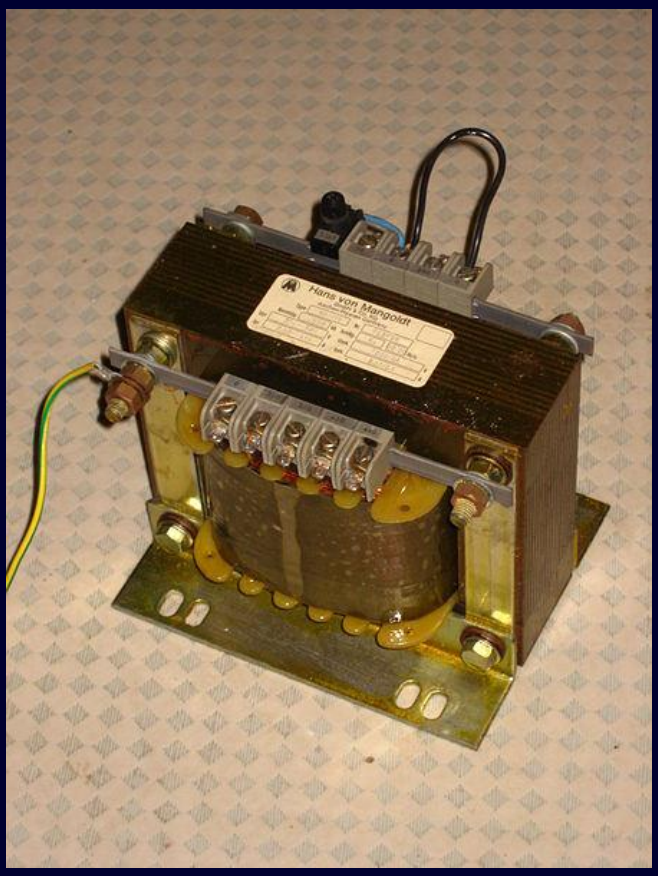


Трансформатор (схема)

Другими словами, если во вторичной обмотке меньше витков, чем в первичной, то напряжение во вторичной обмотке будет ниже, а ток - выше (чем напряжение и ток в первичной обмотке). Такой трансформатор называется **понижающим**, поскольку напряжение на выходе из трансформатора ниже, чем на входе (ток, соответственно, выше).

Если во вторичной обмотке больше витков чем, в первичной, такой трансформатор будет работать как **повышающий** - он будет повышать напряжение и снижать ток.

Не трудно догадаться, что один и тот же трансформатор может работать и как повышающий, и как понижающий - в зависимости от того, к какой обмотке подключить источник питания, а к какой - нагрузку.



Небольшой трансформатор



Силовой трансформатор



Силовой трансформатор



Силовой трансформатор

Приведенное выше описание трансформатора идеализировано, в частности, в одном трансформаторе может быть сразу несколько вторичных обмоток. Трансформатор может не иметь магнитного сердечника. Наконец, первичная и вторичная обмотки трансформатора могут быть соединены между собой - в этом случае обмотки имеют не только магнитную, но и электрическую связь. Такой трансформатор называется **автотрансформатором**.

Преимуществом автотрансформатора является более высокий КПД, поскольку лишь часть мощности подвергается преобразованию - это особенно существенно, когда входное и выходное напряжения отличаются незначительно. Недостатком является отсутствие электрической изоляции (гальванической развязки) между первичной и вторичной цепью. Обмотка автотрансформатора имеет несколько выводов (как минимум 3), подключаясь к которым, можно получать разные напряжения.

Существует простой способ сделать напряжение на выходе из автотрансформатора регулируемым. Для этого обмотка должна иметь подвижный токосъемный контакт (примерно как в реостате), что позволяет менять число витков, включенных во вторичную цепь автотрансформатора. Перемещая подвижный контакт, можно плавно изменять напряжение на выходе из трансформатора: начиная практически от нуля и заканчивая максимумом (который соответствует подключению всех витков данного автотрансформатора в цепь вторичной обмотки).

На описанном выше принципе работает **лабораторный автотрансформатор** (сокращенно - **ЛАТР**), который распространен в химических, физических и электротехнических лабораториях. С ЛАТРом мы познакомимся в следующей части статьи.

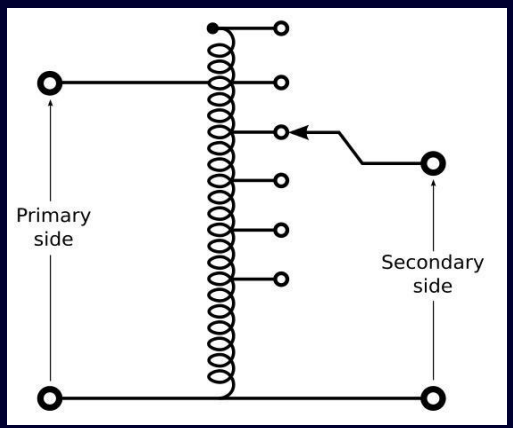


Схема автотрансформатора



Автотрансформатор



Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР)



Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР)



Трансформатор и электрическая дуга

<Смотреть видео>

Лампа и ЛАТР
(лабораторный автотрансформатор) ч.2

В.Н. Витер

Лампа и ЛАТР

Как известно, основным источником электричества в химических лабораториях является городская сеть, по которой подводится переменный ток с напряжением 220 (или 360) вольт и частотой 50 герц. Для работы некоторых приборов и проведения химических экспериментов нужен ток с другим (чаще всего более низким) напряжением. Чтобы понизить напряжение подаваемого тока, используют разнообразные трансформаторы. Если для работы нужен не переменный, а постоянный ток - после трансформатора ставят выпрямитель. Такие трансформаторы (а если необходимо и выпрямители) входят в комплект соответствующих приборов или расположены внутри их корпуса. Часто их называют "блоки питания": вспомните распространенный пример - блоки питания компьютеров.

В большинстве случаев потребителю не приходится заботиться о том, чтобы на платы, процессор и жесткие диски компьютеров (равно и как на узлы разнообразных лабораторных приборов) подавалось нужное напряжение: купил готовый системный блок, включил в розетку и пользуешься. Далеко не все люди знают, что ток из сети в их компьютер подается не "напрямую", а через понижающий трансформатор и выпрямитель блока питания.

Большинство стандартных блоков питания имеют существенный недостаток: они не предусматривают возможности регулировать напряжение на выходе из блока. Другими словами, эти блоки дают только одно, в лучшем случае - несколько значений напряжения (например, 6 и 12 вольт). Однако для некоторых экспериментов необходимо плавное регулирование напряжения и силы тока. В таких случаях хорошо подходит лабораторный автотрансформатор, или сокращенно - ЛАТР.

Продемонстрируем работу ЛАТРа с помощью обыкновенной лампочки на 150 ватт (рассчитанной на напряжение 220 вольт). Для этого мы подключили лампу к ЛАТРу, который в свою очередь включили в розетку. Первоначально выходное напряжение было установлено на нуле. Лампа, конечно не горела. Поворотом диска регулирования мы

начали повышать напряжение. При напряжении 25 вольт спираль слабо накалилась и засветилась красным, при напряжении 50 вольт - уже желтым. При напряжении 150 вольт лампа светилась достаточно ярко, 200 вольт - еще ярче. Когда напряжение подняли до 240 вольт (предел для данного автотрансформатора), лампа загорелась более ярко, чем при 200 вольтах - эта разница была четко заметна глазом, но, к сожалению, ее почти не удается увидеть на фотографиях.

После достижение максимума, напряжение стали плавно уменьшать - наблюдая описанные изменения накала лампы в обратном порядке.

Смотреть Видео (22 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (35 Мб, .avi)

Смотреть Видео 2 (16 Мб, .avi)



Лампа и ЛАТР (лабораторный автотрансформатор)



Ток выключен



Напряжение 25 вольт



Напряжение 50 вольт



Напряжение 100 вольт



Напряжение 150 вольт



Напряжение 200 вольт



Напряжение 240 вольт



Напряжение 200 вольт (теперь сбавляем напряжение)



Напряжение 150 вольт



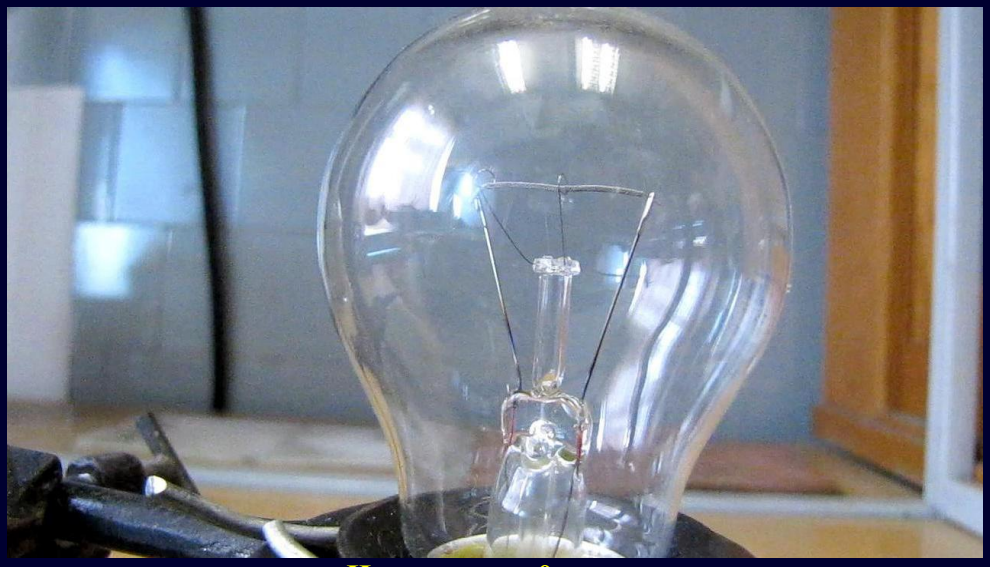
Напряжение 100 вольт



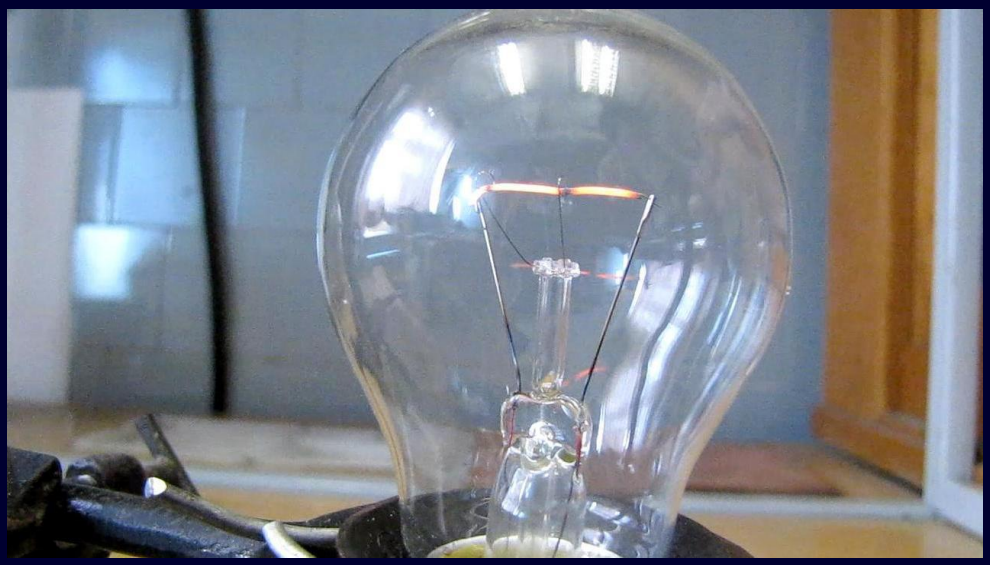
Напряжение 50 вольт



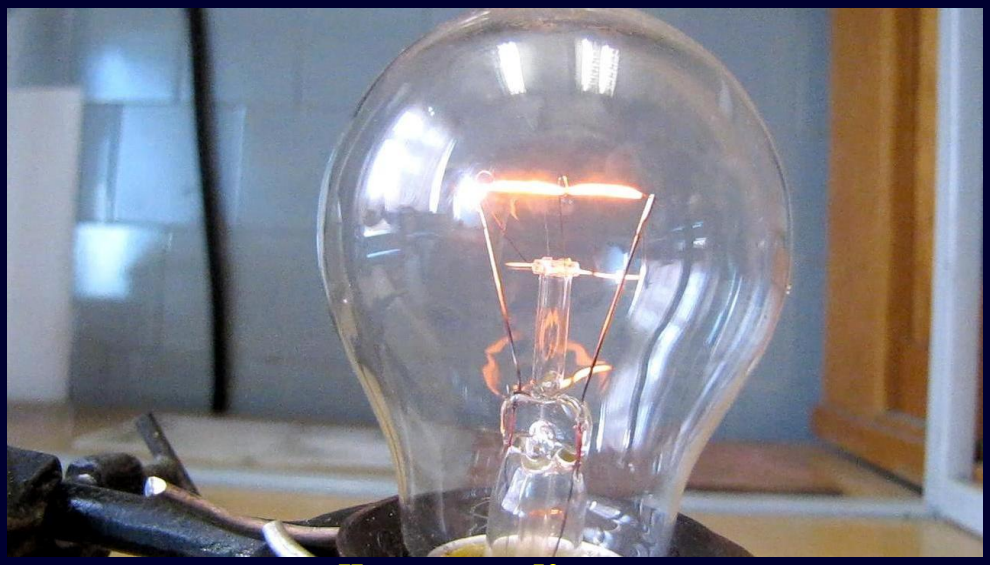
Напряжение 0 вольт



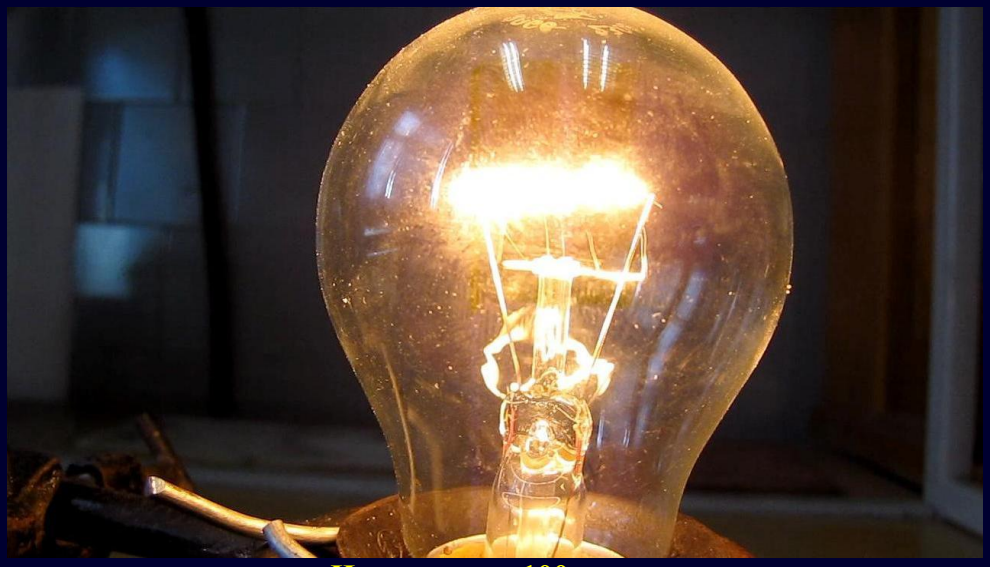
Напряжение 0 вольт



Напряжение 25 вольт



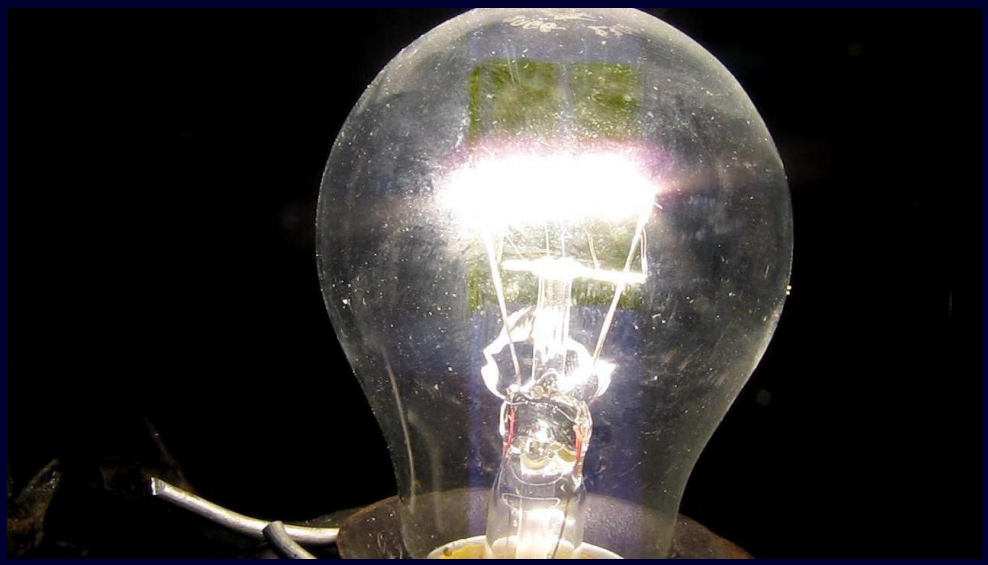
Напряжение 50 вольт



Напряжение 100 вольт



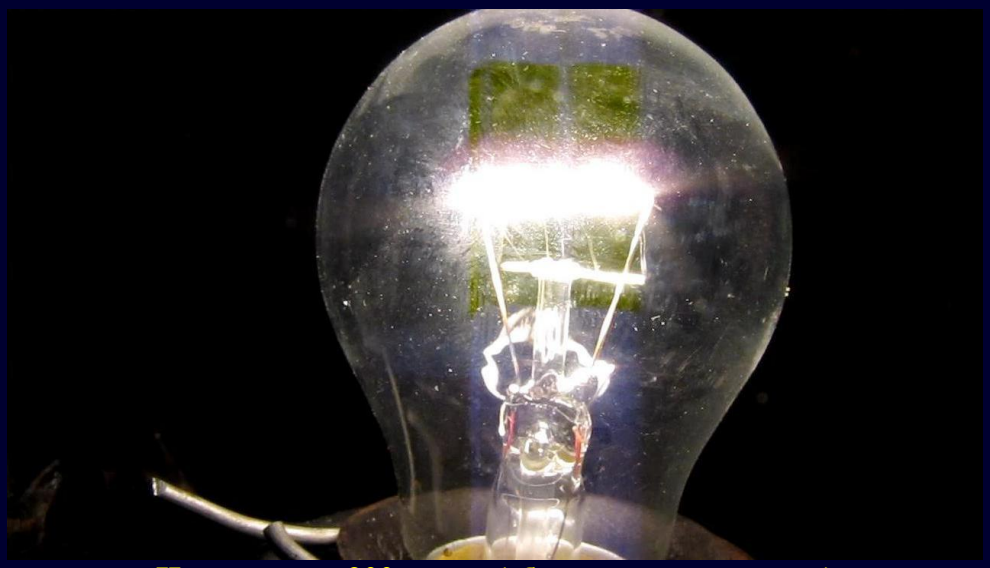
Напряжение 150 вольт



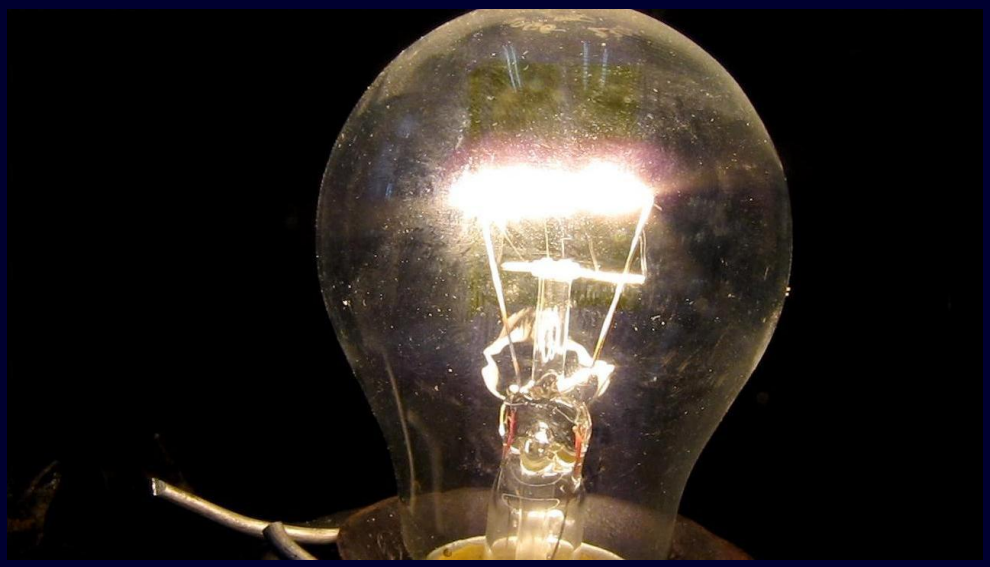
Напряжение 200 вольт



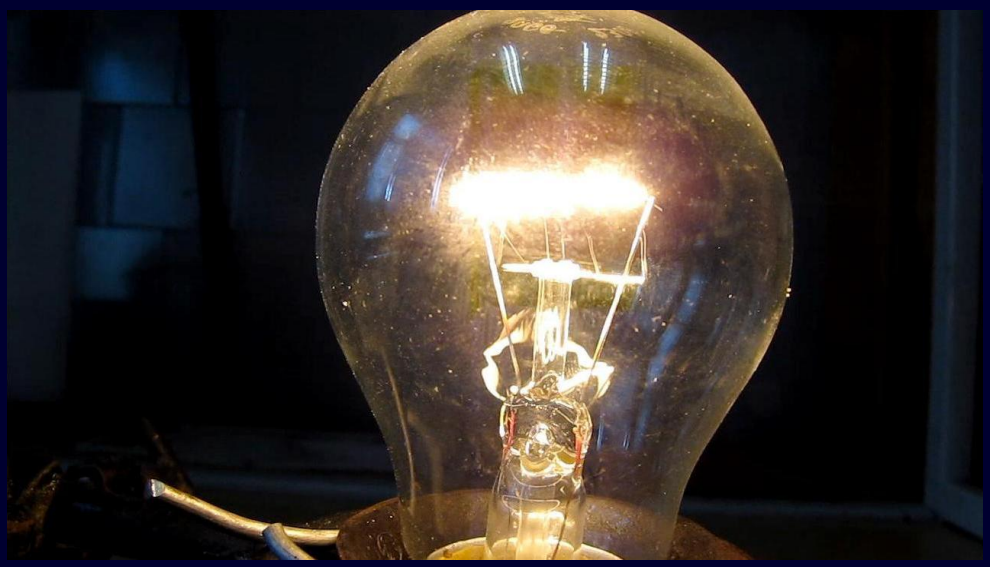
Напряжение 240 вольт



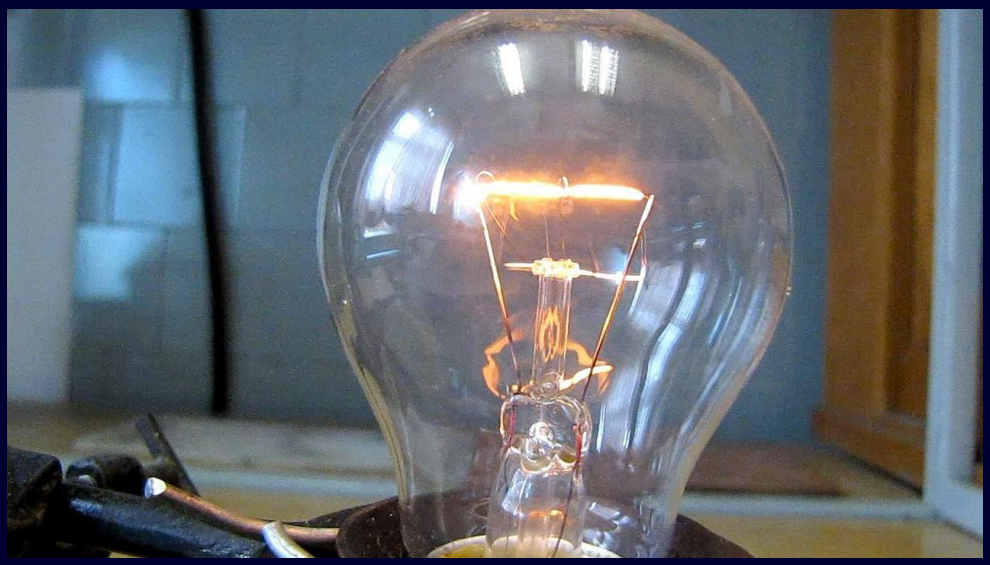
Напряжение 200 вольт (сбавляем напряжение)



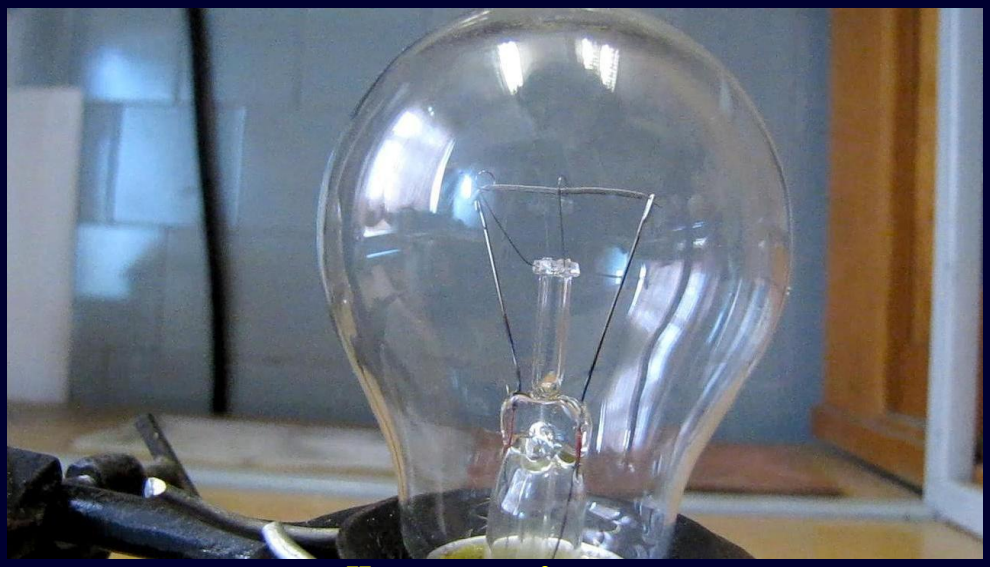
Напряжение 150 вольт



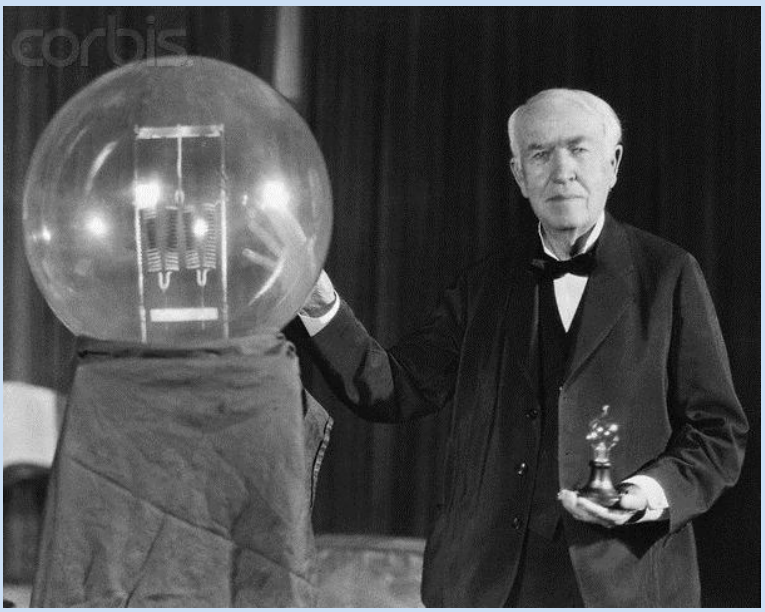
Напряжение 100 вольт



Напряжение 50 вольт



Напряжение 0 вольт



Томас А. Эдисон



Одна из первых ламп Эдисона

Лампа и ЛАТР (лабораторный автотрансформатор) ч.3

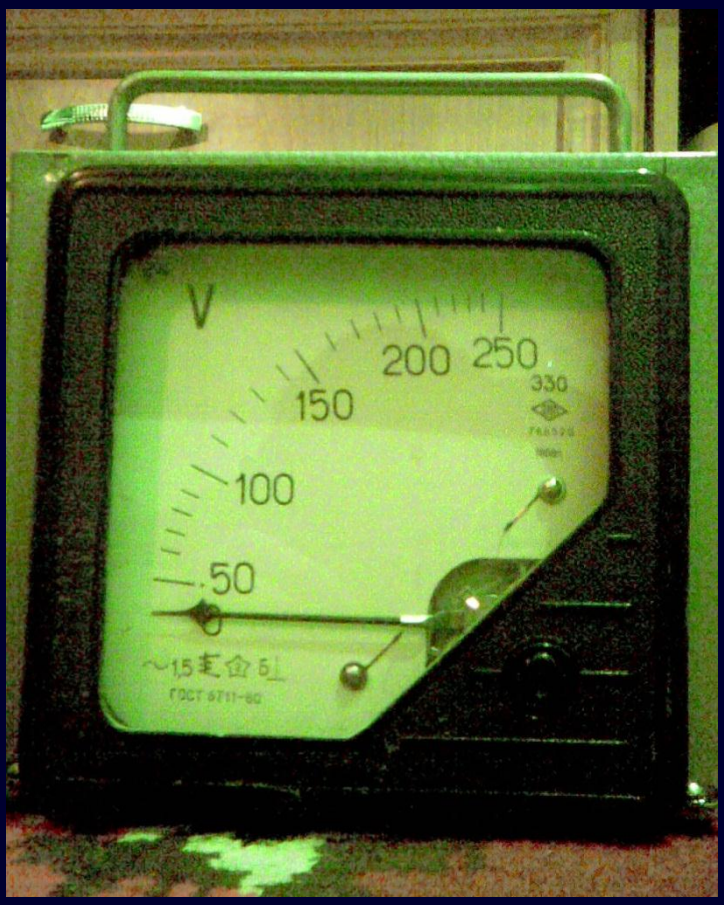
В.Н. Витер

ЛАТР (фотографии)

Предлагаем вашему вниманию еще несколько фотографий ЛАТРа (лабораторный автотрансформатор), которые прислал Антон Глущенко.



ЛАТР (лабораторный автотрансформатор)


V
50
100
150
200
250
330




200
150
100
50


НАГРУЗКА





Декоративная неоновая лампа (электроды покрыты люминофором)



Декоративная неоновая лампа

Самовоспламенение скипидара (нитрующая смесь)

А. Трелин



Азотная кислота обладает сильными окислительными свойствами. От соприкосновения с дымящей азотной кислотой [1] много органических веществ воспламеняются. Работа с дымящей азотной кислотой требует большой аккуратности: ведь наши руки также состоят из органических веществ. Воспламенения при попадании дымящей азотной кислоты на кожу не происходит, но ожоги остаются и довольно существенные.

Концентрированная азотная кислота обладает более слабыми окислительными свойствами, при попадании на кожу она "всего лишь" окрашивает ее в оранжевый цвет. Однако в присутствии концентрированной серной кислоты окислительных свойств такой азотной кислоты вполне достаточно, чтобы продемонстрировать воспламенение скипидара.

Для примера приведем описание этого опыта из книги А.В. Чувурин Занимательная пиротехника. Часть 1. Опасное знакомство ссылка.

"В стеклянную банку насыпают небольшой слой песка и ставят фарфоровый тигель, в который вливают по 2-3 мл концентрированных серной и азотной кислот. Банку накрывают крышкой с отверстием по центру. Несколько капель скипидара с помощью пипетки осторожно приливают к нитросмеси. Происходит вспышка и выделяется много копоти."

Мы решили повторить данный опыт. В фарфоровую чашку для выпаривания налили 1 мл концентрированной серной кислоты и 2 мл концентрированной азотной кислоты (свежеполученной). К смеси из пипетки [2] добавили несколько капель скипидара. Начали выделяться бурые пары, и смесь разогрелась, но воспламенения не было [3]. Когда

добавили еще несколько капель скипидара, произошла вспышка с образованием значительного количества копоти и бурых паров. Следующие капли скипидара также воспламенялись. После эксперимента в выпарной чашке осталась масса, внешне напоминающая сосновую живицу. Сильный запах скипидара, оксидов азота и продуктов его окисления витал в помещении еще около трех часов - несмотря на открытые окна, поэтому эксперимент желательно делать под тягой.

---

[1] Дымящая азотная кислота - азотная кислота с концентрацией 95% и выше. Продажная "концентрированная" азотная кислота имеет концентрацию примерно 60-70%.

[2] За неимением химической пипетки прекрасно подходит дешевая пипетка из набора для сдачи анализа крови.

[3] После нескольких проведенных опытов, стало ясно: для того что бы произошло воспламенение следует в первый момент довольно быстро добавить несколько капель скипидара.

Смотреть Видео (12 Мб, .avi)

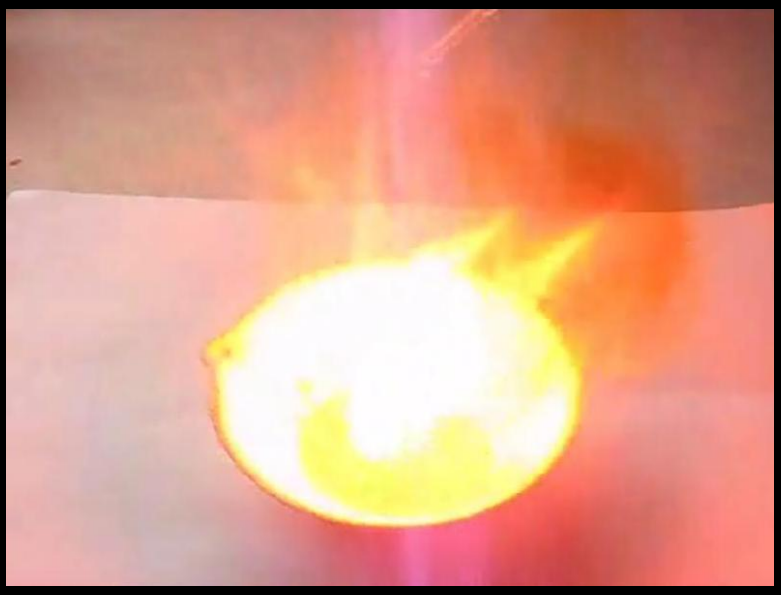


Самовоспламенение скипидара (нитрующая смесь)



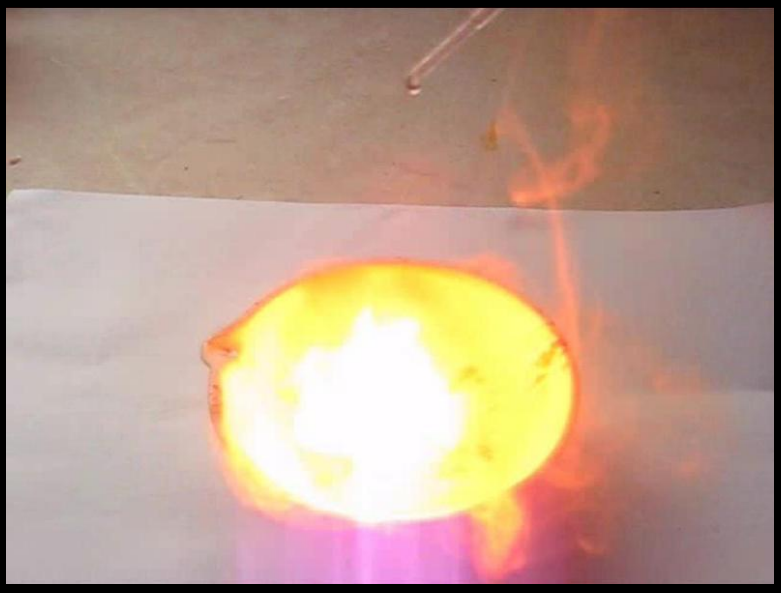
















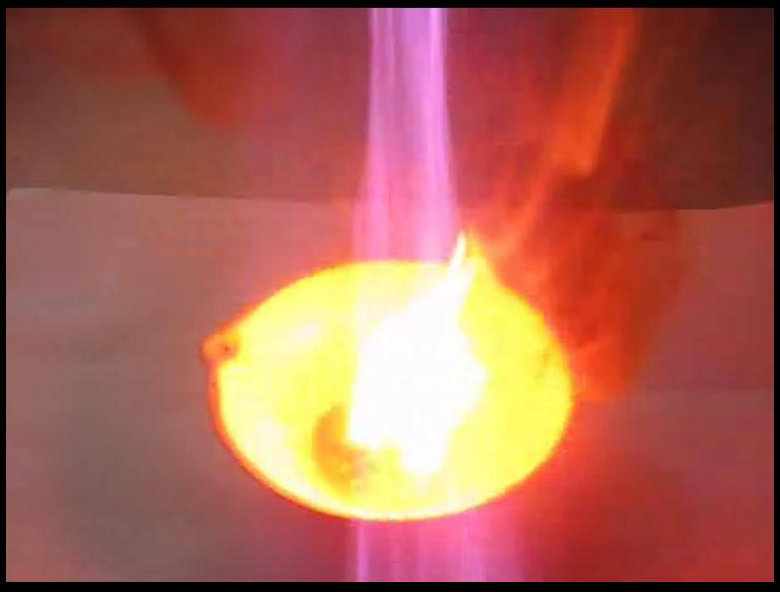


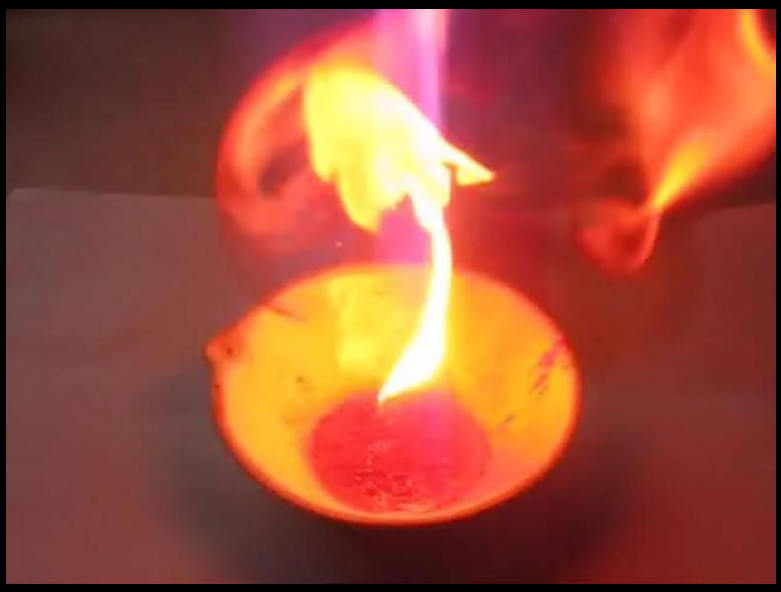






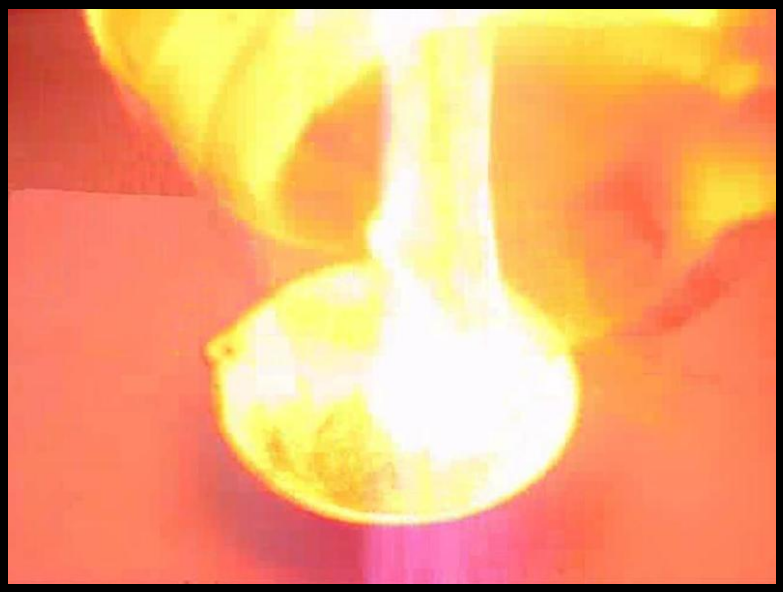












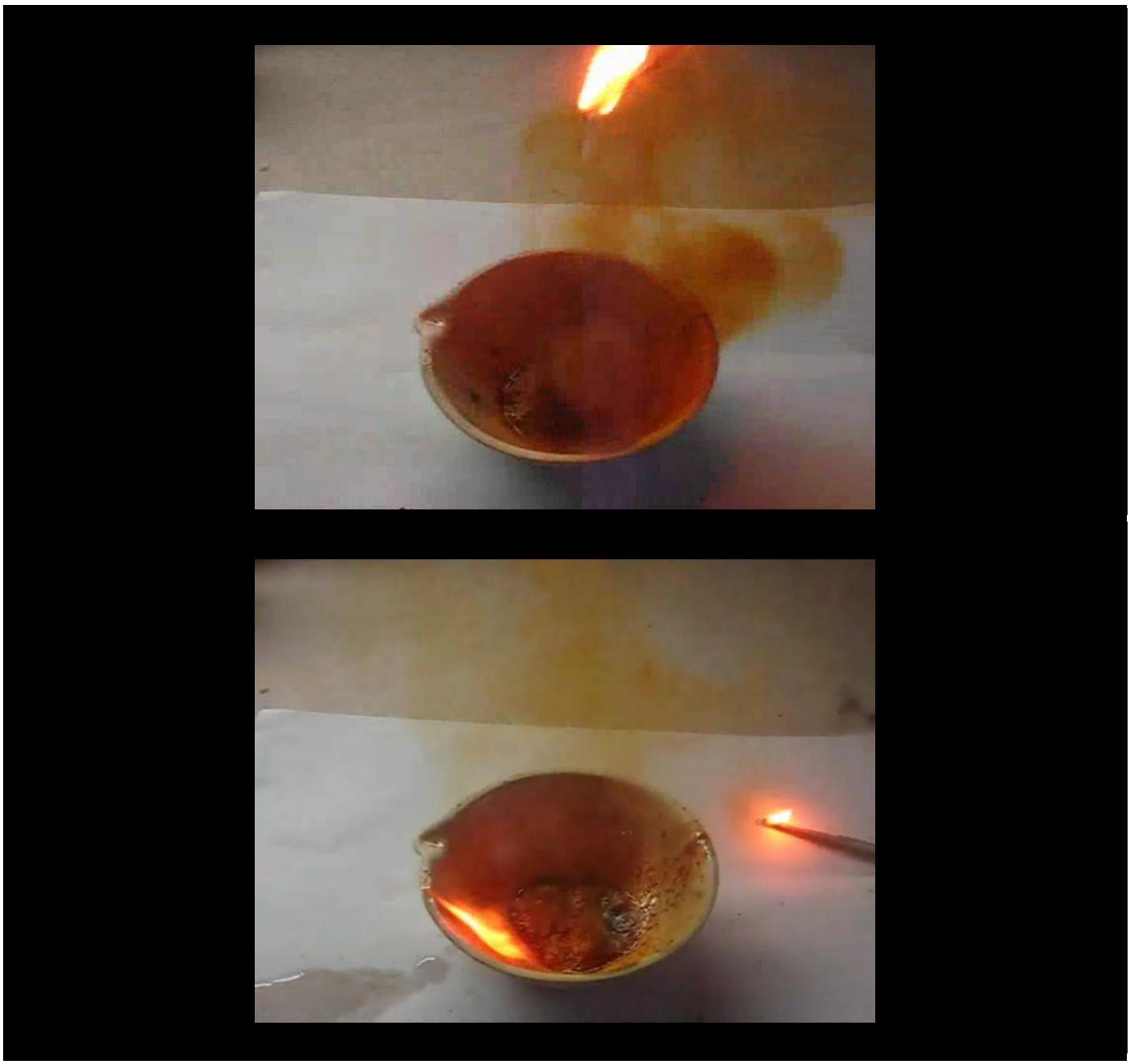








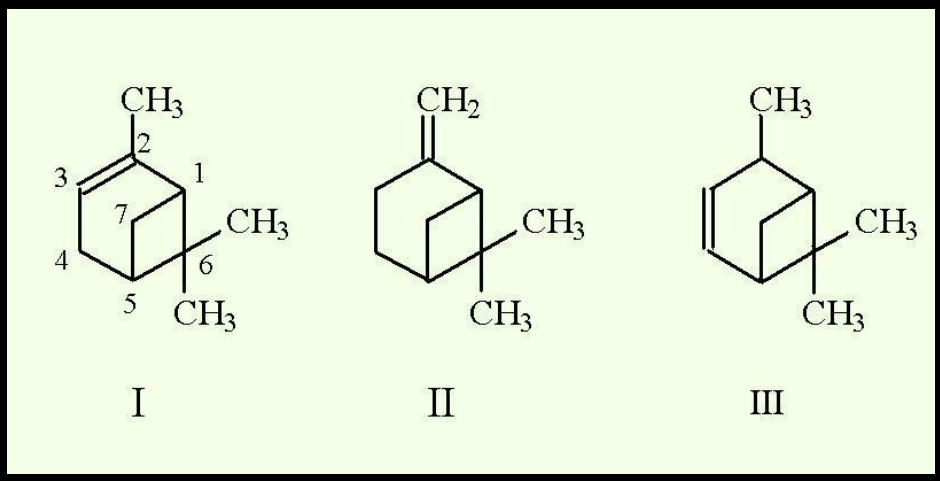




Живичный скипидар получают путем перегонки с водяным паром свежей смолы хвойных деревьев (живицы). Скипидар состоит преимущественно из терпенов - природных ненасыщенных углеводородов и терпеноидов - производных терпенов. Основным компонентом скипидара является альфа-пинен.

Будучи ненасыщенными соединениями, терпены проявляют гораздо большую химическую активность, чем, например, алканы. Этим и обусловлен успех опыта.

Терпены - важное сырье для лакокрасочной и химической промышленности. Они находят широкое применение в медицине и косметике.



2-пинен, или α-пинен (I); нопинен, или β-пинен (II); δ-пинен (III)





Ветка сосны

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.1

Мерные колбы

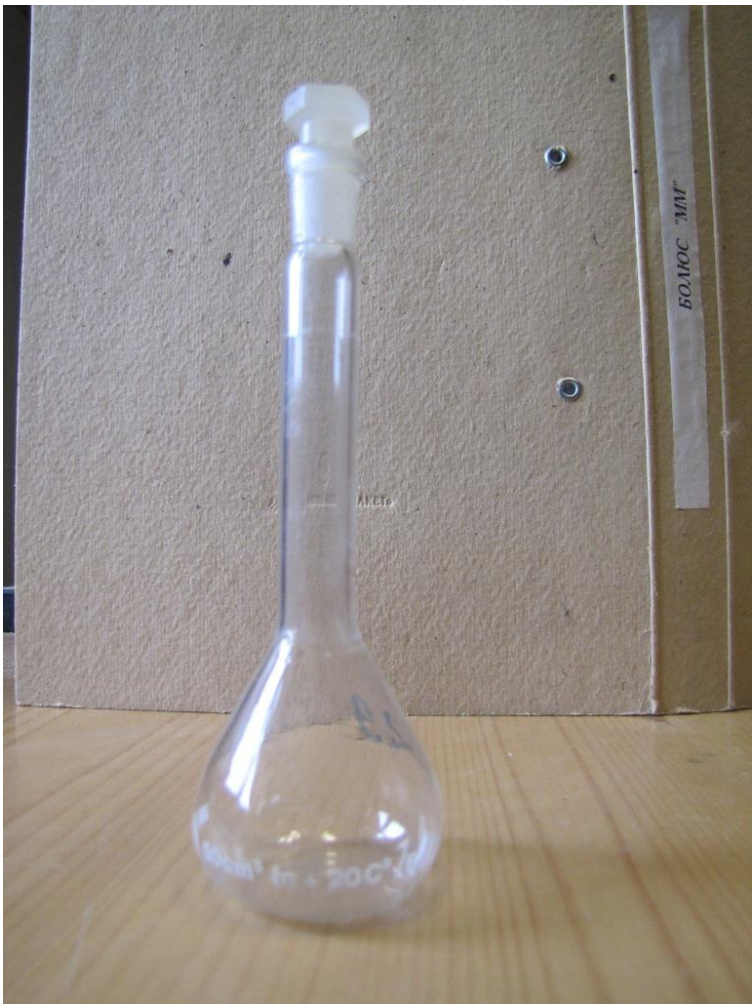
Мерные колбы широко используют в лабораториях для приготовления растворов заданной молярной концентрации. Особенно часто пользуются мерными колбами химики-аналитики.

Органики и неорганики иногда используют мерные колбы для запаивания в них веществ (т.е. с той же целью, что и ампулы). Для подобных целей следует брать низкокачественные мерные колбы, а хорошие использовать по прямому назначению.

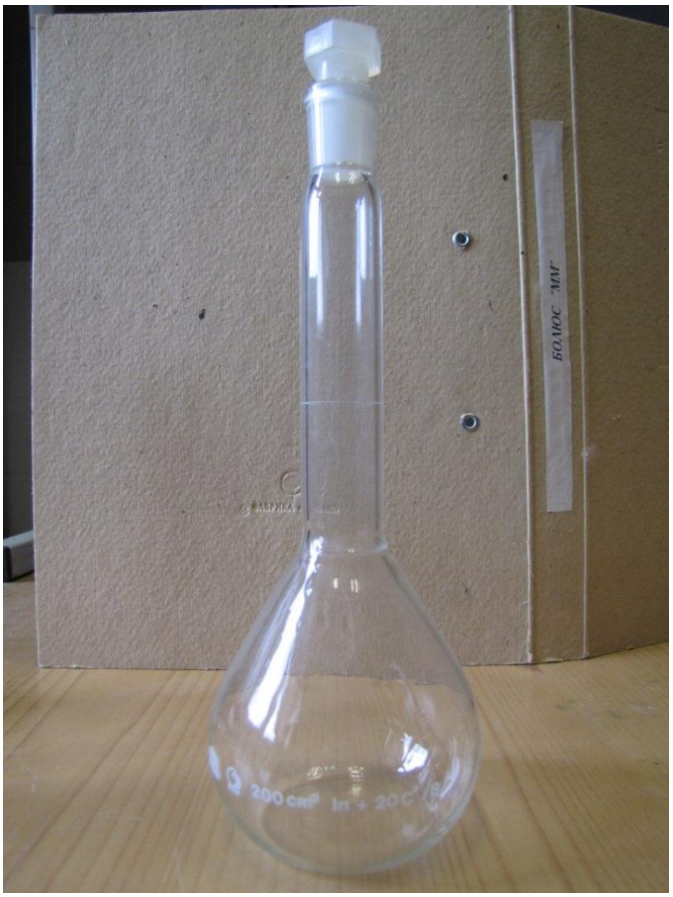


Мерные колбы на 50, 100, 200, 500 и 2000 мл

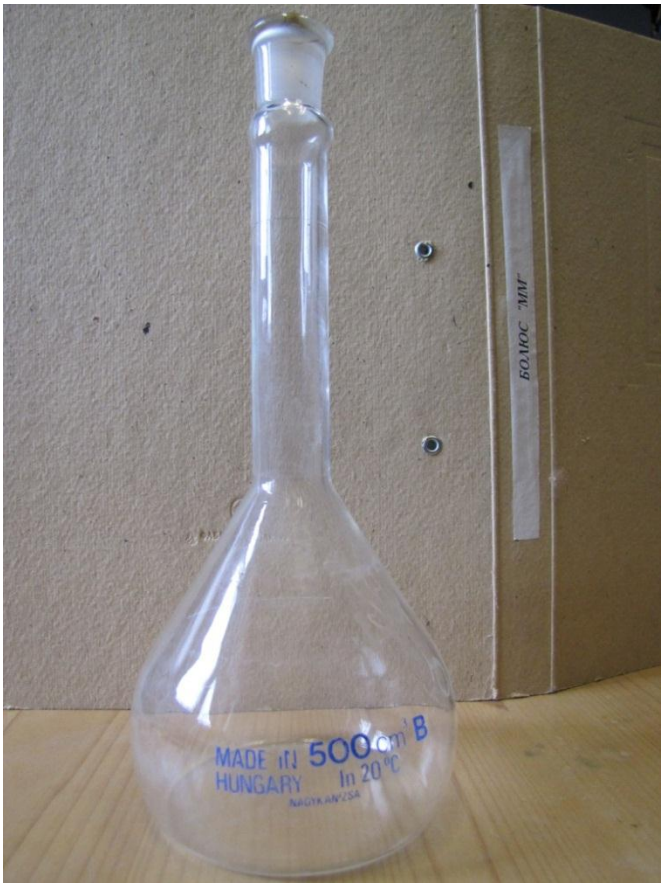




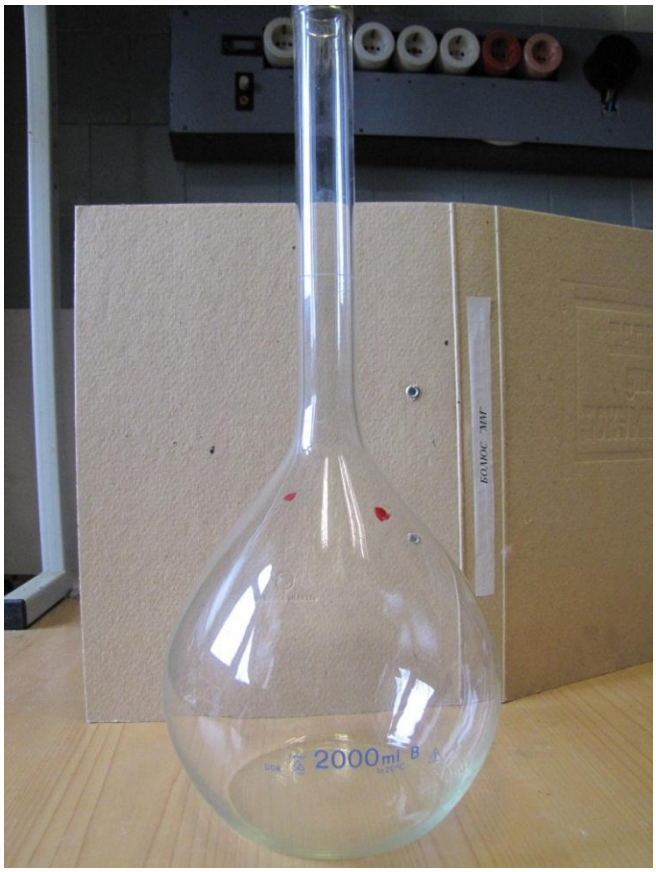
Мерная колба на 50 мл



Мерная колба на 200 мл



Мерная колба на 500 мл



Мерная колба на 2000 мл



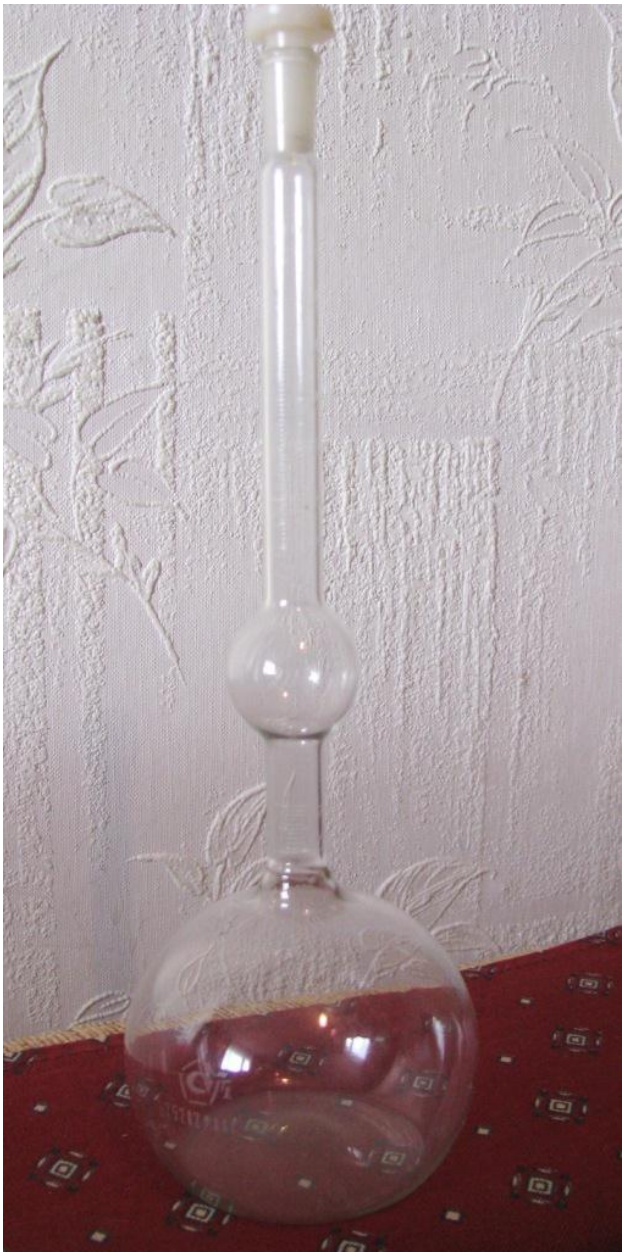
Мерные колбы, на заднем плане стоит мерный цилиндр, а внизу капельница Шустера. Перед цилиндром (справа от капельницы) расположен пикнометр. Пикнометр внешне напоминает мерную колбу, но назначение у него другое - определение плотности жидкостей.
Левая колба заполнена фуксинсернистой кислотой



Маленькая мерная колба



Тигли, маленькие мерные колбы, бюкс и фотометрическая кювета. На самой маленькой колбе написано "1 мл"



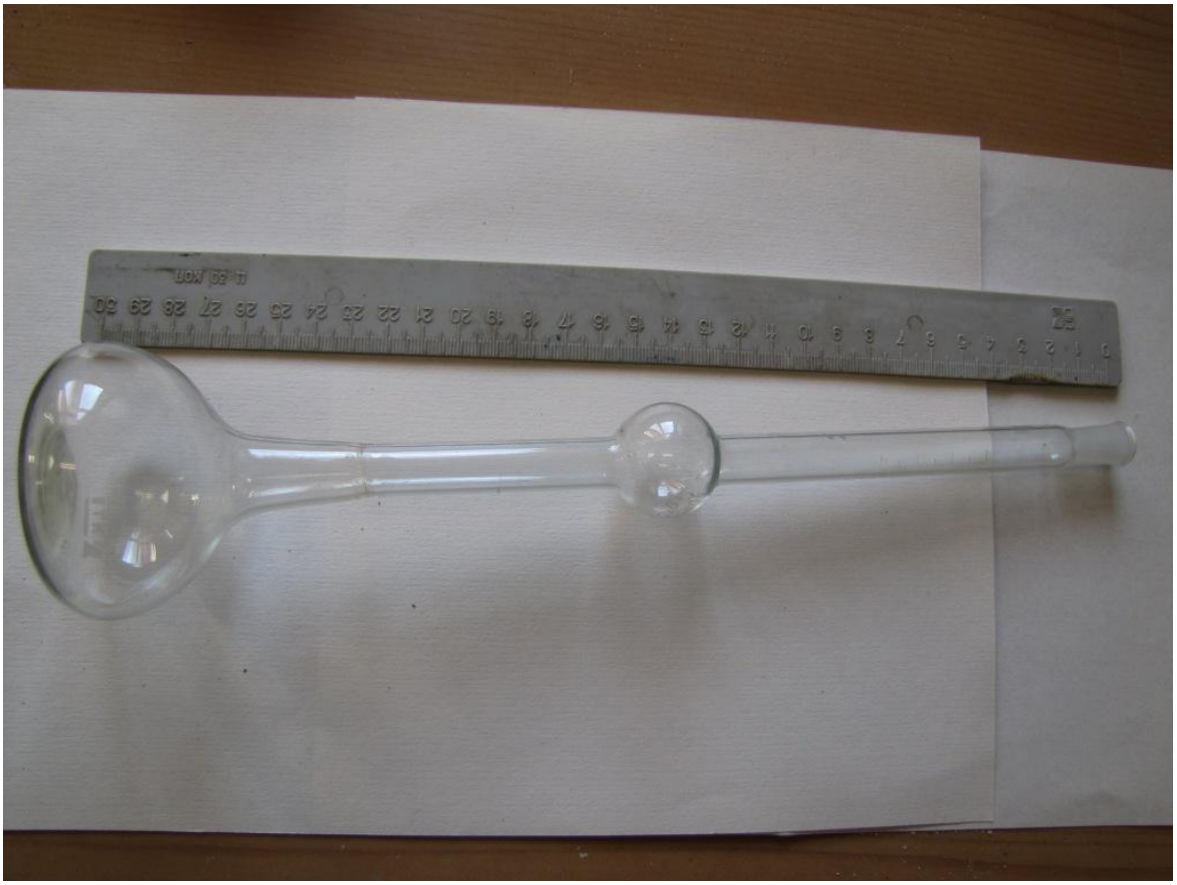

Колба со шкалой
Подобные колбы предназначены, чтобы отмерять сколько органического растворителя собралось над слоем воды.



Колба со шкалой

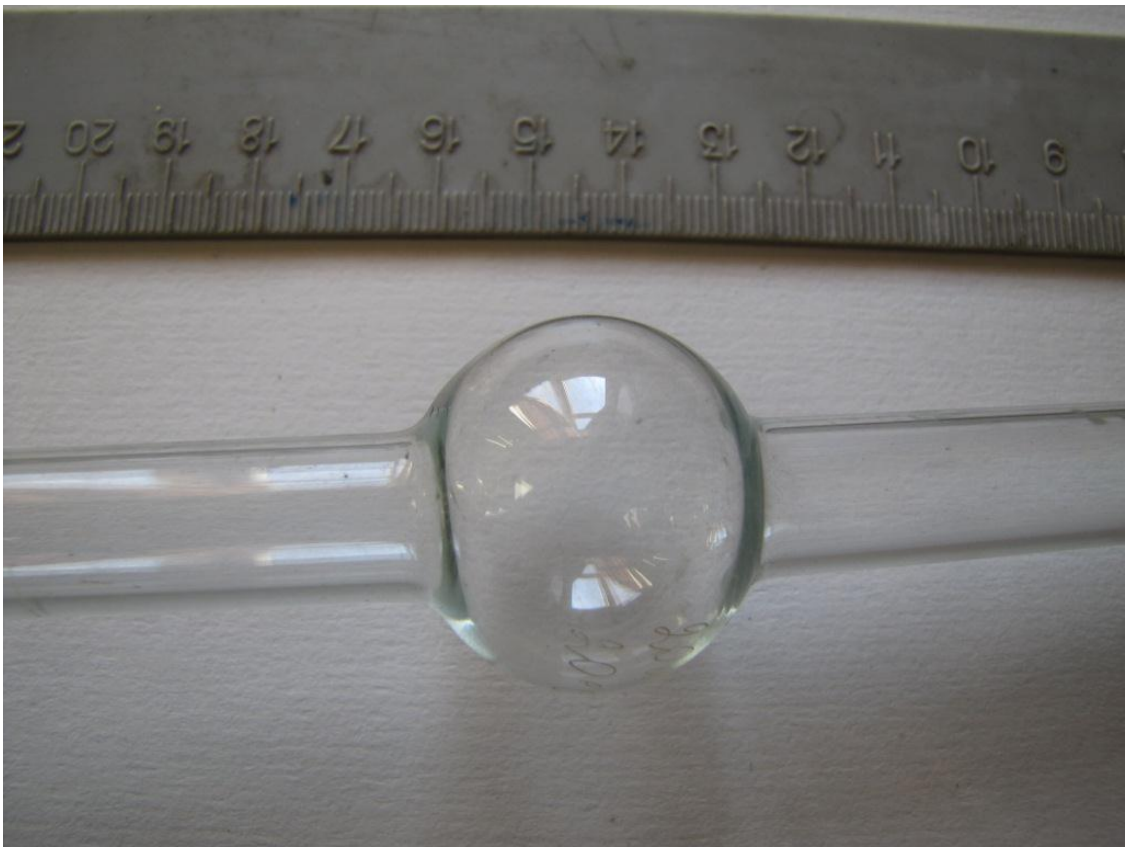


Колба со шкалой



Колба со шкалой





Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.2

Колбы

Колбы являются важным атрибутом почти каждой химической лаборатории. Назначение, форма и размер колб могут сильно отличаться, равно как и материал, из которого они сделаны, но колба для химика имеет почти такое же значение, как клавиатура и мышка для программиста.



Колбы: коническая и круглая. В конической колбе осаждается диоксид марганца



Круглодонная колба, химический стакан, круглая колба с плоским дном



Круглодонная колба на 500 мл с активированным углем.
Обратите внимание, что колба имеет не совсем шарообразную форму.







Круглодонные колбы (на 1000 и 500 мл)



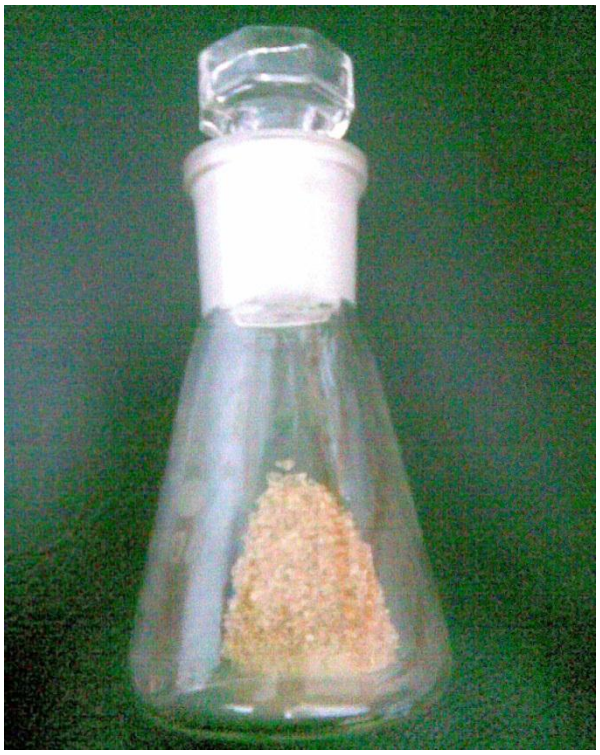
Круглодонная колба



Так удобно сушить колбы



Круглодонная колба



Коническая колба емкостью 100 мл со шлифом. Внутри желатин



Коническая колба с пробкой



Коническая колба на электрической плитке



Конические колбы для титрования



Титрование

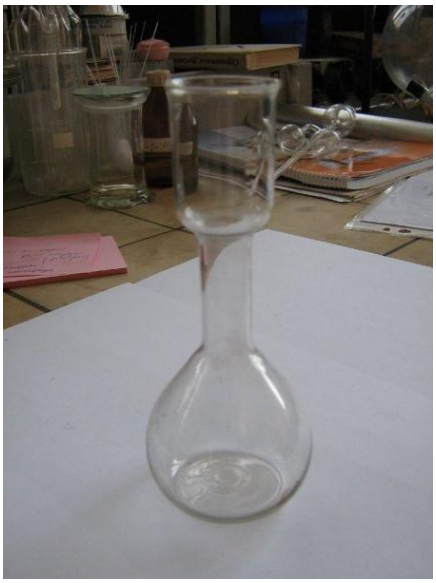




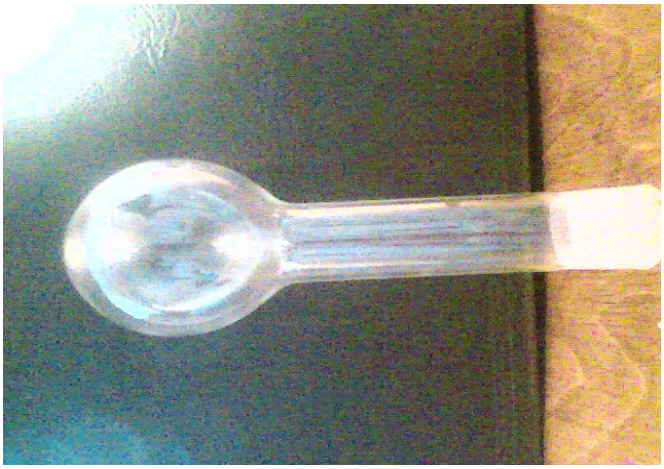
Грушевидная и круглодонная колба



Колба с дефлегматором



Колба Кольрауша



Колба Кьельдаля



Кристаллизатор, холодильник Либиха и колба Кьельдаля



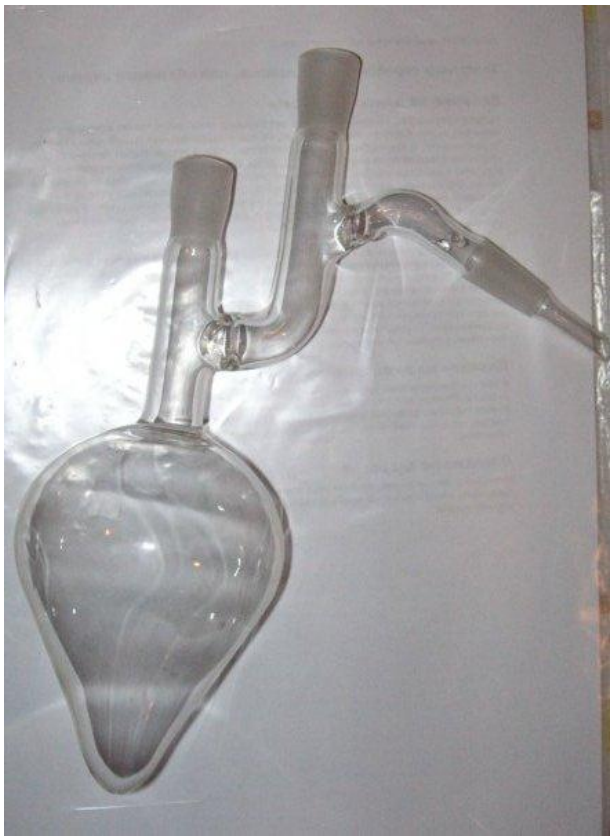




Колба Арбузова



Колба Арбузова (органический синтез)




0/4 кол.



Колба Кляйзена (Клайзена)



Колба Энглера



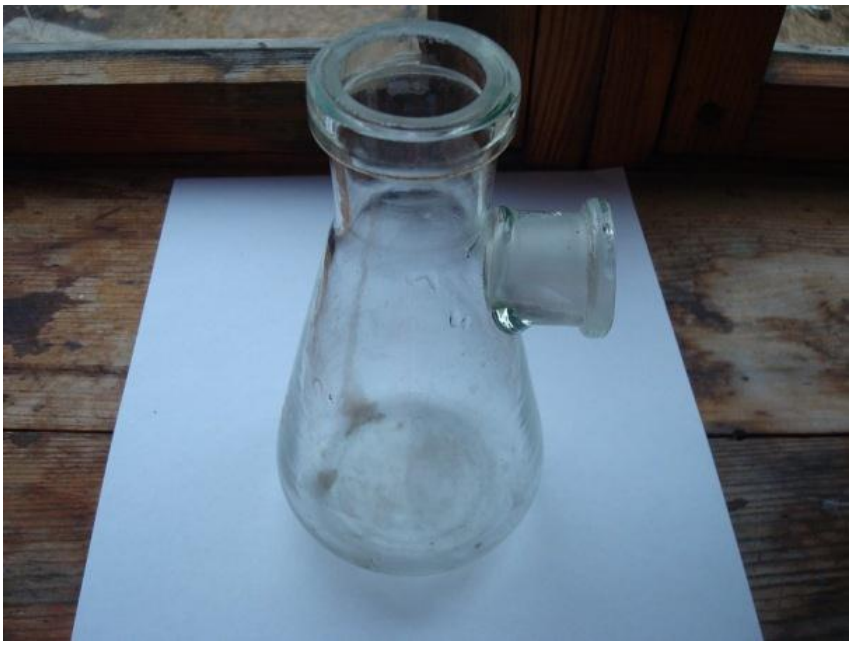
Колба Энглера (слева) и колба Вюрца (справа)



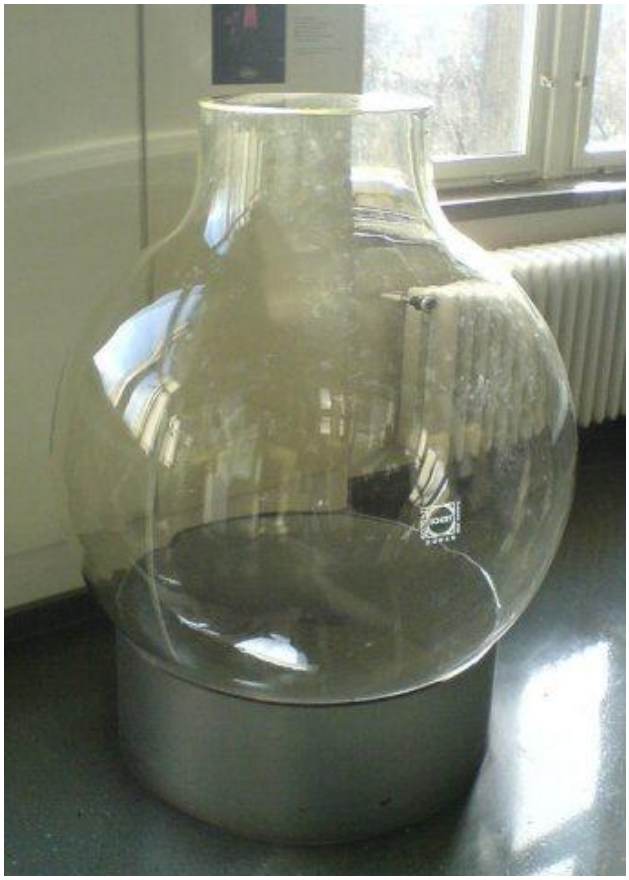
Колба Бунзена с воронкой Бюхнера (установка для вакуумного фильтрования)



Маленькая колба Бунзена



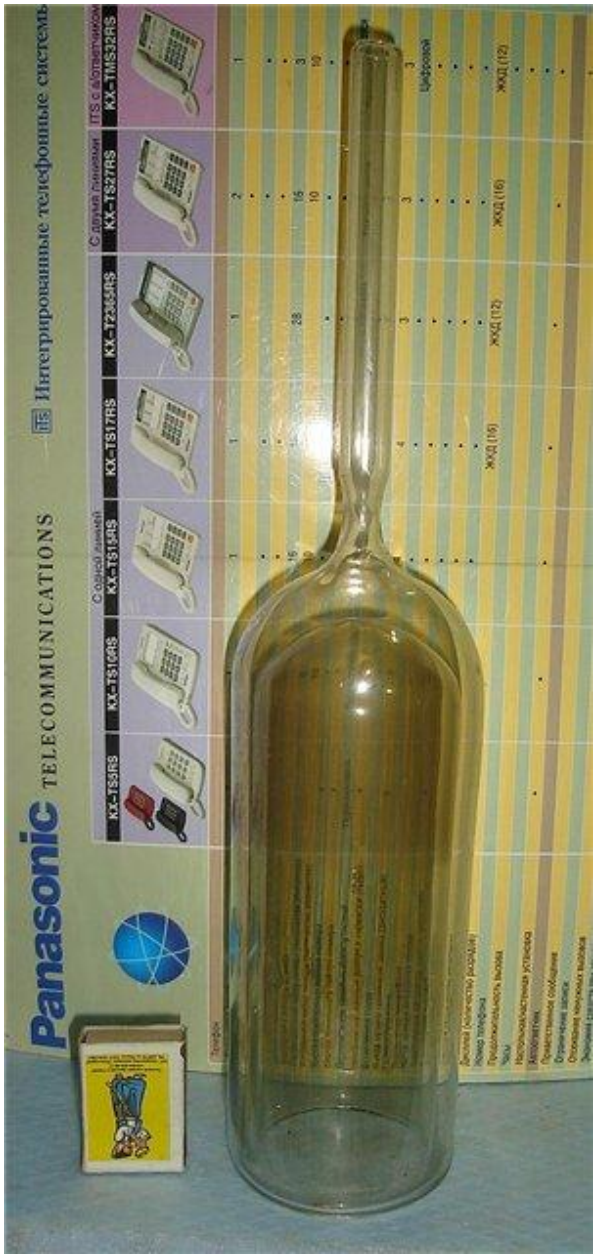






Колба для определения БПК (биологическая потребность кислорода)





Похоже, что это заготовка для колбы бытового термоса



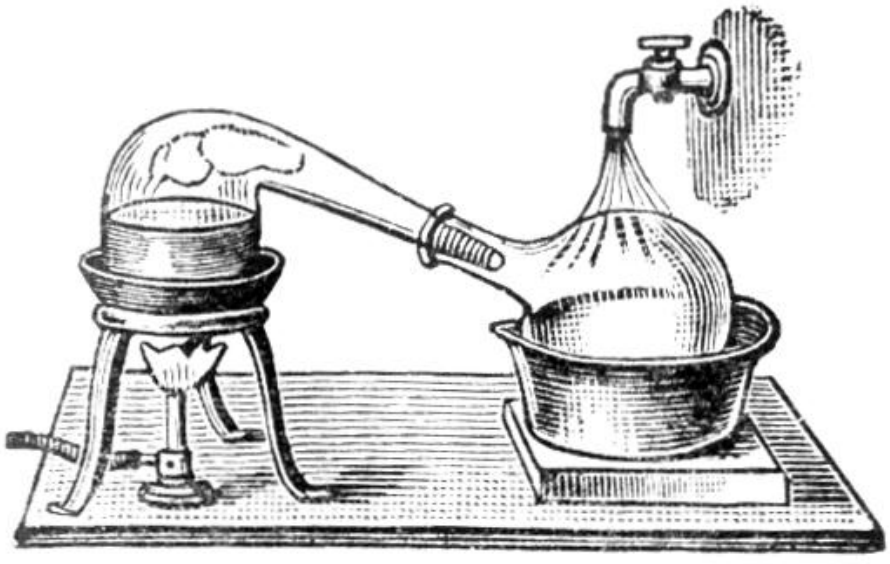


Реторта



Реторта





Перегонка с использованием реторты

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.3

Пробирки и U-образные трубки

Для многих людей пробирка является символом химической лаборатории и химии в целом. В действительности пробирки используются в основном для учебных и демонстрационных целей. Химики иногда хранят в пробирках образцы и реактивы, используют их для проведения качественных реакций.

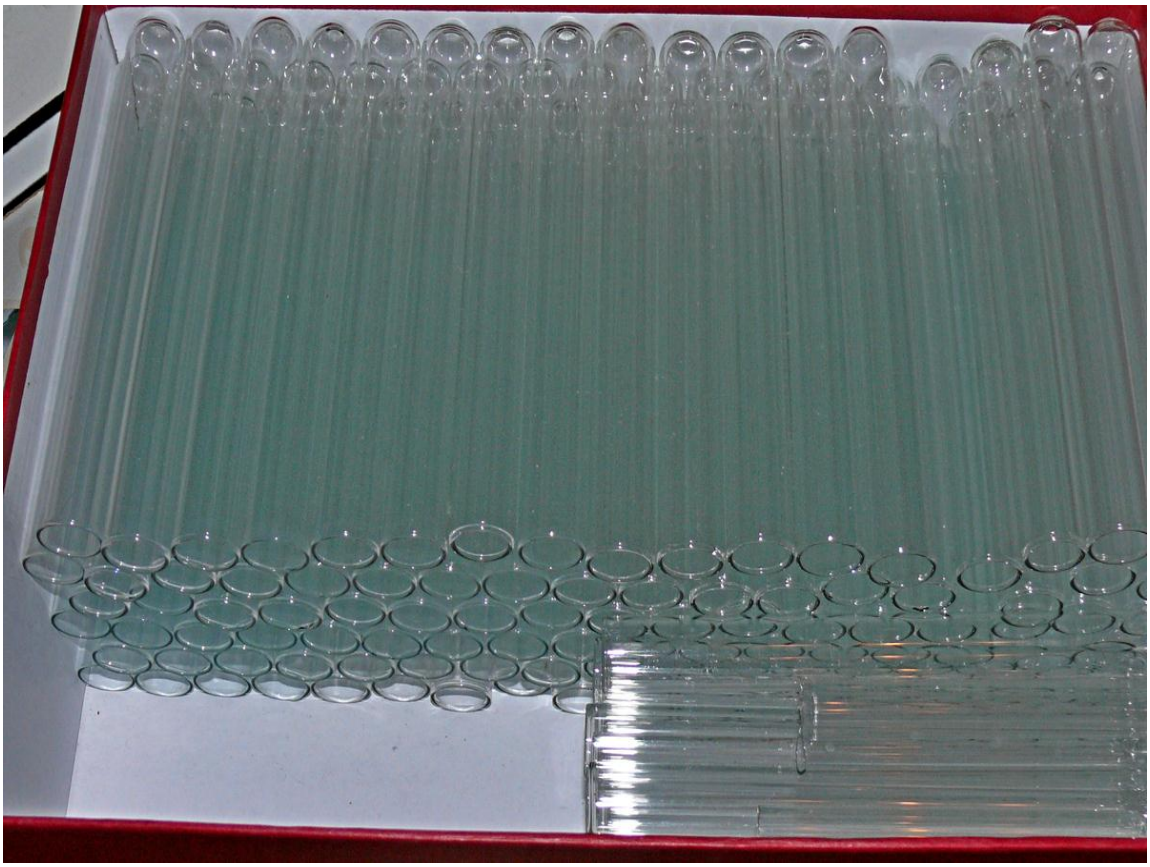
U-образные трубки используют в самых разнообразных химических установках. Например, они служат для конденсации паров и газов, для осушения газов, адсорбции газов и паров.



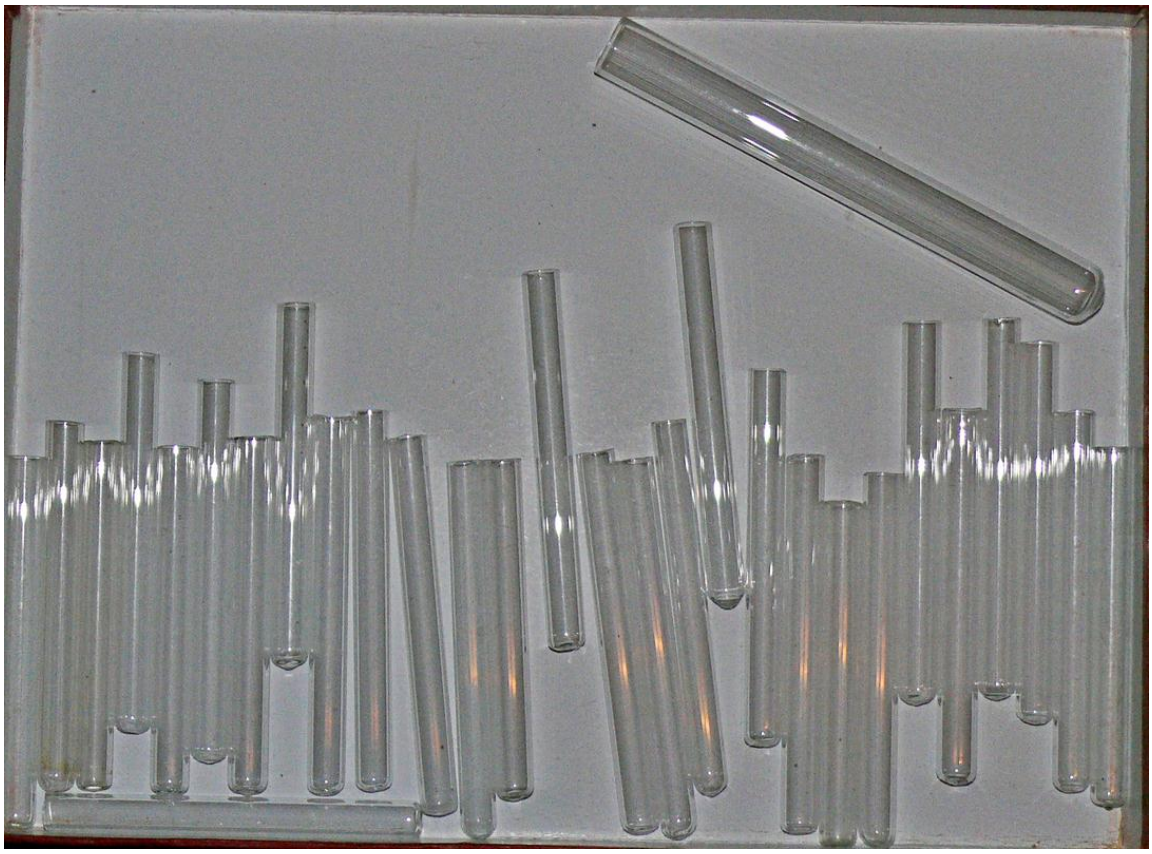
Пробирка



Пробирки (обычные)



Пробирки (обычные)



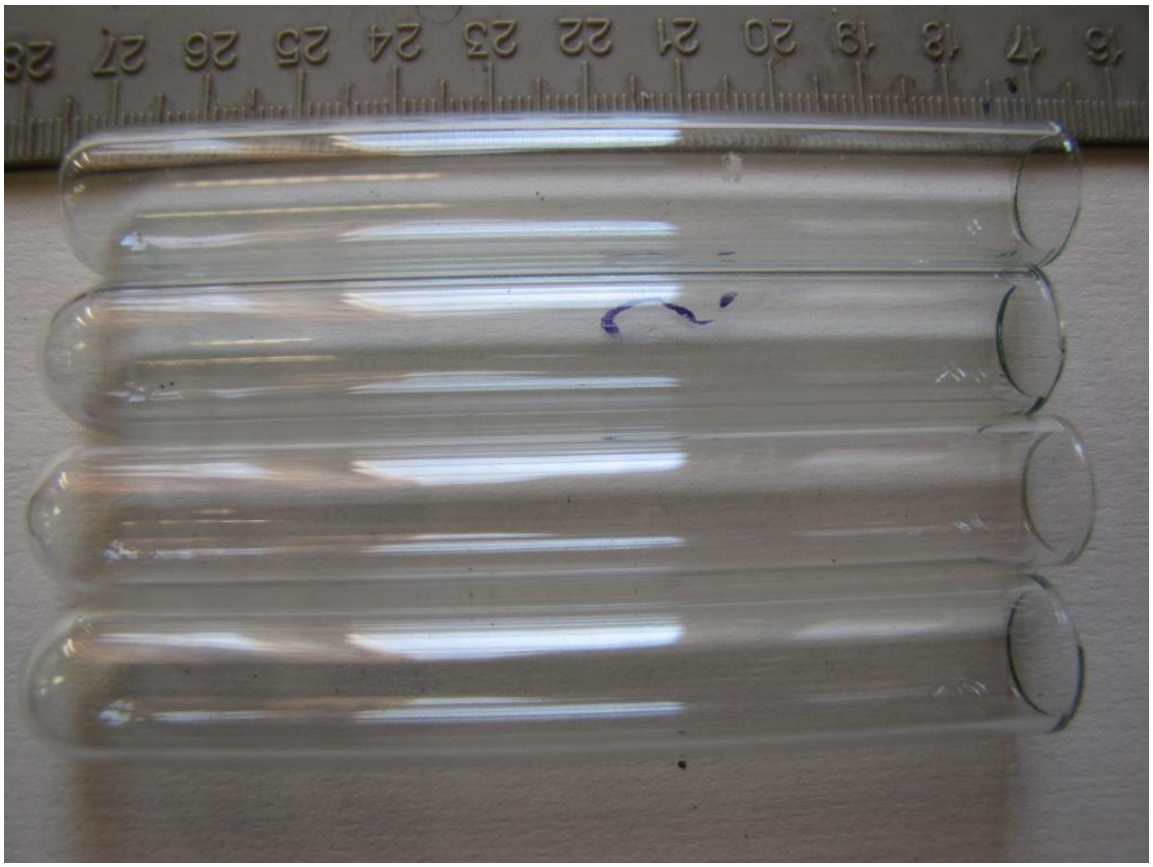
Пробирки (для полумикроанализа)



Пробирки конические и стеклянные трубки



Пробирки для центрифуги







Пробирка со шкалой (градуированная пробирка)



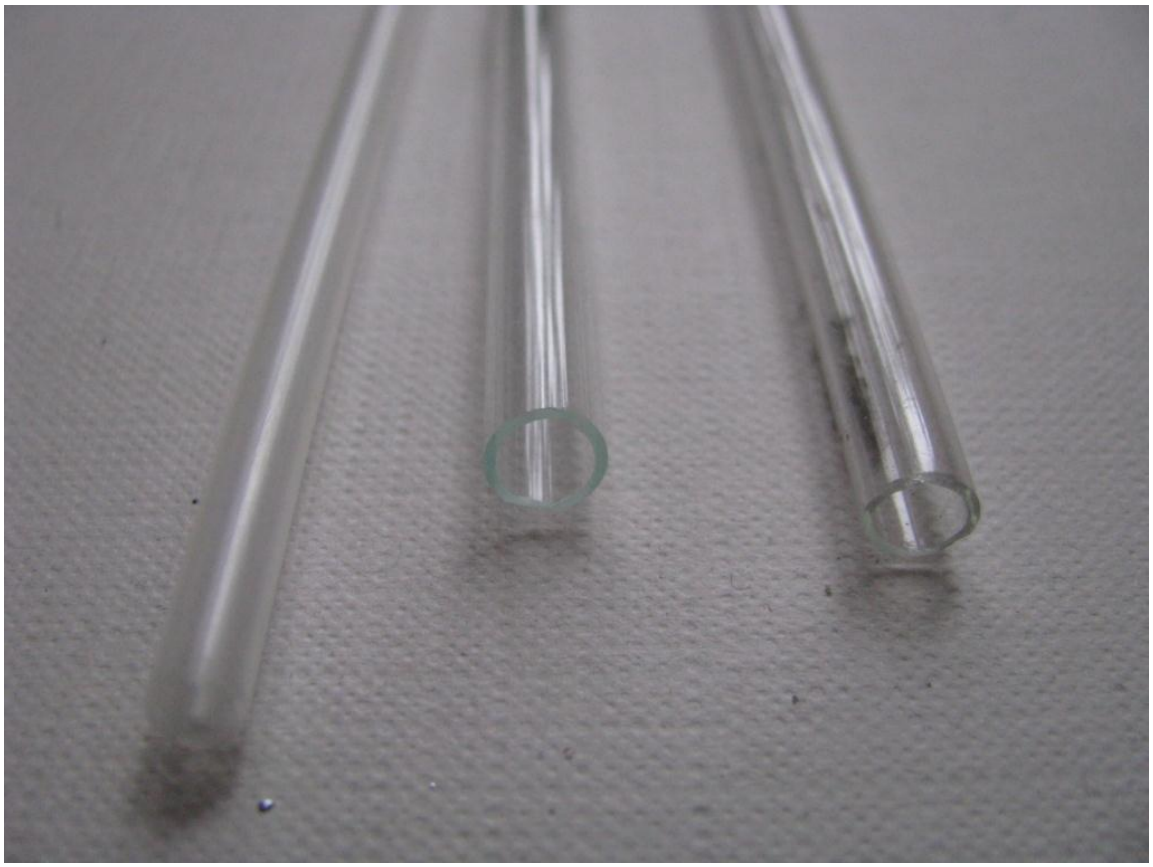
Приемник (для перегонки)

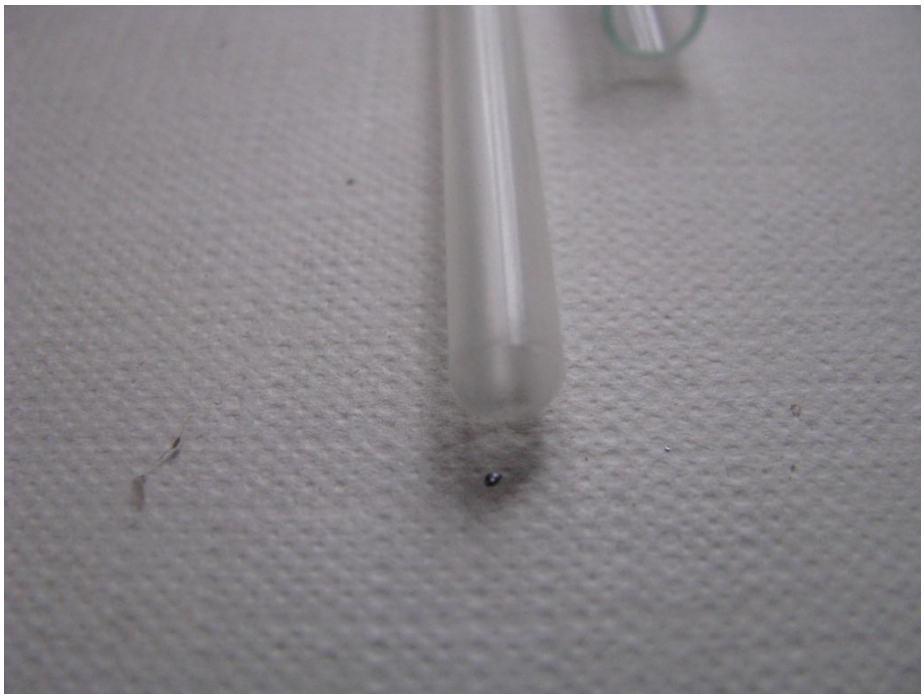


Пробирка с газоотводной трубкой



Пробирки для ЯМР (ядерный магнитный резонанс)







Штативы для пробирок



U-образная трубка с одним боковым отводом



U-образная трубка с двумя кранами и двумя боковыми отводами (правый отвод с каплеуловителем)



U-образная трубка с двумя кранами и двумя боковыми отводами



U-образные трубки и хлоркальциевая трубка



U-образная трубка и неизвестная склянка

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.4

Капельные и делительные воронки

Капельные воронки предназначены для постепенного прибавления жидкости в колбу с реакционной смесью (и не только). Капельные воронки могут иметь разнообразный размер - от самых маленьких, до литровых и более крупных.

Делительные воронки предназначены для разделения двух несмешивающихся жидкостей, например, воды и углеводородов. При этом нижний слой жидкости аккуратно сливают через краник, а верхний слой остается в воронке. Такие воронки удобны для жидкостной экстракции.

К раствору, из которого необходимо извлечь вещество, добавляют нужный растворитель, воронку закрывают и встряхивают. Если растворитель легколетучий, после нескольких встряхиваний из воронки необходимо выпустить газ, иначе рост давления за счет испарения растворителя может привести к взрыву.

Поскольку из-за ненадежности крана нередко возникают проблемы, его иногда заменяют обрезком эластичной трубки с зажимом Мора. Разумеется, материал трубки должен быть устойчив к применяемым растворителям.



Капельная воронка







Воронка капельная большая 1000 мл (Венгрия)



Капельные воронки с компенсатором давления



Капельная воронка с компенсатором давления



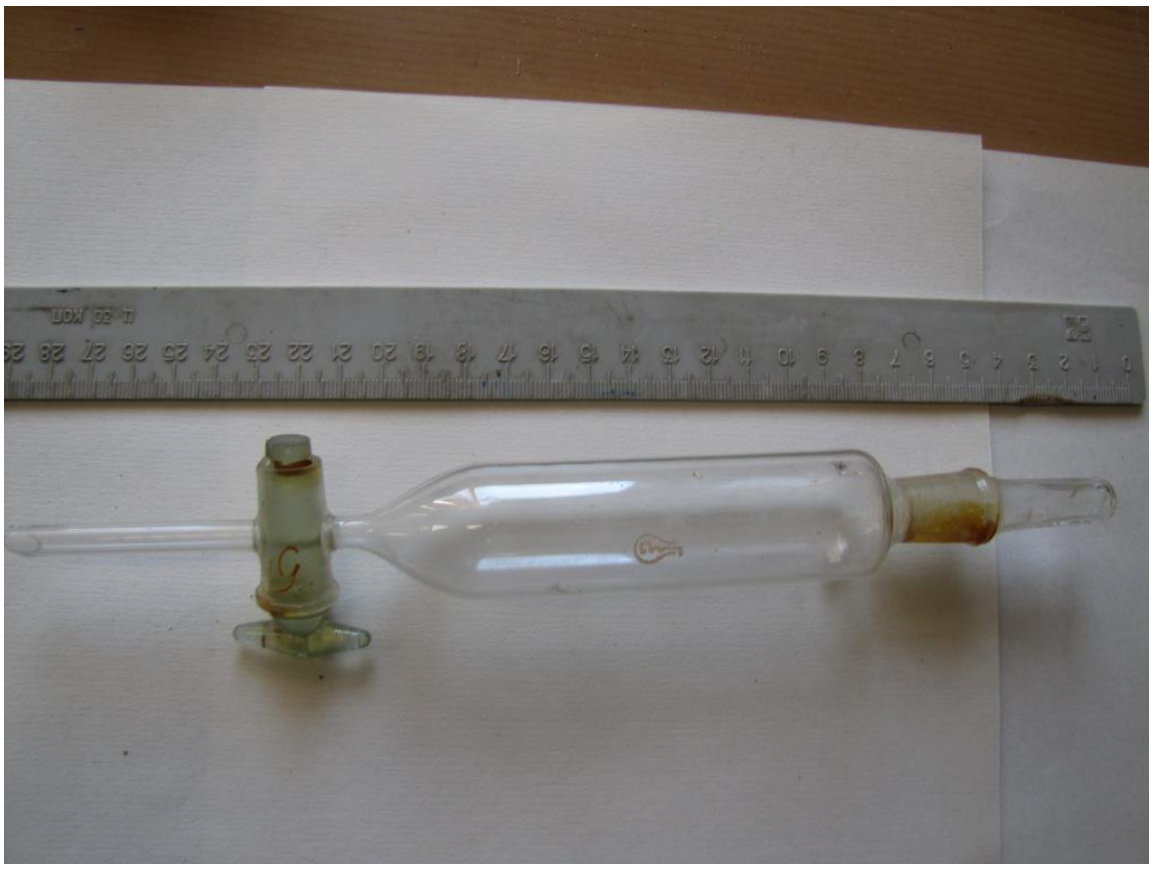
Капельная и делительные воронки



Капельная воронка объемом 50 мл, делительная воронка объемом 100 мл, делительная воронка объемом 250 мл



Делительная воронка









Делительная воронка на 1000 мл



Воронка с перегородкой из пористого стекла



Воронка с перегородкой из пористого стекла



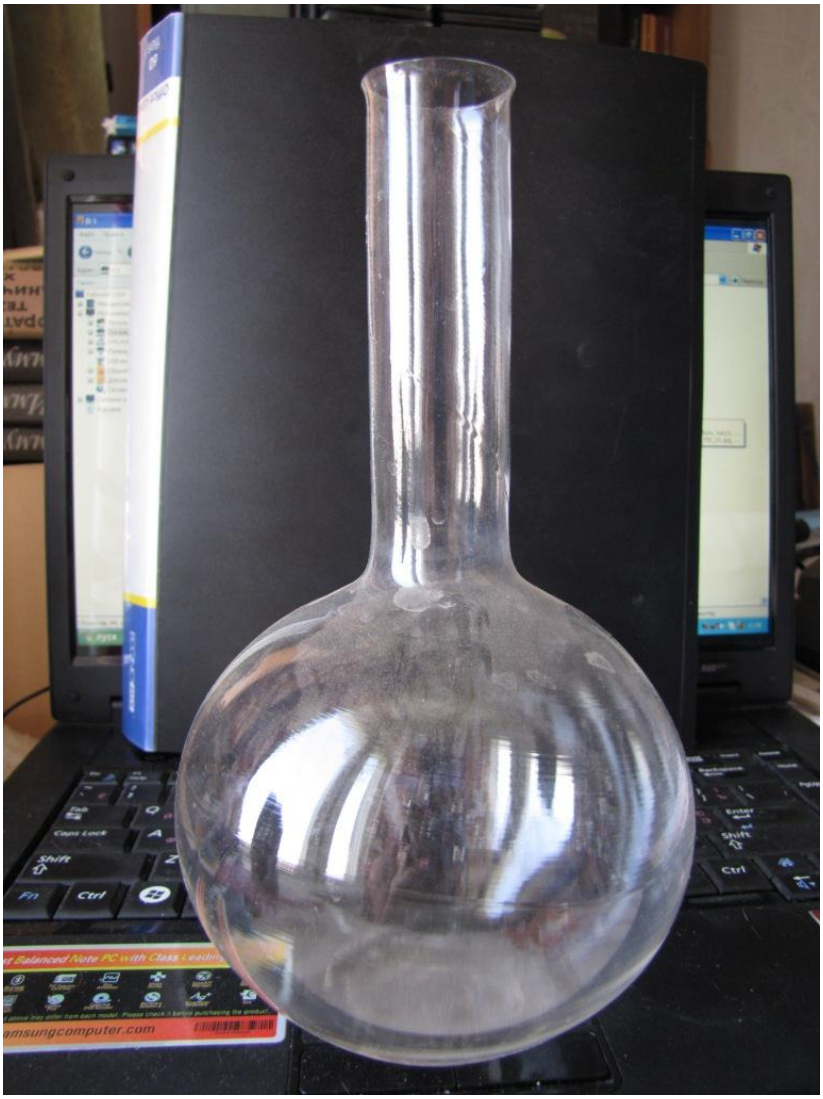
Воронка с перегородкой из пористого стекла

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.5

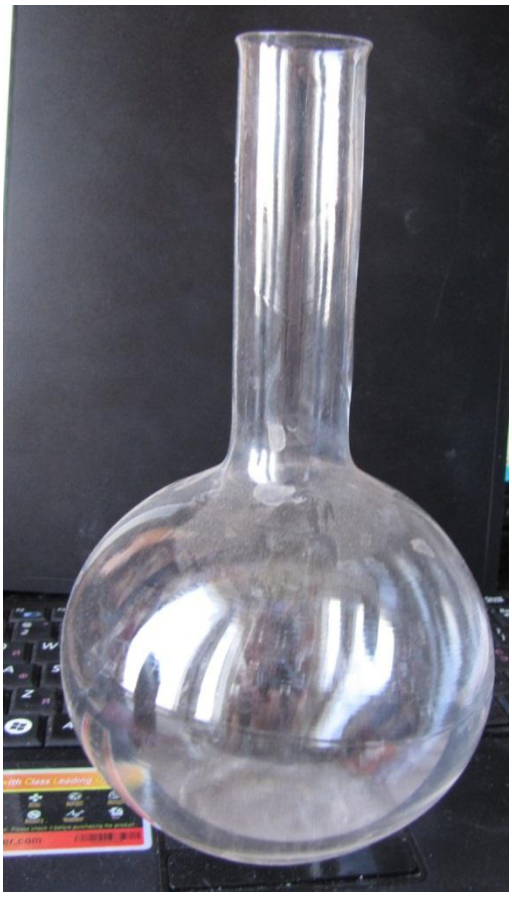
Кварцевая колба

Кварцевое стекло отличается высокой термостойкостью. В отличие от обычного стекла, кварц выдерживает опускание в воду после нагревания до красного каления. Изделия из кварцевого стекла высоко ценятся химиками. Например, чтобы сделать муфельную печь достаточно иметь кварцевую трубку, нихромовую проволоку и теплоизоляцию.

К сожалению, кварцевое стекло трудно поддается обработке, что обуславливает высокую цену и дефицитность кварцевого стекла.

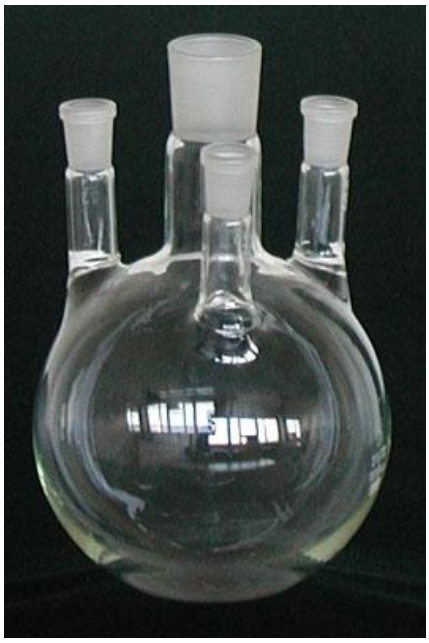


Кварцевая колба (объем 1 л)



Реакторы (двугорлые и трехгорлые колбы)

Двугорлые и трехгорлые колбы (реакторы) широко используются в органическом синтезе, а также для целого ряда других химических работ. В некоторых случаях требуются колбы более сложной конструкции.



Колба круглодонная с параллельными горловинами (КГП)

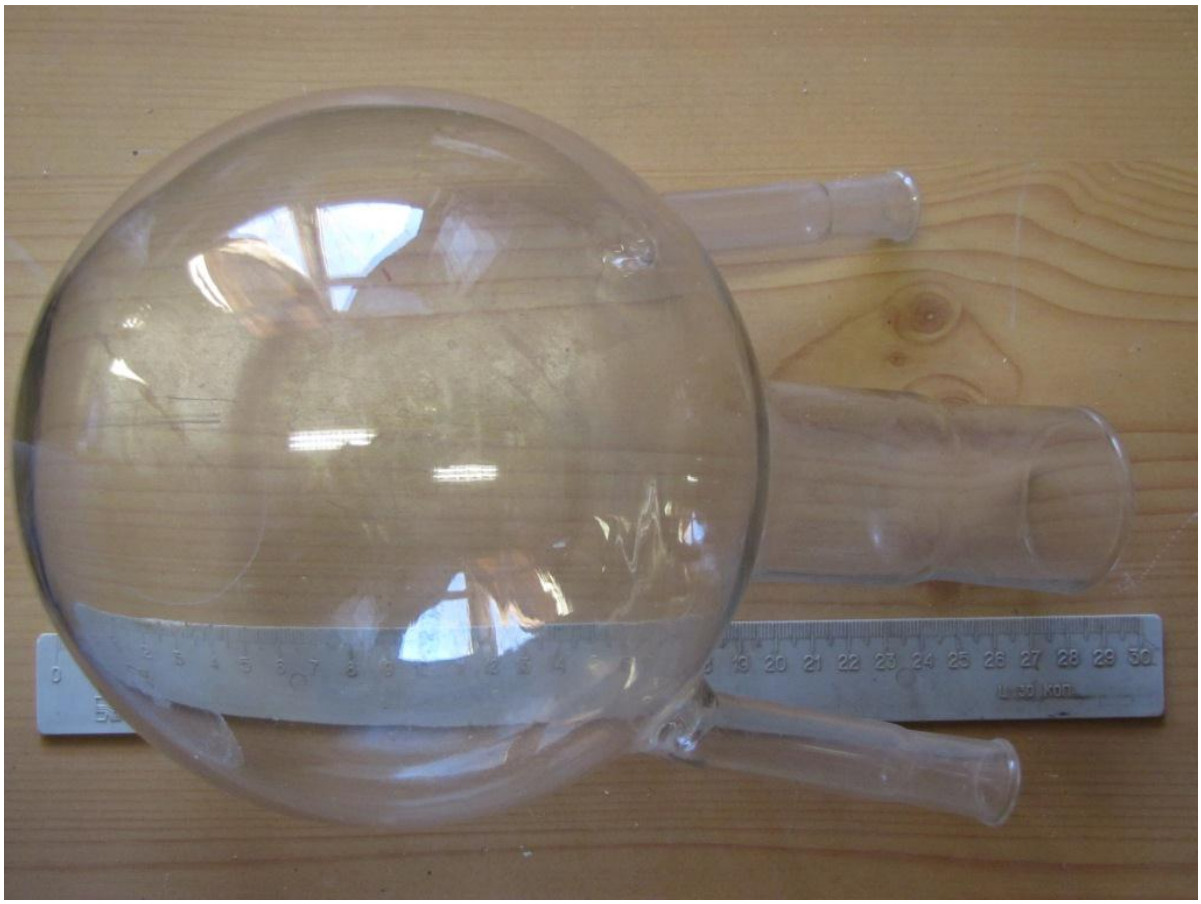


Колба круглодонная с горловинами под углом (КГУ)



Трехгорлая колба (реактор) [объем 2 л]

Песня *Подарите мне колбу трехгорлую (Рома Федоров)*Слушать





Двугорлая колба (реактор)



Трехгорлая колба



Трехгорлая колба







Миниатюрная двугорлая колба из чешского набора для микрохимического анализа (размер скрепки менее 2 см)



Колба с рубашкой



Реакторы сложной конструкции



Трехгорлая колба коническая
Вероятно, выполняет декоративною функцию. По крайней мере, слышать о применении таких колб не приходилось



Трехгорлый реактор (колба) с термометром, обратным холодильником и капельной воронкой



Стеклянный реактор фирмы Simax



Стеклянный реактор (рабочее положение)



Стеклянный реактор и змеевик для охлаждения (или нагрева)

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.6

Набор для микрохимического анализа

Предлагаем вашему вниманию фотографии лабораторной посуды из чешского набора для микрохимического анализа. Этот набор заказали для одного из институтов еще во времена Чехословакии (видимо, понравилось красивое название). Убедившись после получения, что набор им не нужен, сотрудники отложили его подальше. В результате, уцелела только часть этого набора. Конечно, часть - это меньше, чем целое, но гораздо лучше, чем ничего.



Колбочки









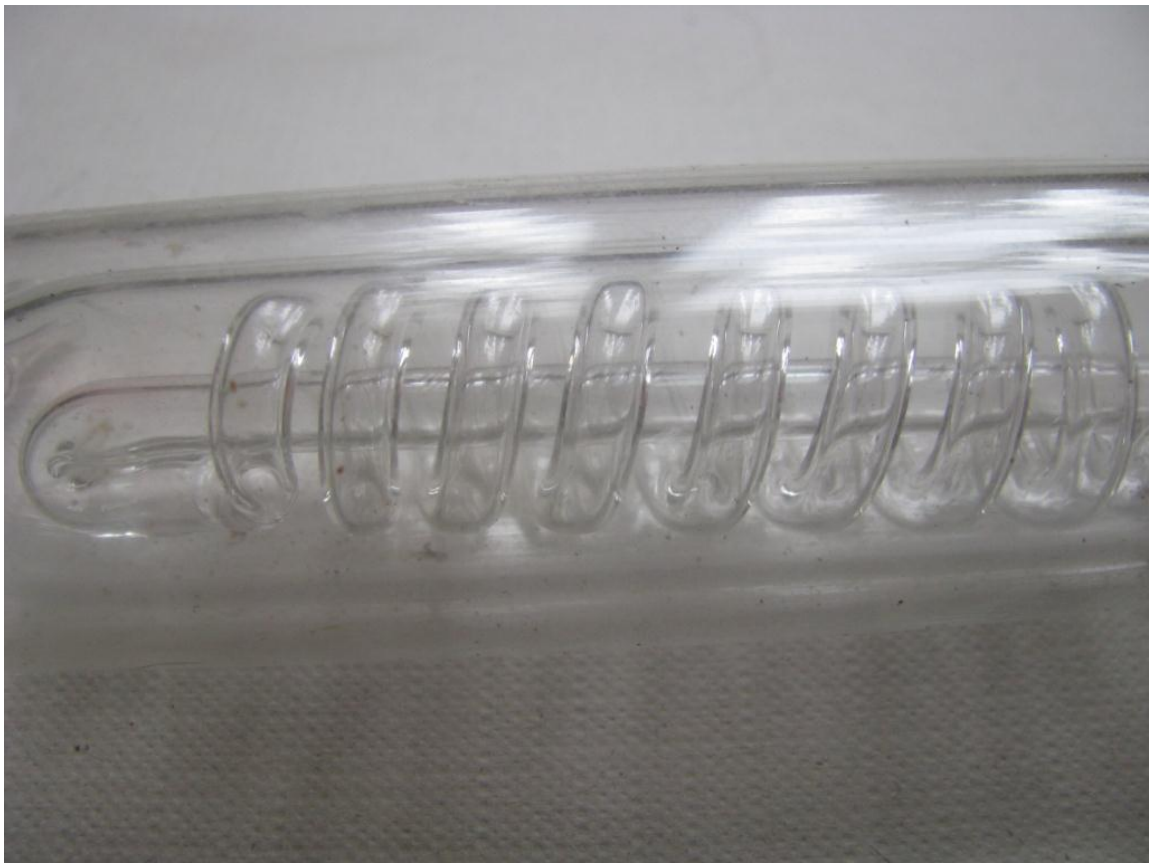


Холодильники

















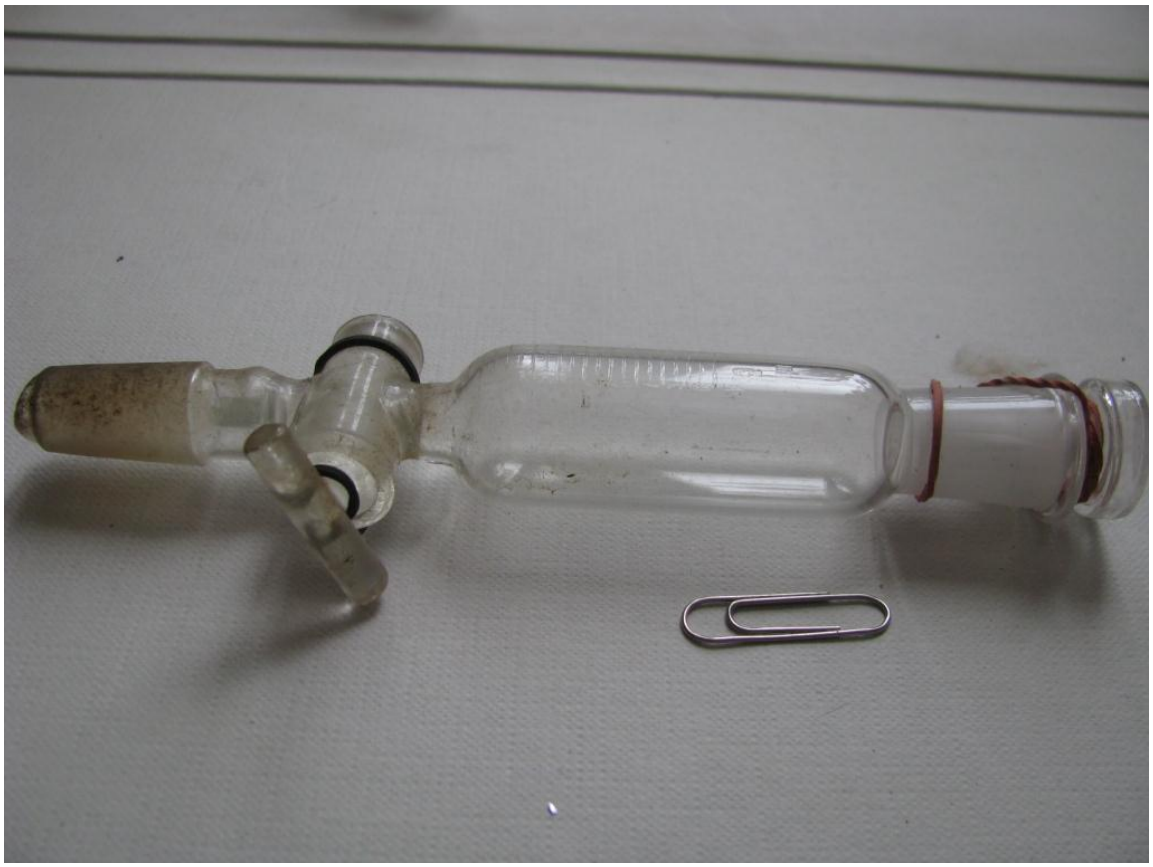












Делительная воронка (миниатюрная)

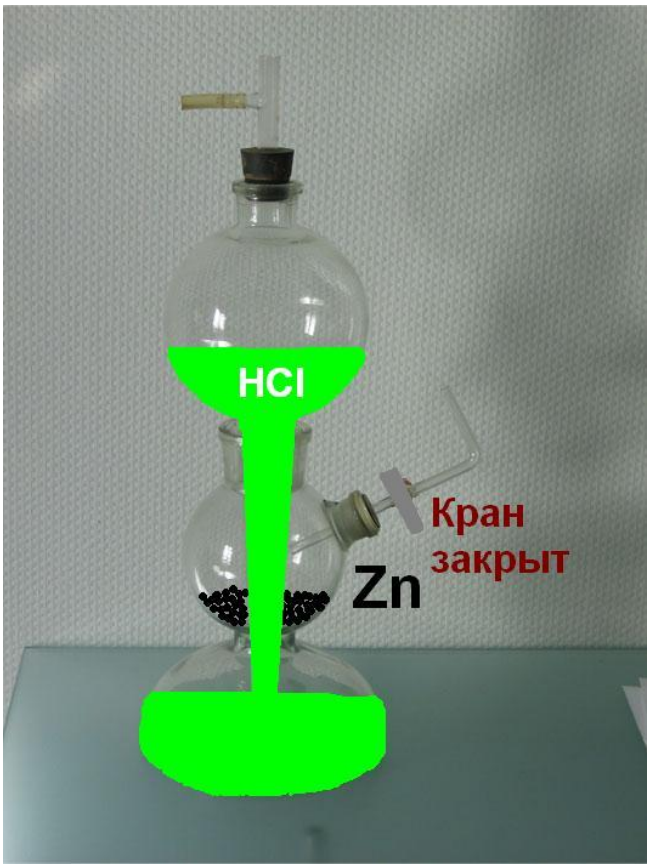


Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.7

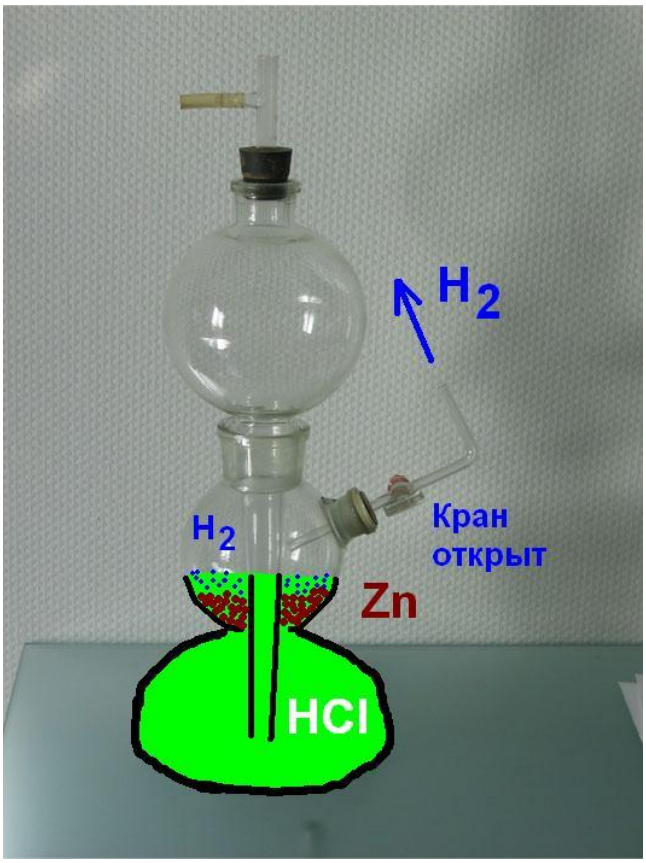
Аппарат Киппа

Аппарат Киппа - один из самых известных приборов для получения газов. Он широко используется для лекционных демонстраций и учебных лабораторных работ. В исследовательских и контрольных лабораториях химики предпочитают использовать в качестве источника газов баллоны. Это объясняется не только удобством, но и большей безопасностью (хотя баллоны в плане безопасности тоже не идеальны). Получение водорода и горючих газов в аппарате Киппа связано с риском взрыва - особенно при неаккуратной работе. Подобные взрывы могут окончиться трагически.

Принцип действия аппарата Киппа прост. Рассмотрим его на примере получения водорода. На дне среднего резервуара есть решетка, на которой расположены гранулы цинка. В аппарат наливают кислоту (серную или соляную). Когда кран на газоотводной трубке закрыт, кислота находится в верхней воронке и нижнем резервуаре. Как только открывают кран, кислота течет из воронки и заполняет нижнюю часть второго резервуара, в результате начинается реакция с цинком, выделяется водород. Когда эксперимент окончен, кран закрывают, и водород перестает выходить из аппарата Киппа. Давление газа вытесняет кислоту в воронку до тех пор, пока контакт кислоты и цинка не прекратится. Выделение водорода останавливается. Если открыть кран (на газоотводной трубке), кислота снова попадет из воронки во второй резервуар и поток водорода возобновится.



Аппарат Киппа - кран закрыт



Аппарат Киппа - кран открыт, выделяется водород



Аппарат Киппа









Прибор Кирюшкина - небольшая установка для получения газов. Фактически это малый аналог аппарата Киппа. На газоотводную трубку надет зажим Мора





Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.8

Лабораторные мелочи (переходники, тройники, бюксы, краны, пробки)

Ниже даны фотографии некоторых "мелочей", которые абсолютно необходимы в каждой химической лаборатории.



Кран



Краны и каплеуловители



Вакуумный кран (например, для вакуум-эксикатора)



Кран



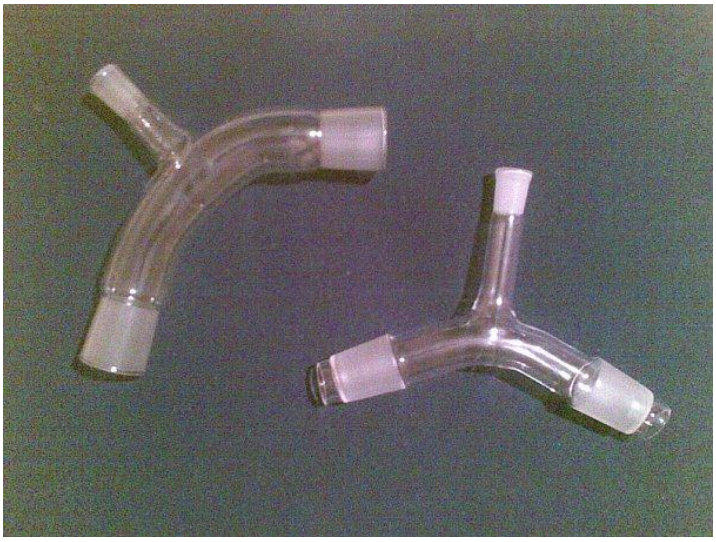
Вакуумные краны и промывалка



Тройник









Переходник



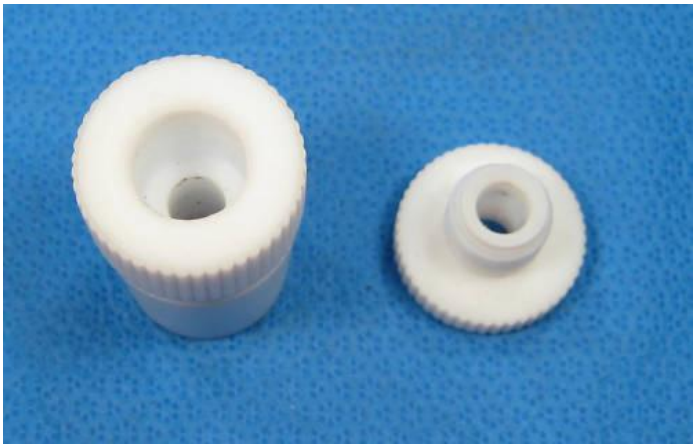








Переходник (адаптер) для термометра (из тефлона)




29/32


29/32



Пробки и краны



Стеклянные пробки



Резиновая пробка



Резиновые и корковые пробки



Бюкс



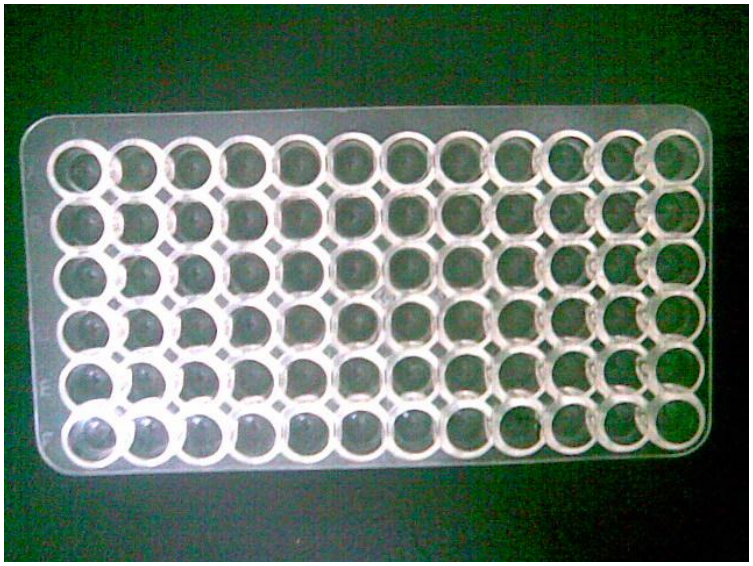
Бюксы с реактивами



Чашка Петри с высушенным гидроксидом меди

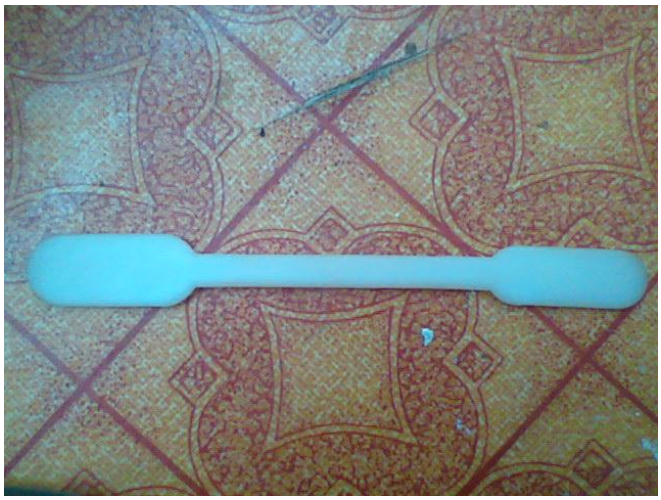


Чашка Петри с зажимами



Пластиковый планшет. Такие планшеты используют в биохимических исследованиях





Шпатель



Бутылочки для реактивов



Бутылка объемом 500 мл с притертым колпачком



Бутылочка с притертым колпачком



Бутылочка с пипеткой



Полипропиленовые бутыли с краном

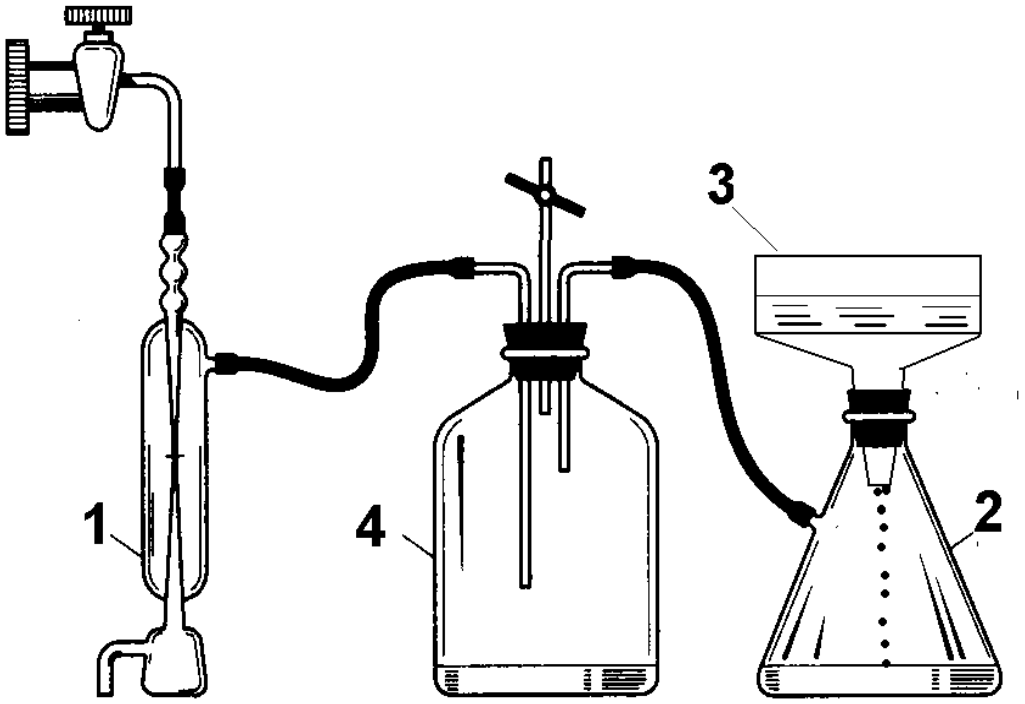


Полипропиленовая бутылка с кислотой и полипропиленовая промывалка

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.9

Вакуум и фильтрование

Использование вакуума позволяет значительно ускорить фильтрование. Для фильтрования под вакуумом собирают специальную установку. Обычно такая установка состоит из водоструйного насоса (в разговорной речи - "водоструйка") (1), колбы Бунзена (2), к которой подсоединена воронка Бюхнера (3) или фильтр (воронка) Шотта. Иногда между водоструйным насосом (который создает вакуум) и колбой Бунзена устанавливают предохранительную склянку. Это позволяет избежать засасывания воды в колбу, которое может произойти, если во время работы установки прекратится подача воды на водоструйный насос. Поэтому после окончания фильтрования необходимо сначала отсоединить вакуумный шланг от колбы Бунзена, и только потом уже перекрыть воду.



Установка для вакуумного фильтрования

Фильтры Шотта представляют собой стеклянные воронки с пластинкой из пористого стекла. Размер пор может быть различным. Если налить воду в крупнопористый фильтр Шотта, вода будет течь струей или частыми каплями (воронка отсоединена от вакуумной установки). В случае мелкопористых фильтров, вода будет течь очень медленно (одна капля за несколько десятков секунд или еще медленнее). Обычно фильтры Шотта имеют

диаметр несколько сантиметров, реже - несколько десятков сантиметров. Естественно, скорость фильтрования зависит не только от пористости фильтра, но и от его диаметра, а также от разрежения в колбе.

Фильтрующие тигли Гуча представляют собой стеклянные тигли с дном из пористого стекла. По сути, они отличаются от воронок Шотта лишь формой (и уступают последним в удобстве обращения).

Воронка Бюхнера представляет собой фарфоровую воронку с плоским дном, в котором есть отверстия. Поверх этих отверстий кладут кружок фильтровальной бумаги. Бумага должна плотно прилегать к фарфоровому дну (для этого ее необходимо чуть смочить водой).

Водоструйные насосы делают из стекла, пластмассы и металла. К сожалению, стеклянные насосы нередко бьются. Наиболее ценятся металлические водоструйки.

Хороший водоструйный насос создает вакуум, при котором кипит теплая вода и растворы, содержащие спирт или ацетон. Теоретически водоструйный насос способен создать разрежение, равное давлению насыщенного пара водопроводной воды. Насосы других типов для вакуумного фильтрования почти не применяют.



Воронки Шотта (фильтры с перегородкой из пористого стекла)















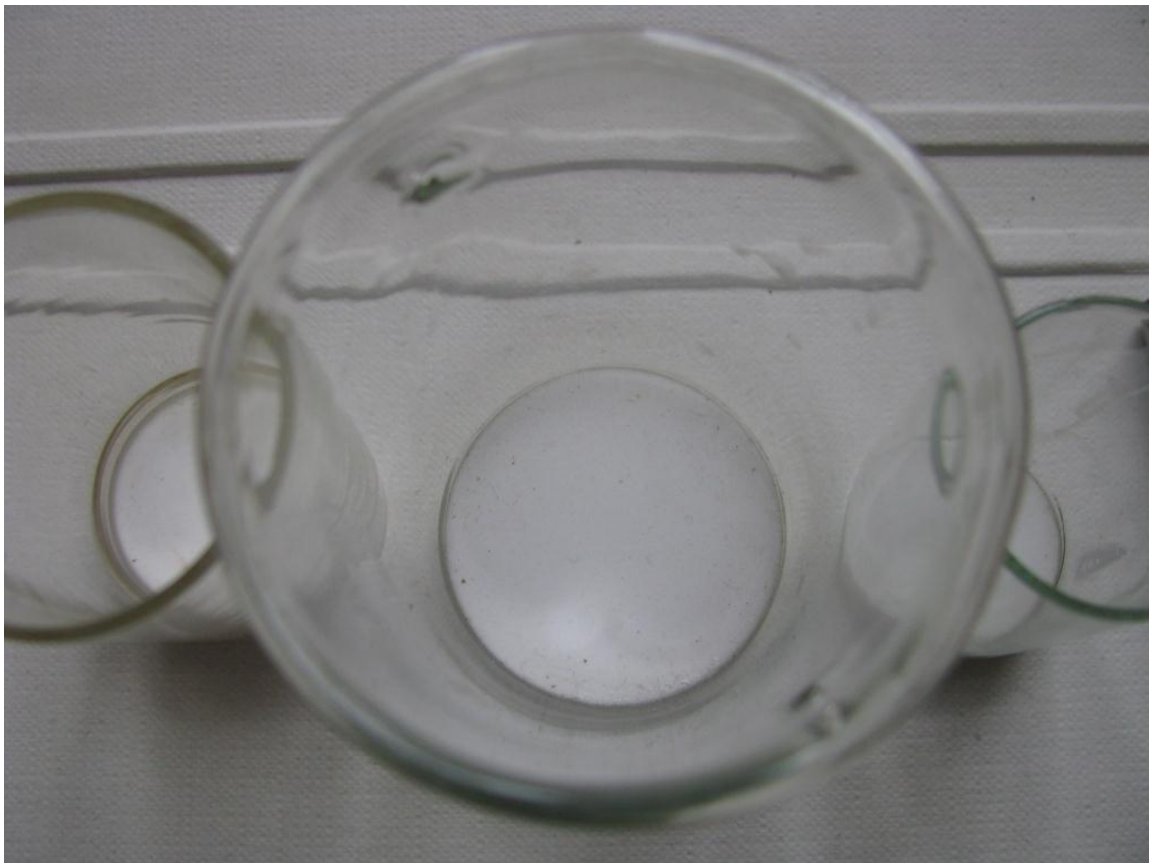


Воронки Шотта и фильтрующие тигли Гуча



Фильтрующие тигли Гуча









Воронка с перегородкой из пористого стекла



Установка для вакуумного фильтрования (миниатюрная)







Фильтр для очистки газов



Барботер с пористой перегородкой





Воронка Бюхнера









Воронка Бюхнера на колбе Бунзена (на переднем плане - микробюретка)



Водоструйные насосы и кристаллизатор



Водоструйный насос (более сложной конструкции)





Самодельный водоструйный насос из пластикового шприца на 20 мл



Фильтрование под вакуумом в домашних условиях

Смотреть Видео (44 Мб, .avi)



Вакуумный колокол



Вакуумная установка

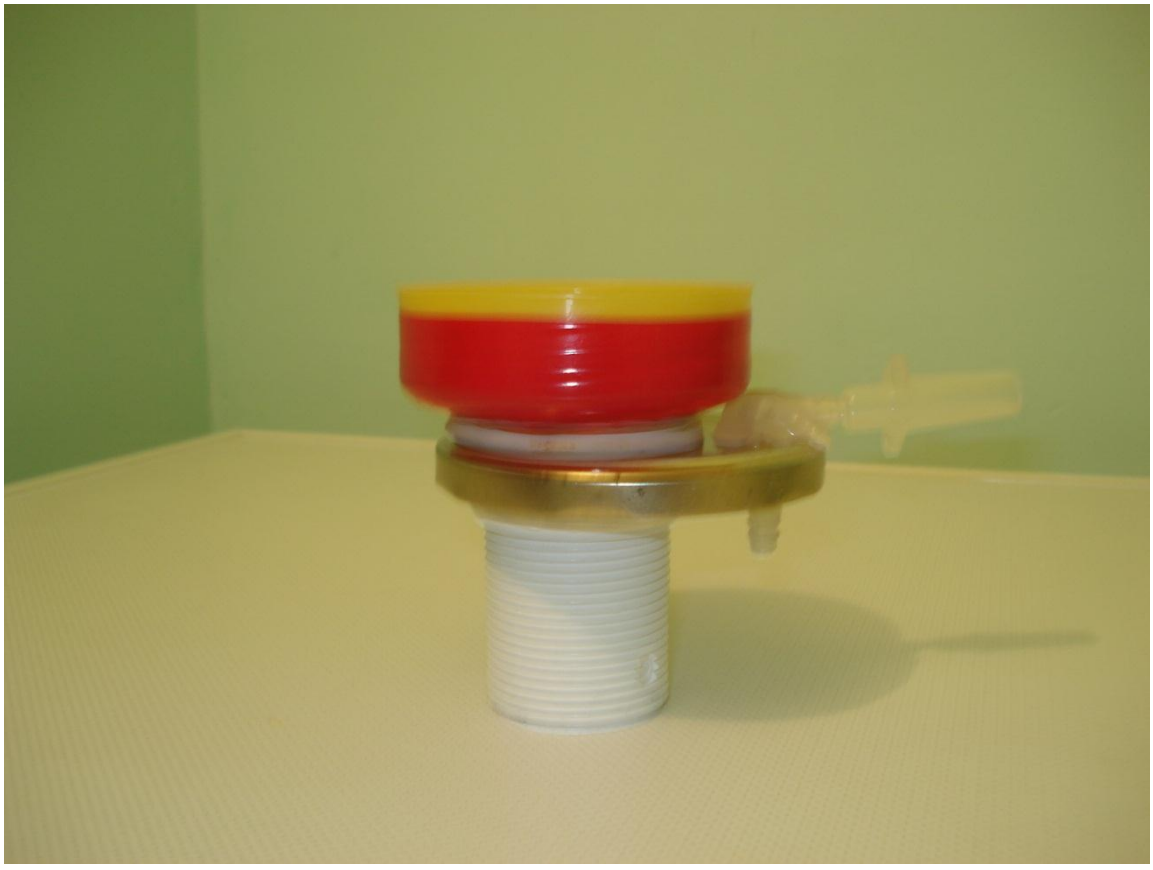


Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.9а

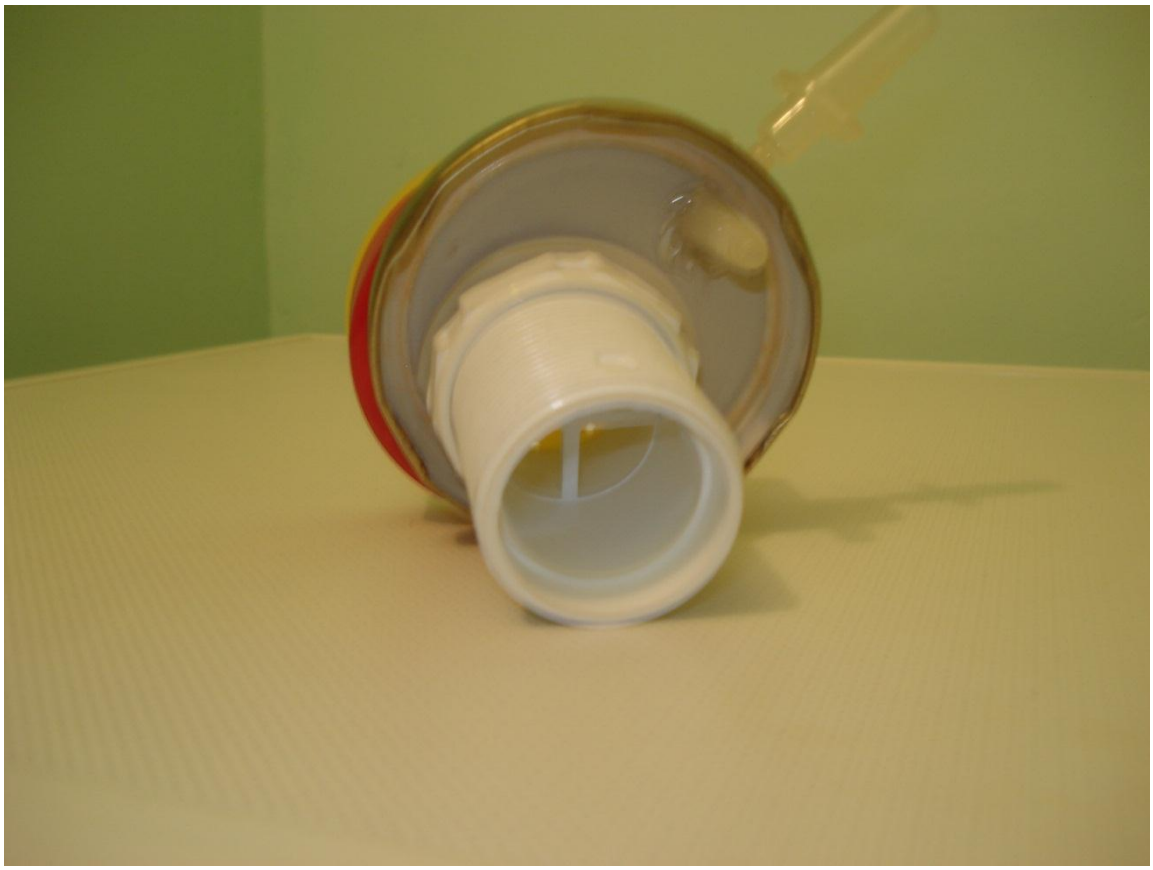
Самодельная воронка Бюхнера

"Потратил около часа на изготовление. Потребовались крышка металлическая завинчивающаяся, уплотнительные кольца (в моем случае силиконовые прокладки от сменных картриджей для обратного осмоса), крышка пластиковая с ровным дном, воронка от слива раковины, которую приварил к вышеуказанной крышке и укрепил дополнительно изолентой. В крышке предварительно насверлил отверстий диаметром 1 мм. Надевается на стеклянную банку объемом 0.5 л (для большей герметичности приходится подматывать изолентой). Через шланг соединяется с водоструйным насосом. Работает отлично."

xylol



Самодельная воронка Бюхнера



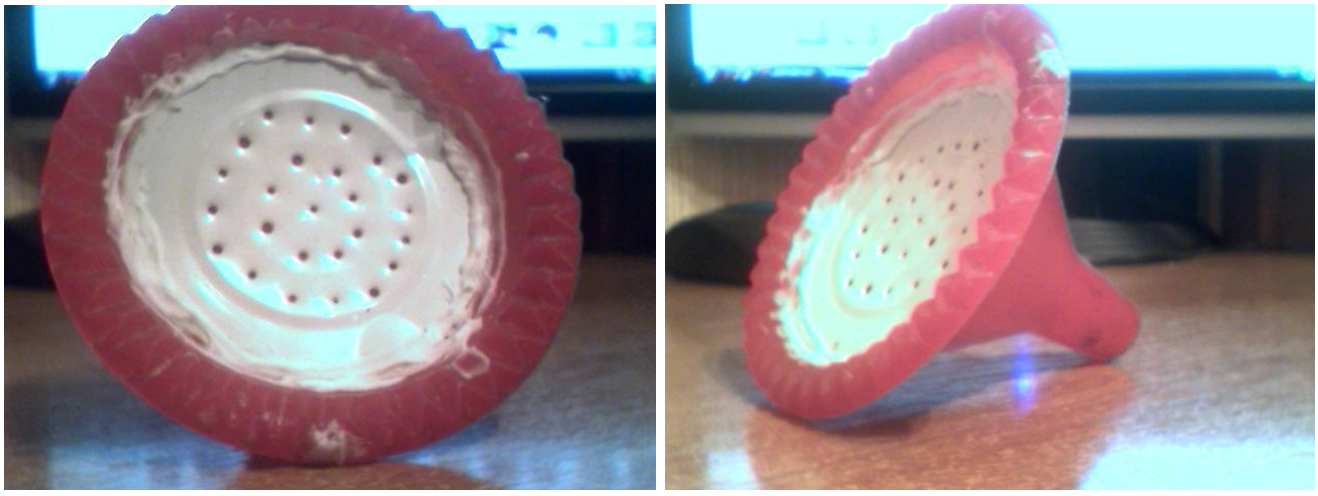




Самодельная воронка Бюхнера и водоструйный насос

"Сделал "воронку Бюхнера". Выглядит не очень красиво, но работает."

Андрей Трелин



Самодельная воронка Бюхнера

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.10

Фарфоровая посуда и изделия

Фарфоровая посуда и изделия часто используется в химической лаборатории. Фарфор имеет более высокую термостойкость, чем стекло, но при резком охлаждении также растрескивается.

Фарфоровые тигли используют для нагрева веществ - в муфельной печи или на газовой горелке, в последнем случае тигель ставят в фарфоровый треугольник. Алундовые тигли (т.е. тигли из плавленого оксида алюминия) имеют более высокую термостойкость, чем фарфоровые и высоко ценятся химиками. Железные тигли имеют высокую термостойкость и не боятся резкого охлаждения, но при нагревании на воздухе они окисляются.

Выпарные чашки используют для выпаривания растворов, иногда в них нагревают твердые вещества.

Фарфоровые лодочки используют для нагрева веществ в трубчатых печах (не редко - в токе газа).

Фарфоровые ступки часто используют для измельчения не слишком твердых веществ. Кроме фарфоровых используются железные, бронзовые и агатовые ступки, а также ступки из других материалов. Из перечисленного списка химиками особо ценятся агатовые ступки.

Бактериальные фильтры делают из пористой керамики или пористого стекла. Они содержат достаточно мелкие поры, что позволяет отфильтровывать из жидкости бактерии и другие микроорганизмы. В то же время, вирусы способны проходить через бактериальные фильтры.



Фарфоровые тигли









Тигель, стакан и выпарная чашка





Фарфоровый (слева) и алундовый (справа) тигли.
(Алунд (электрокорунд) - плавленый оксид алюминия)





Алундовые тигли





Фарфоровая лодочка и железный тигель с крышкой



Стаканчики из нержавеющей стали (стопки). Их можно использовать в качестве тиглей





Фарфоровые лодочки





Кварцевая лодочка
(использовалась для синтеза фосфидов кобальта и никеля
путем восстановления фосфатов водородом)







Алундовые цилиндры













Фарфоровые ступки с пестиками








СОЧИ
БАЛАБАНОВСКИЕ





Яшмовая ступка с пестиком



Фарфоровые стаканы емкостью 1.5 литра



Фарфоровая кружка и фарфоровый стакан





Бюксы и фарфоровый стакан объемом 50 мл



Фарфоровая посуда. Сзади ступки с пестами, в центре - фарфоровый треугольник для тиглей, справа выпарная чашка и фарфоровая ложка



Фарфоровый шпатель

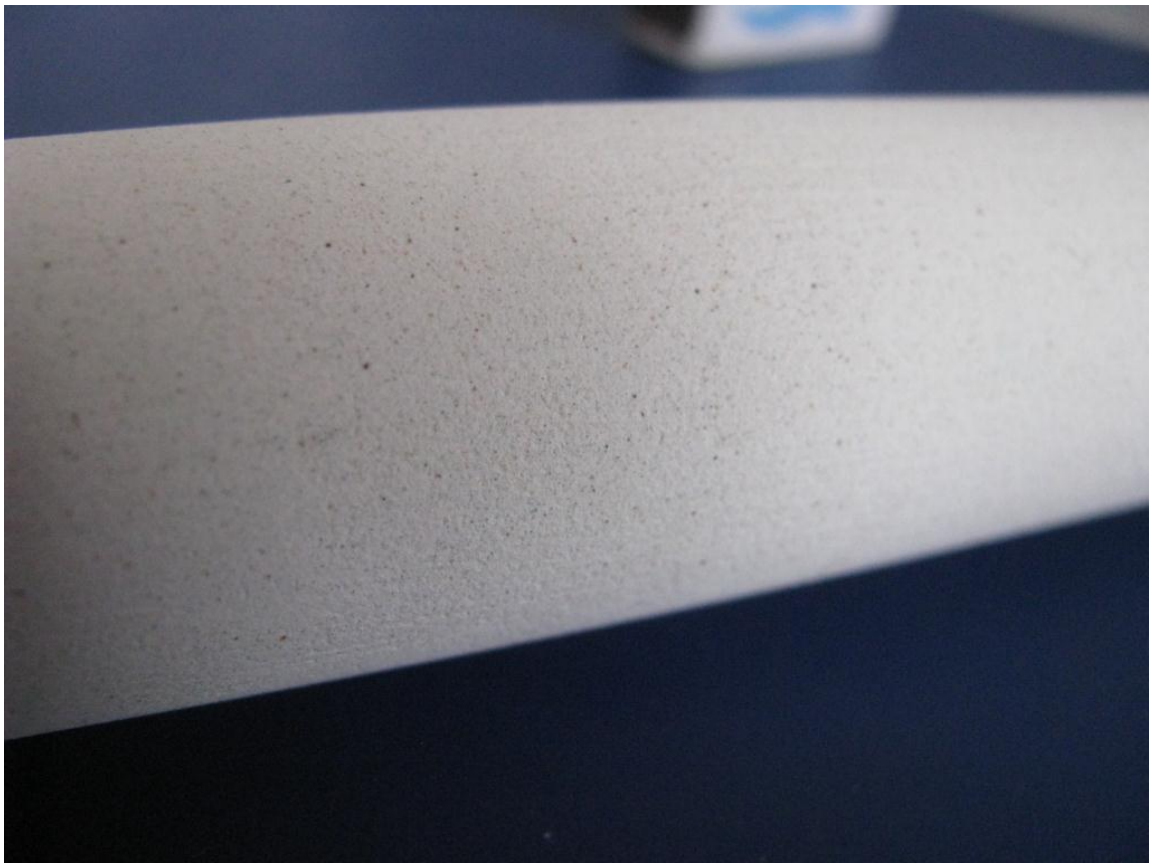


Фарфоровая кастрюля объемом 50 мл
(внешний вид не совсем соответствует принятому названию)



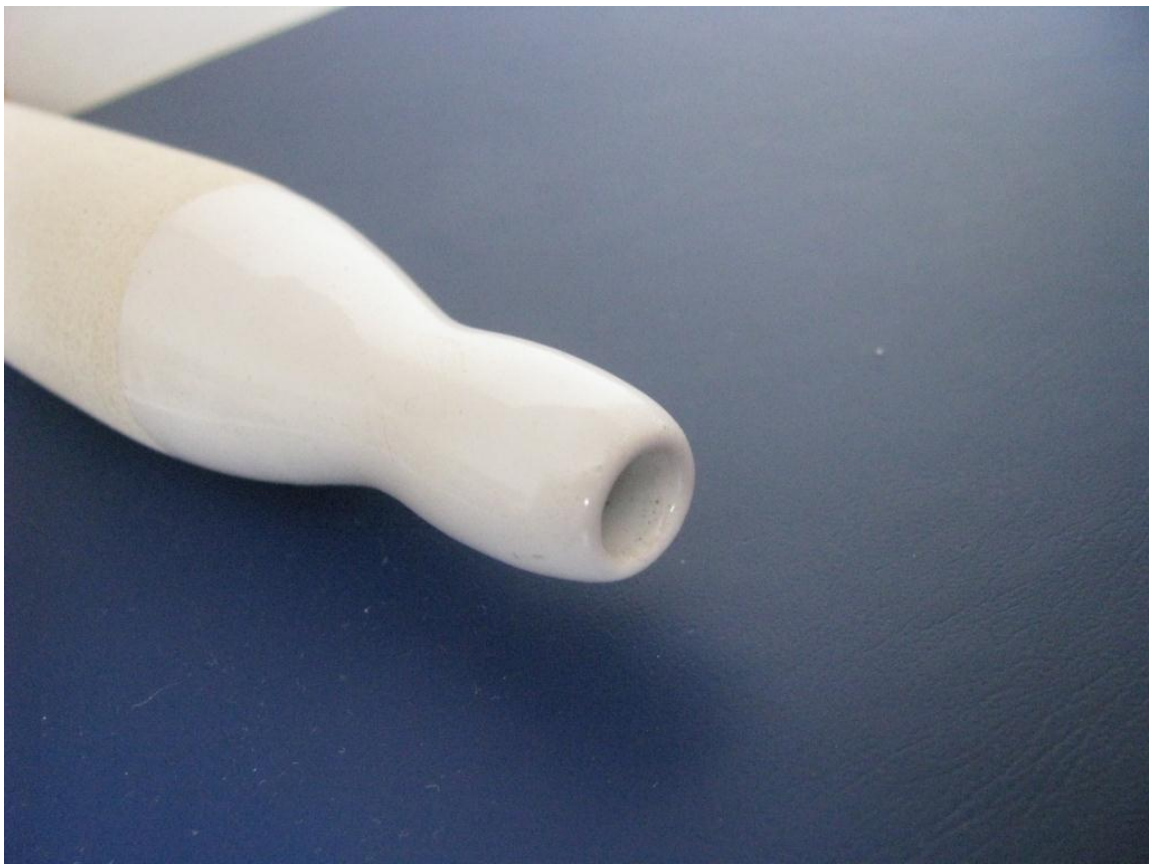
Бактериальный фильтр из пористой керамики











Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.11

Пикнометры

Пикнометры используют для определения плотности. Нередко пикнометры напоминают мерные колбы (но имеют более тонкое горлышко). Процедура проста: сначала взвешивают пустой пикнометр, потом набирают в него жидкость до метки и взвешивают пикнометр с жидкостью. Объем пикнометра известен, массу жидкости определяют по разнице масс пустого и полного пикнометра. Плотность равна массе деленной на объем.

Существуют также пикнометры для определения плотности газов.

Хотя это и не имеет прямого отношения к пикнометрам, попутно отметим, что существуют пипетки не только для работы с жидкостями, но и с газами. По виду они напоминают и газовые пикнометры, и делительные воронки.



Пикнометры (на 5, 10 и 50 мл)






8
5
МЛ





Пикнометр для определения плотности газа



Данное устройство похоже на газовый пикнометр, но вероятнее всего это газовая кювета



Газовая пипетка



Газовая пипетка с диоксидом азота

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.12

Холодильники и дефлегматоры

Холодильники используются для перегонки жидкостей, в органическом синтезе, а также для целого ряда других операций. Одним из самых простых является холодильник Либиха. Он представляет собой стеклянную трубку с припаянной стеклянной рубашкой, внутри которой циркулирует охлаждающая вода.

По способу применения холодильники могут быть прямыми и обратными. В первом случае жидкость испаряется из колбы, пары попадают в холодильник, где конденсируются, конденсат стекает в приемник. В случае обратного холодильника жидкость, которая конденсировалась, стекает из холодильника обратно в колбу.

Обычно холодильники имеют водяное охлаждение, но в случае высококипящих жидкостей используют холодильники с воздушным охлаждением (фактически - стеклянные трубки).

Дефлегматоры предназначены для более эффективного разделения смесей жидкостей. Во время перегонки часть паров конденсируется в дефлегматоре, конденсат стекает обратно в колбу, обогащаясь более высококипящими компонентами, одновременно более низкокипящие вещества испаряются из конденсата, пары попадают в холодильник, где конденсируются, а жидкость стекает в приемник.

Дефлегматор работает по такому же принципу, что и промышленные ректификационные колоны, которые, используются, например, для разделения нефти.



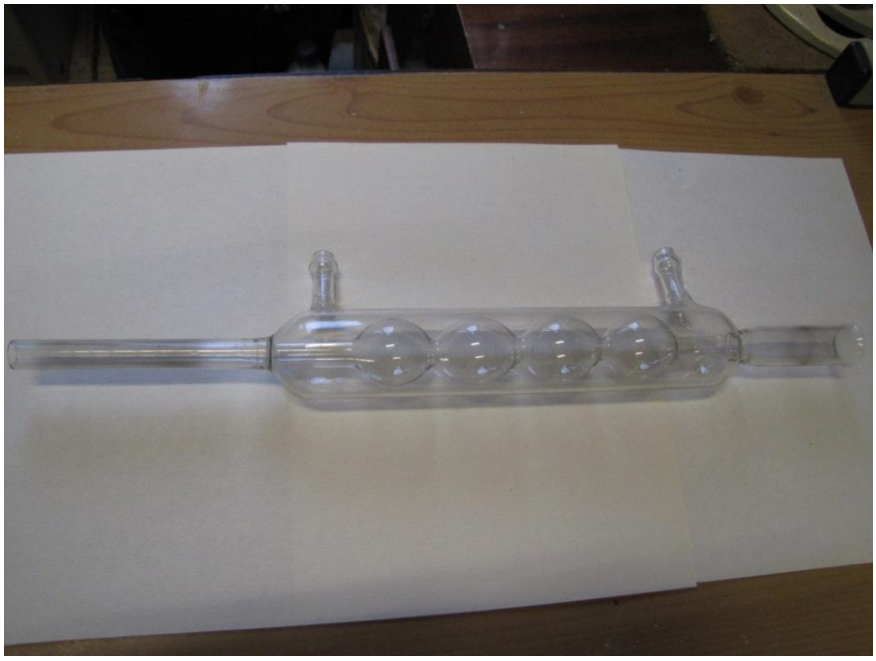
Холодильник Либиха



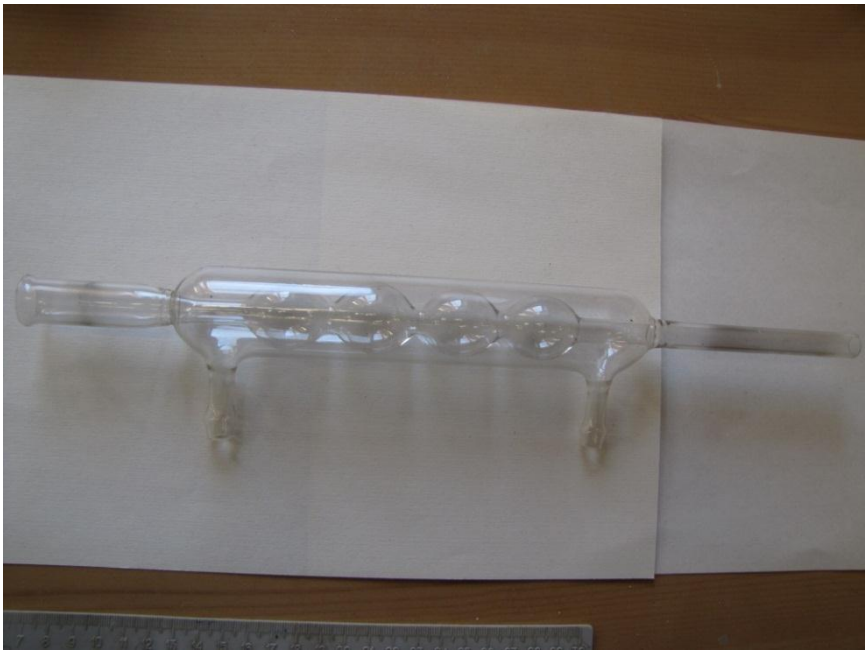


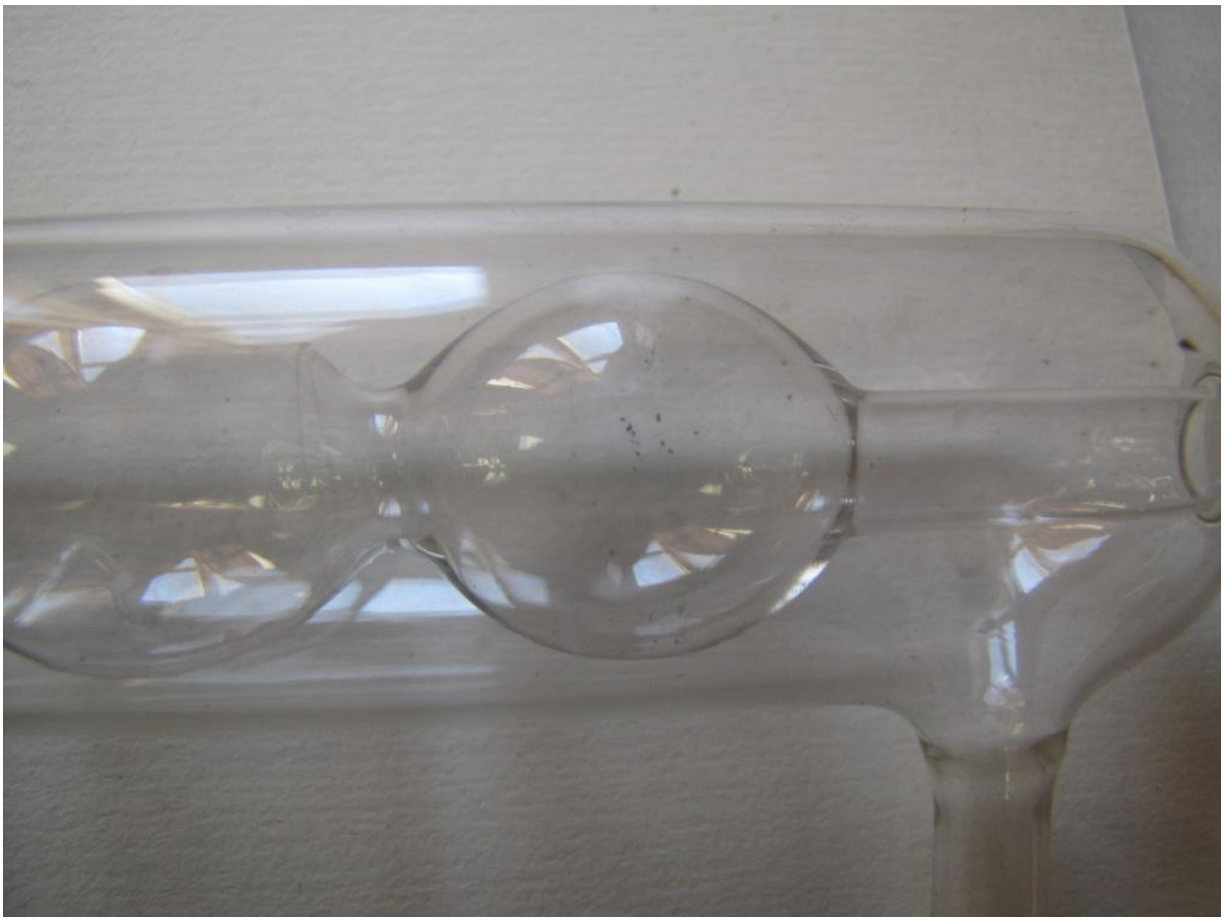






Холодильник Аллина (шариковый)











Холодильник Димрота



Обратный холодильник







Дефлегматор



Елочные дефлегматоры и дефлегматор Видмара



Дефлегматор, хлоркальциевая трубка и фильтр для газов



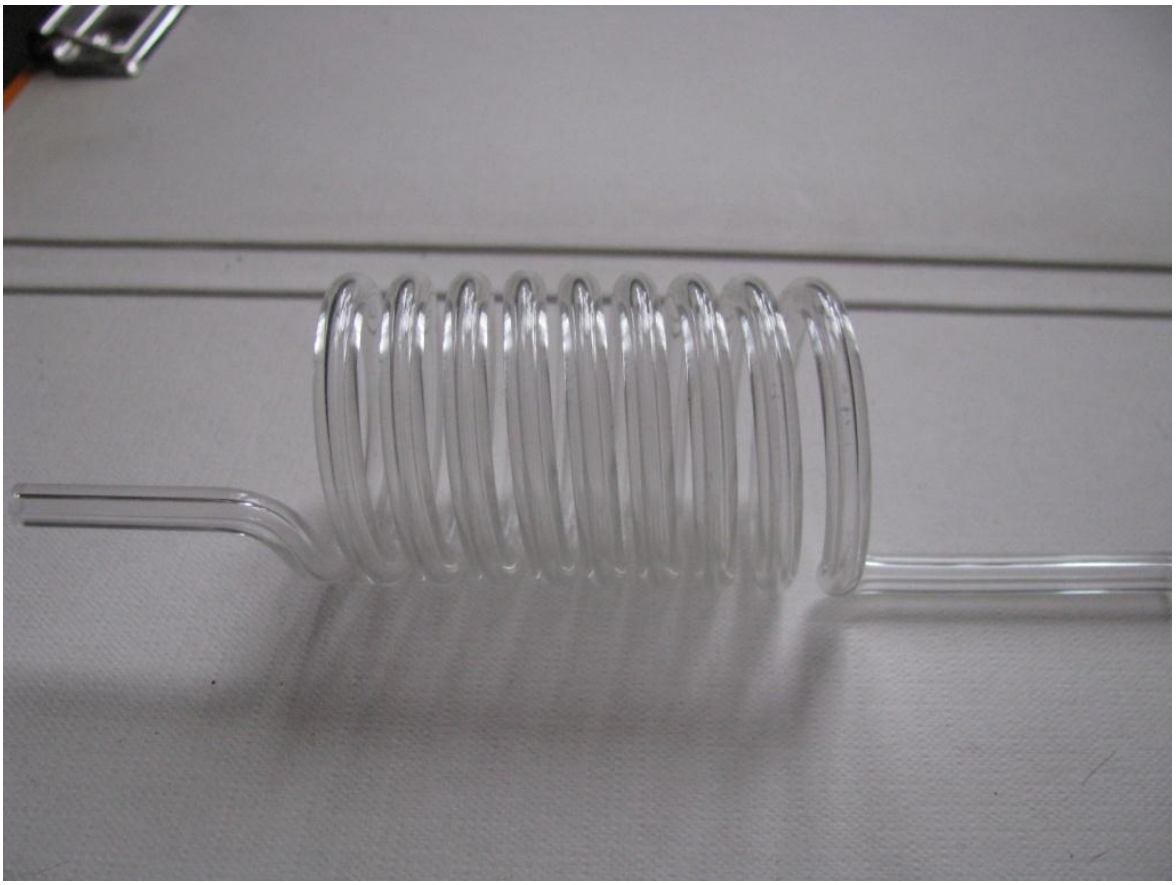
Ректификационная колонна



Стеклянный змеевик




СІРНИКИ
ТОВ "УКРАЇНСЬКА СІРНИКОВА ФАБРИКА"
УКРАЇНА, 34600, Рівненська обл., м. Березне, вул. Андрієвська, 112
тел./факс (03653) 5-66-83
e-mail: tzovusf@mail.rv.ua
ДСТУ ГОСТ 1820:2004
4820116128001 3





Подготовка к синтезу бромэтана



Получение вытяжки никотина



Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.13

Насадки

Насадки могут иметь самую разнообразную конструкцию, размеры и назначение. Некоторые насадки довольно универсальны, другие имеют специфическое применение. Насадки используют при перегонке, в органическом синтезе, в аналитической и физической химии, для получения газов и других целей.



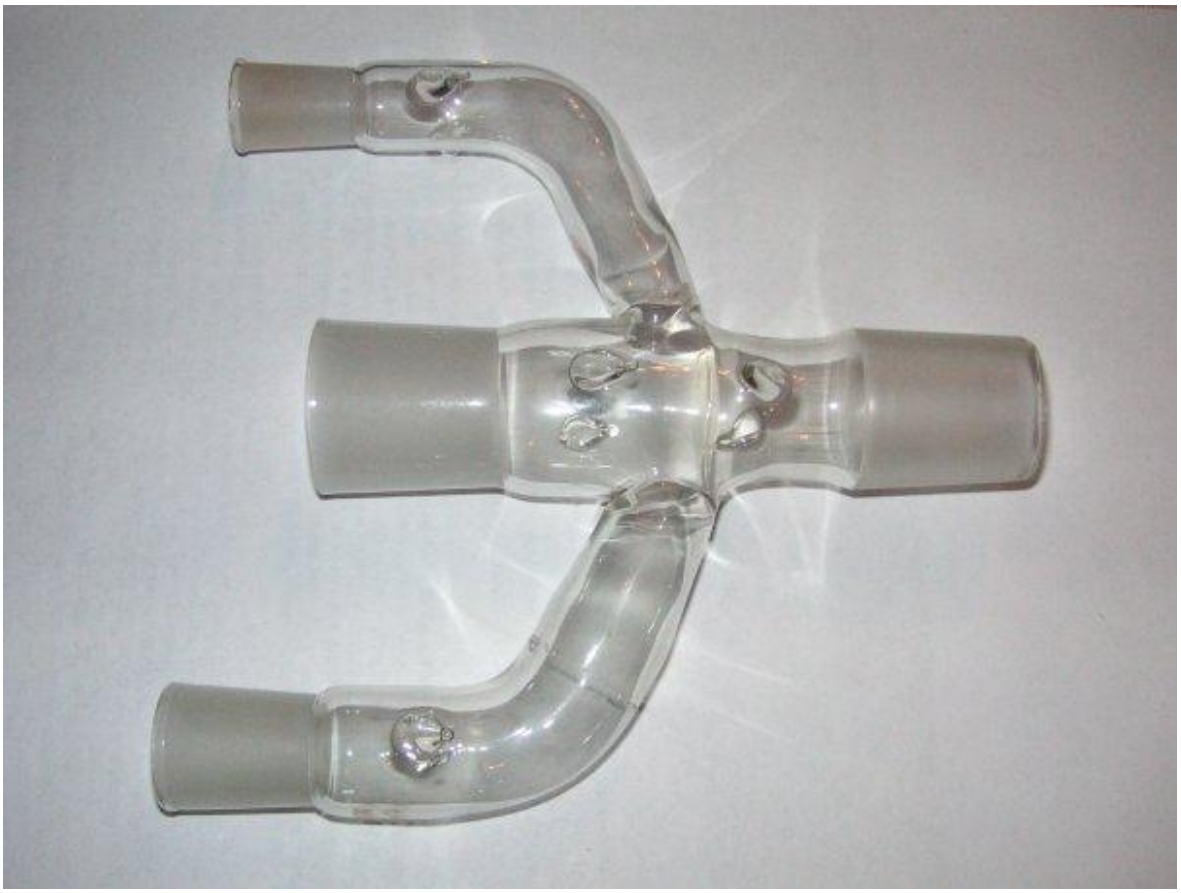
Насадка (форштосс)





Насадка (форштосс)







Насадка Вюрца







Насадка Клайзена (Кляйзена)











Насадка Аншютца-Тиле. Позволяет менять приемники при вакуумной перегонке, не отключая вакуум (и не прерывая перегонки)



Алонжи, хлоркальциевые трубки, делительная воронка, пробирка с боковым отводом



С лева на право: насадка для промывалки Дрекселя, насадка Вюрца, алонж, капилляр для вакуумной перегонки, ниже - вакуумный кран



Насадка "паук".
Применяется при вакуумной перегонке. Поворотом насадки (или переключением кранов) можно менять приемники, не прерывая перегонки













Насадка сложной конструкции. Присутствует гидрозатвор и каплеуловитель





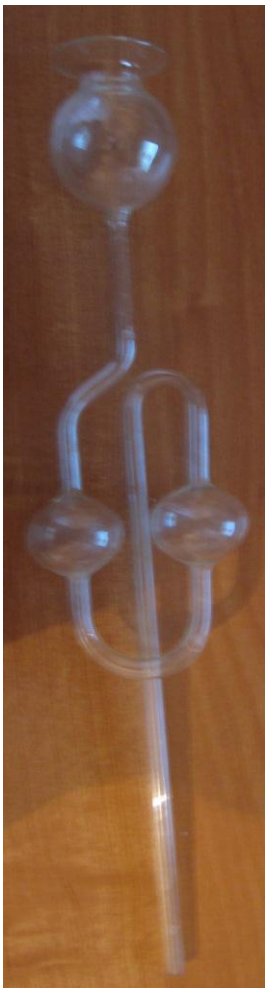
Гидрозатворы

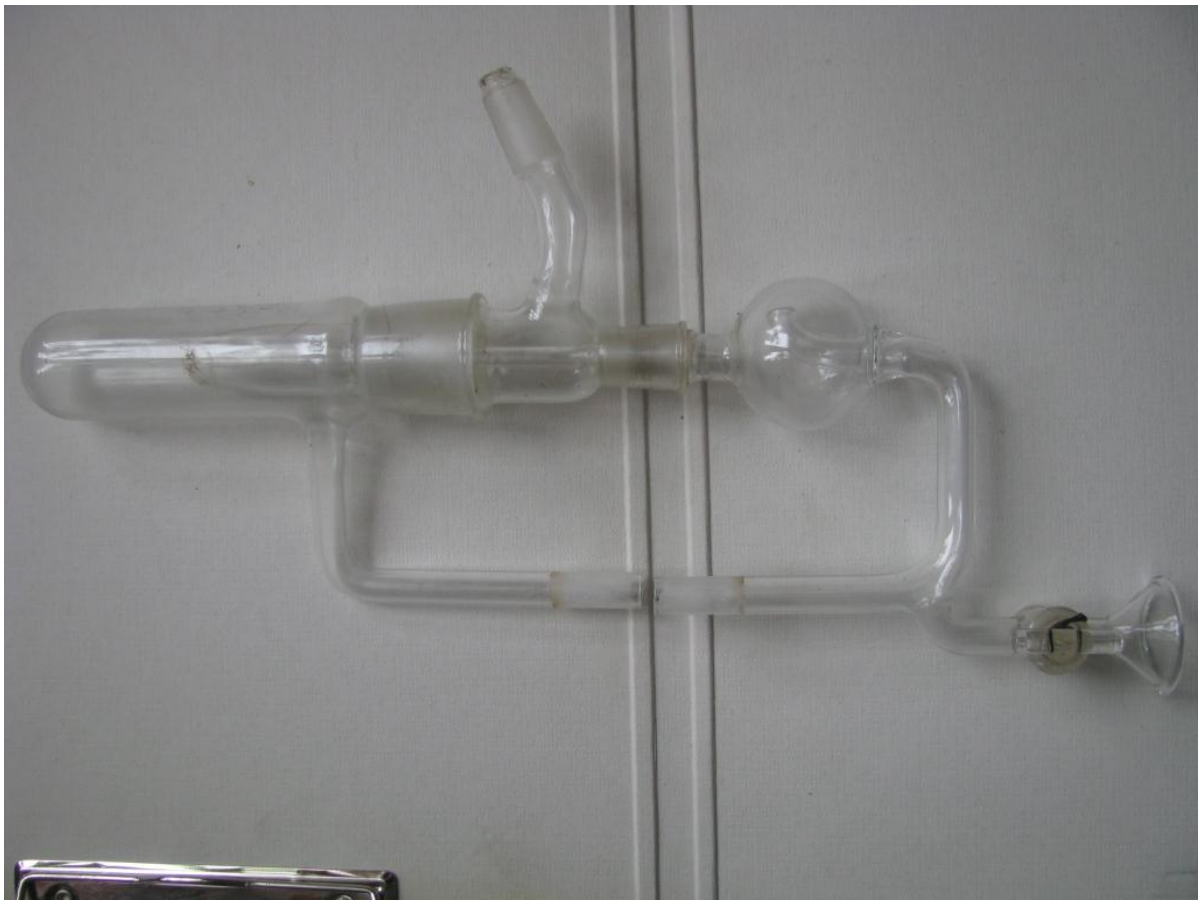




Гидрозатвор


СІРНИКИ
ТОВ "УКРАЇНСЬКА
СІРНИКОВА











Насадка автоматического дозатора















Шлифы (слева)

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.14

Промывные склянки, ловушки и другие склянки

Ниже даны фотографии склянок, предназначенных для осушения газов или освобождения их от нежелательных компонентов. В промывалках (склянках) Дрекселя используется жидкий поглотитель. В склянках Тищенко и Вульфа можно использовать как жидкий, так и твердый поглотитель. В качестве примера использования промывных склянок можно привести установку получения закиси азота (веселящий газ) ссылка.

Ловушки для вымораживания предназначены для конденсации газов и паров путем охлаждения их жидким азотом (или другими подходящими криогенными жидкостями). Например, таким способом можно удалить из воздуха пары воды и органических растворителей, иногда также и углекислый газ.



Склянка Тищенко - промывная и осушительная склянка











Склянка Дрекселя (предназначена для промывки и осушения газов)





Склянка Дрекселя (насадка)











Склянка Вульфа (промывная, осушительная и предохранительная склянка)


промывная и

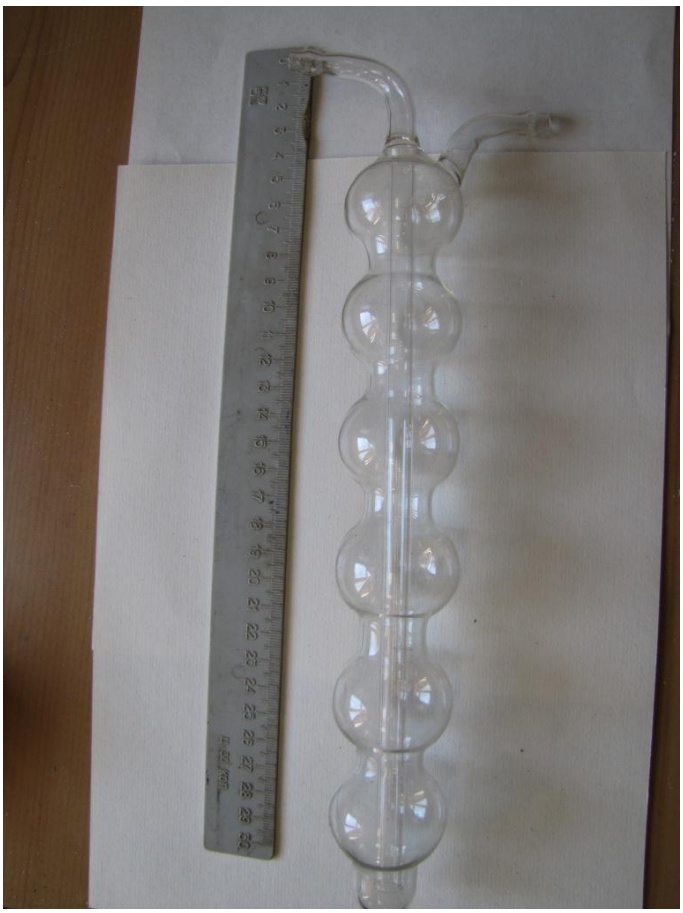


Склянка Вульфа (промывная, осушительная и предохранительная склянка) и склянки для реактивов



Ловушки для вымораживания













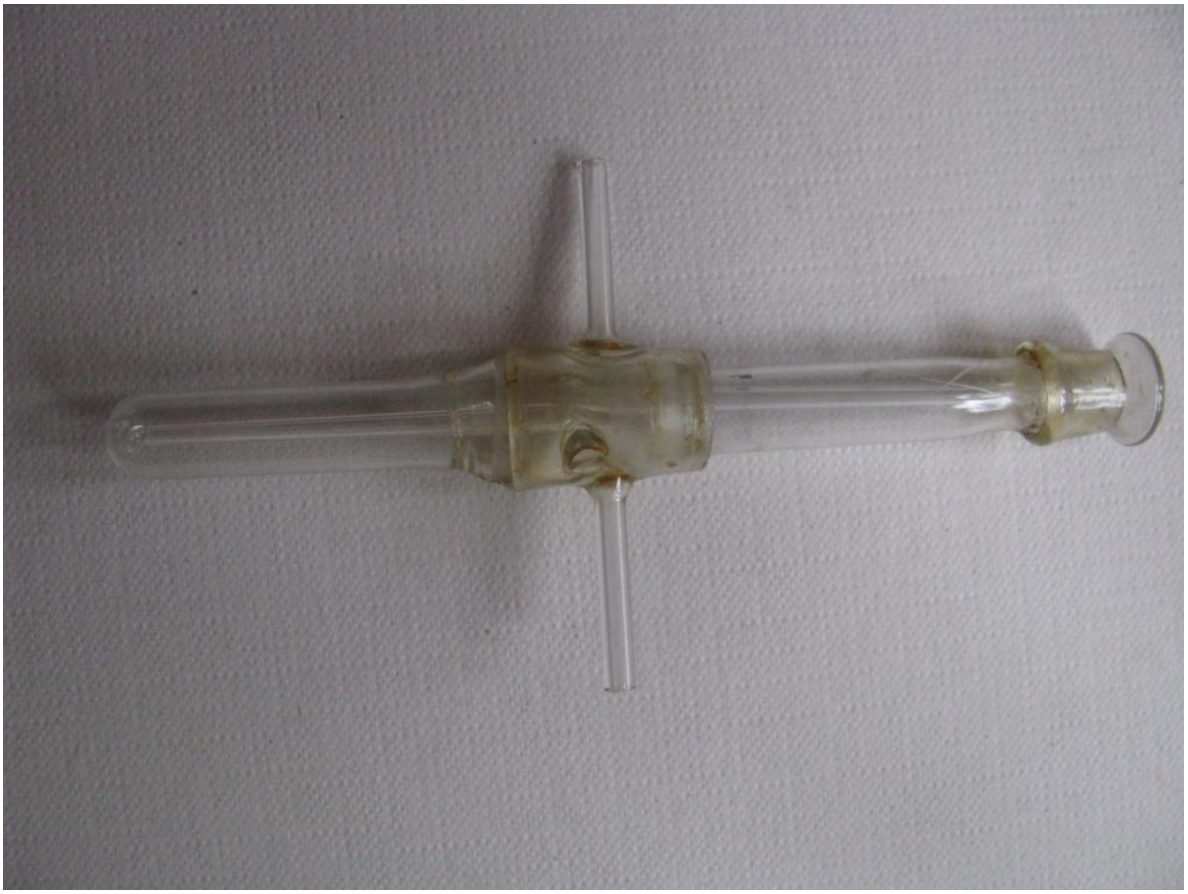
Устройство для смешивания газов.
По принципу действия аналогично водоструйному насосу







Поглотительный аппарат Абрагамчика (для органического микроанализа)





Ловушка Касперовича.
Используется для улавливания водорода из протекающего через ловушку воды первого контура (на АЭС). Водород потом отбирают шприцем и вкалывают в газовый хроматограф, чтобы затем вычислить содержание растворенного водорода в воде.

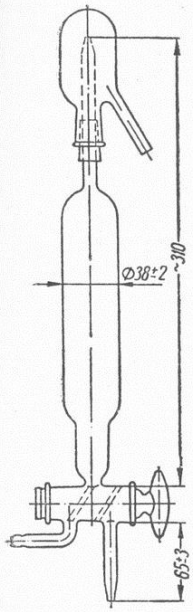


Капельница Шустера и капельница Страшейна ("капельница с пипеткой")



Такие пипетки используются для определения содержания сахара в свекле

ПИПЕТКА БЕЗ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ С ДВУХХОДОВЫМ КРАНОМ



Пипетка без подразделений с двухходовым краном применяется в сахарной промышленности при определении процентного содержания сахарозы в свекле.

Емкость — 178,2 *мл*.

Изготовляется по ТУ № 62—52.

Условное обозначение при заказе: «Пипетка без подразделений с двухходовым краном, ТУ № 62—52».



Изготовитель: *завод «ЛАБОРПРИБОР»*

— 87 —



Сосуд Мугдана (применятся для определения малых количеств кислорода в инертных газах).



Ячейка для электрофореза



Сифон.
Раньше такие приспособления использовались для получения газированной воды, однако их можно приспособить и для некоторых химических работ.





Медицинский ингалятор

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.15

Аппарат (экстрактор) Сокслета

Аппарат (экстрактор) Сокслета предназначен для экстракции нелетучих (или труднолетучих) веществ из твердых образцов с помощью летучих растворителей.

Принцип действия экстрактора показан на рисунках. Растворитель испаряется из колбы, пар по боковой трубке (в обход патрона с веществом) попадает в обратный холодильник и стекает на экстрагируемое вещество. Когда уровень растворителя в нижней части аппарата становится выше изгиба трубки сифона, растворитель скачкообразно стекает в колбу, где снова испаряется. Экстрагируемое вещество остается в колбе. После завершения экстракции растворитель отгоняют.

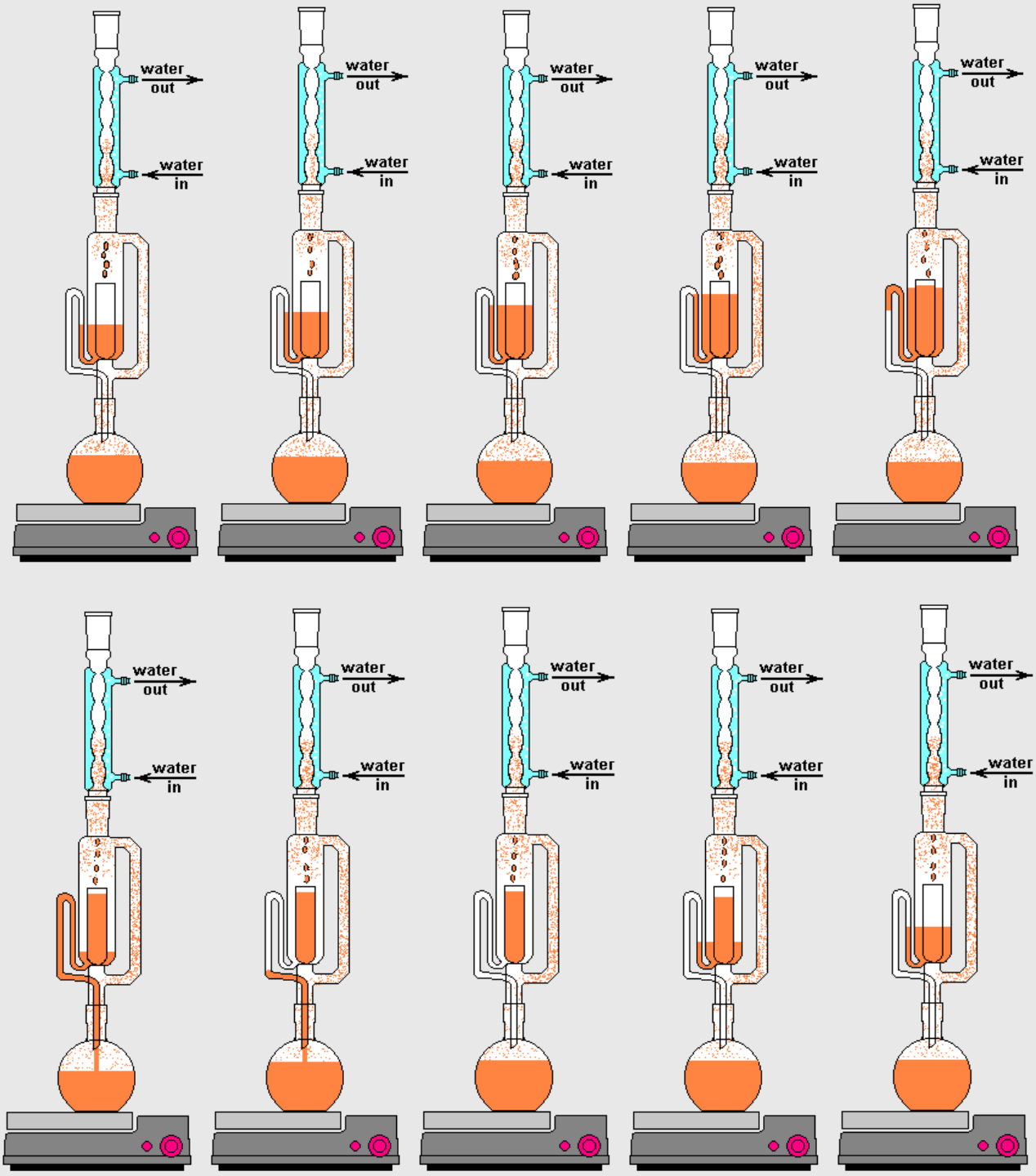


Аппарат (экстрактор) Сокслета





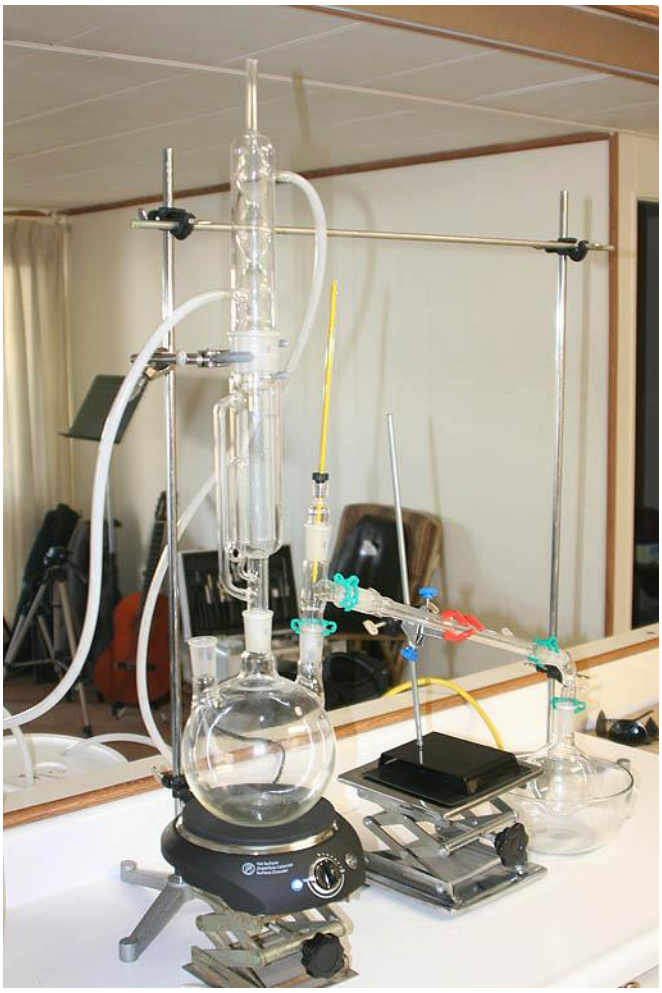
Аппарат (экстрактор) Сокслета с обратным холодильником и перегонной колбой



Аппарат (экстрактор) Сокслета - принцип действия



Навеска кофе фото chemistryland.com



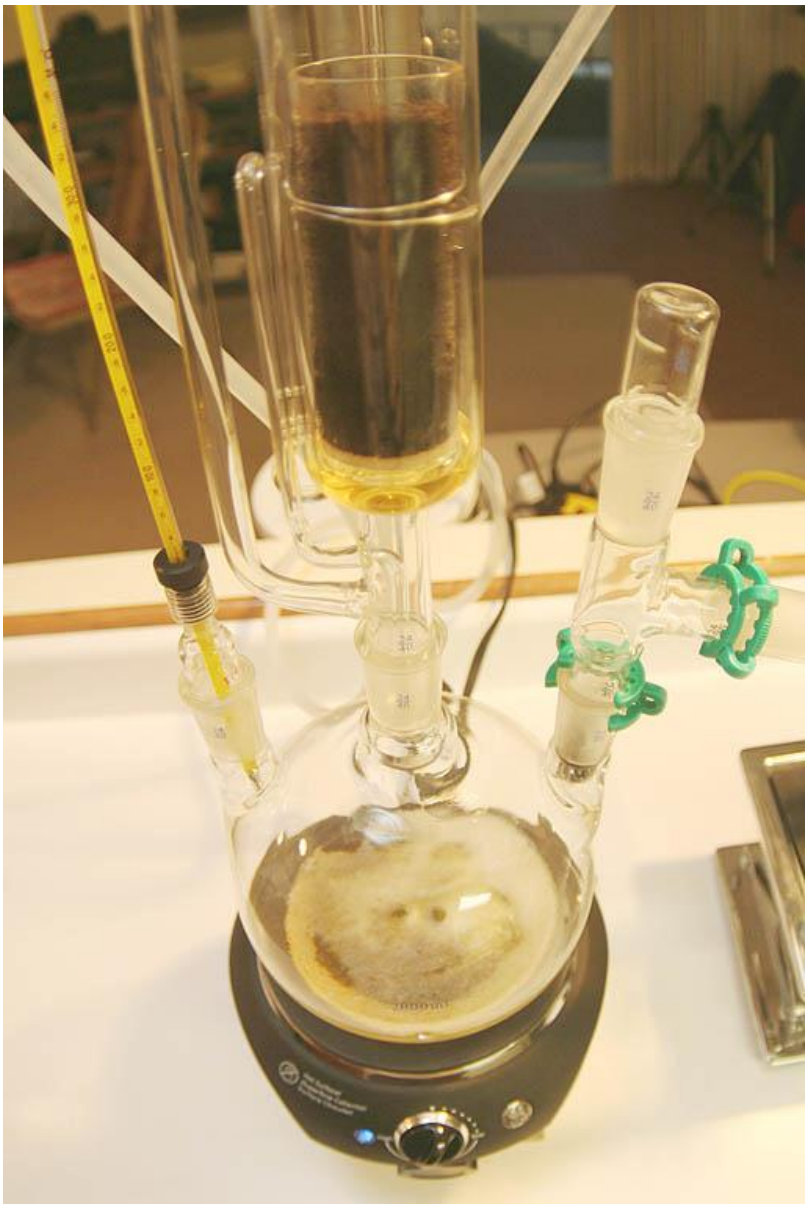
Сборка установки



Кофе поместили в экстрактор

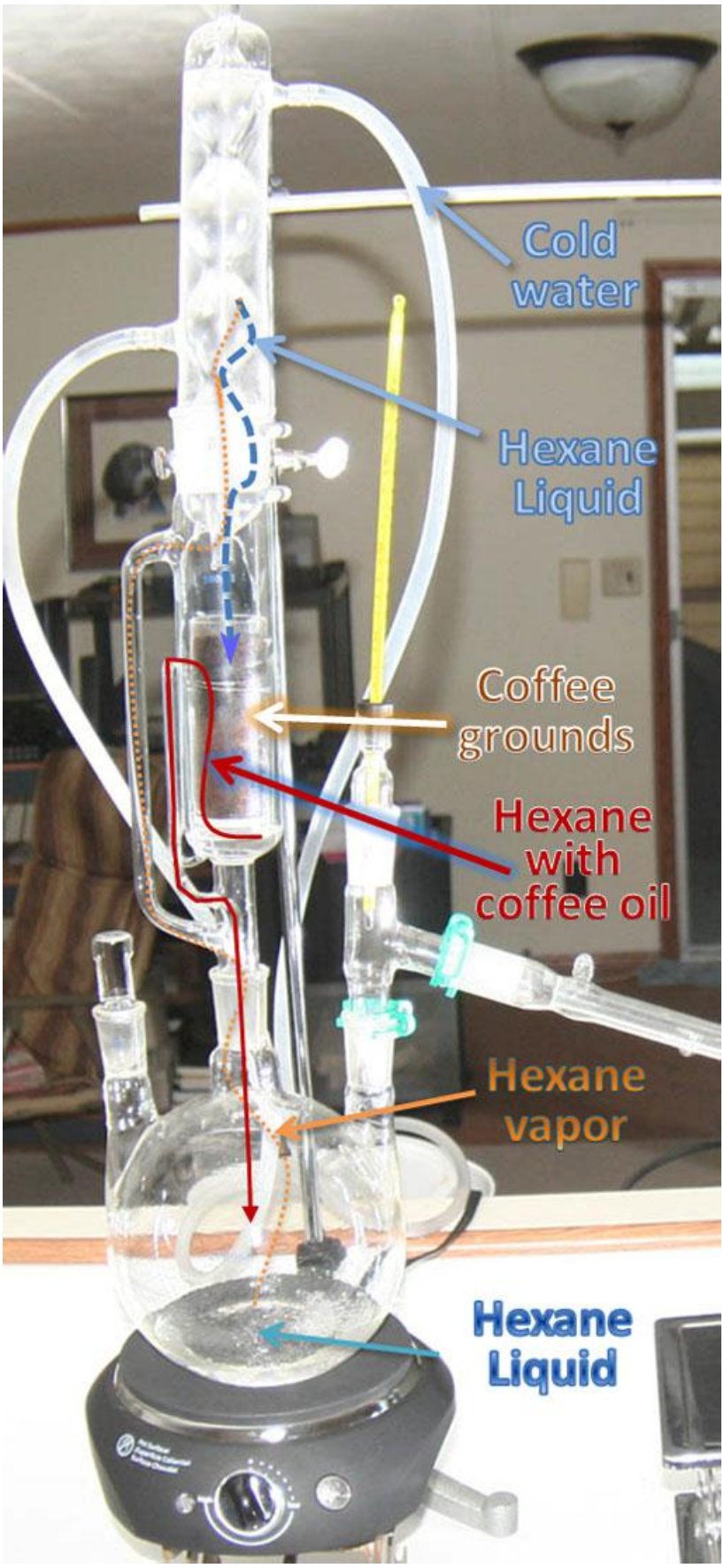


Гексан (растворитель для экстракции)



Начало экстракции

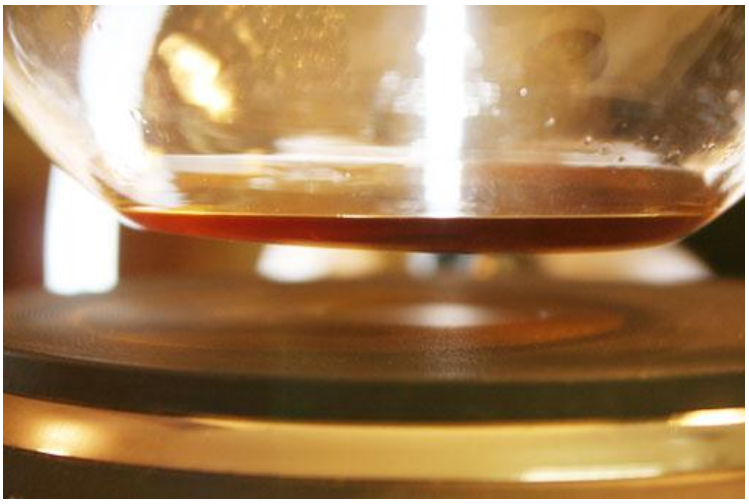




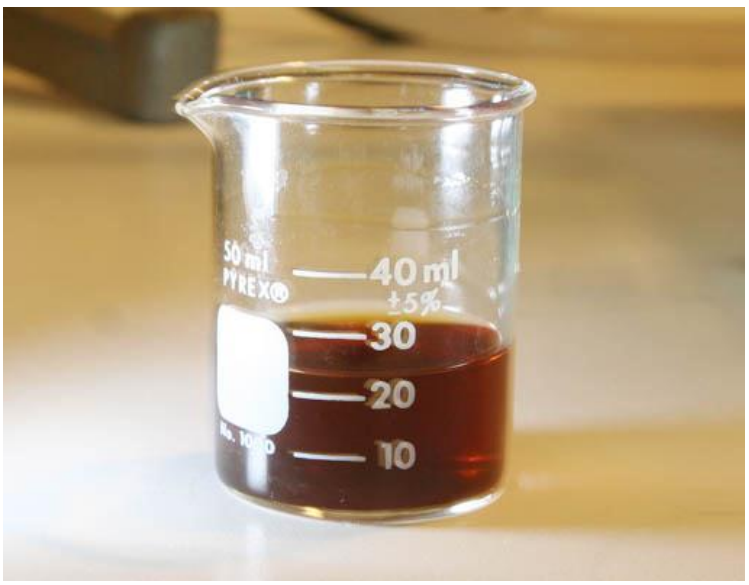
Принцип действия экстрактора Сокслета



После экстракции гексан отогнали из колбы



Полученное масло



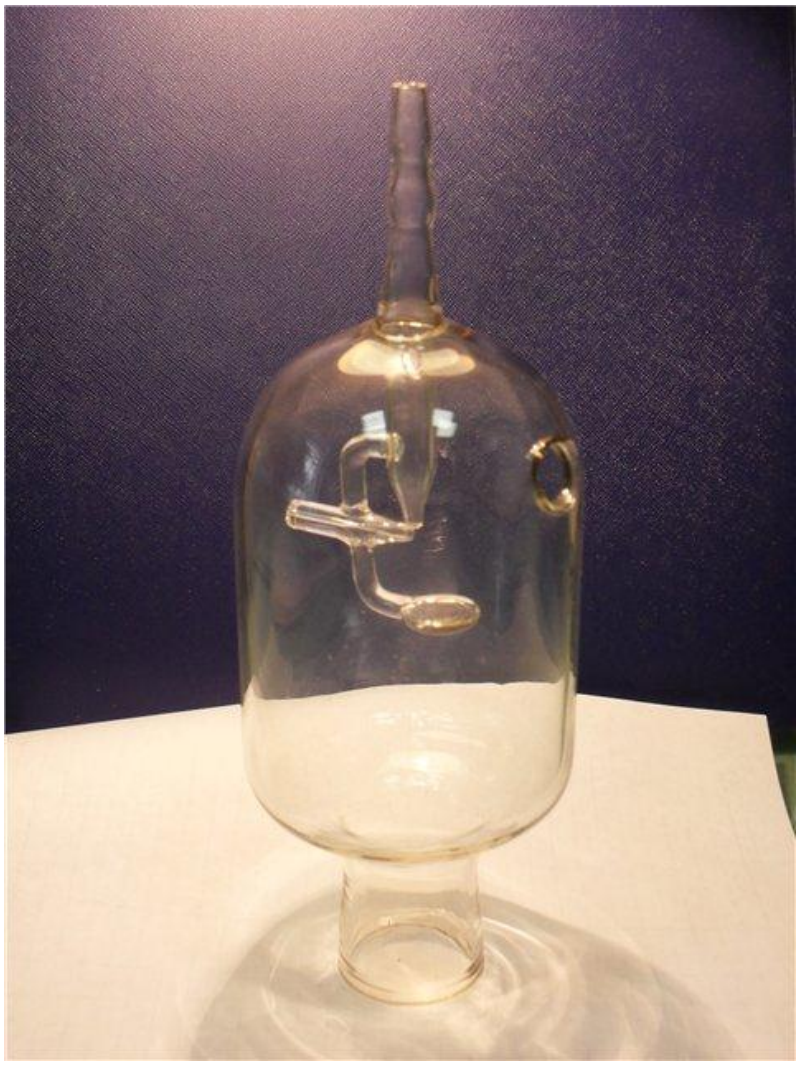
Масло

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.16

Неизвестные склянки и приборы

Ниже даны фотографии склянок и приборов, назначение которых мы затрудняемся назвать.

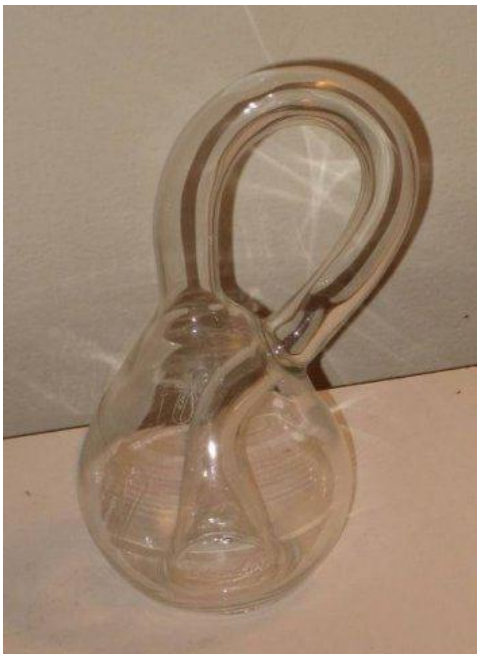








Комментарий читателя [1]

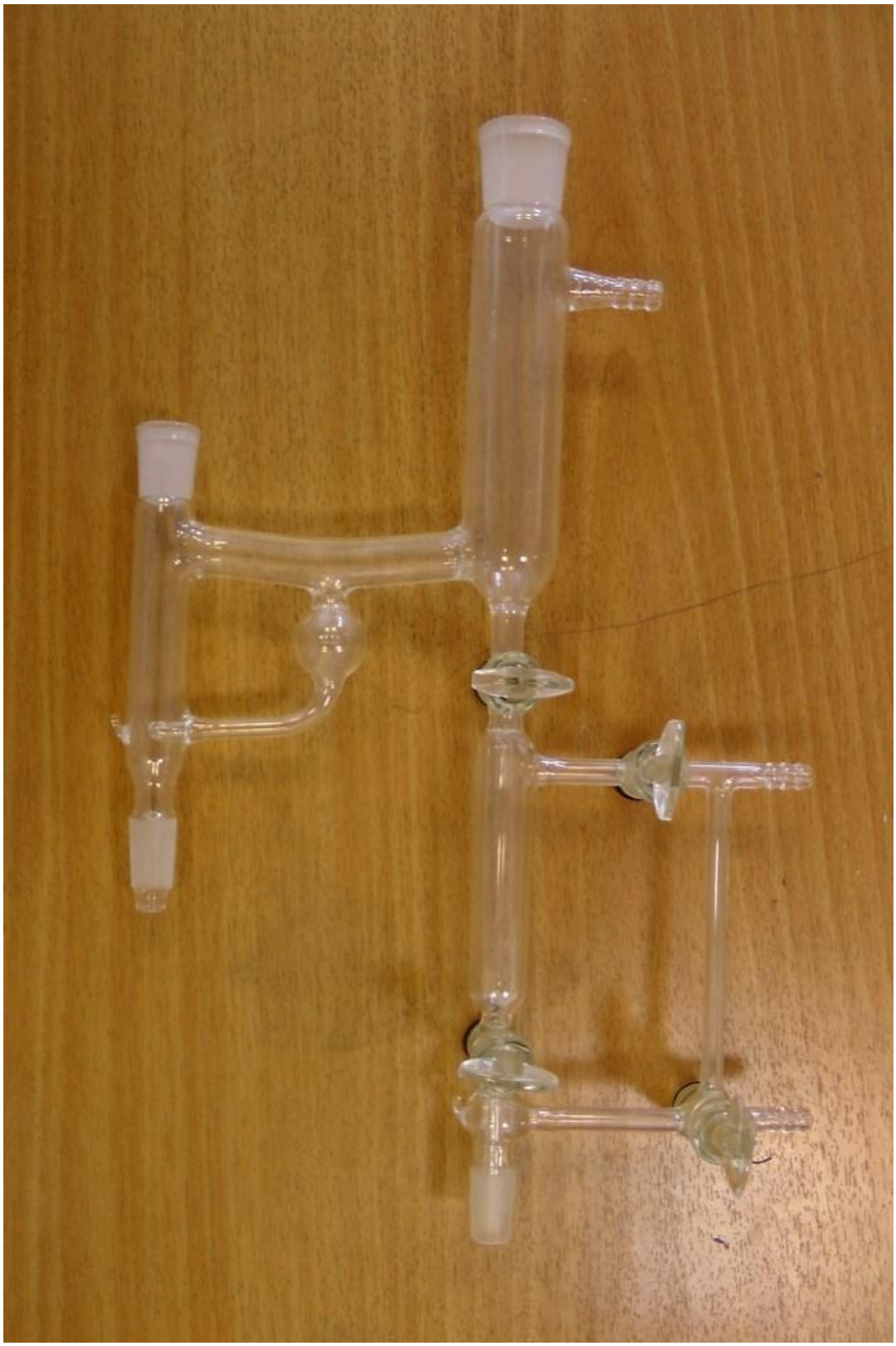


Комментарий читателя [1]





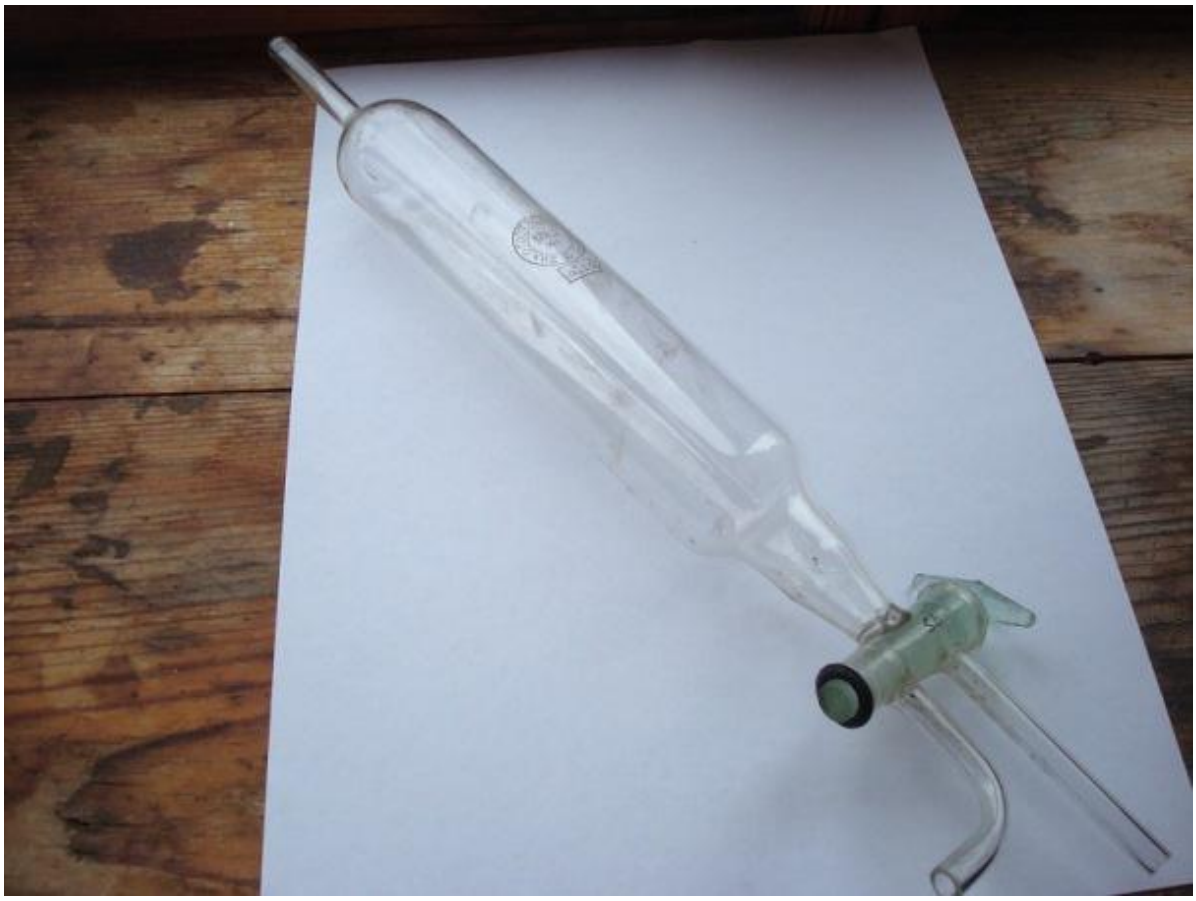




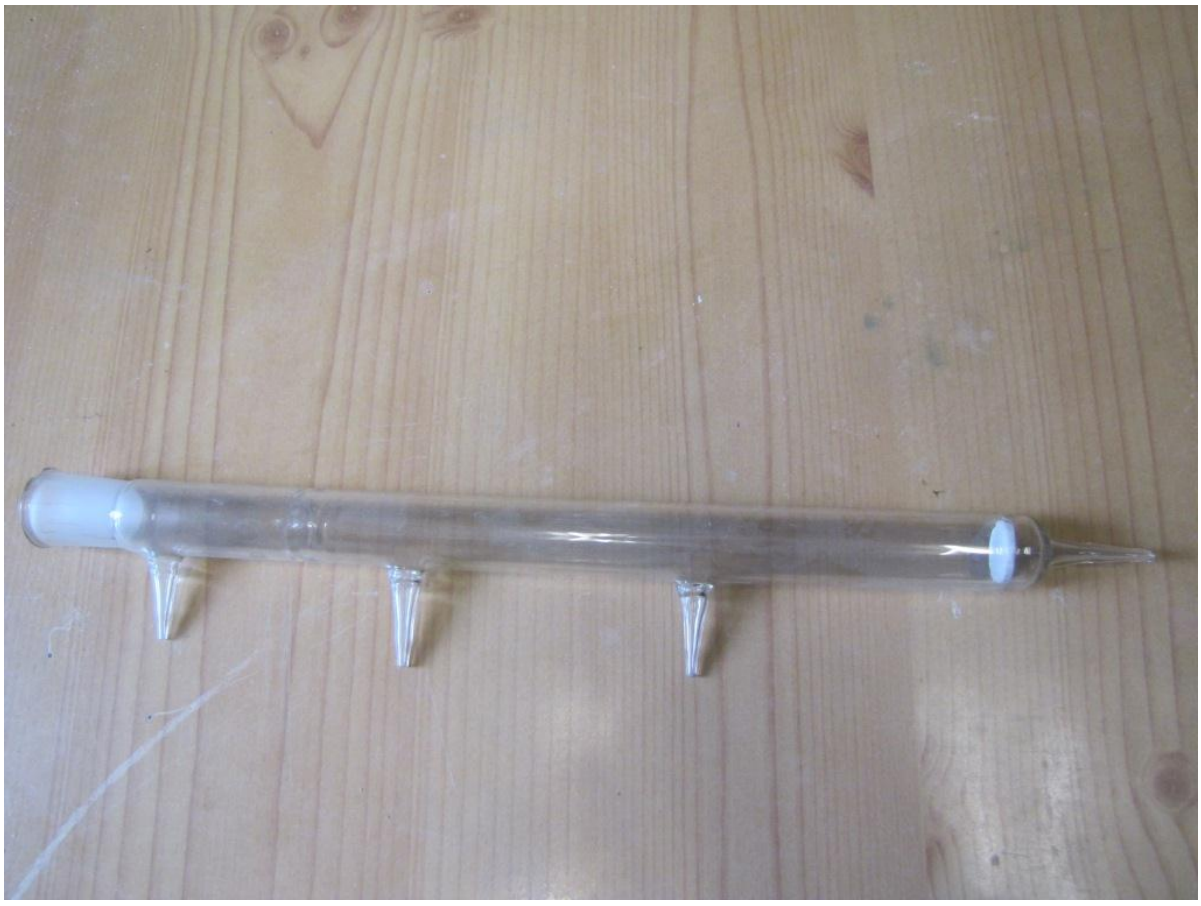
Комментарий читателя [2]



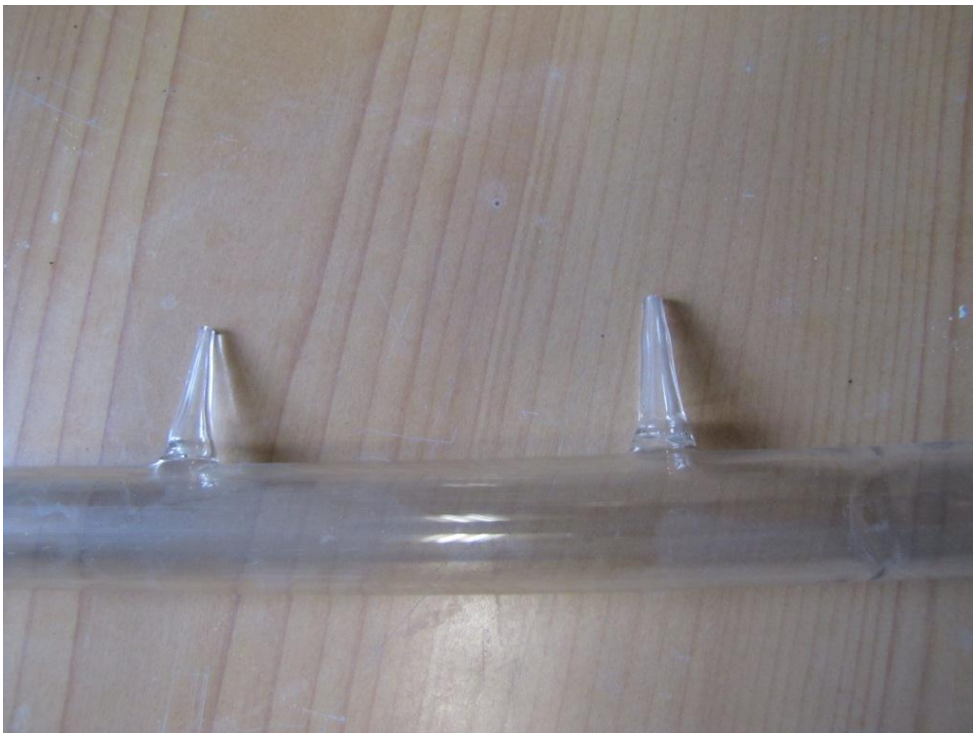
Комментарий читателя [2]
















ALDRICH







---

[1] Комментарий читателя:

Четвертая и пятая скляночки - бутылка Клейна. С вероятностью 99.9% - это "арт-объекты". Особенно четвертая, где несколько бутылок Клейна вставлены друг в друга. Стеклодув хвастается мастерством, не иначе.

[2] *На желтом деревянном столе:*

на первой фотографии приемник с возможностью отбора отдельных фракций;

вторая фотография - головка лабораторной ректификационной колонки для контролируемого отбора флегмы (тефлоновый кран под углом).

Химическая галерея - лабораторная посуда (фотографии) ч.17

Стальные колбы и бомба (автоклав)

Нередко химические реакции требуют достаточно жестких условий проведения. В частности, некоторые органические реакции протекают в расплаве щелочи (например, щелочной плав (реакция щелочного плава) - замещение сульфогруппы гидроксильной группой в ароматических сульфокислотах). В то же время, обычная стеклянная посуда разрушается при длительном контакте с концентрированным раствором щелочи даже при комнатной температуре - не трудно себе представить, что сделает со стеклом расплав щелочи. Для проведения реакций в расплаве щелочи используют посуду из стали.

Ниже представлены фотографии одногорлой колбы (на 100 мл) и двух четырехгорлых колб (на 300 и 1000 мл) из стали.

Кроме того, некоторые реакции требуют высоких давлений, которые создаются путем испарения веществ в замкнутых сосудах. Эти сосуды также изготовляют из стали и обычно называют "бомбы" (более строгое название - автоклавы).



Стальная колба


ЛИНЕЙКА
ПЛАСТИКОВАЯ
30см





























Стальная бомба (автоклав)







Опыты без взрывов

Олег Ольгин

Увлечение химией начинается обычно с опытов. Есть множество полезных, поучительных и просто красивых экспериментов, которые вполне но плечу и юным химикам. Именно такие опыты вы найдете в этой книге. Большинство из них было описано ранее в журнале "Химия и жизнь", в разделе "Клуб Юный химик".

Опыты подобраны так, чтобы заинтересовать юных читателей, показать им привлекательность химической науки и в то же время привить навыки самостоятельной работы. Название книги выбрано не случайно: все предлагаемые опыты, если ставить их по описанию, безопасны. В этом, втором издании (первое вышло в 1978 г.) учтены советы и пожелания читателей: некоторые главы уточнены и расширены, добавлено несколько новых глав, трудно воспроизводимые опыты упрошены или вовсе исключены.

Книга рассчитана в основном на школьников, однако она может принести пользу и педагогам, особенно в проведении внеклассной работы.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

ГЛАВА 1. ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ГЛАВА 2. ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ

Рисование иодом | Самодельные индикаторы | Экстракция | Опыты с газами | Окисление-восстановление | Адсорбция | Химчистка | Стирка | Свеча из мыла | Мел, мрамор, скорлупа… | Электролиз в стакане | Олово и свинец | Алюминий, хром и никель | Опыты с медной проволокой|



ГЛАВА 3. ЗАГЛЯНЕМ В КУХОННЫЙ ШКАФ

Опыты с белком | Опыты с углеводами | Сахар из опилок | Чашка чая | Кости – в дело! | Отчего ягоды пускают сок | Летние опыты | Сколько в яблоке витамина С? | Мындаль – горький и сладкий |

ГЛАВА 4. ПРИЯТНОЕ С ПОЛЕЗНЫМ

Масляные краски | Пигменты | Акварельные краски | Средство от ржавчины | Красим без краски | Гальваностегия | Гальванопластика | Благородная патина | Стекло и эмаль | Самодельный пластилин | Посеребрим зеркало! |

ГЛАВА 5. ЛОВКОСТЬ РУК

Ложка-выпрямитель | Зажгите лампу спичкой! | Долгая жизнь батарейки | Источники тока из подручных средств | Кристаллы – большие и маленькие | Кристаллические узоры | Клад на тарелке | Как невидимое сделать видимым | Простые фокусы | Химические часы | Радуга без солнца | Светящиеся растворы | Свечение твердых тел | Фантастический букет |

ГЛАВА 6. СВОИМИ ГЛАЗАМИ

Опыты с ферментами: оксидазы и пероксидазы | Опыты с ферментами: дегидрогеназы | Опыты с ферментами: амилазы | И не только амилаза | Хроматография на дому | Луч упал на кристалл… | Необычная фотография | Внимание, скорость! | Искусственное волокно | Химический сторож |

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге вы найдете много химических опытов на разные вкусы и различной сложности, от самых простых, для новичков, до весьма хитроумных, в расчете на умелого юного химика, который под руководством преподавателя занимается в химическом кружке. Пусть вас не смущает ни сложность одних, ни простота других опытов: ведь чем шире выбор, тем легче найти опыты себе по силам и по склонностям. Совсем не обязательно читать эту книгу от корки до корки, из нее можно выбрать только то, что вас интересует.

Любые химические опыты, в том числе и приведенные здесь, лучше ставить в химическом кружке. Конечно, если быть аккуратным и точным, то и домашние опыты не дадут повода для волнений. Однако в кружке вам помогут разобраться в сути происходящих реакций, объяснят, как лучше и проще поставить эксперимент, предоставят оборудование и реактивы.

К сожалению, не у всех есть возможность заниматься в кружках. Что ж, и это не должно служить препятствием. Многие опыты можно поставить и в скромной самодельной лаборатории на дому. О том, как ее устроить, будет рассказано сразу же после предисловия. Мы очень просим внимательно прочесть этот раздел, особенно его начало, всех без исключения наших читателей, даже тех, кто уже имеет некоторые навыки в этом деле. И не только потому, что вы, вполне вероятно, найдете там что-нибудь новое и полезное для себя, а еще и по той причине, что никогда не помешает лишний раз вспомнить о том, как сделать опыты безопасными и доступными. Если же вы приступаете к опытам впервые, то постарайтесь как можно внимательнее прислушиваться ко всем нашим советам.

Увлечение химией начинается обычно с опытов, и не случайно едва ли не все знаменитые химики с детства любили экспериментировать с веществом. Но некоторые начинающие химики почему-то полагают, будто настоящие опыты - это гром и сверкание, клубы дыма и едкие запахи. Вовсе нет, уверяем вас. Есть множество очень интересных опытов, не таящих в себе никакой угрозы, но от того не менее поучительных и красивых. Если ваши родители обеспокоены предстоящими химическими занятиями, то дайте им прочисть следующую фразу, которую мы специально начнем с красной строки.

Если ставить опыты, помещенные в этой книге, именно так, как мы советуем, то взрывов

никогда не будет.

Но - еще и еще раз - предпочтительнее заниматься химией не дома, а в кружке. Более того, некоторые опыты вообще не удается поставить дома - не столько даже из-за сложности эксперимента, сколько из-за отсутствия в домашних условиях нужных реактивов и приборов. Но если уж опыт пригоден для домашней лаборатории, мы постараемся сделать так, чтобы можно было обойтись подручными средствами и теми веществами, которые можно купить в аптеке или в хозяйственном магазине. А некоторые опыты настолько просты, что их могут поставить юные любители химии, еще не начавшие изучать в школе эту замечательную науку.

Надеясь, что наши опыты будут ставить юные химики из разных классов и с разной подготовкой, мы не стали, как это принято в учебниках, приводить в каждом случае уравнения реакций, а ограничились только упоминанием веществ, которые получаются в, результате той или иной реакции. Это даст возможность легко читать текст и тем, для кого сложные химические уравнения остаются пока тайной за семью печатями. А старшеклассники, если их заинтересует точная химическая запись реакции, всегда смогут найти соответствующие уравнения в учебниках и пособиях. Чтобы такой поиск облегчить, мы время от времени будем писать формулы исходных или образующихся в ходе реакции веществ.

Эта книга состоит из шести разделов. В первом - предварительные советы и наставления, как устроить свою лабораторию, а в остальных - собственно опыты. Чтобы облегчить поиск экспериментов и отделить одну серию опытов от другой, каждый раздел разбит, в свою очередь, на главы. Иногда, чтобы не повторяться, мы будем отсылать вас к главе, в которой уже упоминались интересующие нас вещества, реакции и приемы работы: пользуясь оглавлением, вы без труда отыщете нужные сведения.

И последнее, о чем обязательно надо сказать в предисловии. В научно-популярном журнале "Химия и жизнь" есть раздел "Клуб Юный химик", а в нем рубрика с тем же названием, что и эта книга. Как нетрудно догадаться, в книге собраны опыты преимущественно из этой рубрики.

Советуем вам, когда вы исчерпаете опыты из этой книги, заглядывать в журнал: почти в каждом номере вы найдете эксперимент, который любопытно будет поставить в домашней лаборатории или в химическом кружке.

И наконец, назовем людей, которые описали те опыты, что вы вот-вот будете ставить: Г.А. Балуева, Н.В. Бовин, Ю.И. Булавин, Ю.В. Власенко, Н.Ф. Гринева, М.А. Гуревич, В.Е. Жвирблис, В.И. Зубрицкий, Ю.А. Койдан, Н.Н. Красиков, И.А. Леенсон, Г.В. Лисичкин, Ю.Г. Орлик, Н.А. Паравян, В.А. Пчелин, В.И. Сафонов, К.И. Севастьянова, В.Ф. Скобелев, А. М. Схундии. Автор (и, будем надеяться, вы тоже) благодарит их от всей души.

Отдельно и особо автор выражает признательность всем, кто способствовал появлению на свет этого, второго издания книги, и прежде всего - докторам химических наук М. Г. Гольдфельду, П. В. Козлову, Г. В. Лисичкину, кандидату химических наук И. А. Леенсону.

Рецензент: д-р хим. наук М. Г. Гольдфельд
УДК 541
Изд. второе, переработанное. - М.: Химия, 1986.-192 с.
OCR and Spellcheck Афанасьев Владимир
Верстка Руслан Краснонис



Опыты без взрывов

Олег Ольгин

ГЛАВА 1

ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ



Очень просим вас прочесть этот раздел даже в том случае, если вы собираетесь ставить опыты не дома, а в школе, на станции юных техников или, скажем, в Доме пионеров. Во-первых, может быть, пригодятся некоторые простые советы по использованию для эксперимента подручных, средств. А во-вторых, что еще важнее, мы начнем эту главу с предупреждений и напоминаний, которые обязательны для всех юных химиков, где бы они ни ставили эксперименты и какими бы многоопытными себя ни считали.

Вот семь наших обязательных условий. **Первое и главное условие:** строго и точно соблюдайте все наши рекомендации.

Вы, наверное, знаете, что одна и та же химическая реакция может идти по-разному, если изменить условия опыта. Например, если повысить температуру, или добавить в пробирку какое-либо вещество, или добавлять вещества в иной, чем указано, последовательности. От этого мы вас и предостерегаем: нет гарантии, что реакция пойдет так, как вы предполагаете. Вот самый простой пример.

Возможно, вам известно, что при разбавления серной кислоты всегда льют медленно и понемногу кислоту в воду, осторожно перемешивая раствор. (Пожалуйста, запомните это правило раз и навсегда, и ни в коем случае не поступайте наоборот.) Но, казалось бы, какая разница, что к чему добавлять? У всех химических правил есть глубокий смысл.

В чем же причина именно такого порядка смешивания серной кислоты с водою?

При таком смешивании выделяется много тепла. Кислота гораздо тяжелее воды, и когда ее вливают понемногу в сосуд с водой, кислота сразу опускается, и граница, где

выделяется тепло, оказывается глубоко под водой. Смесь нагревается постепенно и равномерно, словно на горячей плите. А если лить легкую воду в тяжелую кислоту, то вода растечется тонким слоем по поверхности, сразу же нагреется и превратится в пар - будто воду вылили на раскаленную сковородку. Пар захватит брызги кислоты, они могут попасть на одежду и на кожу, вызвать ожоги, повредить глаза. Вот такие могут быть последствия от несоблюдения простого химического правила.

И в этом случае, и во всех остальных - пожалуйста, следуйте нашим советам неукоснительно!

Второе условие: никогда не смешивайте два реактива, просто чтобы посмотреть, что получится. Не всегда получается хорошо.

Совсем другое дело, если вы точно знаете, что образуется в результате реакции и как она идет. Скажем, если вы уже проходили реакцию в школе и совершенно уверены, что опыт безопасен. Но и в этом случае берите минимально необходимые количества веществ. Не стаканы и даже не столовые ложки, а буквально граммы или даже доли грамма. Чтобы наблюдать ход реакции, этого вполне достаточно. Я даже если вам нужно получить самостоятельно заметное количество вещества, прежде поставьте прикидочный опыт, чтобы познакомиться с тонкостями реакции.

Третье условие: не используйте для опытов посуду, из которой едят. Для опытов нужна своя, отдельная посуда. И ни в коем случае не пробуйте вещества на вкус (кроме тех случаев, когда в описании опыта прямо сказано, что продукт можно попробовать).

Четвертое условие: храните реактивы в отдельных склянках или коробках. Чтобы не было путаницы, наклейте этикетки и напишите, что находится внутри. Если препарат вам больше не нужен (или если опыт закончен, а продукты реакции вам ни к чему), то немедленно выбросьте ненужные вещества - так спокойнее, и путаницы не будет.

Пятое условие: не оставляйте грязной посуды. Во-первых, ее будет потом трудно отмыть, может быть, придется даже выбрасывать. Во-вторых, некоторые вещества окисляются на воздухе, реакции между ними могут продолжаться и после того, как опыт закончен, и в результате таких реакций может получиться нечто такое, на что мы с вами не рассчитывали. Словом, после каждого опыта мойте посуду сразу и тщательно.

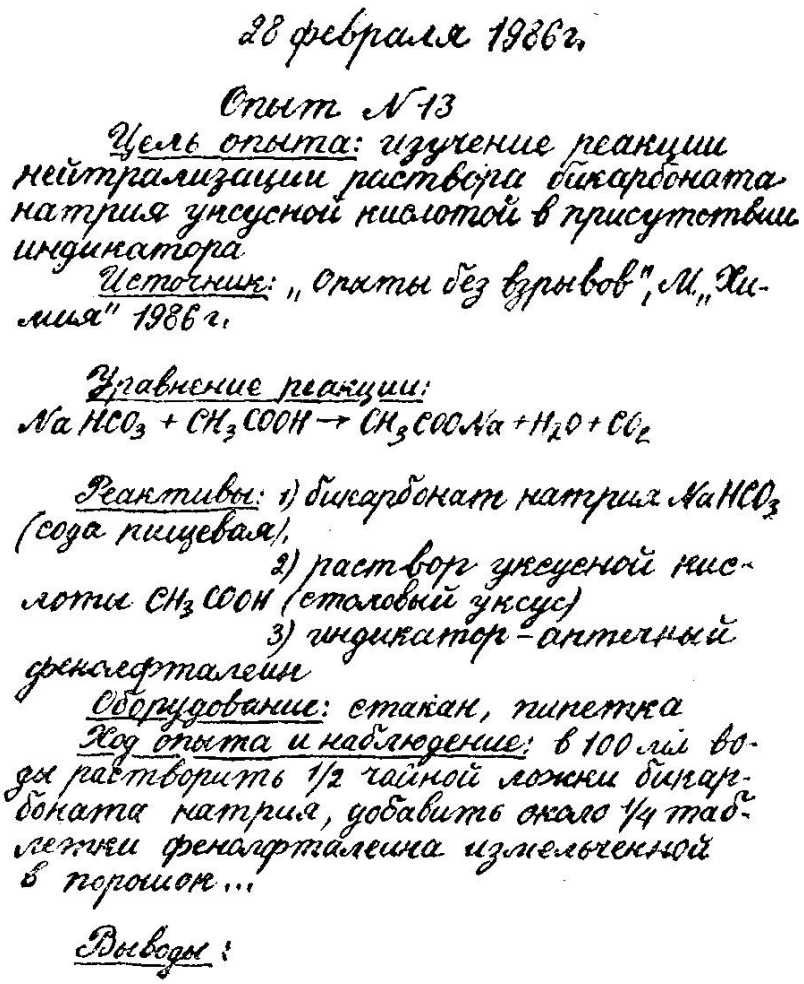
Между прочим, когда чисто, то и работать приятнее, и старшие лучше будут относиться к вашим занятиям. Да и вообще экспериментатор только тогда достигает успеха, когда работает аккуратно.

Шестое условие: никогда не берите реактивы руками, не наклоняйтесь над склянками, в которых идут реакции, не нюхайте вещества с едким запахом. Берегите и одежду, и кожу, и прежде всего глаза от брызг и крупинок. Это условие коротко можно сформулировать так: будьте всегда осторожны!

И наконец, самое последнее, **седьмое условие**, которое вы обязаны выполнять, если хотите стать настоящими экспериментаторами: приступайте к работе только после того, как вам будут ясны все ваши действия. Еще до начала работы внимательно прочтите описание опыта от начала до конца. Запишите все, что вам может понадобиться: посуда, реактивы, штатив, держалки и тому подобное, вплоть до тряпки. Разложите их на рабочем месте так, чтобы все было под рукой. И только после такой подготовки приступайте к работе.

Может быть, вы даже не представляете себе, насколько важен этот последний совет. Если вы будете ему следовать, это избавит вас от суматохи и недоразумений. Представьте себе, что вы приступили к опыту без подготовки, едва раскрыв книгу. Написано: "налейте в бутылку разбавленной уксусной кислоты и бросьте кусочек сульфита натрия, завернутого в фильтровальную бумагу". Это, положим, вы сделаете без труда, если только второпях, в поисках фильтровальной бумаги, не опрокинете бутылку с уксусом. Началась реакция, стал выделяться газ. А вы тем временем читаете: "закройте бутылку пробкой с отводной трубкой и пропустите газ через раствор перманганата калия". Пока вы будете искать пробку, подбирать к ней трубку и доставать из домашней аптечки марганцовку - можете быть уверены, реакция в бутылке давно закончится, и все придется начинать сначала, А что стоило прочесть заранее и приготовить все загодя...

Если вы уже неплохо знаете химию, то для точного выполнения этого же условия очень полезно будет записать уравнения реакций, протекающих в ходе опыта, выверить их по авторитетным книгам или справиться у знающих людей, скажем, у учителя химии. Тогда все ваши действия станут вам яснее и, может быть, вы сможете несколько видоизменить опыт, расширить его рамки. Но, повторяем, только при полной уверенности в том, что опыт пойдет так, как вы ожидаете.



28 февраля 1986г.

Опыт №13

Цель опыта: изучение реакции нейтрализации раствора бикарбоната натрия уксусной кислотой в присутствии индикатора

Источник: „Опыты без взрывов", М. „Химия" 1986 г.

Уравнение реакции:

$NaHCO_3 + CH_3COOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$

Реактивы: 1) бикарбонат натрия $NaHCO_3$ (сода пищевая),
2) раствор уксусной кислоты CH_3COOH (столовый уксус)
3) индикатор – аптечный фенолфталеин

Оборудование: стакан, пипетка

Ход опыта и наблюдение: в 100 мл воды растворить 1/2 чайной ложки бикарбоната натрия, добавить около 1/4 таблетки фенолфталеина измельченной в порошок...

Выводы:

И всем юным химикам, независимо от их подготовки и опыта, настоятельно советуем завести лабораторный журнал. Настоящий химик обязательно записывает в лабораторный журнал план работы, список реактивов, порядок действий, зарисовывает прибор и перечисляет, из каких деталей прибор состоит. Он заносит в журнал условия опыта, уравнения реакций, подсчитывает, сколько надо веществ для опыта. А потом записывает свои наблюдения и делает из них выводы.

Чтобы вам было понятнее, как надо вести лабораторный журнал, (а это, кстати, может быть обычная тетрадь), мы приводим для иллюстрации запись из такого журнала. Разумеется, это не образец, следовать ему в точности не обязательно; ведите записи так, как вам удобнее и привычнее. Но иметь перед глазами пример записи не помешает...

Если ваши наблюдения были точными, записи - аккуратными, а выводы - правильными, значит, вы сумели не просто поставить опыт (что интересно само по себе), но еще понять его смысл и извлечь пользу (а это гораздо важнее). Пожалуйста, не ленитесь заглядывать в учебники и популярные книги по химии, экспериментатор обязан понимать сущность опыта и его особенности. Мы умышленно возлагаем эту работу на вас, в противном случае с подробными разъяснениями книга превзошла бы разумные размеры и часть опытов пришлось бы из нее убрать. А как раз этого нам и не хотелось бы делать.

Теперь, после предварительных замечаний, к которым вы, конечно же, отнеслись со всей серьезностью, пора переходить к устройству своей, на первых порах очень скромной, лаборатории.

То, чем вам придется сейчас заниматься, не так интересно, как ставить опыты, однако необходимо. Впрочем, и оборудование собственной лаборатории, если взяться за него всерьез, тоже поучительное занятие.

Если при слове "лаборатория" вы представили себе просторную комнату с вытяжным шкафом, стеклянными приборами, печами, насосами и высоченными шкафами, доверху набитыми посудой и реактивами, то вы в данном случае ошиблись. Речь идет об уголке комнаты, необязательно жилой, в котором можно поставить небольшой столик и повесить над ним полку. Но прежде чем устраивать лабораторию, выполните два требования. **Первое:** точно решите для себя, хотите ли вы серьезно заниматься химическими опытами, хватит ли у вас терпения тщательно их ставить, не смущает ли вас подготовка к опытам и такие скучные занятия, как уборка и мытье грязной посуды. Если вы сознательно идете на все это, то остается **второе требование:** получить согласие старших. Будем надеяться, что ваша твердая убежденность возымеет действие.

Начнем с устройства рабочего места.

Рабочий стол желательно поставить поближе к окну, чтобы освещение было хорошим; к тому же, если работать возле окна, то легче проветривать помещение. Если у окна места нет, позаботьтесь об электрическом освещении. В любом случае имейте в виду, что нельзя ставить опыты в полутемном помещении!

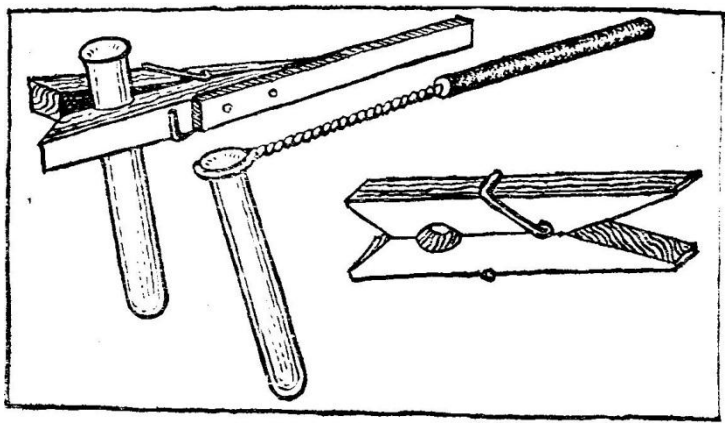
Как бы аккуратно вы ни работали, на стол могут попасть брызги растворов, просыпаться порошки. Во избежание неприятностей, чтобы уберечь стол, положите на него лист линолеума, или толстую фанеру, или прессованный картон. В крайнем случае можно обойтись и обычной клеенкой либо полиэтиленовой пленкой. Если стол не отдан полностью в ваше распоряжение, сделать это совершенно необходимо. Вдобавок не помешает поставить на стол еще и поддон - например, большую фотографическую кювету, которую легко можно вымыть после опыта. Между прочим, и стол после работы нужно протереть влажной тряпкой, а затем вытереть насухо.

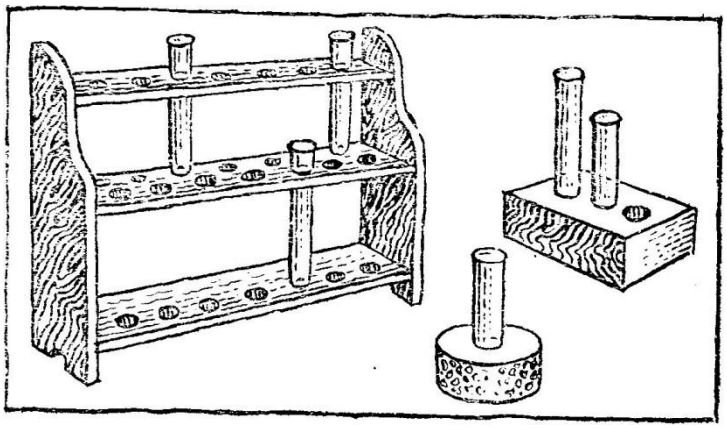
Очень удобно, если над столом можно повесить полку или шкафчик и держать в них все необходимое для опытов. Если же это невыполнимо, то все равно держите посуду и реактивы в одном месте, недалеко от рабочего стола. Ни в коем случае не разбрасывайте их по комнате!

Обзаведитесь, пожалуйста, плотным фартуком, лучше всего клеенчатым. Нам придется иногда иметь дело с едкими веществами, и фартук предохранит вашу одежду. В аптеке или хозяйственном магазине купите пару резиновых перчаток - пригодятся для некоторых опытов.

Теперь поговорим о посуде. Конечно, лучше всего было бы обзавестись настоящими пробирками, колбами, химическими стаканами и тиглями. Однако далеко не всегда это выполнимо. Но выход из положения найдется: надо использовать то, что есть под рукой.

Пробирки проще всего заменить тонкостенными стеклянными ампулами из-под таблеток. Поскольку дно у них плоское, нагревать их на открытом пламени нельзя, а вот водяную баню они выдерживают. Для проведения опытов и для хранения веществ годятся также флакончики из-под пенициллина, стрептомицина и других лекарств. На первых порах понадобится не более десяти таких самодельных пробирок.





Иногда пробирки приходится нагревать, и, конечно, их при этом нельзя держать голыми руками. Лучшего держателя для пробирок, чем деревянная бельевая прищепка, нам, пожалуй, не найти. Для удобства прищепку можно удлинить, прикрепив к одной из ее развилок палочку или кусок толстой проволоки. Из толстой мягкой проволоки нетрудно сделать держатель, но не забудьте надеть на тот конец, за который вы будете браться рукой, кусок резинового шланга или обмотайте его изоляционной лентой.

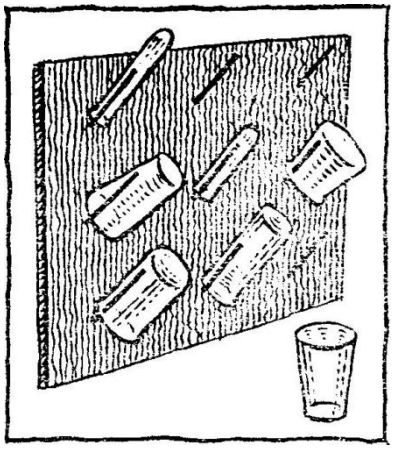
Специальный штатив для большинства опытов не требуется, но полезно сделать штатив-подставку для пробирок, чтобы не держать их долго в руках. Самый простой штатив - это брусок, в котором просверлены (не насквозь) отверстия диаметром чуть большим, чем диаметр пробирок.

Химической посудой могут служить также разнообразные флаконы и банки из-под лекарств, которые закрываются обычно полиэтиленовыми пробками. Такие пробки очень удобны, потому что они стандартны и подходят ко многим склянкам. Но главное - полиэтилен химически стоек, он не разрушается даже под действием концентрированных растворов кислот и многих органических растворителей и поэтому во флаконах с полиэтиленовыми пробками можно хранить и такие реактивы, от которых со временем разрушаются резиновые пробки. Между прочим, когда количество реагирующих веществ невелико, крышки и пробки тоже можно использовать для опытов.

Стеклянная тара от пищевых продуктов - майонезные банки, бутылки, стеклянные банки из-под варенья и компота - годится для хранения реактивов и для некоторых опытов. Помните, что посуду из толстостенного стекла нельзя нагревать - она может лопнуть, В описаниях опытов мы будем советовать, какую посуду лучше взять. Если же посуда не оговорена, значит, годится любая склянка, которая есть под рукой.

Какую бы посуду для хранения веществ вы ни выбрали, она должна быть плотно закрыта, и к ней обязательно надо приклеить этикетку. Самая простая этикетка-из лейкопластыря. Он легко приклеивается к сухому стеклу, на нем удобно писать шариковой ручкой; когда запись поблекнет, ее нетрудно подновить. Можно сделать и бумажную этикетку, приклеив ее казеиновым канцелярским клеем, а чтобы она дольше держалась, ее надо закрыть прозрачной липкой лентой.

Всю посуду перед использованием (и после каждого использования) необходимо тщательно мыть; если посуда грязная, ее моют стиральным порошком с помощью ершика, а потом еще несколько раз чистой водой.



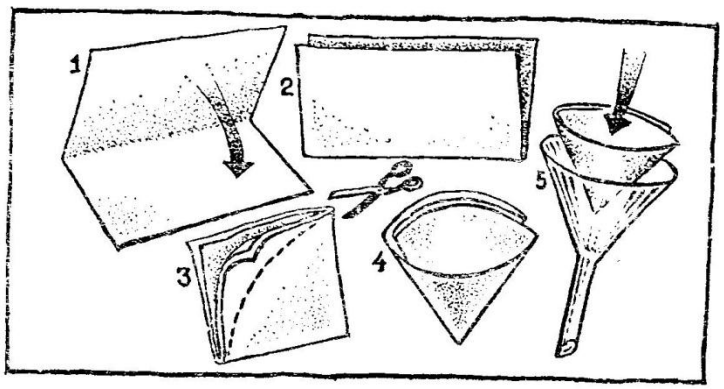
Посуда должна храниться только чистой. Ее надо мыть сразу после опыта (это, кстати, и легче, потому что через час-другой грязь может так пристать к стенкам, что насилу отмоешь). Вымытую посуду лучше сушить так, чтобы вода легко стекала с нее. Можно изготовить для этого нехитрую сушилку: вбить в толстый лист фанеры длинные гвозди, чтобы они пробили лист насквозь и ушли в него по самую шляпку, отогнуть торчащие из фанеры гвозди вверх под

углом примерно 45° и обмотать их изоляционной лентой, чтобы не поцарапаться (или надеть резиновые трубки). На всякий случай не помешает затупить напильником острия гвоздей. Это и есть сушилка. Ее надо повесить на стену и поставить внизу поддон, чтобы вода, стекая с пробирок и склянок, надетых на гвозди, не капала на стол или на пол.

Иногда по ходу опыта необходимо прокалить какое-либо вещество. Для этого есть специальная фарфоровая посуда, но можно обойтись и без нее. Выручат тщательно вымытые жестяные баночки из-под гуталина или вазелина. А если вещества немного, воспользуйтесь столовой или даже чайной ложкой из нержавеющей стали. Конечно, для еды эта ложка уже не годится. Точно так же, как бутылки, банки и прочая посуда, которую вы взяли для опытов.

Лучше, наверное, будет купить специально одну-две стальные ложки для своей лаборатории. Они годятся не только для прокаливания, но могут заменить шпатели, которыми набирают вещества для опытов. Если же опыт проводят в пробирке, то можно обойтись и без шпателя: порошки набирают большей частью прямо в сухую пробирку.

Теперь немного о фильтрах. Они будут нужны очень часто. В описаниях опытов вам то и дело будут попадаться советы: профильтровать жидкость, отделить осадок от раствора. Иногда, правда, можно обойтись без фильтрования. Если осадок достаточно тяжелый, ему дают осесть, а жидкость сливают с него в чистый стакан по стеклянной палочке (этот прием называется декантацией). Но чаще приходится все же фильтровать, а для этого надо уметь делать бумажные фильтры. Для этого нужна специальная бумага, не пропитанная клеем. Она так и называется - фильтровальная. Все с ней хорошо знакомы, даже первоклассники - это обычная промокашка.

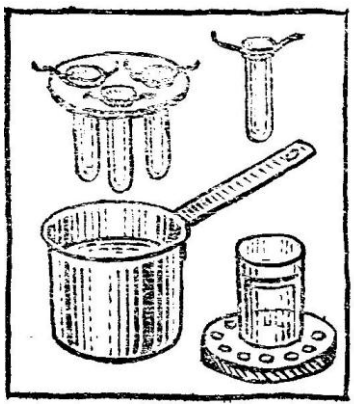


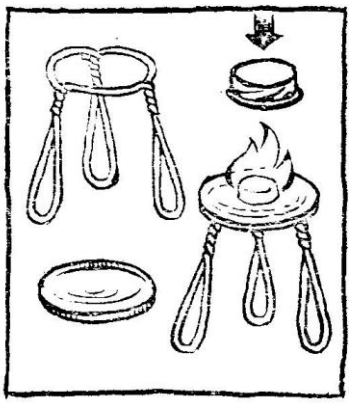
Чтобы сделать фильтр, надо приготовить квадратный кусок фильтровальной бумаги, сложить его пополам и еще раз пополам, а потом обрезать края так, чтобы при развертывании получился круг. Такой сложенный вчетверо листок надо раздвинуть, чтобы образовался конус. Половина этого конуса будет из одного слоя бумаги, другая половина - из трех слоев.

Другой фильтр, немного посложнее - складчатый. Для него вырезают из бумаги круг и складывают его многократно, чтобы получилась гармошка. Через такие складки жидкость фильтруется быстрее, но тяжелый осадок может этот фильтр прорвать; он годится только для легких, хлопьевидных осадков или для крупных кристаллов.

Какой бы фильтр вы ни взяли, его надо положить в воронку - стеклянную (химическую) или пластмассовую, которую продают в хозяйственных магазинах. Он должен плотно прилегать к воронке и не доходить до ее края на несколько миллиметров. Перед работой фильтр смачивают растворителем (как правило, водой; мы чаще всего будем иметь дело с водными растворами), затем осторожно льют жидкость с осадком. Фильтрование требует терпения, потому что жидкость через промокательную бумагу проходит медленно. Но ни в коем случае не отрывайте носик фильтра - вся работа пойдет насмарку.

Иногда можно фильтровать через ткань или несколько слоев марли - это несколько скорее, но не так эффективно. В описаниях опытов будет сказано, через какой материал можно фильтровать без ущерба для дела. Если же особых замечаний по этому поводу вы не обнаружите, то фильтруйте через бумажный фильтр.





Во многих опытах реагирующие вещества необходимо нагревать. Если требуется температура не выше 100°С, то удобнее всего (да и безопаснее) пользоваться водяной баней. Ею может служить любая кастрюля (лучше с ручкой) или просто широкая консервная банка, в которую налита вода. Воду нагревают до требуемой температуры, скажем, до кипения, ставят в нее пробирку или склянку с реакционной смесью, а чтобы пробирка не упала, делают какое-либо приспособление. Например, обматывают пробирку проволокой так, чтобы проволочные концы торчали вроде усов, и эти усы кладут на край кастрюльки. Или делают крышку из фанеры так, чтобы она могла лежать на кастрюле, а в крышке просверливают отверстие для пробирок и закрепляют их проволочными усами, только совсем короткими.

Когда вещество нагревают в стакане, то крышка не нужна. Стакан ставят в водяную баню,

но не прямо на дно (так он может перегреться), а на подставку из фанеры или куска дерева. В подставке желательно прорезать отверстия, чтобы вода могла циркулировать. А чтобы дерево не всплывало, подставка должна плотно прилегать к стенкам бани.

Наливать много воды не надо - достаточно, если стакан или пробирка будут погружены в воду наполовину. По мере выкипания воду надо понемногу доливать.

Водяную баню можно нагревать на газовой пли электрической плите либо на закрытой электроплитке (пожалуйста, помните об аккуратности в работе!). Если же надо нагревать вещества на открытом пламени до более высоких температур, то лучше пользоваться горелкой с "сухим спиртом", таблетки которого продают в хозяйственных и спортивных магазинах, таким сухим горючим часто пользуются туристы. Таблетки горючего дают ровное и жаркое пламя. Сжигать их надо на специально сделанном таганке. Его можно изготовить из толстой стальной проволоки в виде треноги и положить сверху жестяную крышку с загнутыми краями, например от стеклянной консервной банки; на этой крышке и поджигают таблетку. Приготовьте и жестяный колпачок, например, маленькую консервную банку, которым вы будете гасить пламя: накройте колпачком горящую таблетку, воздух перестанет к ней поступать, и пламя погаснет.

Еще один способ нагревания до высокой температуры - песочная баня. В небольшую сковородку насыпьте ровным слоем сухой прокаленный песок на высоту около 2 см. На песок поставьте фарфоровую чашку или металлическую банку с реакционной смесью и нагревайте песочную баню на электроплитке. Это старый, надежный и безопасный метод прокаливания, хотя и не очень быстрый.

В заключение этой главы - немного об измерении масс и объемов.

Для домашней лаборатории подойдут аптечные весы, они достаточно точны и стоят недорого. Такого же типа весы с коромыслом для отвешивания фотореактивов продают в фотомагазинах. Если нет настоящих разновесов, воспользуйтесь новыми медными монетами от копейки до пятака; их масса соответственно 1, 2, 3 и 5 г. Годятся и рычажные весы с пределом измерения до 100 г; особо высокой точности взвешивания для большинства наших опытов не потребуется.

Что же касается измерения объемов, то для этой цели можно использовать аптечную мензурку - стеклянную рюмочку с делениями - или мерный стакан. В крайнем случае

можно воспользоваться мерной бутылочкой, из которой кормят через соску младенцев. Иногда нам нужны будут и более сложные приборы, многие из которых можно будет собрать из подручных средств. Как именно - об этом будет сказано в описаниях опытов. А сейчас, после всех приготовлений, приступим к работе.

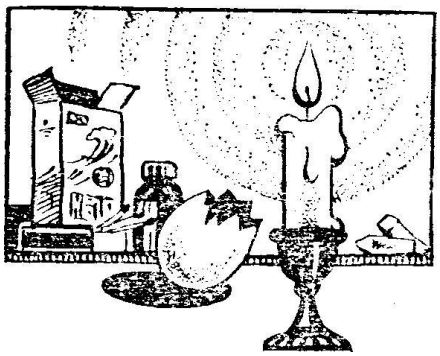


Опыты без взрывов

Олег Ольгин

ГЛАВА 2

ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ



Сначала, как положено, самое простое.

Опыты, которые напечатаны в этом разделе, - совсем легкие. Они для тех, кто только качал изучать химию, а может быть, еще и не учит ее. Наверное, и старшеклассники смогут найти здесь что-то полезное для себя. Кстати, вам попадался когда-нибудь такой простой, но очень наглядный опыт - рисование йодом по металлу? Вот с него, пожалуй, и начнем.

РИСОВАНИЕ ИОДОМ

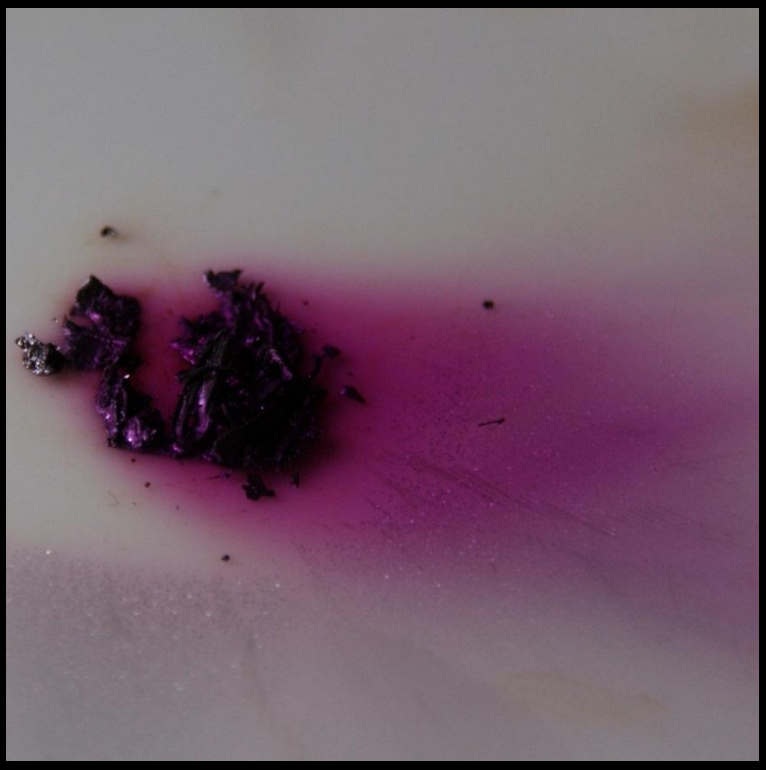
Чем особенно хорош этот опыт - все необходимое для него, наверное, есть дома: свечка, аптечный под (спиртовой раствор, йодная настойка) и какой-нибудь негодный железный предмет - старая дверная петля, ключ от неизвестного замка или замок, ключи от которого потеряны. Металлическую поверхность, на которой будет рисунок, прошлифуйте наждачной шкуркой до блеска, зажгите свечку и наклоните ее так, чтобы парафин капал на блестящую поверхность. Слегка нагрейте предмет, тогда парафин растечется тонким слоем. А когда он охладится и остынет, иглой процарапайте канавки, чтобы они дошли до металла. Наберите пипеткой аптечный йод и капните на царапины. Через несколько минут раствор йода побледнеет, и тогда надо вновь нанести его на царапины. Примерно через час снимите слой парафина: вы увидите на металле ясные следы, они точь-в-точь повторяют рисунок на парафине.

Если опыт был удачным, можно перейти к более серьезному занятию - не просто царапать парафин, а написать на нем слово или сделать рисунок, например, пометить свой перочинный нож или гаечный ключ от велосипеда.

Разберемся, что же происходит, когда йод соприкасается с металлом. Железо вступает в реакцию с подом, в результате образуется соль - йодид железа. А эта соль - порошок,

который легко удаляется с поверхности. И там, где были царапины, образовались углубления в металле. Такой процесс называют химическим травлением. К нему часто прибегают, однако используют обычно не йод, а другие вещества, более активные.

Между прочим, йод взаимодействует не только с железом, но и с медью. Значит, им можно травить разные предметы из меди и медных сплавов, например, из латуни. Можете попробовать.



Иод

САМОДЕЛЬНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

В химических лабораториях то и дело пользуются индикаторами - иногда для определения тех или иных веществ, а большей частью, чтобы узнать кислотность среды, потому что от этого свойства зависит и поведение веществ, и характер реакции. Индикаторы не раз понадобятся и нам, а так как не всегда можно их купить, то попробуем приготовить их самостоятельно. Исходным сырьем будут служить растения: многие цветы, плоды, ягоды, листья и корни содержат окрашенные вещества, способные менять свой цвет в ответ на то или иное воздействие. И, попадая в кислую (или, напротив, в щелочную) среду, они наглядным образом сигнализируют нам об этом.

Растительное "сырье" летом собрать нетрудно - в лесу, в поле, в саду или огороде.

Возьмите яркие цветы - ирис, темные тюльпаны и розы, анютины глазки, мальву; наберите малины, ежевики, черники, голубики; запаситесь несколькими листами красной капусты и молодой свеклой.

Так как растворы индикаторов получают отвариванием (отвар - это нечто вроде бульона), то они, естественно, быстро портятся - скисают, плесневеют. Их надо готовить непосредственно перед опытом. Возьмите немного запасенного сырья (точное количество не имеет значения), положите в пробирку, налейте воды, поставьте на водяную баню и нагревайте до тех пор, пока раствор не окрасится. Каждый раствор после охлаждения профильтруйте и слейте в приготовленную заранее чистую склянку с этикеткой.

Чтобы обеспечить себя индикаторами на весь год, засушите летом лепестки и ягоды, разложите их по отдельным коробочкам, а потом точно так же, как говорилось выше, приготовьте из них отвары, отдельно из каждого растения.

Чтобы узнать, какой отвар служит индикатором на ту или иную среду и как изменяется его цвет, надо провести испытание. Возьмите пипеткой несколько капель самодельного индикатора и добавляйте их поочередно в кислый или щелочной раствор. Кислым раствором может служить столовый уксус, а щелочным - раствор стиральной соды, карбоната натрия. Если, к примеру, добавить к ним ярко-синий отвар из цветков ириса, то под воздействием уксуса он станет красным, соды - зелено-голубым.

Результаты всех этих опытов тщательно записывайте, лучше всего в таблицу; ее образец мы здесь приводим.

Не только листья и ягоды могут сослужить вам службу в качестве индикаторов. На изменение кислотности четко реагируют изменением цвета некоторые соки (в том числе из красной капусты, из вишни, черного винограда, черной смородины) и даже компоты. Выполнить роль индикатора может обычный борщ. Хозяйки это давно приметили и используют такое свойство свекольного отвара, но не для анализа. Чтобы борщ был ярко-красным, в него перед окончанием варки добавляют немного пищевой кислоты - уксусной или лимонной; цвет меняется буквально на глазах.

В лабораториях широко используют индикатор фенолфталеин. Приготовим его из аптечных таблеток того же названия. Одну-две таблетки разотрите и растворите

примерно в 10 мл водки (в крайнем случае, просто в теплой воде). В любом случае таблетки растворятся не полностью, потому что кроме основного вещества, фенолфталеина, в них есть еще наполнитель - тальк или мел. Отфильтруйте полученный раствор через промокательную бумагу и перелейте в чистую склянку с этикеткой "фенолфталеин - индикатор". Этот бесцветный раствор со временем не портится. Он пригодится, и не раз, для определения щелочной среды: в ней он мгновенно краснеет. Для проверки добавьте каплю-другую фенолфталеина к раствору стиральной соды.

А вот и образец таблицы, которая будет служить вам справочником при выборе индикатора:

Индикатор	Цвет раствора		
	исходный	*в кислой среде*	*в щелочной среде*
Виноградный сок	Темно-красный	Красный	Зеленый
Синий ирис	Ярко-синий	Красный	Зелено-голубой

Предлагаем вам продолжить таблицу самостоятельно.

И последнее о растительных индикаторах. Некогда было в моде писать приглашения на лепестках цветов; а писали их в зависимости от цветка и желаемого цвета надписи раствором кислоты или щелочи, пользуясь тонким пером или заостренной палочкой. Попробуйте, если хотите, писать таким образом, но лепестки и растворы для письма подберите самостоятельно. Имейте в виду, что раствор должен быть не слишком концентрированным, иначе можно повредить нежный лепесток.



Универсальная индикаторная бумага

ЭКСТРАКЦИЯ

Сейчас мы познакомимся с очень распространенным в промышленности процессом, который называют экстракцией.

Измельчите несколько ядрышек ореха и горсть семечек подсолнуха (понятно, без шелухи), положите в пробирку и залейте бензином. Рядом не должно быть огня - бензин может загореться! Встряхните пробирку и дайте ей постоять часа два, не забывая время от времени встряхивать. Потом слейте раствор на блюдце и выставьте на сквозняк. Когда бензин испарится, вы увидите на дне немного масла. Так с помощью бензина вы извлекли, экстрагировали, масло из семян. Произошло это благодаря тому, что масло хорошо растворяется в бензине.

Можете попытаться приготовить масло из других семян. Только не вздумайте пробовать его на вкус!

Еще один опыт - с листьями. Для него нам понадобится водяная баня и стакан с тонкими стенками (если они будут толстыми, стакан, как вы помните, может лопнуть). Свежий лист какого-нибудь растения поместите в сосуд и залейте небольшим количеством разбавленного спирта. Нагрейте воду в бане, снимите ее с огня и поставьте внутрь стакан с листом. Некоторое время спустя пинцетом достаньте листок: он обесцветился, а спирт стал изумрудного цвета. Вот так вы провели экстракцию хлорофилла - зеленого пигмента растений.

Кстати, если взять заведомо съедобное растение - салат или шпинат, то из него таким способом можно извлечь пищевой краситель - для подкраски крема или соуса. Так поступают и на пищевых фабриках: зеленый съедобный краситель извлекают экстракцией из листьев. Чтобы ускорить этот процесс, советуем сначала измельчить листья и встряхивать время от времени сосуд.

Еще один опыт. В пробирку, до половины заполненную водой, налейте примерно 1 мл аптечной настойки йода; получится буроватый раствор. Добавьте к нему равное количество бензина, несколько раз встряхните и оставьте в покое. Когда смесь расслоится, то окажется, что верхний, бензиновый слой стал темно-бурым, а нижний, водный слой - почти бесцветным. Йод в воде растворяется плохо, а в бензине - хорошо. Поэтому-то он из водного раствора перешел в бензиновый.

На различии в растворимости основан наш последний опыт с экстракцией. Как быстро отличить порошок кофе от порошка цикория? По запаху, это понятно, но если запах слаб или вы его не помните в точности? Тогда бросьте по щепотке того и другого порошка в прозрачный сосуд с горячей водой. Окрашенные вещества цикория трудно экстрагируются водой, поэтому она останется практически бесцветной. А вещества кофе, напротив, легко растворяются в воде, и его порошок медленно опускается на дно, оставляя за собой коричневый след.



Экстракт хлорофилла

ОПЫТЫ С ГАЗАМИ

С жидкостями мы уже немного поработали, займемся газами. Это несколько труднее, и прежде всего нам нужны будут пробки с отверстиями и газоотводные трубки.

Трубка может быть стеклянной, металлической и даже пластмассовой. Резиновую пробку лучше не брать - в ней трудно сверлить отверстия. Возьмите корковые или полиэтиленовые пробки - отверстия в них можно прожечь нагретым шилом. В это отверстие вставьте трубочку - к примеру, от глазной пипетки; она должна входить в отверстие пробки плотно, без зазоров, поэтому отверстие в пробке надо сделать сначала

чуть меньше, чем требуется, а потом понемногу расширять его, подгоняя под диаметр трубки. Наденьте на стеклянную трубку резиновую или полиэтиленовую гибкую трубку длиной сантиметров 30, в другой ее конец также вставьте короткую стеклянную трубку.

Теперь первый опыт с газами. Приготовьте известковую воду, залив горячей водой (1/2 стакана) половину чайной ложки измельченной гашеной извести, размешайте смесь и дайте отстояться. Прозрачный раствор над отстоявшимся осадком и есть известковая вода. Осторожно слейте жидкость с осадка; этот лабораторный прием, как вы помните, называют декантацией.

Если у вас нет гашеной извести $Ca(OH)_2$, то известковую воду можно приготовить из двух растворов, продающихся в аптеке: хлорида кальция $CaCl_2$ и нашатырного спирта NH_4OH (водного раствора аммиака). При их смешивании также получается прозрачная известковая вода.

Возьмите охлажденную бутылку с минеральной водой или лимонадом. Откройте пробку, быстро вставьте в горлышко пробку с газоотводной трубкой, а другой ее конец опустите в стакан с известковой водой. Поставьте бутылку в теплую воду. Из нее будут выделяться пузырьки газа. Это диоксид углерода CO_2 (он же двуокись углерода, углекислый газ). Его добавляют в воду, чтобы она была вкуснее.

По трубке газ поступает в стакан, он проходит через известковую воду и она на глазах мутнеет, потому что содержащийся в ней гидроксид кальция превращается в карбонат кальция $CaCO_3$, а он плохо растворяется в воде и образует белую муть.
Чтобы поставить опыт с известковой водой, необязательно покупать лимонад или минеральную воду. Ведь при дыхании мы потребляем кислород и выделяем углекислый газ, тот самый, который заставляет мутнеть известковую воду. Опустите конец любой чистой трубки в свежую порцию известковой воды и несколько раз выдохните через трубку - результат не заставит себя ждать.

Откройте еще одну бутылку, вставьте пробку с трубкой и продолжайте пропускать через известковую воду диоксид углерода. Некоторое время спустя раствор опять станет прозрачным, потому что диоксид углерода вступает в реакцию с карбонатом кальция, превращая его в другую соль - гидрокарбонат $Ca(HCO_3)_2$, а эта соль как раз очень хорошо растворяется в воде.

Следующий газ, которым мы займемся, совсем недавно был упомянут: аммиак. Его легко узнать по резкому характерному запаху - запаху аптечного нашатырного спирта.

Налейте в бутылку немного прокипяченного насыщенного раствора стиральной соды. Затем добавьте нашатырного спирта, вставьте в горлышко пробку с гибкой отводной трубкой и на другой ее конец наденьте пробирку вверх дном. Подогрейте бутылку в теплой воде. Пары аммиака легче воздуха, и вскоре они заполнят перевернутую пробирку. По-прежнему держа пробирку вверх дном, осторожно опустите ее в стакан с водой. Почти сразу же вода начнет подыматься вверх, в пробирку, потому что аммиак хорошо растворяется в воде, освобождая для нее место в пробирке.

Заодно вы можете научиться распознавать аммиак - и не только по запаху. Во-первых, убедитесь в том, что раствор аммиака имеет щелочную реакцию (воспользуйтесь фенолфталеином или самодельными индикаторами). А во-вторых, проведите качественную реакцию на аммиак. Качественная реакция - такая, которая позволяет безошибочно опознать то или иное вещество либо группу веществ.

Приготовьте слабый раствор медного купороса (он должен быть бледно-голубым) и опустите в него газоотводную трубку. Когда начнет выделяться аммиак NH_3, то у конца трубки раствор станет ярко-синим. Аммиак с солью меди дает ярко окрашенное комплексное соединение довольно сложного состава $[Cu(NH_3)_4]SO_4$.

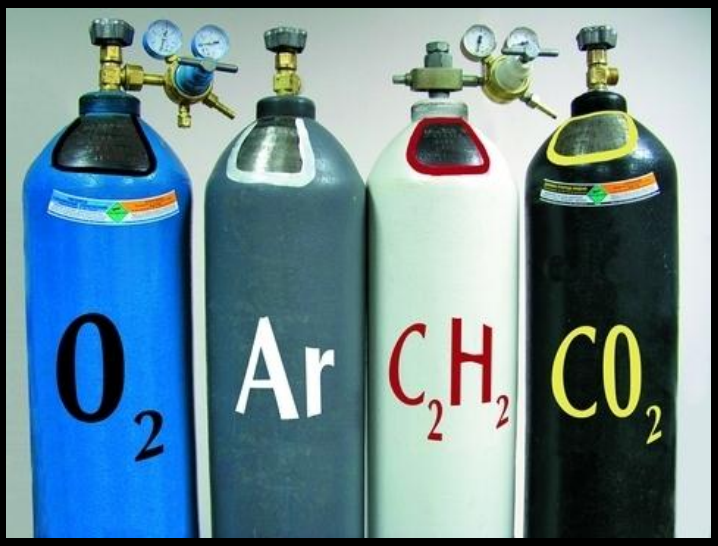
Теперь постарайтесь раздобыть совсем небольшой кусок карбида кальция - будем получать ацетилен. Соберите прибор, как в предыдущем опыте, только в бутылку налейте не нашатырный спирт, а соду. Опустите в нее тщательно завернутый в промокательную бумагу маленький, с горошину, кусочек карбида кальция и вставьте пробку с трубкой. Когда промокательная бумага размокнет, начнет выделяться газ, который вы, как и прежде, будете собирать в перевернутую пробирку. Минуту спустя переверните пробирку горлышком вверх и поднесите зажженную спичку. Газ вспыхнет и сгорит коптящим пламенем. Это тот самый ацетилен, которым пользуются газосварщики.

Кстати, в этом опыте получается не только ацетилен. В бутылке остается водный раствор гидроксида кальция, т.е. известковая вода. Ее можно использовать для опытов с диоксидом углерода.

Следующий опыт с газами можно ставить только при хорошей вентиляции, а если ее нет,

то на свежем воздухе. Мы будем получать резко пахнущий диоксид серы (сернистый газ) SO_2. Налейте в бутылку разбавленную уксусную кислоту и добавьте немного завернутого в промокательную бумагу сульфита натрия Na_2SO_3 (это вещество продают в фотомагазинах). Закройте бутылку пробкой, свободный конец газоотводной трубки опустите в стакан с приготовленным заранее разбавленным раствором перманганата калия $KMnO_4$ (это вещество известно в быту под названием марганцовки). Раствор должен быть бледно-розовым. Когда бумага размокнет, из бутылки начнет выделяться диоксид серы. Он вступает в реакцию с раствором перманганата калия и обесцвечивает его.

Если вам не удастся купить сульфит натрия, то замените его содержимым большого патрона обычного фотопроявителя. Правда, в этом случае в диоксиде серы будет примесь диоксида углерода, но опыту это не помешает.



Баллоны с газами

ОКИСЛЕНИЕ-ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Опыт с диоксидом серы продемонстрировал нам одну из многочисленных окислительно-восстановительных реакций. В таких реакциях атомы одних веществ присоединяют электроны, а других - отдают электроны. Первые носят название окислителей (перманганат калия), вторые - восстановителей (диоксид серы).

Поставим еще несколько опытов с окислением-восстановлением.

На свежий срез картофеля капните разбавленной йодной настойкой: появится синяя

окраска. Это крахмал, содержащийся в картофеле, синеет в присутствии свободного йода. Такую реакцию часто используют для того, чтобы обнаружить крахмал, значит, это тоже качественная реакция.

На то же место, куда вы капнули йодную настойку, налейте немного раствора сульфита натрия. Окраска быстро исчезнет. Произошло вот что: сульфит отдал свободному йоду электрон, тот стал электрически заряженным, превратился в ион, а в таком состоянии йод уже не реагирует с крахмалом.

Такое свойство сульфита натрия, как и диоксида серы, означает, что эти вещества - хорошие восстановители. Вот еще любопытный опыт с сульфитом. Его компаньоном-окислителем вновь будет перманганат калия.

В четыре пробирки налейте бледно-розовый, розовый, светло-фиолетовый и темно-фиолетовый растворы марганцовки. В каждую пробирку добавьте раствор сульфита натрия. Содержимое первой пробирки станет почти бесцветным, второй - буроватым. В третьей пробирке выпадут бурые хлопья, в четвертой тоже, но осадка будет намного больше. Во всех пробирках образуется твердый оксид марганца MnO_2. Но в первых двух пробирках он существует в виде коллоидного раствора (твердые частицы настолько малы, что раствор кажется прозрачным). А в остальных двух пробирках концентрация MnO_2 настолько велика, что частицы слипаются и выпадают а осадок.

Вообще марганцовка напоминает химического хамелеона - так она умеет менять свой цвет. Например, в щелочной среде раствор перманганата калия из красно-фиолетового становится зеленым, потому что перманганат восстанавливается до зеленого манганата. Чтобы проверить это, бросьте в раствор щелочи - в концентрированный прокипяченный раствор стиральной соды - кристаллик марганцовки, и вместо привычного розового окрашивания появится зеленое.

Этот опыт получается еще красивее, когда работают с едким натром, но для домашнего экспериментирования, пока у вас нет навыка и умения, такие щелочи рекомендовать нельзя. Если же вы занимаетесь в кружке, то поставьте опыт так: налейте в тонкостенный стакан немного красного раствора марганцовки (он должен быть прозрачным) и очень небольшими порциями, чтобы реакционная смесь не разогревалась, добавляйте достаточно концентрированный раствор едкого натра. Наблюдайте за цветом жидкости - сначала он будет становиться все более фиолетовым, затем, по мере увеличения

щелочности, синим, и, наконец, зеленым.

Смена окраски особенно отчетливо видна в проходящем свете. В любом случае освещение должно быть хорошим, без этого переходы оттенков можно и не заметить.

Следующий опыт поможет вам отличить грязную воду от чистой. Одну пробирку наполните чистой водой, другую - водой из застоявшейся лужи или из болота. Добавьте в пробирки немного раствора окислителя - перманганата калия. В водопроводной воде он останется розовым, в воде из лужи - обесцветится. В теплую погоду в стоячей воде скапливаются органические вещества. Они, как и сульфит натрия, восстанавливают перманганат калия, меняют его окраску.

В первом опыте с сульфитом натрия предлагалось брать его из большого патрона проявителя. Если вы последовали этому совету, то у вас остался малый патрон, который содержит смесь метола и гидрохинона. Растворите эту смесь в воде; раствор будет очень слабо окрашенным. Прибавьте немного хлорной извести (это распространенное дезинфицирующее вещество, обращаться с ним надо осторожно). Содержимое пробирки станет желтым. Хлорная известь - хороший окислитель, она окисляет гидрохинон до хинона, а тот окрашен в желтый цвет. Если же теперь добавить в пробирку смесь сульфита натрия и соды из большого патрона, то желтая окраска исчезнет: сульфит натрия вновь восстановит хинон до гидрохинона.

Последний опыт на тему "окисление-восстановление" мы поставим с соединениями хрома. Такие опыты часто бывают красочными, что неудивительно, так как "хромое" по-гречески означает "цвет".

Итак, возьмите немного желтого раствора бихромата калия $K_2Cr_2O_7$; это вещество широко применяют в технике в качестве окислителя, например, для очистки сильно загрязненных деталей; обращаться с ним надо аккуратно. Если добавить в желтый раствор немного серной кислоты (осторожно! лить кислоту медленно!), то он станет красным. В такой подкисленный раствор бросьте несколько кусочков цинка. Если у вас нет гранулированного цинка, с которым обычно ставят опыты, то добудьте цинк самостоятельно, из негодной батарейки: металлические стаканчики в элементах питания - цинковые.

Итак, вы бросили в стакан с раствором немного цинка, и бихромат, восстанавливаясь,

меняет цвет на темно-зеленый. Это образовались ионы Cr^{3+}. Одновременно благодаря реакции цинка с кислотой выделяется газ - водород. Если продукты реакции не окисляются кислородом воздуха, то реакция будет идти и дальше, причем появится голубая окраска - такой цвет у раствора сульфата хрома $CrSO_4$. Перелейте его в другой стакан; пока вы будете это делать, произойдет окисление, и раствор опять станет зеленым.



Перманганат калия (растворы)

АДСОРБЦИЯ

С физико-химическим явлением, о котором сейчас пойдет речь, знаком, наверное, каждый, хотя, может быть, не все знают, что оно называется адсорбцией. Если даже вы и не проходили адсорбцию на уроках, наблюдали вы ее неоднократно. Как только вы сажаете чернильную кляксу на бумагу или, что гораздо хуже, на одежду, так сразу и знакомитесь с этим явлением. Когда поверхность одного вещества (бумаги, ткани и т.д.) поглощает частицы другого вещества (чернил и проч.), это и есть адсорбция.

Очень хороший адсорбент - уголь. Причем не каменный, а древесный, и не просто древесный, а активный (активированный). Такой уголь продают в аптеках, обычно в виде таблеток. С него и начнем опыты по адсорбции.

Приготовьте бледный раствор чернил любого цвета и налейте в пробирку, но не доверху. Положите в пробирку таблетку активного угля, лучше растолченного, закройте пальцем и встряхните как следует. Раствор посветлеет на глазах. Поменяйте раствор на какой-либо другой, но тоже окрашенный - пусть это будет разбавленная гуашь или акварель. Эффект окажется таким же. А если взять просто кусочки древесного угля, то они будут поглощать

краситель значительно слабее.

В этом нет ничего странного: активный уголь отличается от обычного тем, что у него гораздо большая поверхность. Его частицы буквально пронизаны порами (для этого уголь особым способом обрабатывают и удаляют из него примеси). А коль скоро адсорбция - это поглощение поверхностью, то ясно: чем больше поверхность, тем и поглощение лучше. Адсорбенты способны поглощать вещества не только из растворов. Возьмите поллитровую стеклянную банку и капните на дно одну каплю одеколона или любого другого пахучего вещества. Обхватите банку ладонями и подержите её так с полминуты, чтобы немного нагреть пахучую жидкость - тогда она будет быстрее испаряться и сильнее пахнуть. Как принято в химии, не нюхайте вещество прямо из склянки, а легкими взмахами руки направьте к носу воздух вместе с парами вещества; не всегда ведь известно, хорошо ли пахнет то вещество, которое в склянке.

Каким бы ни был запах, вы его, конечно, почувствуете явственно. А теперь положите в склянку немного активного угля, закройте ее плотно крышкой и оставьте на несколько минут. Снимите крышку и вновь направьте воздух к себе взмахами ладони. Запах исчез. Он поглотился адсорбентом, или, точнее, поглотились молекулы летучего вещества, которое вы поместили в банку.

Не обязательно брать для этих опытов активный уголь. Есть много других веществ, которые могут служить адсорбентами: туф, сухая размолотая глина, мел, промокательная бумага. Словом, самые разные вещества, но обязательно с развитой поверхностью. В том числе и некоторые пищевые продукты - вы, наверное, знаете, как легко хлеб впитывает посторонние запахи. Недаром пшеничный хлеб не советуют держать в одной упаковке с ржаным - их запахи смешиваются, и каждый теряет свой особый, только ему присущий аромат.

Очень хороший адсорбент - воздушная кукуруза, или кукурузные палочки, столь любимые многими из нас. Конечно, тратить на опыт пакет или даже четверть пакета нет смысла, но несколько штук... Попробуем. Предыдущий опыт с пахучими веществами повторите в присутствии кукурузных палочек - и запах совершенно исчезнет. Конечно, после опыта есть палочки уже нельзя.

Вернемся к опыту с получением диоксида углерода (углекислого газа). Заполните этим газом две пробирки, причем в одну положите кукурузные палочки и встряхните несколько

раз. Далее, как и прежде, проделайте опыт с известковой водой (можно просто "наливать" в нее газ из пробирок - он тяжелее воздуха). Будет ли разница в поведении известковой воды? Да, будет. Жидкость станет мутной только в том стакане, в который "вылили" газ, не обработанный адсорбентом. А из другой пробирки, той, где были кукурузные палочки, диоксида углерода не извлечь: его поглотил адсорбент.

Если вы работаете в химическом кружке и уже научились получать и собирать такие окрашенные газы, как хлор и оксид азота (дома с ними дела иметь не надо, тут требуется хорошая тяга), то можете испытать на них действие угля и кукурузных палочек. В сосуд с окрашенным газом поместите адсорбент, встряхните несколько раз - и окраска, если не исчезнет совсем, то заметно ослабеет.

Сейчас на многих кухнях над газовыми плитами ставят разнообразные устройства для очистки воздуха от чада и дыма. В таких устройствах, помимо прочего, есть патрон с каким-либо адсорбентом, через который прогоняют загрязненный воздух. Что при этом происходит, вы теперь знаете. А когда вся поверхность будет занята посторонними, "впитанными" из воздуха частицами, патрон заменяют свежим.



Активированный уголь

ХИМЧИСТКА

Опыты из этой главы можно назвать повторением пройденного, потому что при химической чистке и выведении пятен чаще всего используют как раз те процессы, с которыми вы недавно познакомились в опытах. А именно: экстракцию, окисление-восстановление и адсорбцию.

Конечно, не стоит ради опытов пачкать одежду. Поступим так: заготовим несколько кусочков светлой ткани, на нее посадим разные пятна и попытаемся их вывести. А если опыты пройдут успешно, можно рискнуть почистить и свой костюм (или чужой - если разрешат...).

Самые распространенные пятна - жировые. Их выводят, как правило, с помощью экстракции, подбирая для этого подходящий растворитель. Для выведения свежих жировых пятен годятся бензин, скипидар, медицинский эфир. Ваткой, смоченной растворителем, протрите пятно несколько раз, и жир перейдет в раствор. Чтобы на ткани не осталось ореола, ее надо протереть мыльной водой или раствором стирального порошка.

Старые жировые пятна удалить труднее, тут одним растворителем не обойтись, нужны смеси. Например, бензина, медицинского эфира и скипидара (7:1:2) или винного спирта, скипидара и медицинского эфира (10:2:1).

Если ткань цветная, то надо позаботиться о том, чтобы растворитель не повредил окраску. Прежде чем приступить к работе, проверьте, не изменяет ли выбранный вами растворитель цвет ткани.

Пятно от масляного лака хорошо удаляет паста из бензина и белой глины. Тестообразную смесь наносят на пятно и оставляют до тех пор, пока бензин полностью не испарится. В этом случае к экстракции добавляется адсорбция: белая глина впитывает, поглощает вещества, экстрагируемые бензином.

Свежее пятно от масляной краски сначала смочите скипидаром (для размягчения), а потом удалите бензином. Если такая обработка может повредить окраске, то протрите пятно горячим раствором глицерина или его смесью с равным количеством винного спирта.

Экстракцией можно удалить и пятна от травы, Помните опыт, в котором мы экстрагировали хлорофилл спиртом? Так вот, если протереть испачканное место спиртом (или медицинским эфиром), можно постепенно экстрагировать хлорофилл из пятна, и оно обесцветится.

Чернильные пятна, посаженные на одежду, тоже удается иногда обесцветить. Для этого насыпьте на пятно немного толченого мела или зубного порошка и капните 2-3 капли спирта. Спирт растворит краситель чернил, а мел впитает окрашенный раствор. Снимите испачканный мел тупым концом ножа, нанесите свежую порцию мела и спирта и повторяйте эту операцию до тех пор, пока мел не будет оставаться белым. Дайте ему высохнуть и снимите остатки щеткой.

И в этом случае мы сочетали экстракцию с адсорбцией. Вообще при удалении пятен такой двойной прием часто оказывается самым эффективным: белая глина, мел и тому подобные порошки не позволяют подкрашенному раствору расползаться по ткани, образуя ореол вокруг бывшего пятна.

Теперь об окислительно-восстановительных реакциях, которые тоже помогают удалять пятна.

Свежие пятна от ягод и соков удается нередко снять просто горячей водой. Если же это не возымеет действия, то эти пятна на белых тканях можно обесцветить раствором пероксида водорода (можно растворить таблетку гидроперита в половине стакана воды). Пропитайте пятно этим раствором, добавив к нему несколько капель нашатырного спирта, протрите чистой ваткой и промойте водой. Пероксид (перекись) водорода - сильный окислитель, он окисляет многие красители, и они обесцвечиваются.

Пятна от горячего утюга на хлопчатобумажных и льняных белых тканях тоже можно удалить с помощью реакции окисления-восстановления. В качестве окислителя надо использовать водный раствор хлорной извести (осторожно!) в отношении 1:50 по массе. При перегреве ткани образуются коричневые продукты термического окисления, а хлорная известь разрушает их, делает бесцветными. Но имейте в виду, что в результате реакции образуется соляная (хлороводородная) кислота, которая сама по себе может разрушить ткань. Поэтому сразу после чистки ополосните ткань слабым раствором соды, чтобы нейтрализовать кислоту, а затем промойте чистой водой.

Наконец, если на ткань попал йод, то, протерев пятно раствором тиосульфата натрия (гипосульфита), вы выведете пятно бесследно. Вы уже знаете, что в этой реакции окислитель и что - восстановитель.

СТИРКА

От химчистки вполне естественно будет перейти к стирке, что мы и сделаем.

Стирка - физико-химический процесс, его главные действующие лица - поверхностно-активные вещества. Молекулы таких веществ состоят из двух частей - гидрофильной, т.е. имеющей сродство к воде, и гидрофобной, которая с водой не взаимодействует, зато охотно вступает в контакт с загрязняющими веществами, например, с трудно отмываемыми жирами и маслами. Эти группы - гидрофильные и гидрофобные - находятся на разных концах длинной молекулы. Такие молекулы прикрепляются своими гидрофобными концами к жирной поверхности, а гидрофильные торчат наружу, словно иголки у ежа. Вода эти "иголки" хорошо смачивает, она окружает такого "ежа", отрывает его от поверхности и уносит прочь. Примерно так действует и мыло, и стиральный порошок. А чтобы поскорее удалить грязь с ткани или с наших рук, мы их трем губкой, щеткой, друг о друга...

Коль скоро мыло - самое старое поверхностно-активное вещество, с него и начнем.

Растворите в небольшом количестве воды немного мыла, добавьте в пробирку раствор фенолфталеина. Окраска станет малиново-красной. Значит, среда щелочная. И в самом деле, обычное мыло - натриевая соль жирных кислот - олеиновой, стеариновой, например, $C_{17}H_{35}COONa$ (а жидкое мыло - калиевая соль тех же кислот). При растворении в воде такие соли гидролизуются, распадаются на кислоту и щелочь. Но жирные кислоты слабые, а щелочи в данном случае сильные, поэтому раствор имеет щелочную реакцию.

Раньше думали, будто мыло хорошо стирает и моет потому, что оно образует щелочь. Оказалось, что дело вовсе не в этом. Напротив, щелочь (например, стиральная сода) моет потому, что она соединяется с жирами и образует в растворе поверхностно-активные вещества подобные мылу.

Между прочим, мыло не так уж сложно получить самим. Есть несколько способов; вот

один из них. Приготовьте горячий концентрированный раствор стиральной соды, налейте его в пробирку и постепенно, по каплям, добавляйте растительное масло, пока оно не перестанет растворяться. Вместо масла можно взять пчелиный воск. В полученный раствор насыпьте щепотку поваренной соли. Так же поступают и на мыловаренных заводах - этот процесс называют высаливанием. После добавления соли твердое мыло всплывает на поверхность и его легко отделить от раствора.

Сейчас мыло для стирки применяют все реже, а стиральные порошки все чаще. В состав этих порошков входят поверхностно-активные вещества, полученные синтетически. Поэтому их и называют синтетическими моющими средствами.

Поставим такой опыт. Разрежьте лоскут грязной ткани на три части и опустите каждый кусочек в стаканы. В первый стакан налейте просто подогретую воду, во второй - мыльный раствор, а в третий - раствор любого стирального порошка, какой найдется дома. Слегка потрите лоскутки, ополосните их в чистой воде, высушите и внимательно разглядите. Тот кусочек ткани, который побывал в воде, стал ненамного чище. Лоскуток из мыльного раствора заметно посветлел. Но самым чистым окажется тот кусочек ткани, который вы извлекли из стакана с раствором стирального порошка. Значит, синтетические моющие средства действуют более энергично, чем обычное мыло.

У многих стиральных порошков есть еще одно ценное свойство: они моют в любой воде - в мягкой, в жесткой, даже в морской. А мыло?

Возьмите обычную воду и растворите в ней какую-нибудь соль кальция или магния. Можно купить в аптеке горькую соль, можно взять сухую морскую соль (она тоже продается в аптеках) или раствор хлорида кальция. Таким образом вы сделаете воду жесткой, ведь жесткая вода тем и отличается от мягкой, что содержит много солей кальция и магния - так называемых солей жесткости.

Вновь возьмите кусочек грязной ткани и попробуйте выстирать его мылом в такой жесткой воде. Ничего у вас не выйдет - даже пены не образуется. Соли жесткости вступают с мылом в реакцию, образуются кальциевые и магниевые мыла, а они нерастворимы в воде. И наше мыло теряет все свои полезные свойства.

Но если в жесткой воде растворить стиральный порошок, например "Лотос", он будет отстирывать грязь почти так же, как прежде - жесткая вода ему не вредит. Поверхностно-

активные вещества, входящие в состав порошка, не взаимодействуют с солями жесткости, а значит, не теряют своих свойств.

Растворы стиральных порошков, как и растворы хозяйственного мыла, могут быть щелочными; в этом случае в них рекомендуют стирать хлопок и лен, но никак не шерсть и не шелк. Однако есть и нейтральные средства, их нередко выпускают не в виде порошков, а в виде жидкостей; они-то и хороши для шерсти, шелка и синтетических тканей. Если возникнут сомнения, стоит ли стирать тем или иным порошком шерстяной свитер, то проведите пробу с фенолфталеином. Раствор стал красным - значит, в нем есть свободная щелочь, а она шерсти противопоказана, потому что может разрушить волокна. Но если раствор остался бесцветным или окрасился совсем немного, смело погружайте в него и шерстяные и шелковые вещи.

В былые времена, когда мыло было предметом роскоши, для стирки часто использовали другие, более доступные вещества, которые хотя и в меньшей степени, но все же отстирывали грязь. Попробуйте и вы, как действуют эти вещества. Можете взять для опыта порошок горчицы или отвар фасоли, но еще лучше - корни некоторых растений, например, примулы, вороньего глаза, цикламена, куколи. В этих корнях содержатся сапонины - вещества, обладающие моющим действием (возможно, в старых книжках вы встречали такое выражение - мыльный корень). Все эти природные вещества стирают, конечно, хуже мыла, но вы без труда убедитесь, что они все же стирают.

Главу о моющих средствах закончим опытом, в котором, добавляя поверхностно-активные вещества и изменяя тем самым поверхностное натяжение воды, мы заставим предмет двигаться по воде.

Из тонкой медной проволоки сделайте плоскую спираль в несколько витков, слегка смажьте ее маслом или вазелином и очень осторожно опустите на поверхность воды. Поверхностное натяжение воды не дает спирали утонуть, а вода ее не смачивает. Теперь пипеткой аккуратно капните в самую середину спирали одну каплю мыльного раствора. Спираль сейчас же начнет вертеться. Растекаясь по поверхности, мыльный раствор доходит до конца спирали, выходит из нее и развивает небольшую реактивную тягу. Когда спираль остановится, капните мыльный раствор еще раз - вращение возобновится.

Такая спираль может послужить прибором для определения поверхностной активности различных жидкостей. Замените мыльный раствор другим веществом - спираль станет

двигаться с другой скоростью. Если капнуть раствор поваренной соли, то кругового движения не будет вовсе. А в растворе стирального порошка спираль быстро утонет. Он смывает слой масла, который удерживает проволоку на воде.



Мыльная пена

СВЕЧА ИЗ МЫЛА

Когда мы рассуждали о том, отчего мыло моет, то упоминали особое устройство его молекулы: "голова" и длинный "хвост", причем "голова" стремится к воде, а "хвост", напротив, от воды отталкивается...

Рассмотрим повнимательнее гидрофобный "хвост" - длинную углеводородную цепочку. Такого рода соединения очень распространены и крайне важны для промышленности. Они непременная составляющая часть многих жиров, масел, смазок и других полезнейших веществ. Одно из них - так называемый стеарин - мы сейчас и получим, взяв за основу хозяйственное мыло.

Ножом настрогайте с полкуска хозяйственного мыла и положите в чистую консервную банку (или в отслужившую свое кастрюльку). Налейте воды, так чтобы она с избытком покрывала мыльную стружку, и поставьте смесь на водяную баню. Помешивайте время

от времени содержимое кастрюльки деревянной палочкой, чтобы мыло поскорее растворилось в воде. Когда это, наконец, произойдет, снимите сосуд с огня (разумеется, не голой рукой) и вливайте в него уксус. Под действием кислоты из раствора выделится и всплывет на поверхность густая белая масса. Это и есть стеарин - полупрозрачная смесь нескольких веществ, главным образом стеариновой $C_{17}H_{35}COOH$ и пальмитиновой $C_{15}H_{31}COOH$ кислот. Точный состав сказать невозможно, он зависит от веществ, которые пошли на приготовление мыла.

Из стеарина, как известно из художественной литературы, делают свечки. Вернее, делали раньше, потому что сейчас свечи большей частью не стеариновые, а парафиновые - получаемый из нефти парафин дешевле и доступнее. Но, коль скоро в нашем распоряжении есть стеарин, мы и приготовим из него свечу. Это, между прочим, само по себе занимательное занятие!

Когда банка совсем остынет, соберите стеарин с поверхности ложкой и переложите его в чистую посуду. Два-три раза промойте стеарин водой и заверните в чистую белую тряпку или в фильтровальную бумагу, чтобы впиталась лишняя влага. Когда стеарин совершенно высохнет, примемся за свечку.

Вот едва ли не самый простой прием: толстую витую нить, например, от фитиля для керосинки окунайте многократно в слегка подогретый расплавленный стеарин, каждый раз давая стеарину затвердеть на фитиле. Поступайте таким образом до тех пор, пока на фитиле не нарастет свеча достаточной толщины. Это хороший способ, хотя и несколько утомительный; во всяком случае, в давние времена так нередко готовили свечи.

Есть способ и попроще: сразу обмазать фитиль подогретым до размягчения стеарином (можно даже только что приготовленным, еще не остывшим). Но в этом случае фитиль будет хуже пропитываться плавкой массой и свеча получится не очень хорошей, хотя и будет гореть.

Для красивых, фигурных свечей и способы изготовления непросты. И прежде всего надо сделать форму - деревянную, гипсовую, металлическую. Фитиль и в этом случае желательно сначала пропитать одним-двумя слоями стеарина; затем его закрепляют в форме так, чтобы он проходил точно посередине. Желательно, чтобы фитиль был немного натянут. И уже после этого в форму заливают горячий стеарин.

Между прочим, таким образом можно делать свечи из парафина, т.е., собственно, из покупных свечей, расплавляя их и придавая им ту форму, какая вам по душе. Однако предупреждаем - придется повозиться...

Получив свечу из мыла, проведем опыт в обратном направлении: приготовим мыло из свечи. Только не из парафиновой, из нее мыла вообще нельзя сделать, ибо у молекул парафинов нет "голов". Но если вы уверены, что свеча стеариновая, то смело можете готовить из нее хозяйственное мыло. Годится также натуральный пчелиный воск.

Несколько обломков стеариновой свечи нагрейте на водяной бане, достаточно горячей, но не доведенной до кипения. Когда стеарин полностью расплавится, добавьте к нему концентрированный раствор стиральной (кальцинированной) соды. Образовавшаяся белая вязкая масса и есть мыло. Подержите его еще несколько минут на водяной бане, а затем, надев рукавицу пли обмотав руку полотенцем, чтобы не обжечься, вылейте еще горячую массу в какую-либо форму - хотя бы в спичечный коробок. Когда мыло застынет, выньте его из коробка.

Убедиться в том, что это мыло и что оно моет, труда не составит. Только, пожалуйста, не используйте его для мытья рук - ведь мы не знаем, насколько чистыми были вещества, входившие в состав свечки.



Свеча

МЕЛ, МРАМОР, СКОРЛУПА...

Кусочек природного мела $CaCO_3$ смочите каплей соляной кислоты HCl (можно взять аптечную кислоту). Там, куда упала капля, заметно энергичное вскипание. Внесите кусочек мела с "кипящей" каплей в пламя свечи или сухого спирта. Пламя окрасится в красивый красный цвет.

Это явление известное: кальций, входящий в состав мела, делает пламя красным. Но зачем кислота? Она, реагируя с мелом, образует растворимый хлорид кальция $CaCl_2$, его брызги уносятся газами и попадают непосредственно в пламя - от этого опыт становится эффектнее.

К сожалению, такой опыт с прессованным школьным мелом не удается - в нем есть примесь соды (соли натрия), и пламя окрашивается в оранжевый цвет. Лучше всего опыт получается с кусочком белого мрамора, смоченного той же кислотой. А убедиться в том, что соли натрия окрашивают пламя в интенсивный желтый цвет, вы сможете, внеся в пламя крупинку соли NaCl (или просто слегка "посолив" огонь).

Для следующего опыта с мелом понадобится свеча. Укрепите ее на негорючей подставке и внесите в пламя кусочек мела (мрамора, ракушки, яичной скорлупы). Мел покрывается копотью - значит, температура пламени мала. Мы собираемся обжечь мел, а для этого нужна температура 700-800°C. Как же быть? Надо увеличить температуру, продувая через пламя воздух.

С аптечной пипетки снимите резиновый колпачок и вместо него наденьте резиновую или пластмассовую трубку. Дуйте в трубку таким образом, чтобы через оттянутый конец пипетки воздух попал в пламя над самым фитилем. Язычок пламени отклонится в сторону, температура его повысится. Направьте язычок на самую острую часть мелка. Этот участок раскалится добела, мел превратится здесь в жженую (негашеную) известь CaO, а заодно выделится диоксид углерода.

Проделайте эту операцию несколько раз с кусочками мела, мрамора, яичной скорлупы. Обожженные кусочки положите в чистую жестянку. Пока они остывают, самый большой кусочек поместите в блюдце и капните воды на то место, которое было накалено. Раздастся шипение, вся вода поглотится, а прокаленный участок рассыплется в порошок. Этот порошок - гашеная известь $Ca(OH)_2$.

Добавьте воды побольше и капните раствор фенолфталеина. Вода в блюдце станет красной; значит, гашеная известь образует щелочной раствор.

Когда обожженные кусочки охладятся, поместите их в стеклянную банку или бутылку, залейте водой, закройте крышкой и взболтайте - вода станет мутной. Вы уже знаете, что мы сейчас получим известковую воду. Дайте жидкости отстояться и слейте прозрачный раствор в чистую склянку. Отлейте немного известковой воды в пробирку - и можно ставить с нею описанные ранее опыты с газами. А можно и фокусы, вроде превращения "воды" в "молоко" или "воды" в "кровь". Описание таких фокусов вы найдете в разделе "Ловкость рук".

ЭЛЕКТРОЛИЗ В СТАКАНЕ

Опыты с электричеством еще не раз встретятся вам в этой книге. Сейчас - самые простые. Чтобы провести их, достаточно трех-четырех батареек для карманного фонаря.

Вообще-то опыты по электрохимии часто пытаются ставить дома, но не всегда они выходят: какая-нибудь мелочь - и ничего не получается. Если вы будете следовать всем нашим указаниям, можете быть уверены, что опыт удастся.

Начнем с очень простого, но тем не менее поучительного опыта. Для него понадобится один-единственный реактив: чернила любого цвета. Правда, придется немного потрудиться над прибором.

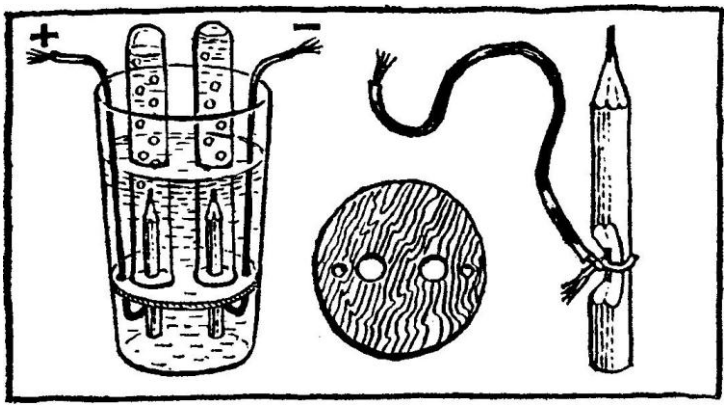
Возьмите две металлические полоски длиной 8-10 см и шириной 1-2 см. Они могут быть из железа, меди, алюминия - безразлично, лишь бы свободно проходили в прозрачный сосуд - высокую мензурку или большую пробирку. Перед опытом просверлите в пластинах с одной стороны отверстия для прикрепления проводников. Приготовьте две одинаковые, толщиной буквально в несколько миллиметров, пластмассовые или деревянные прокладки и склейте их с металлическими полосками так, чтобы те, расположившись параллельно, не касались друг друга. Клей годится практически любой - БФ, "Момент" и др.

В мензурку или пробирку налейте воду и капните в нее столько чернил, чтобы раствор не был очень насыщенного цвета (однако он не должен быть и прозрачным). Опустите в него

конструкцию из двух полосок, соедините их проводками с двумя батарейками, подключенными последовательно, "плюс" к "минусу". Несколько минут спустя, чернильный раствор между пластинками станет светлеть, а на дне и вверху будут собираться темные частицы.

В состав чернила входят очень мелкие окрашенные частицы, взвешенные в воде. Под действием тока они слипаются и не могут уже плавать в воде, а опускаются на дно под действием силы тяжести. Понятно, что раствор при этом становится все более и более бледным.

Но как же частицы попали наверх? При действии тока на растворы нередко образуются газы. В нашем случае газовые пузырьки подхватывают твердые частицы и уносят их наверх.



В следующем опыте толстостенный чайный стакан, расширяющийся кверху, будет служить электролитической ванной. Приготовьте фанерный кружок такого диаметра, чтобы он прижался к стенке стакана в трех-четырех сантиметрах выше дна. В кружке заранее просверлите два отверстия (или вырежьте в нем по диаметру прорезь), неподалеку шилом проколите два отверстия: через них будут проходить проводки. В большие отверстия или в прорезь вставьте два карандаша длиной 5-6 см, очиненные с одного конца. Карандаши, точнее, их грифели, будут служить электродами. На неочищенных концах карандашей сделайте зарубки, чтобы обнажились грифели, и примотайте к ним оголенные концы проводков. Проводки скрутите и тщательно обмотайте изоляционной лентой, а чтобы изоляция была совсем надежной, лучше всего спрятать проводки в резиновых трубках. Все детали прибора готовы, остается только собрать его, т.е. вставить кружок с электродами внутрь стакана.

Поставьте стакан на тарелку и налейте в него до краев раствор стиральной кальцинированной соды Na_2CO_3 из расчета 2-3 чайные ложки на стакан воды. Таким же раствором заполните две пробирки. Одну из них закройте большим пальцем, переверните вверх дном и погрузите в стакан так, чтобы в нее не попал ни один пузырек

воздуха. Под водой наденьте пробирку на электрод-карандаш. Точно так же поступите со второй пробиркой.

Батарейки - числом не менее трех - нужно соединить последовательно, "плюс" одной к "минусу" другой, а к крайним батарейкам подсоединить проводки от карандашей. Сразу начнется электролиз раствора. Положительно заряженные ионы водорода H^+ направятся к отрицательно заряженному электроду - катоду, присоединят там электрон и превратятся в газ водород. Когда у карандаша, подсоединенного к "минусу", соберется полная пробирка водорода, ее можно вынуть и, не переворачивая, поджечь газ. Он загорится с характерным звуком. У другого электрода, положительного (анода) выделяется кислород. Наполненную им пробирку закройте пальцем под водой, выньте из стакана, переверните и внесите тлеющую лучинку - она загорится.

Итак, из воды H_2O получился и водород H_2, и кислород O_2; а для чего же сода? Для ускорения опыта. Чистая вода очень плохо проводит электрический ток, электрохимическая реакция идет в ней слишком медленно.

С тем же прибором можно поставить еще один опыт - электролиз насыщенного раствора поваренной соли NaCl. В этом случае одна пробирка наполнится бесцветным водородом, а другая - желто-зеленым газом. Это хлор, который образуется из поваренной соли. Хлор легко отдает свой заряд и первым выделяется на аноде.

Пробирку с хлором, в которой находится также немного раствора соли, закройте пальцем под водой, переверните и встряхните, не отнимая пальца. В пробирке образуется раствор хлора - хлорная вода. У нее сильные отбеливающие свойства. Например, если добавить хлорную воду к бледно-синему раствору чернил, то он обесцветится.

При электролизе поваренной соли образуется еще одно вещество - едкий натр. Эта щелочь остается в растворе, в чем можно убедиться, капнув в стакан возле отрицательного электрода немного раствора фенолфталеина или самодельного индикатора.

Итак, мы получили в опыте сразу три ценных вещества - водород, хлор и едкий натр. Именно поэтому электролиз поваренной соли так широко используют в промышленности.

С помощью тока и насыщенного раствора поваренной соли можно проделать еще один

занимательный опыт. Займемся сейчас тем, что будем сверлить металл обыкновенным карандашом.

Приготовьте в чайном блюдце насыщенный раствор поваренной соли. Соедините проводком лезвие безопасной бритвы с положительным полюсом батарейки для карманного фонаря (лезвие будет анодом). На заточенном конце карандаша обломайте грифель и примерно на полмиллиметра выковыряйте его иголкой. На 2-3 см выше сделайте ножом зарубку до грифеля и намотайте на нее конец оголенного провода; это место оберните изоляционной лентой, а другой конец провода присоедините к отрицательному полюсу батарейки (карандаш будет катодом).

Положите лезвие в блюдце с раствором и коснитесь карандашом-катодом лезвия. Тотчас вокруг карандаша начнут бурно выделяться пузырьки водорода. А лезвие-анод будет растворяться: атомы железа приобретут заряд, превратятся в ионы и перейдут в раствор. Так минут через десять-пятнадцать в лезвии получится сквозное отверстие. Особенно быстро оно образуется, если батарейка новая, а лезвие тонкое (0,08 мм). В алюминиевой же фольге отверстие просверливается буквально за секунды.

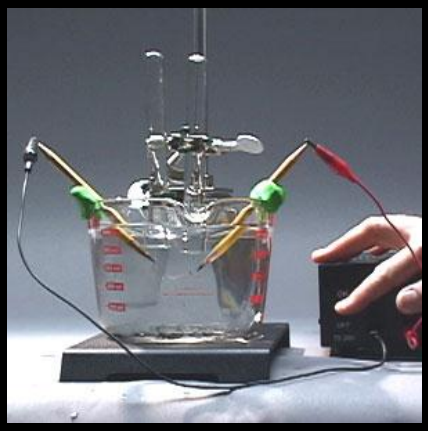
Если вы захотите просверлить карандашом отверстие в определенном месте тонкой металлической пластинки, то лучше заранее покрыть обрабатываемую деталь лаком, а там, где вы будете сверлить, лак снять.

Углубление в грифеле понадобилось затем, чтобы грифель не касался металла. Иначе цепь сразу замкнется, ток не пойдет через раствор и никакого электролиза не будет.

Сверлить карандашом можно и без электролитической ванны (в нашем случае, без чайного блюдца). Пластинку-анод положите на доску или на тарелку, капните воды, обмакните карандаш, присоединенный к батарейке, в соль и погрузите заточенный его конец в каплю. Время от времени удаляйте тряпочкой продукты электролиза и наносите новую каплю. Повторяя эту операцию, можно, не прикладывая усилий, просверлить металлическую фольгу или жесть от консервной банки. Так же, между прочим, можно сделать отверстие в сломанном стальном ноже, чтобы приделать к нему новую ручку.

Конечно, для сверления металла толщиной более миллиметра одной батарейки мало - надо включить параллельно несколько батареек или воспользоваться понижающим трансформатором с выпрямителем - например, от детской железной дороги или от

прибора для выжигания по дереву. И независимо от источника тока и способа электролиза придется несколько раз менять раствор электролита и хорошо очищать лунку - гвоздем или шилом.



Электролиз

ОЛОВО И СВИНЕЦ

Металлы не очень удобны для опытов: эксперименты с ними требуют, как правило, сложного оборудования. Но некоторые опыты можно поставить и в домашней лаборатории.

Начнем с олова. В хозяйственных магазинах бывают иногда палочки металлического олова для пайки. С таким маленьким слитком можно проделать эксперимент: взять оловянную палочку двумя руками и согнуть - раздастся отчетливый хруст.

У металлического олова такая кристаллическая структура, что при изгибе кристаллики металла как бы трутся друг о друга, возникает хрустящий звук. Кстати, по этому признаку можно отличить чистое олово от оловянных сплавов - палочка из сплава при сгибании никаких звуков не издает.

А сейчас попробуем добыть олово из пустых консервных банок, из тех самых, которые лучше не выбрасывать, а сдавать в утиль. Большинство банок изнутри луженые, т.е. они покрыты слоем олова, который защищает железо от окисления, а пищевые продукты - от порчи. Это олово можно извлечь и использовать повторно.

Прежде всего пустую банку надо как следует очистить. Обычного мытья недостаточно, поэтому налейте в банку концентрированный раствор стиральной соды и поставьте ее на

полчаса на огонь, чтобы моющий раствор прокипел как следует. Слейте раствор и промойте банку два-три раза водой. Теперь можно считать ее чистой.

Нам понадобятся две-три батарейки для карманного фонаря, соединенные последовательно; можно, как говорилось выше, взять выпрямитель с трансформатором или аккумулятор на 9-12 В. Каким бы ни был источник тока, к положительному его полюсу присоедините консервную банку (внимательно следите, чтобы был хороший контакт - можно пробить в верхней части банки небольшое отверстие и вдеть в него провод). Отрицательный полюс соедините с каким-либо куском железа, например, с большим очищенным до блеска гвоздем. Опустите железный электрод в банку так, чтобы он не касался дна и стенок. Как его подвесить - придумайте сами, это нехитрая штука. Налейте в банку раствор щелочи - едкого натра (обращаться крайне осторожно!) или стиральной соды; первый, вариант лучше, но требует предельной аккуратности в работе.

Так как раствор щелочи еще не раз будет нужен для опытов, расскажем здесь, как его приготовить. Добавьте стиральную соду Na_2CO_3 к раствору гашеной извести $Ca(OH)_2$ и прокипятите смесь. В результате реакции образуется едкий натр NaOH и карбонат кальция, т.е. мел, практически нерастворимый в воде. Значит, в растворе, который после охлаждения надо профильтровать, останется только щелочь. Но вернемся к опыту с консервной банкой. Вскоре на железном электроде начнут выделяться пузырьки газа, а олово с консервной банки станет понемногу переходить в раствор. Ну а если надо получить не раствор, содержащий олово, а сам металл? Что ж, и это возможно. Выньте из раствора железный электрод и замените его угольным. Тут вам вновь поможет старая, отслужившая свое батарейка, в цинковом стаканчике которой есть угольный стержень. Извлеките его и соедините проводом с отрицательным полюсом вашего источника тока. На стержне при электролизе будет оседать губчатое олово, причем если напряжение подобрано правильно, то произойдет это довольно быстро. Правда, может случиться так, что олова с одной банки окажется маловато. Тогда возьмите еще одну банку, аккуратно нарежьте ее на кусочки специальными ножницами для металла и положите внутрь той банки, в которую налит электролит. Будьте внимательны: обрезки не должны касаться угольного стержня!

Собранное на электроде олово можно переплавить. Отключите ток, достаньте угольный стержень с губчатым оловом, положите его в фарфоровую чашку или в чистую металлическую банку и подержите на огне. Вскоре олово сплавится в плотный слиток. Не дотрагивайтесь до него и до банки, пока они не остынут!

Часть губчатого олова можно не переплавлять, а оставить для других опытов. Если растворить его в соляной кислоте, небольшими кусочками и при умеренном нагревании, то получится раствор хлорида олова. Приготовьте такой раствор концентрацией примерно 7% и добавьте, помешивая, раствор щелочи чуть большей концентрации, около 10%. Сначала выпадет белый осадок, но вскоре он растворится в избытке щелочи. Вы получили раствор станнита натрия - тот самый, который образовался у вас вначале, когда вы начали растворять олово из банки. Но если так, то первую часть опыта - перевод металла из банки в раствор - можно уже не повторять, а приступить сразу ко второй его части, когда на электроде оседает металл. Это сэкономит вам немало времени, если вы захотите получить побольше олова из консервных банок.

Свинец плавится тяжелее, чем олово [1]. (Температуры плавления 327,5°C и 231,9°C для свинца и олова соответственно). В маленький тигель или в металлическую банку из-под гуталина поместите несколько дробинок и нагрейте на пламени. Когда свинец расплавится, осторожно снимите банку с огня, взяв ее за бортик большим надежным пинцетом или плоскогубцами. Расплав свинца вылейте в гипсовую или металлическую форму либо просто в песчаную лунку - так вы получите самодельное свинцовое литье. Если же и дальше прокаливать расплавленный свинец на воздухе, то через несколько часов на поверхности металла образуется красный налет - смешанный оксид свинца; под названием "свинцовый сурик" его часто использовали прежде для приготовления красок.

Свинец, как и многие другие металлы, взаимодействует с кислотами, вытесняя из них водород. Но попробуйте положить свинец в концентрированную соляную кислоту - он в ней не растворится. Возьмите другую, заведомо более слабую кислоту - уксусную. В ней свинец хоть и медленно, но растворяется!

Этот парадокс объясняется тем, что при взаимодействии с соляной кислотой образуется плохо растворимый хлорид свинца $PbCl_2$. Покрывая поверхность металла, он мешает дальнейшему его взаимодействию с кислотой. А вот ацетат свинца $Pb(CH_3COO)_2$, который получается при реакции с уксусной кислотой, растворяется хорошо и не препятствует взаимодействию кислоты и металла.

АЛЮМИНИЙ, ХРОМ И НИКЕЛЬ

С алюминием мы поставим сначала два простых опыта, для которых вполне годится сломанная алюминиевая ложка. Поместите кусочек металла в пробирку с любой кислотой, хотя бы с соляной. Алюминий сразу же начнет растворяться, энергично вытесняя водород из кислоты - образуется соль алюминия $AlCl_3$. Другой кусочек алюминия опустите в концентрированный раствор щелочи, например, каустической соды (осторожно!). И снова металл начнет растворяться с выделением водорода. Только на этот раз образуется другая соль, а именно соль алюминиевой кислоты, алюминат $NaAlO_2$.

Оксид и гидроксид алюминия проявляют одновременно и основные, и кислотные свойства, т.е. они вступают в реакцию как с кислотами, так и со щелочами. Их называют амфотерными. Соединения олова, кстати, тоже амфотерны; проверьте это сами, если, конечно, вы уже извлекли олово из консервной банки.

Существует правило: чем металл активнее, тем он скорее окисляется, подвергается коррозии. Натрий, например, вообще нельзя оставлять на воздухе, его хранят под керосином. Но известен и такой факт: алюминий гораздо активнее, чем, например, железо, однако железо быстро ржавеет, а алюминий, сколько его ни держи на воздухе и в воде, практически не изменяется. Что это - исключение из правила?

Поставим опыт. Закрепите кусочек алюминиевой проволоки в наклонном положении над пламенем газовой горелки или спиртовки так, чтобы нагревалась нижняя часть проволоки. При 660°С этот металл плавится; казалось бы, можно ожидать, что алюминий начнет капать на горелку. Но вместо того чтобы плавиться, нагретый конец проволоки вдруг резко провисает. Вглядитесь получше, и вы увидите тонкий чехол, внутри которого находится расплавленный металл. Этот чехол - из оксида алюминия Al_2O_3, вещества прочного и очень жаростойкого.

Оксид тонким и плотным слоем покрывает поверхность алюминия и не дает ему дальше окисляться. Это его свойство используют на практике. Например, для плакирования металлов; на металлическую поверхность наносят тонкий алюминиевый слой, алюминий сразу же покрывается оксидом, который надежно предохраняет металл от коррозии.

И еще два металла, с которыми мы поставим опыт: хром и никель. В таблице Менделеева они стоят далеко друг от друга, но есть причина, чтобы рассматривать их

вместе: и хромом и никелем покрывают металлические изделия, чтобы они блестели, не ржавели. Так, спинки металлических кроватей покрывают обычно никелем, автомобильные бамперы - хромом. А можно ли точно узнать, из какого металла сделано покрытие?

Попробуем провести анализ. Отколите кусочек покрытия от старой детали и оставьте его на воздухе на несколько дней, чтобы он успел покрыться пленкой оксида, а затем поместите в пробирку с концентрированной соляной кислотой (обращаться с осторожностью! Кислота не должна попадать на руки и одежду!). Если это был никель, то он сразу начнет растворяться в кислоте, образуя соль $NiCl_2$; при этом будет выделяться водород. Если же блестящее покрытие из хрома, то первое время никаких изменений не будет и лишь потом металл начнет растворяться в кислоте с образованием хлорида хрома $CrCl_3$. Вынув этот кусочек покрытия из кислоты пинцетом, ополоснув его водой и высушив на воздухе, через два-три дня можно будет снова наблюдать тот же эффект.

Объяснение: на поверхности хрома образуется тончайшая пленка оксида, которая препятствует взаимодействию кислоты с металлом. Однако и она растворяется в кислоте, правда, медленно. На воздухе хром вновь покрывается оксидной пленкой. А вот у никеля такой защитной пленки нет.

Но в таком случае зачем же мы держали металлы на воздухе перед первым опытом? Ведь хром был уже покрыт слоем оксида! А затем, что покрыта была лишь наружная сторона, а внутренняя, обращенная к изделию, с кислородом воздуха в контакт не вступала.

ОПЫТЫ С МЕДНОЙ ПРОВОЛОКОЙ

С медью можно поставить несколько любопытных опытов, поэтому посвятим ей особую главу.

Из кусочка медной проволоки сделайте маленькую спиральку и укрепите ее в деревянной держалке (можно оставить свободный конец достаточной длины и намотать его на обычный карандаш). Прокалите спиральку в пламени. Ее поверхность покроется черным налетом оксида меди CuO. Если почерневшую проволоку опустить в разбавленную соляную кислоту, то жидкость окрасится в голубой цвет, а поверхность металла вновь станет красной и блестящей. Кислота, если она не нагрета, не действует на медь, но

растворяет ее оксид, превращая его в соль $CuCl_2$.

Но вот вопрос: если оксид меди черный, почему старинные медные и бронзовые предметы покрываются не черным, а зеленым налетом, и что это за налет?

Попробуйте найти старый медный предмет, скажем, подсвечник. Соскребите с него немного зеленого налета и поместите в пробирку. Горлышко пробирки закройте пробкой с газоотводной трубкой, конец которой опустите в известковую воду (как ее готовить, вы уже знаете). Нагрейте содержимое пробирки. На ее стенках соберутся капли воды, а из газоотводной трубки будут выделяться пузырьки газа, от которого известковая вода мутнеет. Значит, это диоксид углерода. В пробирке же останется черный порошок, который при растворении в кислоте дает голубой раствор. Этот порошок, как вы, наверное, догадываетесь - оксид меди.

Итак, мы узнали, на какие составные части разлагается зеленый налет. Его формула записывается так: $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ (основной карбонат меди). Он образуется на медных предметах, поскольку в воздухе всегда есть и диоксид углерода, и пары воды. Зеленый налет называют патиной. Такая же соль встречается и в природе - это не что иное, как знаменитый минерал малахит.

К опытам с патиной и малахитом мы еще вернемся - в разделе "Приятное с полезным". А сейчас снова обратим внимание на почерневшую медную проволоку. Нельзя ли вернуть ей первоначальный блеск без помощи кислоты?

Налейте в пробирку аптечного нашатырного спирта, раскалите медную проволоку докрасна и опустите ее в пузырек. Спиралька зашипит и вновь станет красной и блестящей. В одно мгновение произойдет реакция, в результате которой образуется медь, вода и азот. Если опыт повторять несколько раз, то нашатырный спирт в пробирке окрасится в синий цвет. Одновременно с этой реакцией идет и другая, так называемая реакция комплексообразования - образуется то самое комплексное соединение меди, которое ранее позволило нам безошибочно определить аммиак по синему окрашиванию реакционной смеси.

Между прочим, способностью соединений меди вступать в реакцию с нашатырным спиртом пользуются с очень давних времен (еще с тех времен, когда науки химии не было и в помине). Раствором аммиака, т.е. нашатырным спиртом, очищали до блеска

медные и латунные предметы. Так, кстати, опытные хозяйки поступают и сейчас; для большего эффекта нашатырный спирт смешивают с мелом, который механически оттирает грязь и адсорбирует загрязнения из раствора.

Следующий опыт. Насыпьте в пробирку немного нашатыря - хлорида аммония NH_4Cl, которым пользуются при пайке (не путайте его с нашатырным спиртом NH_4OH, который представляет собой водный раствор аммиака). Раскаленной медной спиралькой коснитесь слоя вещества, покрывающего дно пробирки. Снова раздастся шипенье, и вверх взовьется белый дым - это улетучиваются частицы нашатыря, А спиралька вновь засверкает первозданным медным блеском. Произошла реакция, в результате которой образовались те же продукты, что и в прошлом опыте, и впридачу хлорид меди $CuCl_2$.

Именно из-за этой способности - восстанавливать металлическую медь из оксида - нашатырь и применяют при паянии. Паяльник обычно изготовлен из меди, которая хорошо проводит тепло; когда его "жало" окисляется, медь теряет способность удерживать на своей поверхности оловянный припой. Немного нашатыря - и оксида как не бывало.

И последний опыт с медной спиралькой. Налейте в пробирку немного одеколона (еще лучше - чистого спирта) и вновь внесите раскаленную медную проволоку. Результат опыта вы, по всей вероятности, уже представляете: проволока вновь очистилась от пленки оксида. На этот раз произошла сложная органическая реакция: медь восстановилась, а этиловый спирт, содержащийся в одеколоне, окислился до уксусного альдегида. Эта реакция в быту никак не используется, но иногда ее применяют в лаборатории, когда из спирта нужно получить альдегид.

Вот и все наши первые, вводные опыты. Теперь, когда вы, что называется, набили руку в эксперименте, а если вы ставите опыты дома, то создали, наверное, некоторый запас посуды и доступных реактивов, пора заняться опытами посерьезнее. Давайте заглянем в кухонный шкаф....

---

[1] В оригинале книги сказано, что свинец плавиться легче, чем олово. В некоторых языках название элемента свинец созвучно нашему слову "олово", вероятно этим и вызвана неточность - ***прим. ред.***



Медная проволока

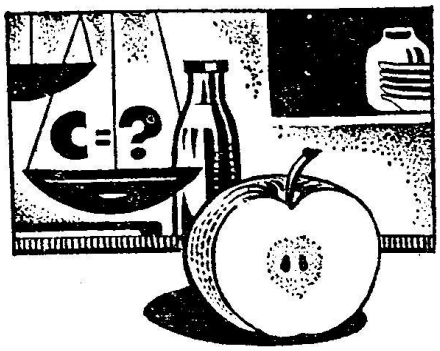


Опыты без взрывов

Олег Ольгин

ГЛАВА 3

ЗАГЛЯНЕМ В КУХОННЫЙ ШКАФ



Как только человек начал готовить себе пищу, так он, пусть и неосознанно, стал химиком. На сковородах и в жаровнях, в бочках и глиняных сосудах шли сложнейшие химические и биохимические процессы. Между прочим, не все они получили полное объяснение и сегодня, что, впрочем, не мешает людям варить, печь, солить и мариновать. Однако многое уже хорошо изучено. И кое-что - конечно, не самое сложное - можно воспроизвести даже в домашней лаборатории.

У опытов, помещенных в этом разделе, есть по меньшей мере одно неоспоримое достоинство: нужные вещества (точнее, продукты) найдутся в кухонном шкафу или в холодильнике. Или же их можно купить в продовольственном магазине. Вам понадобятся небольшие количества веществ, но если вы купите того или иного продукта больше, чем требуется для опыта, остальное не пропадет.

Самая важная составная часть пищи - белок, основа всего живого, строительный материал всякого организма. Тысячи исследователей во всем мире работают с белком, изучают его свойства. Конечно, в наших опытах мы не откроем ничего нового. Но, говорят, лиха беда начало...

ОПЫТЫ С БЕЛКОМ

Первый опыт - качественная реакция на белок, т.е. такая реакция, которая позволит нам уверенно судить - белок перед нами или нет. Таких реакций несколько. Ту, которую мы проведем, называют биуретовой. Для нее нам потребуются растворы стиральной соды (или едкого натра) и медного купороса.

Приготовьте несколько растворов, которые, как можно предположить, содержат белок. Пусть это будет мясной или рыбный бульон (желательно процеженный через марлю),

отвар каких-либо овощей или грибов и др. Растворы налейте в пробирки примерно наполовину. Затем прибавьте немного раствора щелочи - едкого натра или стиральной соды (раствор соды желательно прокипятить и остудить). Наконец, добавьте голубого раствора медного купороса. Если в испытуемом отваре действительно есть белок, то окраска сразу станет фиолетовой. Про такие реакции говорят, что они характерные. Они идут только в том случае, если в растворе действительно есть белок. Для контроля поставьте опыт с лимонадом или с минеральной водой.

Всем известно, что при нагревании белок свертывается и переходит в нерастворимую форму - сырое яйцо становится крутым. Это явление называют денатурацией белка. Каждая хозяйка знает: чтобы приготовить вкусный бульон, надо нарезанное мясо положить в холодную воду. А когда хотят приготовить отварное мясо, то большие куски опускают в кипяток. Есть ли в этом химический смысл? Попробуем разобраться.

Налейте и пробирку холодной воды, опустите в нее немного сырого рубленого мяса и нагрейте. По мере нагревания образуются (и в большом количестве) серые хлопья. Это свернувшийся белок, пена, которую снимают шумовкой, чтобы не портила вид и вкус бульона. При дальнейшем нагревании растворимые в воде вещества постепенно переходят из мяса в раствор. Эти вещества называют экстрактивными, потому что они извлекаются из мяса при его экстракции кипящей водой (проще говоря, при варке бульона). Они-то, в первую очередь, и придают бульону характерный вкус. А мясо, лишившись этих веществ, становится менее вкусным.

В другой пробирке воду вскипятите заранее и положите сырое мясо уже в кипяток. Как только мясо соприкоснется с водой, оно моментально станет серым, зато хлопьев образуется очень мало. Тот белок, что находился на поверхности, под действием высокой температуры сразу свернулся и закупорил многочисленные поры, которые пронизывают мясо. Экстрактивные вещества, и белки в том числе, уже не могут перейти в раствор. Значит, они остаются внутри мяса, придавая ему хороший вкус и аромат. А бульон, разумеется, получается несколько хуже.

Белок денатурируется, свертывается не только при нагревании. Налейте в пробирку чуть-чуть свежего молока и капните одну-две капли уксуса или раствора лимонной кислоты. Молоко тут же скиснет, образуя белые хлопья. Это свертывается молочный белок. Кстати, без такой реакции не приготовить творога, и не случайно творог так полезен - в него переходит почти весь молочный белок.

Когда молоко оставляют в теплом месте, то его белок тоже свертывается, но уже по иной причине - это работают молочнокислые бактерии. Их известно очень много, и все они вырабатывают молочную кислоту, даже если питаются не молоком, а, скажем, соком капусты. Профильтруйте немного скисшего молока и прибавьте к сыворотке несколько капель какого-нибудь самодельного индикатора. Цвет индикатора покажет, что в растворе есть кислота. Эта кислота - молочная, ее же можно обнаружить и в капустном, и в огуречном рассоле.

В состав некоторых белковых молекул входит, помимо углерода, водорода, кислорода и азота, еще и сера. В этом можно убедиться на опыте. Немного яичного белка поместите в пробирку с раствором едкого натра или стиральной соды и, нагрев пробирку, добавьте в нее немного раствора основного ацетата свинца $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ - свинцовой примочки, которая продается в аптеках. Если содержимое пробирки почернеет, значит, сера есть: это образуется сульфид свинца PbS, вещество черного цвета.

И в заключение приготовим настоящий белковый клей - казеиновый, которым пользуются по сей день, несмотря на обилие синтетических клеев. Казеин - это основа творога, а если так, то клей мы будем делать из молока, точнее, из его белковых веществ.

Отфильтруйте простоквашу от сыворотки. То, что осталось на фильтре, несколько раз промойте водой, чтобы удалить растворимые примеси, и высушите. Потом промойте полученную массу бензином и высушите вновь; это нужно для того, чтобы избавиться от молочного жира (он растворяется в бензине). Когда масса станет совсем сухой, измельчите ее в ступке - получится порошок казеина.

Сделать из него клей совсем просто - смешать порошок с нашатырным спиртом и водой в отношении 1 : 1 : 3. Конечно, вы захотите испытать клей. Попробуйте склеить им какие-нибудь деревянные или керамические предметы, потому что для этих материалов казеиновый клей особенно хорош.



Казеин

ОПЫТЫ С УГЛЕВОДАМИ

Углеводы - один из "трех китов" нашего питания (два других - белки и жиры). Глюкоза и фруктоза, крахмал и клетчатка, десятки других углеводов образуются непрерывно и "сгорают" (окисляются) в растительных и животных клетках, служат важнейшим энергетическим материалом организма.

При всей несхожести отдельных представителей углеводов есть у них, конечно, общие, обязательные для всех свойства. Это и позволяет обнаружить углеводы даже в очень малых количествах. Верный и к тому же красивый способ их распознавания - цветная реакция Молиша.

Налейте в пробирку примерно 1 мл воды и бросьте несколько крупинок сахарного песка (сахарозы), часть таблетки глюкозы или клочок фильтровальной бумаги (клетчатки). Теперь добавьте 2-3 капли спиртового раствора резорцина или тимола (эти вещества продают в аптеке). Наклоните пробирку и осторожно налейте по стенке 1-2 мл концентрированной серной кислоты. Будьте осторожны с кислотой, следите, чтобы она не попала на кожу! Закрепите пробирку в вертикальном положении. Тяжелая кислота опустится на дно, а на границе ее с водой появится яркое красивое кольцо - красное, розовое или фиолетовое.

Если вещество, состав которого неизвестен, даст при реакции Мелиша такое кольцо - можете не сомневаться, что углевод налицо. Помните только, что эта реакция настолько чувствительна, что ее может вызвать даже пылинка и волоконце на стенках пробирки. Поэтому посуду, в которой проводят реакцию, надо очень тщательно мыть, а ополаскивать лучше дистиллированной водой.

Теперь, научившись распознавать углеводы, перейдем к крахмалу, одному из самых известных углеводов. Для начала поучимся правильно готовить крахмальный клейстер, коллоидный раствор крахмала в воде. Налейте в кастрюлю немного холодной воды и добавьте крахмал, из расчета примерно две чайные ложки на стакан (учитывая и ту воду, которую вы добавите позже). Смесь хорошо размешайте - получится так называемое крахмальное молоко. При перемешивании добавьте к нему кипяток и, продолжая размешивать, нагревайте на огне до тех пор, пока раствор не станет прозрачным. Остудите его. Это и есть крахмальный клейстер, который так хорошо склеивает бумагу; поэтому его часто применяют, например, для приклеивания обоев.

Вы уже знаете, что в присутствии свободного йода крахмал синеет. Это его свойство нам еще пригодится; заметьте только, что раствор йода должен быть очень слабым. Кстати, пользуясь таким раствором (а чтобы приготовить его, достаточно разбавить аптечный раствор водой), можно исследовать на содержание крахмала различные пищевые продукты.

Заготовив пробирку со слабым раствором йода, понаблюдаем за превращениями крахмала. Попробуем сделать из крахмального клейстера глюкозу.

Огромные молекулы крахмала под действием воды гидролизуются, расщепляются на более мелкие молекулы. Сначала образуется растворимый крахмал, потом "обрубки" помельче - декстрины, затем дисахарид, но не всем привычная сахароза, а другой - мальтоза, или солодовый сахар. Наконец, при распаде мальтозы образуется глюкоза, виноградный сахар. Готовый продукт гидролиза часто содержит все переходные вещества; в таком виде он известен под названием патоки.

К половине стакана крахмального клейстера добавьте 1-2 чайные ложки разбавленной, примерно 10%-ной серной кислоты. Не забудьте: при разбавлении серной кислоты обязательно нужно лить кислоту в воду, а не наоборот!

Смесь клейстера с кислотой поставьте кипятиться в кастрюльке, понемногу доливая воду по мере ее испарения. Время от времени берите ложкой пробы жидкости и, слегка охладив, капайте на них разбавленным йодным раствором. Крахмал, как вы помните, дает синее окрашивание, а вот декстрины - красно-бурое. Что касается мальтозы и глюкозы, то они вовсе не окрашиваются. По мере гидролиза цвет проб будет меняться, а когда окрашивание йодом исчезнет, нагревание можно прекратить. Впрочем, для более полного разложения мальтозы имеет смысл прокипятить смесь еще несколько минут.

После кипячения жидкость надо немного охладить и постепенно добавлять в нее при перемешивании около 10 г порошка мела, чтобы полностью нейтрализовать серную кислоту. Смесь при этом будет вспениваться, потому что во время реакции кислоты с мелом выделяется углекислый газ. Как только вспенивание прекратится, поставьте полученную желтоватую жидкость на слабый огонь, чтобы она упарилась примерно на две трети, затем еще горячей профильтруйте ее через несколько слоев марли, после чего упарьте жидкость еще раз, но теперь более аккуратно, уже не на открытом огне, а на водяной бане (смесь легко пригорает). У вас получится густая сладкая патока, основу которой составляет глюкоза. Примерно так же патоку получают в больших количествах на крахмалопаточных заводах.

Глюкоза человеку необходима, она - один из главных поставщиков энергии. Но в хлебе, в картошке, в макаронах содержится преимущественно крахмал, а в организме он превращается в глюкозу под действием ферментов.

В нашем опыте серная кислота в процессе реакции не расходовалась. Она играла роль катализатора, т.е. вещества, резко ускоряющего ход реакции. Каталитическое действие природных ферментов намного сильнее, оно более целенаправленно. Ферментов очень много, и у каждого из них свой, узкий участок работы. Например, содержащийся в слюне фермент амилаза может превращать полисахарид крахмал в дисахарид мальтозу. Проследим на опыте за действием этого фермента.

Дистиллированной водой (а если ее нет, то кипяченой) с минуту прополощите рот - получится раствор слюны. Этот раствор профильтруйте и смешайте с равным количеством крахмального клейстера. Пробирку со смесью поставьте в стакан с теплой, около 40°С, водой. Время от времени берите пробы с йодом - изменение окраски будет точно таким же, как при гидролизе с серной кислотой, но реакция пойдет быстрее. Не

позже чем через четверть часа крахмал гидролизуется до мальтозы, и цветная реакция с йодом исчезнет.

Есть и совсем уж простой опыт: попробуйте долго разжевывать кусочек белого хлеба. Вы заметите, что вкус его становится сладковатым. Это работает фермент амилаза, превращая в мальтозу крахмал, содержащийся в хлебе.



Крахмал

САХАР ИЗ ОПИЛОК

Свое название углеводы получили по ошибке. Произошло это в середине прошлого века. Тогда считали, что молекула любого сахаристого веществу отвечает формуле $C_m(H_2O)_n$. Все известные тогда углеводы подходили под эту мерку, и формулу глюкозы $C_6H_{12}O_6$ писали как $C_6(H_2O)_6$.

Но позднее были открыты и такие сахара, которые оказались исключением из правила. Так, явный представитель углеводов рамноза (она тоже дает реакцию Молиша) имеет формулу $C_6H_{12}O_5$. И хотя неточность в названии целого класса соединений была очевидной, термин "углеводы" стал уже настолько привычным, что его не стали менять. Впрочем, в наши дни многие химики предпочитают иное название - "сахара".

Один из сахаров мы попытаемся получить из опилок гидролизом, т.е. разложением водой. Это очень распространенный химический процесс. Опилки и другие древесные отходы содержат углевод клетчатку (целлюлозу). Из нее на гидролизных заводах готовят глюкозу, которую можно использовать затем по-разному; чаще всего ее сбраживают, превращая в спирт, исходный продукт для множества химических синтезов. Большая и самостоятельная отрасль химической индустрии носит название гидролизной промышленности.

Прежде чем воспроизвести процесс гидролиза древесины, попытаемся понять, в чем его суть, а для этого удобнее будет начать не с опилок, а с огурцов и лучинок.

Вымойте свежий огурец, натрите его на терке и выжмите сок. Сок можно отфильтровать, но это не обязательно.

Приготовьте в пробирке гидроксид меди $Cu(OH)_2$. Для этого добавьте 2-3 капли раствора медного купороса к 0,5-1 мл раствора едкого натра. К полученному осадку прибавьте равный объем огуречного сока и встряхните пробирку. Осадок растворится, получится синий раствор. Такая реакция характерна для многоатомных спиртов, т.е. для спиртов, которые содержат несколько гидроксильных групп.

Теперь нагрейте до кипения (или поставьте в кипящую воду) пробирку с полученным синим раствором. Он сначала пожелтеет, затем станет оранжевым, а после охлаждения выпадет красный осадок оксида меди Cu_2O. Эта реакция характерна для другого класса органических соединений - для альдегидов. Значит, в огуречном соке есть вещество, представляющее собой альдегид и спирт одновременно. Это вещество и есть глюкоза, которая по строению представляет собой альдегидоспирт. Благодаря ей у огурца сладковатый вкус.

Вы, наверное, догадываетесь, что этот опыт совсем не обязательно ставить именно с соком огурца, Он хорошо получается и с другими сладкими соками - виноградным, морковным, яблочным, грушевым, Можно взять для опыта и туалетную огуречную воду, которая продается в парфюмерных магазинах. И, конечно, просто таблетки глюкозы.

Теперь второй предварительный опыт; осахаривание лучинки.

Приготовьте раствор серной кислоты: к одному объему воды прилейте один объем

концентрированной серной кислоты (ни в коем случае не лить воду в кислоту!). В пробирку с раствором опустите лучинку и нагрейте раствор до кипения. Лучинка при этом обуглится, но опыту это не помешает.

После нагревания выньте лучинку, опустите ее в другую пробирку с 1-2 мл воды и прокипятите. В обеих пробирках теперь есть глюкоза. Проверить это можно, добавив к растворам две-три капли медного купороса, а затем и едкий натр - появится знакомая синяя окраска. Если же этот раствор прокипятить, выпадет, как мы и ожидали, красный осадок оксида меди Cu_2O. Итак, глюкоза обнаружена.

То, что наша лучинка осахарилась, и есть результат гидролиза целлюлозы (а на ее долю в древесине приходится около 50%). Как и при гидролизе крахмала, серная кислота в этом процессе не расходуется, она играет роль катализатора.

Наконец, мы подошли к основному опыту, который был обещан в заглавии: получение сахара из опилок.

В фарфоровую чашку насыпьте 2-3 столовые ложки древесных опилок и смочите их водой. Добавьте еще немного воды и равное количество ранее приготовленного раствора серной кислоты (1:1), жидкую кашицу хорошо перемешайте. Закройте крышкой и поставьте в духовку газовой плиты (или в русскую печь) примерно на час, можно немного меньше.

Затем выньте чашку, долейте воды доверху и перемешайте. Отфильтруйте раствор и нейтрализуйте фильтрат, добавляя к нему толченый мел или известковую воду до тех пор, пока не прекратится выделение пузырьков углекислого газа. Об окончании нейтрализации можно также судить, испытывая жидкость лакмусовой бумажкой или же одним из самодельных индикаторов. Не надо капать индикатор прямо в реакционную массу. Следует взять пробу, буквально 2-3 капли, и поместить ее на стеклянную пластинку или в маленькую пробирку.

Содержимое чашки слейте в молочную бутылку, взболтайте жидкость и дайте постоять несколько часов. Сульфат кальция, образовавшийся при нейтрализации кислоты, осядет на дно, а сверху останется раствор глюкозы. Осторожно слейте его в чистую чашку (лучше по стеклянной палочке) и отфильтруйте.

Осталась последняя операция - выпаривание воды на водяной бане. После нее на дне остаются светло-желтые кристаллы глюкозы. Их можно попробовать на вкус, но и только - продукт недостаточно чистый.

Итак, мы выполнили четыре операции: варку опилок с раствором серной кислоты, нейтрализацию кислоты, фильтрование и выпаривание. Именно так и получают глюкозу на гидролизных заводах, только, конечно, не в фарфоровых чашках...

И еще один промышленный процесс мы можем воспроизвести без особых затруднений: превратим один сахар в два других.

При долгом хранении домашнее варенье часто засахаривается. Это происходит потому, что сахар кристаллизуется из сиропа. С вареньем же, которое продается в магазине, такая беда случается гораздо реже. Дело в том, что на консервных заводах, кроме свекловичного или тростникового сахара сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$, используют и другие сахаристые вещества, например инвертный сахар. Что такое инверсия сахара и к чему она приводит, вы узнаете из следующего опыта.

Налейте в пробирку или в стакан 10-20 г слабого сахарного раствора и добавьте несколько капель разбавленной соляной кислоты. После этого нагревайте раствор на кипящей водяной бане минут десять-пятнадцать, а затем нейтрализуйте кислоту, лучше всего карбонатом магния $MgCO_3$. В аптеках продают так называемую белую магнезию, вещество несколько более сложного состава; она тоже годится. В крайнем случае можно взять и питьевую соду $NaHCO_3$, но тогда в растворе останется поваренная соль, которая с сахаром как-то не гармонирует...

Когда прекратится выделение пузырьков диоксида углерода, дайте жидкости отстояться. На всякий случай проверьте индикатором, полностью ли нейтрализовалась кислота. Слейте отстоявшуюся жидкость и попробуйте ее на вкус: она покажется вам менее сладкой, чем исходный раствор (для сравнения оставьте немного первоначального раствора сахара).

В готовом растворе практически не осталось сахарозы, зато появились два новых вещества - глюкоза и фруктоза. Этот процесс и называется инверсией сахара, а полученная смесь - инвертным сахаром.

И вот что любопытно: внешне реакцию ничем не обнаружить. И цвет, и объем, и реакция среды остаются прежними. Не выделяются ни газы, ни осадки. И тем не менее реакция идет, только для ее обнаружения нужны оптические приборы. Сахара - оптически активные вещества: луч поляризованного света, проходя через их раствор, изменяет направление поляризации. Говорят, что сахара вращают плоскость поляризации, причем в ту или иную сторону, и на вполне определенный угол. Так вот, сахароза вращает плоскость поляризации вправо, а глюкоза и фруктоза, продукты ее гидролиза - влево. Отсюда и слово "инверсия" (по-латыни "переворачивание").

Но, поскольку оптических приборов в нашем распоряжении нет, попробуем удостовериться химическим путем в том, что взятый сахар и в самом деле претерпел изменения. К исходному и полученному растворам сахаров добавьте несколько капель раствора метиленового синего (можно взять синие чернила для авторучек) и немного слабого раствора любой щелочи. Нагрейте исследуемые растворы на водяной бане. В пробирке с обычным сахаром никаких изменений не произойдет, а вот содержимое пробирки с инвертным сахаром станет почти бесцветным.

Инвертный сахар гораздо меньше, чем обычный, склонен к кристаллизации. Если осторожно выпарить на водяной бане его раствор, то получится густой сироп, внешне немного напоминающий мед. После охлаждения он не кристаллизуется.

Кстати, любимый всеми пчелиный мед на три четверти состоит из тех же углеводов, что и инвертный сахар - из глюкозы и фруктозы. Искусственный мед также делают на основе инвертного сахара. Конечно, наш сироп от меда отличается, и значительно - главным образом, отсутствием запаха. Но если к нему добавить немного натурального меда, то этот недостаток можно отчасти устранить.

Но почему бы не наготовить дома побольше некристаллизующегося сиропа, чтобы варить на нем варенье? Увы, полная его очистка от посторонних веществ затруднительна, и нет гарантии, что ее удастся довести до конца. Во всяком случае, рисковать не стоит.



Мед (соты)

ЧАШКА ЧАЯ

После сахарного сиропа, варенья и меда, которыми мы занимались в предыдущих главах, естественно будет перейти к чаю. Выделим из чая вещество, которое подымает жизненный тонус и бодрит. Речь идет о кофеине (это вещество сначала было найдено в кофейных зернах, там его еще больше, чем в чайных листьях).

Строго говоря, в чае есть несколько тонизирующих веществ - витамины, эфирные масла и т.д. Но ведущая роль принадлежит кофеину, из класса алкалоидов (это обширный класс азотсодержащих органических соединений; в него входят также никотин из табака, папаверин из мака и т.д.).

Для опыта потребуется фарфоровый или металлический тигель (можно использовать любой подходящий металлический сосуд, желательно не плоский, а высокий, вроде стакана). В него положите измельченный в ступке черный чай - около чайной ложки - и примерно 2 г оксида магния. Это вещество продают в аптеках, обычно под названиями "жженая магнезия", "окись магния". Смешайте оба вещества и поставьте тигель на огонь. Нагрев должен быть умеренным, не слишком энергичным. Сверху на тигель или стакан

поставьте фарфоровую чашку или другой подобный сосуд, например розетку для варенья, и налейте в нее холодной воды. В присутствии оксида магния кофеин будет возгоняться, т.е. превращаться в пар, минуя стадию жидкости. Попадая на холодную поверхность, кофеин вновь вернется в твердое состояние и осядет на дне чашки или розетки в виде бесцветных кристаллов. Прекратите нагрев, осторожно снимите чашку с тигля и соскребите кристаллы в чистую склянку.

А как убедиться в том, что перед вами действительно кофеин? Для этого есть красивая качественная реакция. Несколько кристаллов положите на фарфоровую пли керамическую пластинку (сгодится осколок от кафельной плитки) и капните одну-две капли концентрированной азотной кислоты. (С концентрированными кислотами надо обращаться предельно осторожно!) Нагревайте пластинку до тех пор, пока смесь на ней не станет сухой. Кофеин при этом окислится и превратится в заметную, оранжевого цвета, амалиновую кислоту.

Но это не все. Попробуем нейтрализовать кислоту, добавив к ней капель десять концентрированного раствора аммиака (не аптечного, а такого, который продается в хозяйственных магазинах). При нейтрализации образуется соль очень красивого, красного, переходящего в пурпурный, цвета. Такая соль носит название мурексида, а реакция - мурексидной.

Дальнейшие опыты с чаем лучше ставить в химическом кружке: они требуют и хороших навыков, и таких веществ, которых дома обычно не бывает. Мы будем выделять из чая дубильные вещества - таниды, а из них получим танин, смесь веществ, используемых для дубления кож (отсюда и название - дубильные вещества), протравливания тканей перед крашением, в медицине - как вяжущее средство; вспомните вяжущий вкус крепкого чая. (Заметим, что для промышленных целей есть другие, несъедобные источники танина - чернильные орешки, или галлы, сумах и т.д.).

Итак, мы попытаемся извлечь танин из зеленого чая. При отсутствии зеленого можно взять и черный чай, но в нем танидов существенно меньше.

Маленькую пачку зеленого чая (50 г) залейте в кастрюльке половиной стакана (100 г) кипятка и кипятите на небольшом огне около часа, чтобы как можно полнее экстрагировать растворимые вещества. Раствор отфильтруйте через несколько слоев марли или через хлопчатобумажную ткань, сложенную вдвое; осадок на фильтре

промойте дополнительно горячей водой (полстакана). Вы получите около стакана желто-зеленого раствора.

Внесите в жидкость 15-20 г ацетата свинца или соответствующее количество свинцовой примочки. Имейте в виду, что ацетат свинца не должен попадать в рот: он может вызвать отравление. Аккуратно слейте жидкость, к осадку добавьте стакан горячей воды, размешайте, дайте отстояться и слейте вновь. Повторите эту операцию 3-4 раза, чтобы удалить ионы свинца. Проверьте, действительно ли они удалены, взяв пробу жидкости и добавив к ней в пробирке несколько капель разбавленной серной кислоты. Если свинец остался, раствор помутнеет; в этом случае нужно повторить промывку. Когда проба будет отрицательной, отфильтруйте осадок (это - таннат свинца) через стекловату и на фильтре промойте 50 мл примерно 1%-ного раствора серной кислоты. Собрав раствор, нейтрализуйте кислоту, добавляя по каплям 0,5%-ный раствор гидроксида бария, после чего отфильтруйте выпавший осадок сульфата бария.

Оставшийся прозрачный раствор содержит чайный танин. Упарьте его досуха на водяной бане. Оставшийся на дне танин соскребите и измельчите в порошок.

Вот несколько красивых реакций с танином (поскольку у нас его немного, грамма три, будем расходовать его осмотрительно).

Примерно 0,5 г танина растворите в 40 мл воды. Как только вы добавите раствор хлорида железа (III) или другой соли трехвалентного железа, жидкость сразу почернеет. Это - старинные чернила, только танин для них добывали из дубовых (чернильных) орешков, наростов на листьях и молодых побегах дуба.

Еще один яркий опыт: около 0,3 г танина положите в маленькую пробирку и капните три капли концентрированной соляной кислоты. Образуется флобафен - вещество красного цвета.

Далее добавьте немного танина к раствору нитрата серебра $AgNO_3$ (ляписа); годится и ляписный карандаш из аптеки. На этот раз выпадет осадок танната серебра. У него бурый цвет.

И последний опыт с танином. В 2%-ном растворе соляной кислоты растворите около 0,3 г ванилина (или соответственное количество ванильного сахара) и добавьте втрое меньше

танина. Малиновое окрашивание не замедлит появиться. Это характерная реакция не только на танин, но и вообще на вещества из класса катехинов, к которым принадлежат многие дубильные вещества.



Плантация чая

КОСТИ - В ДЕЛО!

У хорошей хозяйки кости не пропадают - из них можно сварить бульон, да к тому же очень крепкий. Если же кости варить долго, а потом отвар остудить, то получится студень. Между прочим, студень - понятие не только кулинарное, но и химическое. Обширная группа коллоидных систем названа студнями в честь первого своего представителя - мясного студня.

Студень из костей образуется благодаря тому, что в костях содержится особое белковое вещество - желатина. Она, кстати, продается в продовольственных магазинах в хорошо очищенном виде. И техническая, с примесями, желатина тоже продается в магазинах, но не в продовольственных, а в хозяйственных, и носит название столярного или животного клея. Его-то и приготовим из костей. Пищевую желатину нам, к сожалению, вряд ли удастся приготовить, ее очистка слишком сложна.

Немного сырых костей заверните в тряпку и разбейте их молотком, чтобы получились

костяные крошки. Эти крошки надо обязательно освободить от жира. Жир, как вы знаете, хорошо растворяется в бензине (не забудьте, что бензин огнеопасен!). Залейте костяные крошки бензином, перемешайте и оставьте на полчаса. Потом слейте бензин и несколько раз промойте кости горячей водой.

Теперь приготовим из обезжиренных костей отвар. Для этого необязательно брать кастрюлю, годится и пустая хорошо отмытая консервная банка. Варить кости в воде надо долго, а потом придется еще уваривать отвар на небольшом огне до тех пор, пока он не станет густым и вязким.

Теперь наберитесь терпения. Поставьте отвар в сухое и теплое место и время от времени поглядывайте на него. Через несколько дней отвар высохнет и превратится в коричневый столярный клей. Хотя внешне он и кажется сухим, однако содержит немало связанной воды, которую желатина поглотила при варке. Потом, когда вы решите воспользоваться клеем и нагреете его на водяной бане, часть связанной воды выделится, и клей будет набухать.

Таким клеем вполне можно склеивать различные деревянные предметы. А вот для наших дальнейших опытов он недостаточно чист. Их лучше ставить с готовой желатиной, из магазина.

Чтобы приготовить раствор желатины, положите 10 г порошка в четверть стакана холодной воды и дайте ему как следует размокнуть и набухнуть; на это уйдет не менее часа. Затем нагрейте смесь примерно до 50°С и, помешивая, подождите, пока желатина не растворится полностью. Часть раствора вылейте тонким слоем на полиэтиленовую пленку (не на стекло - от него вы потом желатину не оторвете) и хорошо высушите на воздухе. У вас получится тонкий желатиновый листок, из которого для пущего эффекта можно вырезать силуэт рыбки. Положите эту рыбку на промокательную бумагу и осторожно подышите на нее. Рыбка начнет извиваться и свертываться. Ваше дыхание увлажняет листок с одной стороны, он увеличивается в объеме и стремится изогнуться.

У набухшей желатины есть и такое интересное свойство: она позволяет получить и надолго сохранить красивый ледяной узор. Приготовьте раствор так же, как в предыдущем опыте, только желатины возьмите в два-три раза меньше (или разбавьте остатки прежнего раствора теплой водой). Теплый еще раствор вылейте на стеклянную пластинку и сразу же поставьте ее либо на холод (зимой), либо в морозильник, в самое

холодное его место. Вода будет выкристаллизовываться в виде ледяного узора, как зимой на окнах. Если оставить желатиновый студень на морозе на несколько дней, лед постепенно испарится. Дайте желатине медленно оттаять - и она сохранит отпечаток ледяных кристаллов.

Перейдем теперь к приготовлению минеральных удобрений. Ведь основа большинства костей - фосфорит (а зубных костей - апатит). На заводе из минералов фосфорита и апатита готовят фосфорные удобрения. Попробуем превратить кости в простой суперфосфат.

Кости сначала как следует прокалите на огне, чтобы выгорели органические соединения - они нам будут только помехой. После прокаливания останется фосфат кальция $Ca_3(PO_4)_2$ - фосфорит. Несколько чистых белых кусков прокаленной кости отделите и измельчите в порошок - сначала с помощью молотка, а потом растиранием в ступке. Смешайте 50 г этого порошка с 3-5 г мела, поместите смесь в чистую склянку и влейте в нее 20 г 70%-ной серной кислоты; еще раз напоминаем: при разбавлении лить кислоту в воду! Кислоту к смеси костей и мела надо прибавлять постепенно, все время энергично перемешивая стеклянной палочкой. Смесь быстро разогреется, превратится в пасту, а затем в сухой белый порошок - суперфосфат $Ca(H_2PO_4)_2$. На его образование уйдет около часа.

Но почему же фосфорит сам по себе нечасто применяют как удобрение, а предпочитают ему суперфосфат? Чтобы понять это, проделаем еще один опыт.

Возьмите две склянки с водой и поместите в одну немного измельченной кости (фосфорита), а в другую - уже полученного суперфосфата. Порошок фосфорита быстро осядет на дно, и его первоначальный объем не изменится. Суперфосфат же подвергается гидролизу, намного увеличивается в объеме и оседает не сразу, а медленно, в течение нескольких часов. Это свойство помогает суперфосфату хорошо распределяться в почве и долго в ней удерживаться.

Уж если вы получили самодельное удобрение, надо бы, видимо, разумно им воспользоваться. Попробуйте употребить его для подкормки комнатных растений и последите за их ростом; не забудьте только оставить контрольные образцы растений для сравнения. А еще можно подкармливать другую группу контрольных растений готовыми

удобрениями, фабричного производства. Интересно, намного ли они лучше самодельных?

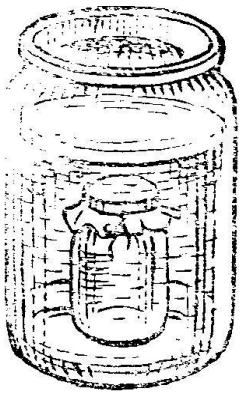
ОТЧЕГО ЯГОДЫ ПУСКАЮТ СОК

Когда растение засыхает, когда листья его желтеют, это означает, что растительным клеткам не хватает воды. Но каждая клетка заключена в оболочку-мембрану. Каким образом впитанная корнями влага проникает через оболочку в клетку? И что заставляет воду двигаться против силы тяжести, снизу вверх, от корней к листьям?

Прежде чем получить ответы на эти вопросы, поставим предварительные опыты с мембраной, чем-то напоминающей клеточную оболочку.

Если два раствора разделены плотной перегородкой, то они, конечно, не смешиваются. Если же перегородки нет вовсе, то растворы, напротив, смешиваются сами по себе, даже если их не перемешивать. Ну, а что если перегородка полупроницаемая?

Вот это и будет предметом опыта, а полупроницаемой мембраной послужит листок пергамента или целлофана (но не полиэтилена). Чтобы он приобрел интересующие нас свойства, его надо подержать в воде, пока он не размягчится.



Приготовьте сахарный сироп - насыщенный раствор сахара, настолько густой, что сахар больше не растворяется. Быстрее и удобнее готовить такой раствор в горячей воде. Налейте сироп доверху в стакан, прикройте размоченным листком и туго перевяжите. Следите, чтобы под пленкой не осталось пузырьков воздуха. Стакан поставьте в банку или в кастрюлю с водой (вода должна покрывать стакан) и оставьте на несколько часов. Когда вы вновь посмотрите на стакан с сиропом, то сразу заметите, что пленка, которой он закрыт, раздулась: над стаканом как бы образовался пузырь.

Чтобы понять, что произошло, надо прежде всего уяснить себе, что такое полупроницаемая мембрана. Это такая пленка, которая задерживает одни молекулы и в то же время пропускает другие. И целлофановая, и пергаментная пленки пористы, но поры в них настолько малы, что для молекул сахара они непроницаемы. По обе стороны нашей перегородки есть вода, но с той стороны, где находится раствор сахара, на каждый

участок поверхности приходится меньше молекул воды. Поэтому со стороны воды через мембрану проходит больше молекул, и это приводит к тому, что объем жидкости в стакане увеличивается и, следовательно, полупроницаемая пленка раздувается. В природе все стремится к равновесию, в данном случае - к выравниванию концентрации растворов. И вскоре равновесие наступает: сколько молекул воды поступает в стакан с сиропом, столько же из него и выходит в наружный сосуд. Поэтому пузырь получается не слишком большим.

Физико-химическое явление, которое мы только что наблюдали, называется осмосом, а давление, заставляющее пленку изгибаться - осмотическим давлением. Чтобы наблюдать осмос, обязательно нужны перегородка и две жидкости: раствор какого-либо вещества и чистый растворитель (у нас - вода) или хотя бы более слабый раствор.

Оболочка живых клеток - всегда полупроницаемая мембрана. Она задерживает молекулы многих веществ, растворенных в воде, но воду пропускает. Поэтому каждая животная и растительная клетка - это микроскопическая осмотическая система, а осмотическое давление играет очень важную роль в жизнедеятельности организмов.

Осмос можно наблюдать в самых простых опытах. Острым ножом отрежьте тонкий ломтик лимона и положите его на блюдце. Заметьте: сока на поверхности почти нет. Посыпьте дольку сахарным песком или, еще лучше, сахарной пудрой - и очень скоро лимон пустит сок.

Подобный опыт можно поставить и с клубникой, и с другими ягодами, положив их в сухие баночки. Ягоды, посыпанные сахаром, быстро выделяют сок.

Во всех этих случаях работает осмос. На поверхности лимона или ягод образуется концентрированный раствор сахара, и сок, гораздо менее концентрированный, стремится разбавить этот раствор, он проникает сквозь клеточные мембраны и выходит наружу - точно так же, как в предыдущем опыте вода из банки устремлялась в стакан с сиропом.

Следующий наш объект - капуста. Ее мы, естественно, будем посыпать не сахаром, а солью. Нашинкуйте капусту ножом, посыпьте солью и хорошенько потрите - капуста тоже даст сок. Так и происходит, когда капусту квасят; а капустные салаты непременно советуют потереть как следует, чтобы выделился сок и капуста стала мягче и нежнее. Причина та же: осмос.

Перейдем к картошке. Вырежьте из картофелины три кубика, желательно одинаковых размеров. Приготовьте три банки. В одну налейте подсоленную воду, в другую - концентрированный раствор соли, а в третью - просто воду из-под крана. В каждую банку опустите по картофельному кубику. Часа через два-три внимательно рассмотрите кубики. У того, который находился в подсоленной воде, никаких изменений вы не обнаружите. А вот два других изменились, и заметно. Тот кубик, который лежал в концентрированном растворе соли, намного уменьшился, а тот, который вы опустили в воду, стал, напротив, заметно больше.

Сначала о том, почему не изменился первый кубик. Он был в разбавленном растворе, и концентрация соли оказалась примерно той же, что и в самом картофельном соке. Кубик, который находился в концентрированном растворе, стал отдавать воду, снижая концентрацию этого раствора; вода из картофеля уходила, и кубик съежился. А последний кубик, тот, что был в воде, стал поглощать воду и увеличился в размерах.

От картофеля перейдем к моркови и заставим ее работать как насос.

Отрежьте от морковки ботву и в "макушку" воткните стеклянную трубку. Морковку поставьте в стакан с водой; наверное, вы без труда придумаете, как удержать морковь в вертикальном положении.

В стеклянную трубку налейте до половины раствор соли и займитесь наблюдениями. Вскоре уровень воды в трубке начнет подыматься и, если опыт поставлен правильно, вода даже выльется из трубки. Морковь как бы перекачивает воду из стакана, заставляет ее двигаться вверх.

Когда вы поливаете морковь, растущую на огороде, она примерно так же перекачивает воду из почвы в ботву. В ее соке концентрация солей выше, чем в поливочной воде, и благодаря осмосу живительную влагу получают не только корни, но и все ткани растения.

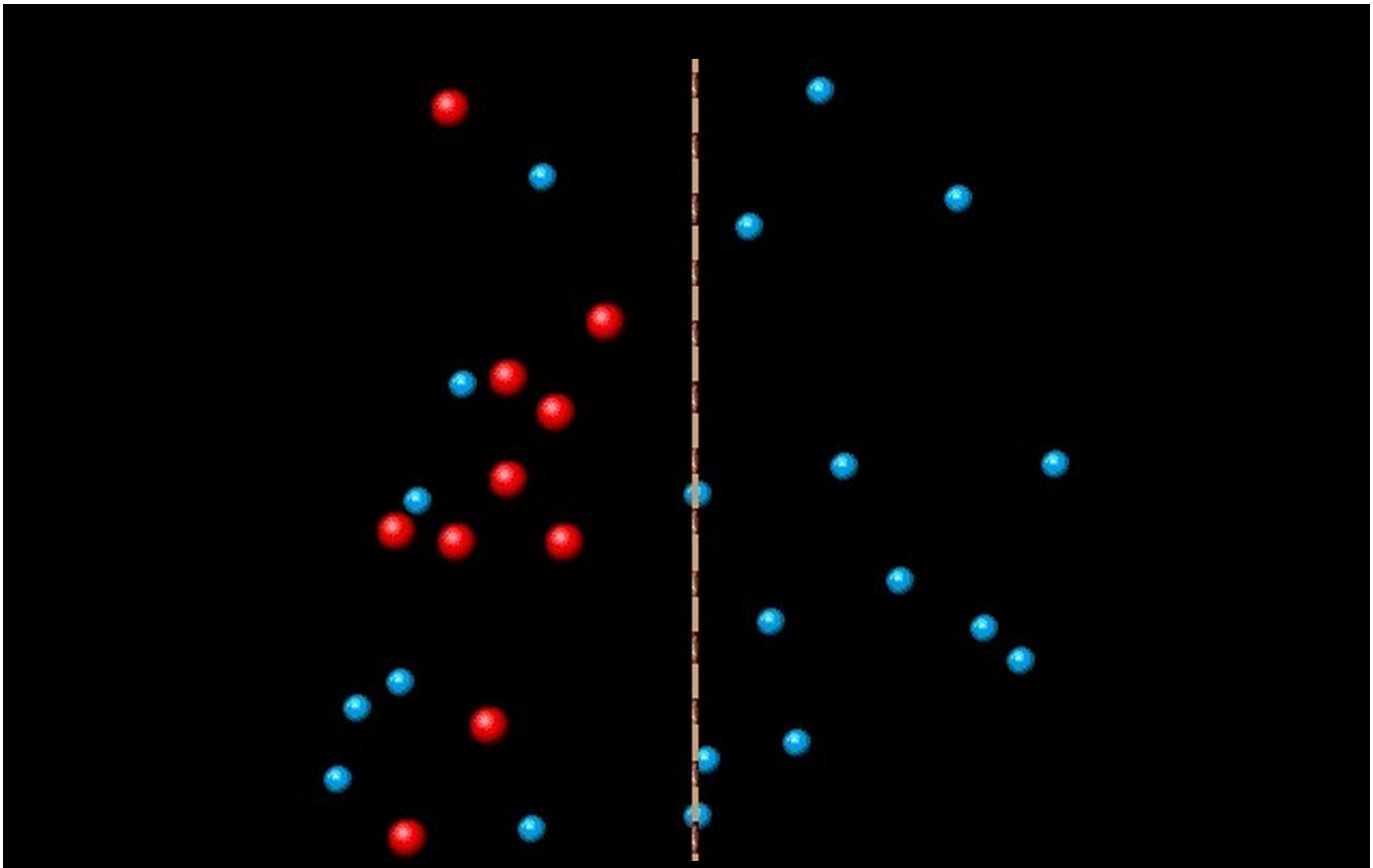


Схема осмоса. Частицы растворителя (синие) способны пересекать полупроницаемую мембрану, частицы растворенного вещества (красные) – нет

ЛЕТНИЕ ОПЫТЫ

Убедиться в существовании осмотического переноса воды, или, как иногда говорят, корневого давления, можно прямо в поле или в огороде. Найдите какое-нибудь быстрорастущее растение, желательно с крепким и достаточно широким стеблем (подсолнечник, крапива, тюльпан и т.п.) и срежьте его на высоте около 10 см над землей. На торчащий из земли стебель наденьте короткую резиновую трубку, в которую вставлена тонкая и длинная, не меньше полуметра, стеклянная трубка. Понятно, такую длинную трубку необходимо как-то закрепить; привяжите ее к колышку, вбитому рядом в землю. Для лучшего уплотнения обмотайте резиновую трубку ниткой в том месте, где она прилегает к стеблю, а можно вдобавок обмазать стык пластилином, чтобы герметизация была надежной.

Теперь займитесь поливкой, и вскоре вода начнет подыматься по трубке. Если диаметр трубки не более 5 мм, то столб воды будет высоким.

Но осмотическое давление - не единственная причина, по которой вода в растениях

движется снизу вверх. Среди других причин - транспирация, т.е. испарение воды листьями. Отдав питательные вещества растениям, вода через устьица листьев испаряется, а на ее место поступают новые порции воды из корней. Опыт с транспирацией прост. Поставьте в пробирку с водой срезанную веточку какого-нибудь растения, отметьте на пробирке уровень воды (хотя бы перевязав ее в этом месте цветной ниткой), и скоро вы заметите, как опускается уровень воды в пробирке. Но может быть, причина в том, что вода испаряется прямо из пробирки?

Чтобы исключить прямое испарение, налейте на поверхность воды чуть-чуть вазелинового или растительного масла: оно полностью закроет поверхность, препятствуя испарению. Однако уровень воды и в этом случае будет опускаться. Значит, вода испарялась через листья. Если у вас есть весы, то опыт с транспирацией можно ускорить и сделать более наглядным: пробирку с веткой (не забудьте о нескольких каплях масла на поверхности) поставьте на чашку весов и уравновесьте. Вскоре равновесие нарушится, и та чашка, на которой стоит пробирка, подымется вверх.

Подобные опыты можно поставить с разными растениями, с домашними цветами: скорость транспирации у них будет неодинаковой. Но попробуем немного видоизменить опыт: накроем ветку растения перевернутой стеклянной банкой. Можно даже не срезать для такого опыта ветку, а просто накрыть банкой какое-либо небольшое комнатное растение, например, молодую настурцию. Если растение полито как следует, то в замкнутом объеме атмосфера очень скоро насытится водяными парами, и вода не сможет больше испаряться из листьев. Транспирации заведомо нет, однако спустя некоторое время на листьях появляются капельки воды. Отчего? Опять стало работать осмотическое давление...

А еще вода подымается по стеблю благодаря тому, что растение пронизано тончайшими сосудами - капиллярами, по которым жидкость движется вверх тем быстрее, чем они тоньше. Если бы у вас был стеклянный капилляр диаметром 0,02 мм, то вода могла бы подняться по нему на три метра! А в растениях есть капилляры и потоньше...

В несколько стеклянных банок налейте воды и подкрасьте ее несколькими каплями чернил. Стебли или ветки разных растений срежьте острым ножом (предпочтительнее под водой) и поставьте в банки. Мало-помалу подкрашенная вода заполнит все сосуды растения, подымется по капиллярам. Обнаружить ее движение легко - изменится цвет прожилок на листьях. Если сделать на каждой ветке несколько поперечных срезов, то вы

увидите, как расположены капилляры (советуем взять для этой цели лупу посильнее).

И последний опыт с растениями. Воду, подкрашенную чернилами, налейте в какой-либо широкий сосуд, например, в миску. Ветку опустите в воду и обрежьте под водой часть стебля. Через несколько минут выньте ветку и сделайте острым ножом несколько срезов. За считанные минуты (не забудьте отметить, за сколько именно) вода довольно высоко продвинется по стеблю.

Другую, точно такую же ветку обрежьте на воздухе, после чего погрузите в ту же миску и держите столько же минут в воде. На этот раз, как показывают срезы, вода поднялась гораздо ниже!

Причина в том, что капилляры растений очень тонкие, они легко забиваются воздушными пробками - крохотными пузырьками воздуха. И тогда поступление воды к листьям прекращается. А когда стебель срезан под водой, то воздушным пробкам неоткуда взяться.

Наверное, вам теперь понятен смысл совета, который дают опытные цветоводы: если вы хотите, чтобы срезанные цветы стояли в вазе как можно дольше, обрезайте стебли не на воздухе, а под водой.



Зеленый лист

СКОЛЬКО В ЯБЛОКЕ ВИТАМИНА С?

Ответ на этот вопрос можно найти в справочнике. Но там говорится о яблоке вообще, а сколько витамина С именно в этом яблоке, которое вы собираетесь съесть?

Определение витаминов - дело сложное. Но витамин С - аскорбиновую кислоту - можно определить и в домашних условиях.

Возможно, вы решили: коль скоро витамин С - кислота, то определять его количество надо с помощью щелочи. Хорошо бы... Но в нашем случае такой анализ не годится. В плодах, кроме аскорбиновой, есть много других органических кислот: лимонная, яблочная, винная и прочие, все они вступают со щелочью в реакцию нейтрализации. Значит, щелочь не поможет.

Мы воспользуемся характерной особенностью аскорбиновой кислоты - легкостью ее окисления. Вы, конечно, знаете, что при хранении и при готовке теряется много витамина С. Связана это с тем, что молекула аскорбиновой кислоты неустойчива, она легко окисляется даже кислородом воздуха, превращаясь в другую кислоту, дегидроаскорбиновую, которая не имеет витаминных свойств. Мы же используем для анализа еще более сильный окислитель - йод.

Запасемся раствором йода известной концентрации. Для этого можно взять аптечный спиртовой раствор йода (йодную настойку) с концентрацией йода 5%, т.е. 5 г в 100 мл. Далее приготовим раствор крахмала: разведем 1 г его в небольшом количестве холодной воды, выльем в стакан кипятка и прокипятим еще с минуту. Такой раствор пригоден для опытов в течение недели.

Теперь все готово для определения витамина. Но прежде чем приступить к анализу, потренируемся на чистой аскорбиновой кислоте.

Возьмите 0,5 г аптечной аскорбиновой кислоты (без глюкозы), растворите ее в 500 мл воды и отберите 25 мл раствора. Добавьте примерно полстакана воды - точное ее количество значения не имеет - и еще 2-3 мл раствора крахмала. Теперь осторожно, по каплям, прибавляйте из аптечной пипетки раствор йода, постоянно взбалтывая содержимое (удобнее делать это в конической колбе), Внимательно считайте капли и следите за цветом раствора. Как только йод окислит всю аскорбиновую кислоту,

следующая же его капля, прореагировав с крахмалом, окрасит раствор в синий цвет. Это означает, что наша операция - титрование - закончена.

Но как узнать, сколько мы израсходовали йодной настойки? Капли - не единицы измерения... В химических лабораториях есть специальные бюретки с делениями - сразу в миллилитрах. Мы же воспользуемся другим, вполне точным, методом, хотя и более долгим. С помощью той же пипетки посчитаем, сколько капель содержится в аптечной склянке о йодом (она вмещает обычно 10 мл). Не пугайтесь - вся работа займет несколько минут. Зная объем одной капли, можно довольно точно определить объем раствора йода, израсходованного на титрование аскорбиновой кислоты. И теперь, воспользовавшись уравнением реакции (предлагаем вам написать его самостоятельно), можно проверить, сколько в таблетке было аскорбиновой кислоты. А можно решить и обратную задачу: зная количество кислоты, определить концентрацию йодной настойки - действительно ли она пятипроцентная?

Этот несложный способ анализа химики часто используют для определения йода и других окислителей. Он называется аскорбинометрией.

Теперь приступим к решению нашей основной задачи - определению количества витамина С. Концентрация раствора йода нам известна: 1 мл его 5%-ного раствора соответствует 35 мг аскорбиновой кислоты (кстати, именно столько ее содержится в одном драже поливитаминов).

Начнем с апельсинового или лимонного сока (только что выжатого или консервированного). Отмерьте 20 мл сока и разбавьте водой до объема примерно 100 мл. Влейте немного раствора крахмала, а затем, как и раньше, добавляйте по каплям раствор йода до появления устойчивого синего окрашивания, не исчезающего в течение 10-15 с. Правда, теперь в растворе значительно меньше аскорбиновой кислоты, чем в опыте с таблеткой, и йода пойдет на титрование тоже меньше. Если содержание витамина С очень мало, может случиться так, что потребуется всего 1-2 капли йодной настойки; при этом наш анализ будет, конечно, очень приблизительным. Чтобы результат был более точным, надо либо взять очень много сока, либо разбавить йодную настойку. Химики (да и все любители вкусного сока) предпочтут второй путь. При анализе фруктовых соков удобно разбавить иод водой в 40 раз, при этом получится 0,125%-ный раствор, 1 мл которого соответствует 0,875 мг аскорбиновой кислоты. Не забудьте только, что поверхностное натяжение воды больше, чем спирта, и, следовательно, капли

воды значительно крупнее. Значит, придется заново посчитать объем одной капли.

В школьной лаборатории или в химическом кружке требуемый раствор йода можно приготовить точнее: 1 л его должен содержать 1,27 г йода. Но растворимость йода в воде при комнатной температуре очень мала (всего 0,3 г/л), поэтому в раствор придется добавить немного йодида калия или йодида натрия, в присутствии которых растворимость йода в воде сильно возрастает. Одна из этих солей непременно есть в аптечном растворе йода.

Приступим теперь к анализу яблок. Здесь мы встретимся с таким затруднением: в яблоках содержится фермент аскорбиноксидаза, в присутствии которого аскорбиновая кислота быстро окисляется на воздухе. Чтобы этого не произошло, анализ надо проводить в кислой среде.

Тонким ножом из нержавеющей стали вырежьте из предварительно взвешенного яблока пробу в виде ломтика, от кожуры до сердцевины с семечками. Витамин С распределен в толще яблока неравномерно, а мы хотим сделать анализ не какой-то одной зоны, а яблока в целом. Этот ломтик перенесите в фарфоровую ступку с разбавленной соляной кислотой и тщательно разотрите пестиком. Добавьте раствор крахмала и титруйте смесь разбавленным раствором иода. Массу пробы определим по разности: взвесим яблоко до анализа, целиком, а затем еще раз, без ломтика.

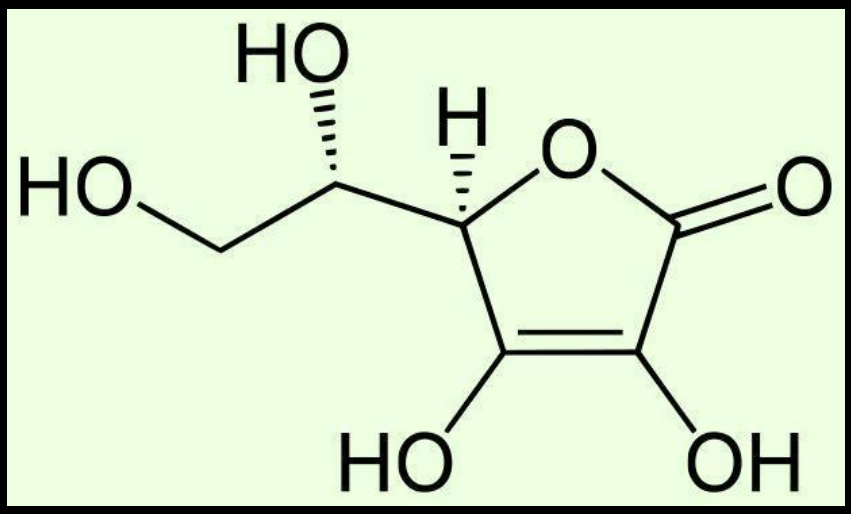
Но точен ли наш способ? Ведь в соке есть не только витамин С, но и другие органические вещества, которые тоже могут реагировать с йодом (хотя и медленнее, чем аскорбиновая кислота). И все же способ достаточно точен. Вот какие результаты были получены при одном из определений.

Из купленных в аптеке плодов шиповника приготовили отвар - 25 г плодов на 0,5 л воды. По йодному методу содержание витамина С, в расчете на сухие плоды, составило 3,8% (по справочным данным, в сухом веществе плодов шиповника содержится 4,5% витамина С), В свежевыжатом соке апельсина оказалось 0,05% витамина, а в консервированном - 0,075% (по справочным данным - 0,04%). Если учесть, что в различных плодах даже одного сорта содержание витаминов, как правило, колеблется, то следует признать, что метод дает достаточно полное представление о содержании витамина С.

Итак, вы научились быстро и довольно точно определять аскорбиновую кислоту. Теперь

перед вами открывается огромное поле деятельности. Можно исследовать самые разные фрукты и ягоды (сок которых не окрашен сам по себе в красный цвет); можно узнать, зависит ли содержание витамина от сорта. Помните только, что растворенная аскорбиновая кислота на воздухе окисляется, опыты надо проводить со свежевыжатым соком.

Вот несколько тем для исследований. Найдите содержание аскорбиновой кислоты в только что сорванных плодах и в тех, что хранились неделю, месяц, полгода. Иногда говорят, что железным ножом нельзя резать фрукты - от этого витамин С разрушается. Проверьте, так ли это, подержав сок в железной посуде. (Кстати, если вы будете сравнивать содержание витамина в свежем соке и в консервированном, то учтите, что последний может содержать специально добавленную аскорбиновую кислоту.) Наконец, проследите, как меняется содержание витамина С в соке при его нагревании и сами сделайте из этих опытов выводы.



Аскорбиновая кислота

МИНДАЛЬ - ГОРЬКИЙ И СЛАДКИЙ

Миндаль, который употребляют в пищу, обычно бывает сладким. Но встречается и горький миндаль, близкий родственник сладкого - их плоды по виду практически неотличимы. Просто так, как орех, горький миндаль не погрызешь, но и он зря не пропадает. Во-первых, из него получают масло, применяемое в медицине, и, во-вторых, используют как добавку в пищевой промышленности, да и при домашней готовке: у горького миндаля гораздо сильнее аромат. Тот самый аромат, который и называют миндальным.

Отличить горький миндаль от сладкого можно в ту же секунду, как разгрызешь ядрышко. Но мы попытаемся найти и химические различия. Не для аналитических целей - опыт, пожалуй, слишком сложен, чтобы применять его каждый раз для распознавания миндаля, а для того, чтобы разобраться в некоторых любопытных подробностях из жизни розоцветных, ибо к этому семейству и принадлежит миндаль.

Итак, опыт. Очистите несколько зернышек миндаля, снимите с семян плотную оболочку и хорошенько растолките их, добавив 5-10 мл воды. Полученную жидкость профильтруйте, отберите около 10 капель фильтрата и смешайте с несколькими каплями разбавленного (приблизительно 10%-ного) раствора едкого натра. Реакция смеси должна быть щелочной, поэтому добавляйте раствор щелочи до тех пор, пока не появится устойчивое окрашивание с раствором фенолфталеина. Можно использовать для этой цели и самодельный индикатор.

Следующая операция: добавьте каплю раствора железного купороса $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, нагрейте смесь до кипения, профильтруйте и прибавьте к фильтрату несколько капель соляной кислоты. Теперь реакция смеси должна быть кислой (вновь проведите пробу с индикатором). И последнее ваше действие: капните одну каплю раствора хлорида железа $FeCl_3$. Вот теперь станет ясно, что у вас за миндаль. Если он был сладким, то ничего не произойдет. Но если он горький, то после добавления хлорида железа мгновенно выпадет красивый синий осадок, это - берлинская лазурь, вещество состава $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$.

Горький миндаль, давший красивую цветную реакцию, содержит сложное вещество, которое называется амигдалином. И в этом же миндале есть фермент гликозидаза, который способен разлагать амигдалин в присутствии воды на более простые вещества. После сложной цепочки превращений, которую мы простоты ради опустим, образуется ферроцианид натрия $Na_4[Fe(CN)_6]$. Именно он с последней каплей хлорида железа и дает такое яркое окрашивание.

Но отчего же сладкий миндаль не даст такой реакции? В нем нет амигдалина. Но фермент гликозидаза есть, и этим можно воспользоваться для еще одного опыта.

Горький миндаль заменим на этот раз сливовыми, персиковыми пли вишневыми косточками: и слива, и персик, и вишня - тоже из семейства розоцветных, у них немало общего с миндалем. В том числе - амигдалин в семенах.

Извлеките семена из зернышек (но только не подвергавшихся нагреву - это не должны быть косточки из компота или варенья; из замороженных плодов или из свежих - пожалуйста). Смешайте их пополам со сладким миндалем, добавьте воду, профильтруйте жидкость и продолжайте опыт, как с горьким миндалем. Как только вы добавите в конце последнюю каплю раствора хлорида железа, вновь образуется синяя берлинская лазурь.

Амигдалин в этом опыте - из косточек вишни, персика или сливы, а разрушающий его фермент - из сладкого миндаля. Вот так, с помощью разных плодов, мы получили, наконец, тот же эффект, что и с горьким миндалем.

Попутно - важное замечание. Врачи не советуют хранить слишком долго домашние заготовки из вишни и сливы, если они не были сварены. Вся опасность - в косточках. При превращениях амигдалина могут образоваться и вредные для здоровья вещества, хотя для этого требуется долгое время (свежие косточки безопасны).

Теперь, разобравшись что к чему, вы можете смело давать советы. Первый из них: хотя это и хлопотно, лучше для спокойствия удалять из плодов косточки. И второй: компоты и варенья вреда не принесут даже с косточками, потому что при нагревании разрушаются ферменты, которые разлагают амигдалин. Если хотите, поставьте опыт с вареными зернышками - никакой окраски не появится.



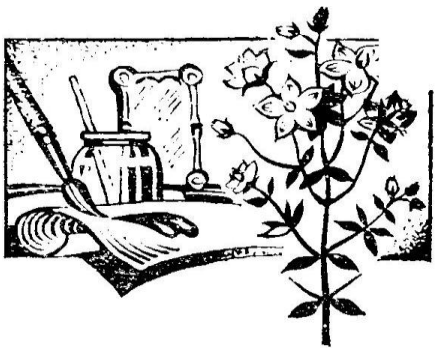
Химическая посуда

Опыты без взрывов

Олег Ольгин

ГЛАВА 4

ПРИЯТНОЕ С ПОЛЕЗНЫМ



Химические опыты можно ставить с разными целями: чтобы удовлетворить любопытство, приятно и разумно занять досуг, проверить на практике то, что известно по книгам. А еще в результате химических превращений можно получить полезные - для вас, для дома, для школы - вещества или смеси веществ. Причем вы приготовите их своими руками! Это могут быть самодельные краски, или красивый (сугубо химический) новогодний подарок, или значок, которого ни у кого нет...

Многие опыты из этого раздела (как, впрочем, и из последующих) лучше ставить в химическом кружке. Во-первых, сообща приятнее работать. Во-вторых, можно сделать нечто полезное для школы или клуба. И наконец, если возникнут затруднения - с постановкой опыта, с посудой или с реактивами, то преодолеть их гораздо проще в кружке, нежели дома.

Начнем с красок - масляных и акварельных.

МАСЛЯНЫЕ КРАСКИ

Всякая масляная краска - это смесь олифы с пигментами, т.е. с красящими веществами. Как их приготовить самостоятельно, будет рассказано дальше, а сейчас займемся основой масляной краски - олифой.

Разумеется, олифу (как и некоторые пигменты) можно купить в магазине. Но для юного химика такое решение было бы слишком неинтересным. Если уж ставить опыты, то надо и олифу приготовить самостоятельно. Однако прежде надо уяснить, что она собой представляет.

Натуральную олифу готовят на растительных маслах. Таких масел множество; некоторые из них способны высыхать на воздухе (льняное, конопляное). Другие высыхают лишь отчасти, и поэтому называются полувысыхающими (например, подсолнечное масло). А некоторые масла не высыхают вовсе - оливковое из оливок, касторовое из клещевины.

Но что значит слово "высыхают" применительно к маслам? В них нет растворителя, и высыхать вроде бы нечему. Так оно и есть, высыхание - термин хотя и устоявшийся, но не совсем точный. На самом деле масла полимеризуются, их молекулы связываются между собой, образуя твердый нерастворимый и неплавкий полимер. Но для этого нужно вещество, которое сшило бы воедино относительно небольшие молекулы масла. Это вещество - кислород воздуха. Вот почему пленка масляной краски, нанесенной на изделие, высыхает быстро. А масло, оставшееся в банке, загустевает лишь с поверхности: только она и соприкасается с воздухом.

Но даже высыхающие масла сами по себе реагируют с кислородом очень медленно, и нам пришлось бы ждать очень долго, пока краска перестанет пачкать. Однако эту реакцию можно значительно ускорить, если добавить к маслу немного катализатора. Те катализаторы, которые ускоряют высыхание масляной пленки, называют сиккативами. Обычная олифа - это смесь масла (в последнее время - все чаще синтетического) с сиккативом.

Итак, чтобы приготовить олифу, надо смешать высыхающее масло с сиккативом. Его также можно купить в магазине, но не лучше ли будет приготовить сиккатив самостоятельно и на опыте проверить его действие?

Многие сиккативы - это соли органических кислот. Вы можете приготовить такую соль, достаточно известную - плавленый резинат; резинатами называют соли кислот, входящих в состав канифоли.

В фарфоровой посуде (а если ее нет, то в металлической) нагрейте около 50 г канифоли. Температура должна быть примерно 220-250°С, канифоль при такой температуре расплавится. В этот расплав небольшими порциями при размешивании введите (с осторожностью, не дотрагиваясь руками) 5 г негашеной извести CaO. В результате реакции получится резинат кальция.

Если вместо извести взять 15 г глета (оксида свинца PbO), растертого в пасту с льняным

маслом, и добавлять его небольшими порциями, то образуется другой сиккатив - резинат свинца. Глет можно получить из порошка свинца, смешанного с натриевой или калиевой селитрой (это распространенные удобрения). При нагревании смеси образуется оксид свинца PbO желтого цвета, так что о ходе реакции можно судить по изменению окраски. Когда она станет достаточно интенсивной, прекратите нагрев, охладите смесь и обработайте ее водой. Растворимые продукты реакции перейдут в раствор, а при встряхивании легкий глет отделится от тяжелого свинца, не вступившего в реакцию - он осядет на дно. Таким образом, надо слить взмученную непрозрачную жидкость с осадка, профильтровать и высушить - глет готов.

Смесь канифоли с CaO или PbO надо нагревать до тех пор, пока не получится однородная масса. Ее капли помещайте время от времени на чистое стекло, и как только капля окажется прозрачной, нагрев можно прекратить.

Еще один очень распространенный сиккатив - оксид марганца MnO_2. Получить его можно просто. Приготовьте два раствора - сульфита натрия Na_2SO_3 и перманганата калия $KMnO_4$ (марганцовки). Когда вы смешаете эти растворы, в осадок выпадет черный порошок. Это и есть искомый оксид. Отфильтруйте его и высушите на воздухе без подогрева.

Какой бы сиккатив вы ни приготовили, дальнейшие действия будут одинаковыми. Добавьте сиккатив в нагретое до 150-200°C льняное или конопляное масло - оба высыхающие. Опыт удается лучше, если масло рафинированное. На 100 частей масла возьмите 3-5 частей сиккатива и размешайте смесь до полного его растворения. Вы приготовили олифу. Дайте ей остыть и проверьте действие сиккатива.

Нанесите олифу тонким слоем на стекло или металл, рядом нанесите такую же пленку чистого масла, без катализатора. Вы легко обнаружите, насколько сиккатив ускоряет высыхание масла. Если вы приготовили несколько сиккативов, сравните их активность.

Чтобы получить масляную краску, олифу надо смешать с пигментом, готовым или самодельным. Имейте в виду, что пигмент должен быть высушен как следует, растерт и просеян через самое мелкое сито, какое вы сможете найти, или через марлю, сложенную вдвое.

К такому мелкому порошку добавляйте по каплям олифу, каждый раз размешивая и

растирая ее, пока не получится густая однородная масса, напоминающая кашу. Разотрите ее тщательно еще раз и разбавьте все той же олифой, чтобы она приняла густоту обычной малярной краски. Возможно, ваша краска окажется прозрачной, а это далеко не всегда желательно. Чтобы избежать прозрачности (как говорят специалисты, чтобы краска была укрывистой), добавьте к маслу какой-нибудь белый пигмент. Он не повлияет на окончательный цвет краски, но лишит ее прозрачности.

Даже если вы все будете делать аккуратно, полученная масляная краска все равно будет, пожалуй, чуть-чуть хуже, чем из магазина. Зато - своими руками.

ПИГМЕНТЫ

Пигменты еще несколько десятилетий назад называли обычно минеральными красками, подчеркивая их происхождение: многие природные пигменты получали измельчением окрашенных минералов. И сейчас поступают порою так же, особенно если надо приготовить яркие, сочные, стойкие краски для живописи. Но гораздо чаще в наши дни используют синтетические пигменты - всевозможные оксиды и соли металлов. Если же пигменты имеют органическую природу, то их чаще называют красителями; пожалуй, главная область их применения - окрашивание тканей.

Займемся приготовлением минеральных пигментов разных цветов. Начнем с белого.

В роли белых пигментов обычно выступают соединения свинца, цинка и титана: последние для самостоятельного изготовления наименее доступны. А лучший источник свинца в домашней лаборатории - это свинцовая примочка, 20%-ный раствор основного ацетата свинца, с которым вам уже доводилось работать. Так как свинцовые белила представляют собой основной карбонат свинца $Pb(OH)_2CO_3$, то для их получения надо пропускать через раствор ацетата (т.е. через примочку) диоксид углерода. Свинцовые белила при этом выпадут в осадок. Отфильтруйте его, промойте водой и высушите. В фильтрате останется раствор ацетата свинца. Старайтесь работать так, чтобы соединения свинца не попадали на руки и лицо, и ни в коем случае - в рот. Красками, приготовленными на основе таких соединений (в том числе и со свинцовым сиккативом) запрещается красить посуду и любые предметы, которые соприкасаются с пищей.

Цинковые краски, к которым мы сейчас перейдем, тоже не предназначены для окрашивания посуды; все предупреждения об осторожности, только что сделанные,

относятся и к ним.

Исходным веществом для цинковых пигментов будет служить хлорид цинка $ZnCl_2$. Раствор его можно получить, опустив в соляную кислоту немного цинка, необязательно гранулированного. Годится, например, стаканчик от старой батарейки - он сделан из почти чистого цинка. К полученному раствору осторожно, по каплям, добавляйте раствор стиральной соды. Сначала он нейтрализует избыток кислоты (вы заметите это по вспениванию), а потом вступит в реакцию с хлоридом цинка, образуется карбонат $ZnCO_3$. Его надо отфильтровать, промыть водой и прокалить при температуре не ниже 280°C. Выше этой температуры карбонат цинка разлагается на белый оксид цинка ZnO и CO_2.

Есть еще один белый цинковый пигмент - сульфид цинка ZnS. Для его приготовления надо получить сначала сульфид натрия Na_2S. Проще всего поступить так: сильно нагреть сульфит натрия Na_2SO_3 (еще раз напоминаем - это вещество продают в фотомагазинах), тогда образуются два вещества - сульфат Na_2SO_4 и сульфид Na_2S. Нам требуется только второе вещество. Смесь после охлаждения растворите в воде и добавляйте понемногу раствор хлорида цинка, получение которого описано в предыдущем опыте. Избегайте избытка кислоты: образующийся сульфид в ней растворяется. После фильтрования и высушивания вы получите нерастворимый сульфид белого цвета - порошок ZnS.

Перейдем к цветным пигментам. Получим сначала сине-зеленую ярь-медянку - смесь основных ацетатов меди.

К раствору медного купороса добавьте раствор соды, и в осадок выпадет основной карбонат меди $Cu_2(OH)_2CO_3$. Отфильтруйте его, и осторожно, по каплям, добавьте уксусную эссенцию до полного растворения осадка. Упарьте раствор на небольшом огне почти досуха, не допуская сильного перегрева и разбрызгивания жидкости, а затем охладите. Выпавшие сине-зеленые кристаллы отфильтруйте и высушите между листами фильтровальной бумаги.

В кружке такой опыт лучше ставить под тягой, а дома не забудьте после опыта как следует проветрить комнату, чтобы исчез запах уксуса.

Перейдем к пигментам на основе оксида железа Fe_2O_3. Сурик, мумия, охра, умбра, колхотар, венецианская красная, английская красная - вот далеко не полный перечень таких пигментов. В зависимости от способа получения у краски могут быть различные

оттенки, от красного до коричневого, а при сильном нагревании оксид железа чернеет.

Это вещество легко получить прокаливанием железного купороса $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (семиводный сульфат железа). Берите небольшие порции купороса, тогда разложение пойдет быстрее. Накаливайте купорос до тех пор, пока он из зеленого не станет черным. При охлаждении получится красный оксид Fe_2O_3.

Если не удастся купить готовый железный купорос (а его продают в хозяйственных магазинах), то сульфат железа нетрудно приготовить из более распространенного медного купороса; опустите в его раствор железные опилки, настроганные напильником и промытые в бензине. Как только голубой раствор станет зеленым, слейте его с осадка, профильтруйте и упарьте досуха. Вы получите не чистый железный купорос, потому что железо частично окислится кислородом воздуха, однако на результат опыта это не повлияет.

Коричневый гидроксид железа $Fe(OH)_3$ вы получите из раствора железного купороса, в который добавлен раствор едкого натра, приготовленного из стиральной соды и гашеной извести, как было описано в главе "Олово и свинец". Работая с любыми щелочами, не забывайте об осторожности! В результате реакции в осадок выпадет гидроксид железа $Fe(OH)_2$. До требуемого нам гидроксида $Fe(OH)_3$ он легко окисляется пероксидом (перекисью) водорода, а если время терпит, то просто кислородом воздуха при хранении в открытой склянке. Осадок коричневого цвета отделите и высушите при комнатной температуре.

Широко известный синий пигмент на основе железа - берлинская лазурь. Для ее приготовления нужна соль трехвалентного железа. Вот как ее можно получить: свежеосажденный гидроксид железа, приготовленный в предыдущем опыте, растворите в соляной кислоте (можно в разбавленной, аптечной) или, что несколько хуже, в уксусной эссенции, и смешайте с раствором феррорцианида калия (под названием желтой кровяной соли это вещество продают в фотомагазинах). Мгновенно образуется синий осадок знакомой вам берлинской лазури: $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$. Эта реакция очень чувствительна, ее часто используют для обнаружения в растворе ионов трехвалентного железа.

Желтый оксид свинца - глет, на основе которого вы готовили сиккатив, можно вводить в краску и как пигмент. А чтобы получить ярко-красный свинцовый сурик, смешанный оксид свинца Pb_3O_4, достаточно нагреть на воздухе ранее приготовленный глет. Тонкость,

однако, в том, что реакция окисления обратима, и при температуре выше 500°С сурик вновь превращается в глет. Значит, нужна температура несколько ниже 500°С, но ненамного, иначе реакция вообще не пойдет. Вряд ли у вас есть подходящий термометр. Поэтому положите рядом с прокаливаемым глетом кусочки свинца и цинка. Их температуры плавления соответственно 327 и 420°С, этот интервал вполне приемлем для получения сурика. Понятно, что во время опыта свинец должен быть расплавленным, а цинк твердым.

Черный пигмент - это обычная сажа. Вот один из способов получения хорошей сажи, пригодной для изготовления краски. Направьте пламя парафиновой свечи на холодный массивный предмет, разумеется, негорючий. Образующийся черный налет время от времени соскребайте. В таких условиях парафин сгорает не полностью и наряду с диоксидом углерода CO_2 образуется элементарный углерод - сажа.

В заключение получим зеленые пигменты. Сначала темно-зеленый оксид хрома Cr_2O_3. Как вы помните из опытов с окислением-восстановлением, многие соединения хрома ярко окрашены, поэтому их часто используют в качестве пигментов, однако лишь для тех красок, которые не соприкасаются с пищей.

Будем вновь исходить из бихромата калия $K_2Cr_2O_7$, самого доступного из соединений хрома. Смешайте его с активным углем или с серой и тщательно разотрите смесь в ступке, а затем, взяв не более 2 г смеси, сильно ее нагрейте в фарфоровой или металлической посуде (когда веществ взято много, реакция идет слишком бурно). Охладите смесь, промойте ее несколько раз водой и отфильтруйте, Оставшийся на фильтре темно-зеленый оксид хрома высушите.

Есть и другие способы получения этого пигмента, например, нагреванием бихромата аммония или смеси бихромата калия с хлоридом аммония (нашатырем). Примите во внимание, что оксид хрома, получаемый в таких реакциях, находит применение не только как зеленый пигмент, но и в качестве тонкого абразивного материала, одного из самых лучших. Он входит в состав многих особо тонких полировальных паст, например, для доводки линз и зеркал оптических приборов.

Наконец, ярко-зеленый пигмент "изумрудный зеленый", гидроксид хрома. От обычного серого гидроксида того же состава он отличается тем, что состоит из более крупных частиц.

Сплавьте бихромат калия с аптечной борной кислотой в железной ложке. Нагревать надо до красного каления железа, ложку необходимо держать щипцами. После охлаждения обработайте плав водой и профильтруйте. Вы убедитесь, что цвет вещества и впрямь изумрудно-зеленый.

Получив пигменты в достаточном количестве, испытайте их, как описано в предыдущей главе, в составе масляных красок. Или каких-либо других, покупных, добавляя самодельный пигмент в белую краску либо синтетическую эмаль.






Туба №3
Мосбытхи
КРАС
ХУД
ИЗУМРУД
ЗЕЛЕНА
Цена
№3
КРАСК
ХУДО


МАСЛЯНЫ
ЕСТВЕННЫЕ
ул. Буракова
11826



Старые художественные краски (масляные и акварельные)

Раньше художественные краски стоили дешево, поэтому их покупали не только для рисования, но и ради химических экспериментов. Для юных химиков это был один из источников реактивов.

Кроме того, металлический тюбик масленых красок был сделан из олова - нередко краски покупали только ради олова (т.е. материала тюбика). На фото:

изумрудная зеленая (гидратированный оксид хрома),
кадмий средний, кадмий лимонный (смесь сульфида и селенида кадмия),
хром-кобальт сине-зеленый (содержит оксиды хрома и кобальта),
сажа газовая (получают пиролизом [высокотемпературным разложением] природного газа),
охра (смесь оксида железа с глиной),
белила цинковые и титановые (оксиды цинка и титана соответственно),
крон желтый (кроны [пигменты] - хроматы цинка, свинца, кальция, стронция; кроны могут содержать также сульфат),
стронциановая желтая (хромат стронция) и др.

АКВАРЕЛЬНЫЕ КРАСКИ

В старых книгах часто встречаются названия экзотических красителей: красный сандал, кверцитрон, кармин, сепия, кампешевое дерево... Некоторые из этих красителей применяют и поныне, но в очень небольших количествах, главным образом для приготовления художественных красок. Ведь природные красители с такими красивыми названиями получают из растений и животных, а это, как вы понимаете, дорого и сложно. Зато натуральные красящие вещества очень ярки, прочны, светостойки.

Любопытно было бы проверить. Но каким образом? Кампешевое дерево растет в Южной Америке, сандал - в Южной Азии, сепию добывают из каракатиц, кармин - из кошенили (крошечных насекомых)...

И все же получить природные красители даже в домашних условиях, даже в средней полосе нашей страны вполне возможно. И в привычных для нас растениях есть красящие вещества, пусть не такие яркие и не такие стойкие. Наши предки часто ими пользовались. Попробуем и мы извлечь красители из растений, а потом на их основе приготовим водорастворимые краски, известные всем как акварельные. Естественно, что красители, которые мы будем добивать, должны хорошо растворяться в воде.

Все красители будем готовить одним и тем же способом: измельчим растения или какие-либо их части и будем долго кипятить в воде, чтобы получился концентрированный отвар. Он должен быть достаточно густым. Извлекать сухой краситель нам не потребуется - все равно ведь нам предстоит готовить водорастворимую краску.

Очень важное замечание: берите только те растения, которые разрешено собирать там, где вы живете; ни в коем случае не рвите растения, взятые под охрану в вашей области или республике. И в любом случае, чтобы не наносить вреда природе, ограничьте число собранных растений до минимума.

Начнем с красного красителя. Его можно получить из стебля зверобоя (отвар надо подкислить) или из корня подмаренника, Возможно, вы не знаете, как выглядят названные растения. В таком случае посоветуйтесь с учителем биологии либо возьмите в библиотеке какой-либо справочник или определитель растений; в них, как правило, даются и описания растений, и их рисунки.

Ольховую кору положите в воду на несколько дней, а потом приготовьте отвар. Вновь у вас получится красный краситель. Его можно извлечь также из корней конского щавеля, но в этом случае не забудьте прибавить к готовому отвару немного алюминиевых квасцов - иначе цвет будет тусклым.

Из корней известного растения девясила (он, как и зверобой, относится к лекарственным травам) можно получить синий красителе. Для этого корни надо сначала подержать в нашатырном спирте - водном растворе аммиака. Синий краситель можно добыть также из цветов живокости и корней птичьей гречишки.

Краситель зеленого цвета извлекают из листьев трилистника (тоже, кстати, лекарственная трава). Не такой яркий, но тем не менее красивый серо-зеленый краситель вы добудете из листьев и стеблей манжетки; перед приготовлением отвара их необходимо тщательно измельчить.

Желтый краситель дают многие растения: дрок красильный, орешник (кора), ольховидная крушина (кора, листья, ягоды), подмаренник (цветы). Из плодов барбариса получается желтый краситель с лимонным оттенком.

Если отварить в воде сухую кожуру репчатого лука, то получается коричневый краситель разных оттенков - от почти желтого до темно-коричневого. Другой источник такого красителя - сухая кора жостера.

Ягоды черники и ежевики, как нетрудно догадаться, содержат фиолетовый краситель. Он не очень стоек, но вполне может пригодиться для акварельных красок. А из стеблей и листьев чистотела удается извлечь краситель оранжевого цвета.

А как получить черный пигмент? Во-первых, для этого можно приготовить отвар из ягод и корней воронца. Но есть и другой способ, более простой: добавить железный купорос к одному из полученных ранее отваров. Почти все наши отвары содержат дубильные вещества типа танина (вспомните опыты с чаем), и в присутствии солей двухвалентного железа они становятся черными.

Вы запаслись достаточным количеством густых разноцветных отваров? Тогда приступим к главному - изготовлению акварельной краски. Главные ее составные части - краситель и вода, но есть и другие обязательные компоненты. Прежде всего, такие вещества, которые скрепляют краску с бумагой, например гуммиарабик или древесные клеи - вещества с повышенной липкостью. Далее, нужны вязкие вещества, они помешают краске растекаться по бумаге, заставят ее лечь ровным слоем; хороши для этого мед, патока, глицерин. И последняя добавка - антисептик и дезинфицирующее вещество. Ведь мы имеем дело с веществами растительного происхождения, а их надо защищать от действия микроорганизмов (плесневых грибков, которые непременно захотят питаться нашими красками).

Если у вас нет гуммиарабика, то в качестве клеящего вещества лучше всего взять

вишневый или сливовый клей, натеки на стволах, которые можно собрать прямо с деревьев - им это не во вред. Правда, такой клей (говоря точнее - камедь) в воде растворяется с трудом, но если добавить немного кислоты, то растворение пойдет значительно быстрее.

Для краски каждого цвета приготовьте 5-7 мл клеевого раствора примерно 50%-ной концентрации. Смешайте его с равным количеством глицерина или же примерно втрое меньшим количеством меда. Антисептиком будет служить фенол, его 5%-ный раствор под названием "карболовая кислота" есть в аптеках. Этого вещества нужно очень мало, буквально несколько капель.

Все компоненты будущей краски смешайте. Основа краски готова, нет только самого важного - красителя. Добавляйте его в последнюю очередь в виде густого отвара, взяв его примерно столько же, сколько у вас получилось основы для краски.

Вот, собственно, и вся процедура. Возможно, вы удивлены, отчего краска получилась не твердая - в магазинах ее продают в плитках. Однако художники пользуются и полужидкими акварельными красками, в тюбиках. По консистенции они как раз напоминают те разноцветные краски, которые вы только что приготовили.

Если вы собираетесь хранить свои краски, обязательно перелейте их в какие-нибудь склянки, плотно закрывающиеся полиэтиленовыми пробками, в противном случае краски скоро высохнут. А работать ими надо так же, как и всякими другими акварельными красками: мягкая кисть, плотная бумага... Впрочем, среди юных химиков наверняка есть и юные художники.

Прежде чем перейти к новой теме, дадим еще один совет: попробуйте окрасить ткань. Ведь в старину большую часть растительных красителей использовали именно для этой цели. Договоримся только вот о чем: не кладите в красильную ванну (а ею может служить миска или таз) хорошие вещи. Поэкспериментируйте сначала с кусочками чистой белой ткани или пряжи. И только в том случае, если вы убедитесь, что опыт проходит успешно, берите какую-либо вещь - обязательно из тех же волокон, на которых вы ставили эксперимент.

Перед окраской ткань, как правило, требуется протравить - подержать в горячем растворе какой-либо соли; для этой цели часто берут раствор алюмокалиевых квасцов. Подержав

ткань или пряжу в протраве несколько минут, опустите ее в отвар красителя, предварительно процеженный через марлю, и кипятите в нем. Точного совета, насколько крепким должен быть отвар, дать, к сожалению, нельзя, потому что два внешне одинаковых растения могут содержать разные количества красящего вещества. Так что концентрацию и время обработки придется подбирать опытным путем.

Назовем несколько растении, из которых можно получить неплохие красящие отвары для ткани. Начнем с упоминавшейся уже луковой шелухи. В ее отваре ткань станет желто-красной, если протравить ее квасцами, и зеленой, если протравить железным купоросом. Луковую шелуху использовали с давних времен для крашения шерсти и льна.

Из листьев и стеблей картофеля тоже можно приготовить краситель. Их отвар окрасит ткань в лимонный цвет, если ткань заранее обработана раствором какой-либо соли олова. А отвар корня ревеня придаст ткани, протравленной раствором железного купороса, болотный цвет.

Для окрашивания шерсти можно использовать и отвары из коры деревьев. Так, кора ольхи окрасит шерсть в темно-красный цвет, кора ясеня - в синий. Древесина дикой груши содержит коричневый краситель (шерсть перед крашением надо протравить в водном растворе какой-либо соли висмута). В листьях березы есть серо-зеленый краситель, правда, он не очень эффектен.

В былые времена редко, но все же красили шерсть раствором кофе, только сырого, чтобы получить зеленый цвет. Опробуйте и этот краситель, благо сырых кофейных зерен нужно совсем немного. Их надо размолоть и отварить с добавкой стиральной соды, а шерсть перед тем, как погружать ее в отвар, протравите в горячем растворе квасцов.

Если это занятие придется вам по вкусу, проверьте сами красящее действие других растений в сочетании с разными протравами. Не исключено, что вы обнаружите какое-либо неизвестное или совершенно забытое сочетание, и окраска окажется на редкость красивой.

СРЕДСТВО ОТ РЖАВЧИНЫ

Из стеблей, коры, плодов и листьев получают не только красители, но и десятки других полезных веществ. Как ни удивительно, растения содержат и такие органические

соединения, которые способны предохранить металл от коррозии.

Представьте себе, что громоздкую стальную деталь необходимо очистить от ржавчины. Не тереть же ее наждачной шкуркой. Значит, нужен химический способ, например, травление кислотой. Но если опустить деталь в раствор какой-либо кислоты, удаляющей ржавчину, то неизбежно растворится и часть металла - как его убережешь от контакта с кислотой?

Ответ ясен: нужен раствор, который удалял бы ржавчину, но не трогал самого металла. Такие травильные растворы давно уже применяют на практике. Помимо кислоты, в них входит еще одна важная добавка - ингибитор коррозии. Это такое вещество, которое резко замедляет растворение металла, но почти не мешает растворяться его оксидам и гидроксидам, т.е. продуктам коррозии.

Те ингибиторы, которые применяют на заводах, получены преимущественно синтетическим путем. Среди них гексаметилентетрамин, в аптеках его продают и под названием "уротропин". Если поставить параллельный опыт - два одинаковых железных предмета положить в две пробирки со слабым раствором соляной кислоты, причем заранее добавить в одну немного растолченного уротропина, то разницу вскоре можно заметить и невооруженным глазом: в пробирке с ингибитором растворение металла будет идти намного медленнее.

Но мы собирались извлекать ингибиторы коррозии из растений. Этим сейчас и займемся.

Из дикорастущих растений для наших опытов подойдут чистотел, хохлатка и дымянка из семейства маковых, алтей лекарственный из семейства мальвовых и тысячелистник из семейства сложноцветных; нам понадобятся их листья и стебли. Заметьте, что многие из этих растений в сухом виде бывают в аптеках. Для опытов нужно несколько экземпляров растений. Предупреждения о бережном отношении к природе остаются в силе, равно как и предложение посоветоваться с учителем биологии или запастись определителем растений.

Для извлечения ингибиторов можно взять и некоторые культурные растения - это, пожалуй, проще. Годятся для опытов листья и стебли картофеля и помидоров. Есть смысл подождать, пока созреет урожай и взять для экспериментов ненужные уже остатки растений.

Листья и стебли дикорастущих или домашних растений измельчите ножом и залейте слабым, концентрацией не более 5%, раствором соляной кислоты. Если вы пользуетесь аптечной соляной кислотой, то разбавьте ее водой примерно вдвое. Оставьте залитую раствором массу на несколько дней в закрытой посуде, чтобы экстракция прошла как можно полнее; недели, во всяком случае, должно хватить. Когда экстракт будет готов, составьте травильный раствор для проржавевших деталей. Если ржавчины очень много, то состав раствора (для удобства - по объему) будет таким: на 5 частей экстракта - 40 частей концентрированной соляной кислоты и 75 частей воды. Если же ржавчины не очень много, то надо взять 10 частей экстракта и примерно 20 частей кислоты; количество воды тоже можно немного увеличить.

В такие растворы вы можете погружать заржавевшие детали. Они довольно скоро станут блестящими, будто новенькие, а металл с них почти не перейдет в травильный раствор.

Но что же за вещества в растениях, которые, как обнаружилось, так хорошо защищают металл от коррозии? Это комплекс соединений - алкалоиды, полисахариды, белки, слизистые и дубильные вещества. Все они, хотя и в разной степени, обладают способностью адсорбироваться на металлической поверхности и закрепляться на ней, а следовательно, они препятствуют прямому контакту металла с кислотой. Со ржавчиной же они объединяться не желают, вот она и растворяется в кислоте без помех.



Уротропин

КРАСИМ БЕЗ КРАСКИ

Без краски можно покрасить многие металлические поверхности, если покрыть их (химически или электрохимически) тонким слоем цветных оксидов или солей, прочно сцепленных с поверхностью. Последнее условие выполнить не так-то легко. Например, железо во влажном воздухе быстро (и без нашей помощи) покрывается красно-бурым налетом продуктов окисления, попросту говоря - ржавчиной, но такой метод окраски никуда не годится, потому что ржавчина еле-еле держится и пачкается при прикосновении.

Здесь мы приведем несколько рецептов окрашивания цветных металлов. Лишь некоторые из них пригодны для домашнего эксперимента, остальные требуют химических реактивов, которые не купишь ни в аптеке, ни в фотомагазине. Однако надеемся, вы уже записались в химический кружок.

Медь и латунь довольно быстро тускнеют на воздухе. Но они сохранят блеск, если окрасить их химическим путем. Подготовка деталей потребует некоторого времени, потому что поверхность должна быть совершенно чистой, без следов грязи и жира. Отполированную деталь тщательно протрите тряпочкой, смоченной в бензине, а затем влажным мелом или зубным порошком. Промыв деталь в проточной воде, подвесьте ее на суровой нитке или леске и не касайтесь больше руками, чтобы не оставить жировых пятен (даже если кожа на вид совершенно сухая, все равно на ней есть хоть немного жира). Опустите деталь в разбавленный раствор азотной кислоты (не более 5-10 мл на 100 мл воды) и снова промойте, лучше горячей водой. Подготовка завершена.

Дальнейшее зависит от того, в какой цвет вы решили покрасить медь. Если в черный, то подержите деталь минут пять в растворе, в котором на 100 мл воды приходится 0,9 г едкого натра и 0,3 г персульфата аммония $(NH_4)_2S_2O_8$ (его применяют в фотографии). Температура раствора 90-100°С.

В растворе хлорида калия, сульфата никеля $NiSO_4$ и сульфата меди $CuSO_4$ (соответственно 4,5, 2 и 10,5 г на 100 мл воды) при той же температуре медь и латунь приобретут приятный шоколадный оттенок. Латунь станет лазурной после кратковременного выдерживания в смеси, состоящей из 3 г ацетата свинца (можно использовать свинцовую примочку), 6 г тиосульфата натрия (гипосульфита), 5 г уксусной кислоты и 100 мл воды. Температура такого раствора - около 80°С.

Медь можно и позеленить. Для этого ее нужно опустить в такой раствор: на 100 мл воды - 20 г нитрата меди $Cu(NO_3)_2$, 30 г нашатырного спирта и по 40 г хлорида аммония (нашатыря) и ацетата натрия; раствор последнего вещества легко получить из соды и уксуса. С нитратом меди обращайтесь, пожалуйста, осторожно, избегая попадания на лицо и особенно в рот.

За исключением опыта с чернением, мы нигде не указываем времени реакции. Подберите его сами на опыте, приняв во внимание, что чем дольше время обработки, тем интенсивнее цвет.

Следующий металл, который поддается химической окраске - это цинк. Его используют нечасто, но с оцинкованными предметами - ведрами, тазами, корытами - все хорошо знакомы. Объектом эксперимента может быть любой старый, негодный оцинкованный предмет. Промойте его поверхность раствором соды или протрите тряпочкой, смоченной в бензине, вымойте горячей водой с мылом и несколько раз прополощите. На оцинкованную поверхность нанесем смеси веществ, которые вступят с цинком в реакции; дающие окрашенные соединения. Вот рецепты красок.

Черная: 2 части нитрата меди, 3 части оксида меди, 8 частей соляной кислоты и 64 части воды; после появления окраски поверхность промыть водой и высушить.

Зеленая: по 10 частей сульфата меди и винной кислоты, 12 частей воды и 24 части раствора едкого натра в воде (1:15); как только появится окраска, сейчас же ополоснуть поверхность водой, иначе будет бурый оттенок.

Синяя: на 100 мл воды - 6 г какой-либо соли никеля и столько же хлорида аммония.

Золотая: раствор из 1 части винной кислоты, 2 частей соды и 1 части воды смешать с чистой глиной; поверхность натереть смесью, а когда она высохнет, ополоснуть водой.

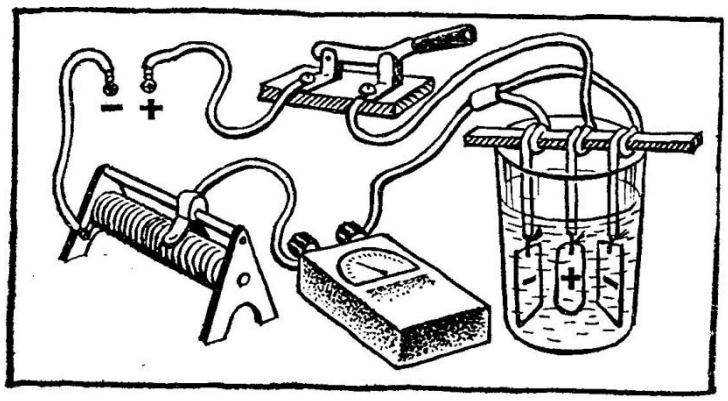
Коричнево-бронзовая: смесь из 1 части яри-медянки и 5 частей уксусной кислоты; поверхность натереть смесью, промыть водой и просушить.

Медная: так как цинк активнее меди, значит, достаточно смочить его раствором медной соли, например, медного купороса.

Между прочим, такими красками можно нарисовать на цинковой поверхности картину.

От цинка перейдем к алюминию. Окрасить его несколько сложнее: и операций больше, и не обойтись без электрического тока. Оксид и соли алюминия невзрачны, поэтому нужен другой способ окрашивания. Он известен: это анодирование. Суть его в том, что через алюминиевую деталь, погруженную в электролит, пропускают ток; при этом на поверхности образуется пленка оксида толщиной менее 0,1 мм. Так как алюминиевые детали в гальванической ванне служат анодом, процесс и называют анодированием. Оксидная пленка пронизана микроскопическими разветвленными порами, в которых хорошо удерживаются красители. Можно окрасить анодированную поверхность и органическими красителями, в том числе природными, но лучше все же неорганическими веществами. Обычно деталь обрабатывают поочередно в двух красящих растворах, и ярко окрашенные продукты реакции остаются в порах.

Отполируйте алюминиевую деталь, обезжирьте ее бензином или ацетоном, промойте в горячей воде и подвесьте на проволочке. Опустите деталь на две-три минуты в 5%-ный раствор едкого натра, еще раз промойте и погрузите в слабый раствор азотной кислоты (20-30 мл кислоты на 100 мл воды). Разумеется, до детали дотрагиваться уже нельзя, а если с подвеской работать неудобно, помогайте себе пинцетом.



Снова промойте детали в горячей и в холодной воде и подвесьте на проволочке в стакане. Можно положить на края стакана палочку или карандаш и обмотать вокруг него проволочку раз-другой, подобрав такую высоту, чтобы деталь оказалась на несколько сантиметров выше дна. Соедините деталь с положительным полюсом источника тока. Катоды - стальные пластинки - подвесьте таким же образом. Источником тока могут служить батарейки, но они очень быстро "сядут"; аккумулятор или трансформатор с выпрямителем предпочтительнее.

В стакан с деталью налейте раствор серной кислоты (20 мл кислоты на 100 мл воды; осторожно!). Включите в цепь ключ или рубильник и реостат, чтобы регулировать ток. Для его измерения нужен миллиамперметр, но годится и тестер, который есть у многих

радиолюбителей. Замкните цепь и установите ток из расчета 20-25 мА на 1 $см^2$ поверхности. Деталь сразу покроется пузырьками газа - это выделяется кислород, который и окисляет алюминий. При комнатной температуре процесс длится около часа.

Промойте анодированную деталь в проточной воде и приступайте к окраске. Погружайте деталь поочередно в два красящих раствора, выдерживая в каждом 5-10 мин и промывая каждый раз в проточной воде. Окрашенные детали еще раз промойте и высушите.

Вот составы красящих растворов и их возможная концентрация (в граммах на 100 мл воды):

синий или голубой цвет - ферроцианид калия (1-5) и хлорид железа (III) (1-10); коричневый - ферроцианид калия (1-5) и медный купорос (1-10); черный - ацетат кобальта (5-10) и перманганат калия (1,5-2,5); желтый - бихромат калия (5-10) и ацетат свинца (10-20); золотисто-желтый - гипосульфит натрия (1-5) и перманганат калия (1-5); белый - ацетат свинца (1-5) и сульфат натрия (1-5); оранжевый - бихромат калия (0,5-1) и нитрат серебра (5-10).

ГАЛЬВАНОСТЕГИЯ

После анодирования алюминия естественно будет перейти к очередным электрохимическим опытам, благо под рукой есть и электролитическая ванна, и источник тока, и ключ с реостатом. В этих экспериментах мы будем извлекать металл из раствора и наносить его на поверхность. Этот процесс называют гальваностегией, а покрытия - гальваническими. Кстати, анодирование алюминия тоже относится к гальваностегии.

Сначала поучимся наносить на стальную поверхность медь. Меднение очень распространено в промышленности, и не только как самостоятельный процесс, но и (пожалуй, даже чаще) как подготовительная операция перед покрытием другими, более прочными и нарядными пленками - хромовыми, никелевыми, серебряными. Причина в том, что медь, правильно нанесенная, очень прочно держится на стали и выравнивает шероховатости и дефекты его поверхности, а другие металлы, в свою очередь, хорошо осаждаются на медной пленке. Казалось бы, все просто: обработал стальную деталь раствором медного купороса, более активное железо вытеснило медь из раствора, и она осела на поверхность. Действительно, так и будет (можете проверить, опустив чистый гвоздь в раствор $CuSO_4$). Но слой меди на поверхности очень рыхлый - его легко стереть

даже тряпкой. А при электрохимической обработке медный слой получается ровным и прочным.

Вот очень простой способ меднения. С одного конца мягкого многожильного провода снимите изоляцию и растеребите тонкие медные проволочки, чтобы получилась "кисть". Для удобства работы привяжите ее к деревянной палочке или карандашу, а другой конец провода подсоедините к положительному полюсу батарейки для карманного фонаря. Электролит - концентрированный раствор медного купороса, желательно слегка подкисленный - налейте в широкую склянку, в которую удобно будет макать "кисть".

Подготовьте стальную пластинку или другой небольшой предмет, желательно с плоской поверхностью. Протрите его мелкой наждачной шкуркой и обезжирьте, прокипятив в растворе стиральной соды. Положите пластинку в ванночку или кювету и подсоедините ее проводом к отрицательному полюсу батарейки. Схема собрана, осталось только ввести электролит.

Обмакните "кисть" в раствор медного купороса и проведите ею вдоль пластинки, стараясь не дотрагиваться до поверхности; работайте так, чтобы между пластинкой и кистью был всегда слой электролита. Проводки все время должны быть смочены раствором. На глазах пластинка будет покрываться красным слоем металлической меди. На обработку маленькой детали уйдут считанные минуты. Если же поверхность побольше, то потребуется не только дополнительное время, но и дополнительная батарейка; соедините ее с первой параллельно. Когда покрытие нанесено, высушите деталь на воздухе и матовый слой меди натрите до блеска шерстяной или суконной тряпкой.

Кстати, этот опыт можно ставить и с алюминиевой, и с оцинкованной пластинкой. Такой процесс, при котором деталь не опускают в электролитическую ванну, а обрабатывают снаружи небольшими участками, добавляя все время электролит, порой используют и на практике, особенно в тех случаях, когда деталь настолько велика, что для нее не подберешь подходящей ванны. Например, когда надо подновить покрытие на обшивке океанского корабля...

Впрочем, если детали невелики, их обычно все же погружают в ванну с электролитом - это быстрее и удобнее. Вот как это делают при никелировании стали, или, точнее, перед никелированием, ибо без предварительного меднения в этом случае не обойтись.

Металлический предмет, который вы решили покрыть никелем (пусть это будет водопроводный кран или табличка для двери), обработайте, как обычно, наждачной бумагой, чтобы удалить оксидную пленку, протрите щеткой, как следует промойте водой, обезжирьте в горячем содовом растворе и промойте еще раз. В банку или стакан опустите на проволочках (лучше медных) две медные пластинки - аноды. Между ними на проволочке же подвесьте деталь (все эти проволочки, напоминаем, удобнее всего обмотать вокруг карандаша и положить его на края банки). Те проволочки, которые идут от медных пластинок, соедините вместе и подключите к положительному полюсу источника тока, а деталь - к отрицательному; включите в цепь реостат или радиосопротивления на 200-300 Ом, чтобы регулировать ток, и миллиамперметр (тестер). Источник постоянного тока - две-три батарейки для карманного фонаря, соединенные параллельно, или аккумулятор с напряжением не более 6 В.

Раствор электролита - 20 г медного купороса и 2-3 мл серной кислоты на 100 мл воды - налейте в стакан, раствор должен полностью покрыть электроды. Пользуясь реостатом или подбирая сопротивления, установите ток от 10 до 15 мА на каждый квадратный сантиметр поверхности детали. Минут через двадцать выключите ток и выньте деталь - она покрыта тонким слоем меди. Электролит меднения не выливайте, он еще пригодится.

Далее - собственно никелирование. Приготовьте новый электролит (30 г сульфата никеля, 3,5 г хлорида никеля и 3 г борной кислоты на 100 мл воды) и налейте этот электролит в другой стакан. Для никелирования нужны никелевые электроды. Опустите их в электролит, соберите схему так же, как при меднении, и включите ток, вновь примерно на двадцать минут. Выньте деталь, промойте и просушите ее. Она покрыта сероватым матовым слоем никеля. Чтобы покрытие приобрело привычный блеск, его надо отполировать.

Электролит для хромирования содержит обычно хромовую кислоту. Но так как этой кислоты у вас, вероятно, нет, прибегнем к обходному маневру.

Вы уже получали зеленый хромовый пигмент. Если же вы не ставили тот опыт, то имейте в виду, что хромовый зеленый продается в магазинах. Сплавьте оксид хрома с содой на воздухе, т.е. нагрейте смесь в чистой металлической банке. Вы получили хромат натрия Na_2CrO_4. Растворите его в воде, профильтруйте и подкислите серной кислотой; в этом растворе можно проводить хромирование. Разумеется, если у вас есть готовый хромат натрия, готовить его излишне.

Небольшой предмет, который вы собираетесь хромировать, обработайте как обычно наждачной бумагой, обезжирьте, протравите слабым раствором кислоты и промойте. Он будет катодом, подсоедините его к отрицательному полюсу источника тока. Анод нужен инертный, например, графитовый. Разберите старую батарейку и извлеките из нее графитовый стержень.

Чтобы получить ток, достаточный для хромирования, надо взять аккумулятор либо несколько батареек для карманного фонаря. Время опыта и требуемый ток подберите самостоятельно. По окончании электролиза выньте деталь из электролита, тщательно промойте ее и отполируйте до блеска тряпочкой с зубным порошком.

ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

Еще один очень распространенный электрохимический процесс - гальванопластика, т.е. осаждение толстого, массивного слоя металла на поверхности какого-либо предмета, форму которого хотят воспроизвести, скопировать. Гальванопластику используют в тех случаях, когда у металлической детали очень сложная форма и обычными способами (литьем или механической обработкой) ее трудно или невозможно изготовить. Так воспроизводят иногда скульптуры по моделям (колесница Аполлона на фронтоне Большого театра сделана гальванопластикой); так же кодируют с записи-эталона металлические формы, в которых прессуют грампластинки, в точности воспроизводя тончайший рельеф бороздок.

Если у вас не осталось раствора для меднения, то приготовьте его вновь. Возьмите кусок воска или парафина, очень тщательно разгладьте его поверхность, чтобы она стала по возможности плоской. На этом гладком участке процарапайте надпись, рисунок или узор. Советуем написать свои инициалы - тогда у вас получится монограмма. Писать удобнее всего иглой, только, пожалуйста, не оставляйте слишком глубоких царапин.

Мягкой кисточкой нанесите на поверхность с рисунком электропроводящий порошок. Можно, например, растолочь в ступке грифель простого карандаша или графитовый стержень батарейки. По краям рисунка прижмите к поверхности, покрытой графитом, тонкие оголенные медные проволочки (они будут служить токоотводами) и соедините их между собой. Восковой слепок подвесьте в стакан, налейте электролит, опустите медный электрод и соберите такую же схему, как и в опытах с меднением. Но в отличие от

гальваностегии тут нужен намного меньший ток, примерно 5-10 мА. Поэтому придется передвинуть движок реостата или же подобрать другое радиосопротивление.

Включите ток и наберитесь терпения, потому что при таком токе медь будет осаждаться на графитированной поверхности по меньшей мере пять часов, если не больше, однако увеличивать ток не надо: качество работы будет гораздо хуже. Разомкните цепь и выньте из стакана восковой слепок. Осторожно опустите воск в горячую воду - он расплавится. А у вас в руках окажется тонкий медный листок с узором. Аккуратно оторвите от него проволочки-токоотводы. Точная копия рисунка получена.

Теперь можно перейти к весьма полезному делу: к изготовлению способом гальванопластики уникальных значков. Они будут только в вашей коллекции! Если же в кружке вы сделаете двадцать-тридцать сувениров, они долго будут напоминать вам и вашим товарищам о туристическом походе, о спортивных соревнованиях...

Советов художественного свойства давать не будем: эскиз придумайте сами. Не надо сложных значков: и делать труднее, и смотрятся они хуже. По эскизу вырежьте шаблон из тонкого картона - он должен повторять внешний контур значка. Положите шаблон на тонкую медную или латунную фольгу и аккуратно вырежьте по нему столько заготовок, сколько значков вы собираетесь сделать.

Ваша заготовка мягкая. Чтобы она стала жесткой, покройте ее слоем меди в гальванической ванне. В принципе вы уже умеете это делать; здесь вы найдете советы применительно к изготовлению значков.

Заготовки проткните у края иглой и пропустите в отверстие тонкую медную проволочку. Промойте заготовки, протрите бензином и зубным порошком, еще раз промойте и, держа за подвеску или с помощью пинцета, опустите на полминуты в разбавленный, примерно 5%-ный раствор азотной кислоты. Напоследок промойте в проточной воде и подвесьте на металлический стержень. Всю подвеску опустите в стакан с двумя медными пластинками-анодами (значки будут катодами). Листочки фольги должны быть расположены на разных уровнях, чтобы они не закрывали друг друга. В стакан налейте электролит! 25 г медного купороса и 1,5 мл серной кислоты на 100 мл воды, желательно дистиллированной. Источник тока - аккумулятор; можно использовать и трансформатор с выпрямителем. Ток в цепи около 10 мА на 1 $см^2$. Толщина медного слоя должна быть 0,5-0,8 мм.

Когда меднение закончено, промойте детали. Если вы решили сделать на значке рельефное изображение или надписи, наметьте их иглой. Ту часть поверхности, которую покрывать не надо, закройте тонким слоем клея БФ, лака или парафина, опустите заготовки в электролит и опять включите ток, чтобы открытые участки покрылись слоем меди - тогда они станут выпуклыми. После этого клей или парафин снимите.

Если сумеете, выгравируйте на значке надпись или изображение, и обязательно припаяйте с обратной стороны булавку.

Наконец, придадим значку нарядный вид. Химическая окраска и никелирование вполне пригодны. Но еще лучше выглядят значки под старое серебро.

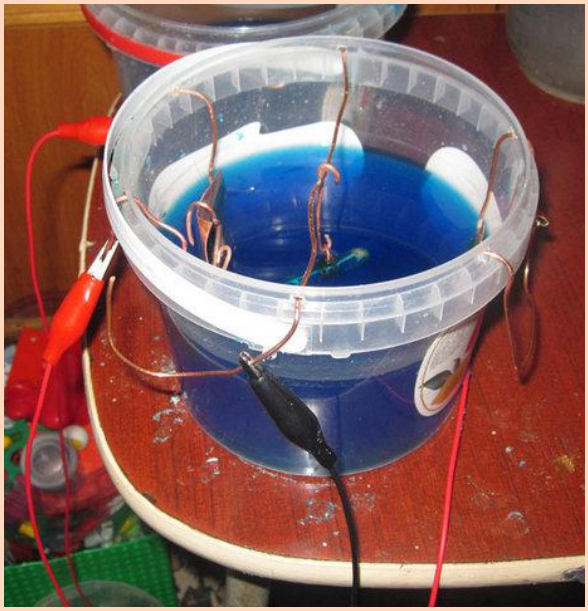
Заготовьте 2-3%-ный раствор нитрата серебра (можно растворить в воде аптечный ляписный карандаш). Небольшими порциями добавляйте соляную кислоту - три-четыре объема на один объем раствора. С выпавшего осадка хлорида серебра слейте раствор, осадок несколько раз промойте дистиллированной водой, сливая воду очень аккуратно, по стеклянной палочке, чтобы не терять хлорид серебра. К отмытому осадку добавьте небольшими порциями 30%-ный раствор иодида калия до тех пор, пока осадок не растворится полностью. Долейте воду, чтобы довести объем раствора до первоначального. У вас должно быть столько же электролита для серебрения, сколько вы приготовили его для меднения.

В этот электролит погрузите значки (они вновь будут катодами). Анодами могут служить графитовые стержни, лучше из батареек, а не из карандашей, потому что их площадь должна быть немного больше площади значков. Плотность тока небольшая, около 1 мА/см^2.

Так на значках образуется слой серебра и, конечно, оно выглядит как новое. Однако не такая уж хитрость почернить значки под старое серебро... Водный раствор сульфида калия примерно 0,5-1%-ной концентрации нагрейте до 50°С. Значки в этом растворе постепенно изменят цвет - они станут сначала серыми, потом синеватыми и, наконец, черными. Промойте значки и потрите их фетром или суконкой. Тогда выпуклые части посветлеют, остальная же поверхность останется черной, и значки будут выглядеть именно так, как изделия из старого серебра.



Гальванопластика



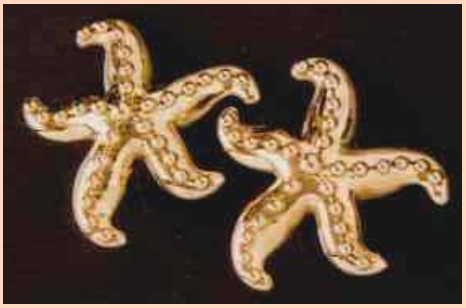


Оригинал


dekorata.ru


dekorata.ru





БЛАГОРОДНАЯ ПАТИНА

Благородную чернь на серебре вы уже научились делать экспресс-методом. Сейчас поучимся почти столь же быстро получать благородную патину.

Медные и бронзовые предметы во влажном воздухе постепенно покрываются зеленым налетом; зеленеют и темнеют старинные подсвечники и дверные ручки, каминные часы и бронзовые статуи на площадях. Образовавшийся на них налет - так называемая благородная, или античная, патина - весьма ценится любителями искусства.

Чтобы образовалась патина, необходимо длительное, в течение многих лет, воздействие воздуха, содержащего влагу и диоксид углерода (углекислый газ). В присутствии этих двух веществ образуется пленка основного карбоната меди, по составу близкая к широко известному минералу малахиту. Получить искусственно минерал нам не удастся - невозможно воспроизвести его плотную кристаллическую структуру. А вот на создание античной патины у нас уйдут не годы, а считанные минуты, ну, в крайнем случае, час-другой.

К небольшому медному предмету (а для прикидочного опыта еще лучше - к пластинке или куску медной фольги) присоедините проводок с зачищенными концами. Протрите поверхность, как вы поступали не раз, мелкой наждачной бумагой, положите предмет в горячий раствор стиральной соды, промойте водой и погрузите его в слабый раствор уксуса - это поможет избежать преждевременного окисления.

Тем временем займитесь приготовлением электролита: две чайные ложки хлорида аммония (нашатыря) на стакан воды. Не касаясь медного предмета руками, выньте его пинцетом (или за проводок) из уксусного раствора, промойте под краном и опустите в раствор нашатыря. Подключите проводок к положительному полюсу батарейки, а

отрицательный ее полюс соедините с медным электродом - с любой медной пластинкой, которую можно не очищать столь тщательно. Вскоре катод, т.е. предмет, на который мы наносим патину, покроется красным матовым слоем. Но позвольте, мы рассчитывали на зеленый!

Не будем, однако, спешить. Минут через десять выньте предмет, не дотрагиваясь до него руками, и положите так, чтобы с него стекала вода, но поверхность при этом не поцарапалась; можно подвесить его за проводок. Пройдет какой-нибудь час, и красный слой станет зеленым. Это красная патина на меди превратилась в зеленую, схожую с малахитом.

Еще большего эффекта можно достичь, если взять в качестве электролита раствор аммиака концентрацией около 25%, но в этом случае надо работать под тягой или на свежем воздухе, так как у концентрированного раствора аммиака очень резкий запах. Подвесьте предмет так, чтобы часть его оказалась над электролитом. Тогда та часть, которая находится в растворе, останется красной, а та, что на воздухе, покроется за час с небольшим зелено-синей пленкой, очень похожей на настоящую благородную патину.

Не нужно спешить, ставя этот опыт, и увеличивать ток: чем медленнее идет процесс, тем прочнее слой основного карбоната меди. Но все равно, часы - это не годы, и по прочности нашей пленке далеко до естественной патины (хотя она и не менее красива). Чтобы сохранить ее, покройте зеленое покрытие каким-нибудь бесцветным лаком.



Бронзовая монета (I век до н. э.) с патиной

СТЕКЛО И ЭМАЛЬ

Значки, броши, различные украшения и многие предметы обихода покрывают эмалью - стеклом, нанесенным на металл. Вот и мы попробуем приготовить стекло. Для этих опытов необходима специальная печь. Уже по этой причине изготовлением стекла нельзя заниматься дома. Но, кроме того, нужны и навыки в работе с горячими расплавами, так что опыты, безусловно, надо проводить в присутствии старших.

На заводах и в химических лабораториях стекла получают из шихты - тщательно перемешанной сухой смеси порошкообразных солей, оксидов и других соединений. При нагревании в печах до очень высокой температуры, нередко выше 1500°С, соли разлагаются до оксидов, которые, взаимодействуя между собой, образуют силикаты, бораты, фосфаты и другие устойчивые при высоких температурах соединения. Вместе они и составляют стекло.

Мы будем готовить так называемые легкоплавкие стекла, для которых достаточно лабораторной электрической печи с температурой нагрева до 1000°С. Еще понадобятся тигли, тигельные щипцы (чтобы не обжечься) и небольшая ровная плита, стальная или чугунная. Сначала мы сварим стекло, а потом найдем ему применение.

Перемешайте шпателем на листе бумаги 10 г тетрабората натрия (буры), 20 г оксида свинца и 1,5 г оксида кобальта, просеянных через сито. Это и есть наша шихта. Пересыпьте ее в небольшой тигель и уплотните шпателем так, чтобы получился конус с вершиной в центре тигля. Уплотненная шихта должна занять в тигле не более трех четвертей объема, тогда стекло не будет проливаться. Щипцами поставьте тигель в электропечь (тигельную или муфельную), нагретую до 800-900°С, и подождите, пока шихта не сплавится. Об этом судят по выделению пузырьков: как только оно прекратилось, стекло готово. Достаньте тигель щипцами из печи и сразу же вылейте расплавленное стекло на стальную или чугунную плиту с чистой поверхностью. Остывая на плите, стекло образует слиток сине-фиолетового цвета.

Чтобы получить стекла других цветов, замените оксид кобальта другими окрашивающими оксидами. Оксид железа (III) (1-1,5 г) окрасит стекло в коричневый, оксид меди(II) (0,5-1 г) - в зеленый, смесь 0,3 г оксида меди с 1 г оксида кобальта и 1 г оксида железа (III) - в черный цвет. Если же взять только борную кислоту и оксид свинца, то стекло останется бесцветным и прозрачным. Поэкспериментируйте сами с другими оксидами, например,

хрома, марганца, никеля, олова.

Стекло измельчите пестиком в фарфоровой ступке, Чтобы не пораниться осколками, обязательно обмотайте руку полотенцем, а ступку с пестиком прикройте чистой тряпкой.

Ссыпьте мелкий стеклянный порошок на толстое стекло, добавьте немного воды и разотрите до сметанообразного состояния курантом - стеклянным или фарфоровым диском с ручкой. Вместо куранта можно взять маленькую плоскодонную ступку или полированный кусок гранита - так поступали старые мастера, когда растирали краски. Полученную массу называют шликером. Его мы будем наносить на поверхность алюминия примерно так же, как это делают, изготовляя украшения.

Очистите поверхность алюминия наждачной бумагой и обезжирьте кипячением в содовом растворе. На чистой поверхности прочертите скальпелем или иглой контур рисунка. Поверхность с помощью обычной кисточки покройте шликером, просушите над пламенем, а потом нагревайте в том же пламени до тех пор, пока стекло не наплавится на металл. У вас получится эмаль. Если значок невелик, его можно покрывать слоем стекла и нагревать в пламени целиком. Если же изделие более крупное (скажем, табличка с надписью), то надо разбить его на участки и наносить стекло на них поочередно. Чтобы цвет эмали был более интенсивным, нанесите стекло повторно. Таким способом можно получать не только украшения, но и надежные эмалевые покрытия для защиты алюминиевых деталей во всевозможных приборах и моделях. Так как в этом случае эмаль несет дополнительную нагрузку, металлическую поверхность после обезжиривания и промывки желательно покрыть плотной оксидной пленкой; для этого достаточно подержать деталь 5-10 мин в печи с температурой чуть ниже 600°С.

Разумеется, на большую деталь шликер удобнее наносить не кисточкой, а из пульверизатора или просто поливом (но слой должен быть тонким). Подсушите деталь в сушильном шкафу при 50-60°С, а затем перенесите в электропечь, нагретую до 700-800°С.

А еще из легкоплавких стекол можно приготовить окрашенные пластинки для мозаичных работ. Куски битой фарфоровой посуды (их вам всегда дадут в посудном магазине) облейте тонким слоем шликера, просушите при комнатной температуре или в сушильном шкафу и наплавьте стекло на пластинки, выдерживая их в электропечи при температуре не ниже 700°С.

Освоив работу со стеклом, вы можете помочь своим коллегам из биологического кружка: там нередко изготовляют чучела животных, а для чучел нужны разноцветные глаза...

В стальной плите толщиной около 1,5 см высверлите несколько углублений разных размеров с коническим или сферическим дном. Тем же способом, что и прежде, сплавьте разноцветные стекла. Гаммы, пожалуй, хватит, а чтобы изменить интенсивность, чуть увеличьте или уменьшите содержание окрашивающей добавки.

Небольшую каплю яркого расплавленного стекла поместите в углубление стальной плиты, затем налейте стекло цвета радужной оболочки. Капля войдет в основную массу, но не смешается с ней. Так будут воспроизведены и зрачок, и радужная оболочка. Охлаждайте изделия медленно, не допуская резких перепадов температур. Для этого затвердевшие, но еще горячие "глаза" достаньте из формы подогретым пинцетом, положите в рыхлый асбест и уже в нем охладите до комнатной температуры.

Конечно, легкоплавким стеклам можно найти и другие применения. Но не лучше ли будет, если вы поищете их сами?

И в завершение опытов со стеклом, пользуясь все той же электропечью, попытаемся превратить обыкновенное стекло в цветное. Естественный вопрос: нельзя ли таким способом сделать солнечные очки? Можно, но вряд ли это удастся вам с первого раза, потому что процесс капризен и требует некоторых навыков. Поэтому беритесь за очки только после того, как потренируетесь на кусочках стекла и убедитесь, что результат соответствует ожиданиям.

Основой краски для стекла будет канифоль. Из резинатов, солей кислот, входящих в состав канифоли, вы ранее готовили сиккативы для масляных красок. Вновь обратимся к резинатам, потому что они способны образовывать на стекле тонкую ровную пленку и служить носителями красящего вещества.

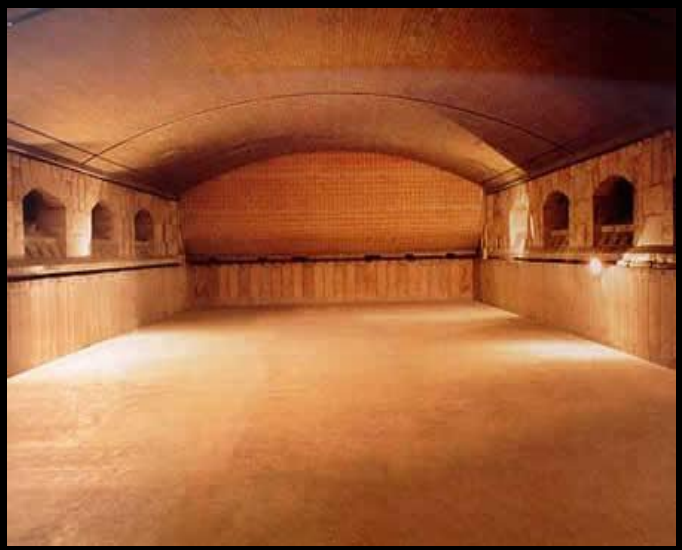
В растворе едкого натра концентрацией около 20% растворяйте при помешивании и помня, конечно, об осторожности, кусочки канифоли до тех пор, пока жидкость не станет темно-желтой. Отфильтровав, добавьте немного раствора хлорида железа $FeCl_3$ или другой соли трехвалентного железа. Имейте в виду, что концентрация раствора должна быть небольшой, соль нельзя брать в избытке - осадок гидроксида железа, который в

этом случае образуется, нам помешает. Если же концентрация соли невелика, то образуется красный осадок резината железа - он-то нам и нужен.

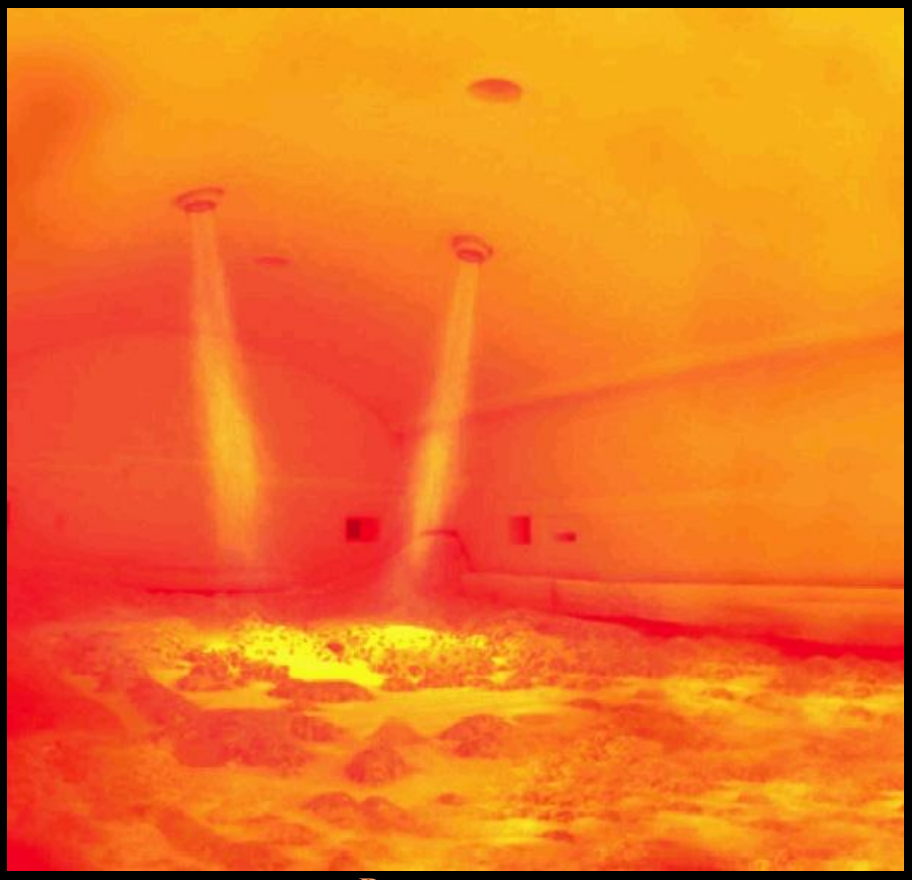
Отфильтруйте красный осадок и высушите его на воздухе, а затем растворите до насыщения в чистом бензине (не автомобильном, а бензине-растворителе) еще лучше было бы взять гексан или петролейный эфир. Кисточкой или пульверизатором окрасьте поверхность стекла тонким слоем, дайте подсохнуть и положите на 5-10 мин в печь, нагретую примерно до 600°С. Но канифоль относится к органическим веществам, а им такую температуру не выдержать! Правильно, но именно это и нужно - пусть органическая основа выгорит. Тогда на стекле останется тончайшая пленка оксида железа, хорошо сцепленная с поверхностью. И хотя оксид в общем-то непрозрачен, в столь тонком слое он пропускает часть световых лучей, т.е. может служить светофильтром.

Возможно, светозащитный слой покажется вам слишком темным или, напротив, излишне светлым. В таком случае поварьируйте условия опыта - чуть увеличьте или уменьшите концентрацию раствора канифоли, измените время и температуру обжига. Если же вас не устраивает цвет, в который скрашено стекло, замените хлорид железа хлоридом другого металла, но непременно такого, оксид которого ярко окрашен, например хлоридом меди или кобальта.

А когда технология тщательно отработана на кусочках стекла, можно без особого риска совершить превращение обычных очков в солнечные. Не забудьте только вынуть стекла из оправы - пластмассовая оправа не выдержит нагревания в печи точно так же, как канифольная основа...



Печь варки стекла



Варка стекла



Производство стеклянной тары

САМОДЕЛЬНЫЙ ПЛАСТИЛИН

Конечно, пластилин можно купить в магазине. Ну и что из этого? Радиоприемник тоже купить можно, однако сколько людей корпят над радиосхемами!

Для самодельного пластилина единственным дефицитным сырьем окажется, видимо, олеиновая кислота $C_{17}H_{33}COOH$. Впрочем, она есть, наверное, в школьной лаборатории (и вообще это очень распространенная кислота, входящая в состав почти всех жиров). Из нее мы получим цинковую соль - олеат цинка. К 35 частям (по массе) нагретой олеиновой кислоты прибавьте небольшими порциями 5 частей сухих цинковых белил (можно взять самодельный пигмент). Каждую новую порцию белил вносите лишь после того, как исчезнет пена от прибавления предыдущей. Если цинковых белил у вас не оказалось, можно заменить их обычным мелом - тогда у вас получится олеат кальция. Правда, качество пластилина будет несколько хуже.

К полученному сиропообразному олеату прибавьте при постоянном перемешивании 18 частей смеси равных количеств масла и воска. Чтобы ее приготовить, расплавьте воск и добавьте к нему, энергично перемешивая, жидкое масло, например вазелиновое. Еще раз подчеркиваем - все компоненты надо тщательно перемешивать, от этого во многом зависит качество готового пластилина. Что касается воска, то лучше бы взять природный, пчелиный, но в крайнем случае его можно заменить стеарином (только не парафином). Стеарин же можно без труда приготовить из хозяйственного мыла, как было описано в разделе "Первые опыты".

Когда смесь олеата, масла и воска (или стеарина) будет готова, добавьте к ней 23 части серы, измельченной в тонкую пудру (можно взять аптечный препарат), 15 частей сухой мелкой глины, просеянной через сито, и еще 4 части какой-либо минеральной краски. Можно, например, взять мумию (оксид железа Fe_2O_3) - вы уже умеете готовить это вещество (не забудьте об интенсивном и постоянном перемешивании). Еще раз тщательно размешайте готовую смесь и раскатайте скалкой на листе фанеры или жести. Пластилин готов.

Вот только какая неприятность: у олеата цинка запах не из лучших. Но его можно заглушить отдушкой. Смешивая исходные продукты, добавьте немного (несколько капель) приятно пахнущего вещества, например розового или лавандового масла, или хотя бы одеколона.



Пластилин

ПОСЕРЕБРИМ ЗЕРКАЛО!

Возможно ли это? Зеркала серебрят на специальных фабриках, в зеркальных мастерских. Ремесло это древнее, с традициями и профессиональными секретами - нелегко изготовить хорошее зеркало. И все же - попробуем!

Конечно, зеркальную поверхность можно приготовить без труда - реакцию "серебряного зеркала" ставят в школе на уроках. Но хорошего зеркала не получится, поблестит немного - и все. Нет, тут речь пойдет о настоящем зеркале. И оно у вас непременно получится, если вы будете работать аккуратно и не пренебрегать мелочами. Важное предупреждение: работайте только с дистиллированной водой. Порошок "крокус" - специально приготовленный оксид железа (III) - просейте через мелкое сито и полученную пыль разведите дистиллированной водой. Если у вас нет "крокуса", можно взять какую-либо готовую полировальную жидкость, они продаются в хозяйственных магазинах. Ровное стекло, которое вы собираетесь сделать зеркальным, положите на стол. Проверьте уровнем, горизонтальна ли поверхность стола, и если нет, подложите под ножки сложенные листки бумаги, чтобы выровнять поверхность. Не берите большое стекло, начинать лучше с малого. Чтобы случайно не раздавить его, положите на стол, например, старое одеяло.

Налейте полировальную жидкость на стекло и тщательно протирайте его круговыми

движениями с помощью войлока, фетра (можно взять старую шляпу) либо куска мягкой кожи. Потрите стекло марлей, смоченной взвесью тонко размолотой и просеянной пемзы в воде, еще раз промойте дистиллированной водой, протрите влажной губкой, а затем марлевым тампоном, смоченным в 0,15%-ном растворе хлорида олова (IV), опять промойте и протрите отжатым тампоном. Подготовка стекла закончена. Это очень важная процедура. От того, насколько тщательно вы ее выполнили, зависит качество будущего зеркала.

Обработанную поверхность надо сразу же серебрить. Если вы почему-либо не успели приготовить раствор для серебрения, то опустите стекло в теплую дистиллированную воду и не вынимайте из нее, пока все не будет готово. Кстати, такая операция полезна во всех случаях: хорошо, если стекло градусов на 8-10 теплее, чем раствор для серебрения.

Этот раствор необходимо готовить только в резиновых перчатках. Его получают, смешивая два раствора, каждый из которых готовят отдельно. Мы укажем количества веществ на литр раствора, а вы прикиньте сами, сколько раствора вам требуется.

Первый раствор: 4 г нитрата серебра, 10 мл 25%-ного раствора аммиака, 4 г едкого натра. Порядок приготовления раствора не совсем обычен. Весь нитрат серебра растворите в 300 мл воды, 9/10 раствора отлейте в чистый стакан и добавьте по каплям раствор аммиака, все время перемешивая жидкость стеклянной палочкой. Мутная жидкость будет становиться все более прозрачной, и, наконец, окраска исчезнет. Прибавьте немного раствора нитрата серебра - раствор вновь станет мутным. Добавьте раствор едкого натра, тогда раствор примет светло-коричневый оттенок. Вновь по каплям прибавляйте раствор аммиака, и раствор опять посветлеет, теперь он кажется слегка синеватым. Влейте оставшийся раствор нитрата серебра и аммиак, как следует размешайте и долейте дистиллированную воду до литра.

Если придется хранить этот раствор, то перелейте его в бутылку или склянку с хорошо подогнанной пробкой. В открытой посуде раствор хранить нельзя! Второй раствор: на литр раствора - 100 г сахара-рафинада и 10 мл разбавленной (примерно 10%-ной) серной или азотной кислоты. Сахар заранее растворите в дистиллированной воде, добавьте кислоту, покипятите четверть часа и долейте воду до расчетного объема.

Смешайте оба раствора: на один миллилитр второго раствора (с сахаром) возьмите примерно 100 мл первого раствора (с нитратом серебра). Точное соотношение придется

подобрать на опыте. Если будет избыток сахарного раствора, то при серебрении начнут выпадать хлопья; если же, напротив, этот раствор в недостатке, то серебрение пойдет слишком медленно. Полученную смесь быстро и тщательно размешайте; сначала она станет оранжево-красной, а затем почернеет. Это сигнал: пора приступать к серебрению. Не упустите момент!

Сразу вылейте смесь на стекло. Она растечется по всей поверхности, и стекло станет темным, но потом быстро начнет светлеть, на нем образуется слой металлического серебра, которое восстанавливается из нитрата. Через 5-10 мин осторожно сгоните смесь со стекла с помощью марли (а еще лучше - кусочка замши), смоченной в дистиллированной воде, вновь налейте смесь и подержите ее еще четверть часа. Уже посеребренную поверхность промойте дистиллированной водой. Если на стекле окажутся темные пятна, их надо протереть тампоном со смесью пемзы, затем раствором хлорида олова (IV), снова налить на эти места смесь и промыть водой.

Чтобы проверить, достаточно ли осадилось серебра на стекле, посмотрите сквозь зеркало на лампу мощностью 60 Вт - она должна быть едва видна сквозь посеребренное стекло.

Серебряный слой еще недостаточно прочно держится на стекле. Чтобы укрепить его, поставьте зеркало в вертикальном положении на час-другой нагреваться при температуре 100-150°С. Воспользуйтесь сушильным шкафом, в крайнем случае - несильно нагретой духовкой. Когда зеркало остынет, покройте серебряную пленку водостойким прозрачным лаком из пульверизатора (кисть может ее повредить). После высыхания нанесите поверх лака толстый слой непрозрачной краски или черного битумного лака. Водите кистью или направляйте струю из пульверизатора только в одном направлении: либо сверху вниз, либо слева направо.

Зеркало почти готово. Осталось лишь привести в порядок его лицевую, непосеребренную сторону. На ней могут оказаться затеки серебра; удалите их тампоном, смоченным слабым раствором соляной кислоты. Если вы запачкали руки, то удалите пятна слегка подогретым раствором гипосульфита и хорошенько вымойте руки теплой водой.

Много ли серебра пошло на изготовление зеркала? И сколько серебра в настоящем зеркале? Вопросы вроде бы нехитрые, но ответить на них не так-то легко. Пленка серебра настолько тонка, что даже будь у вас микрометр, ее не измерить...

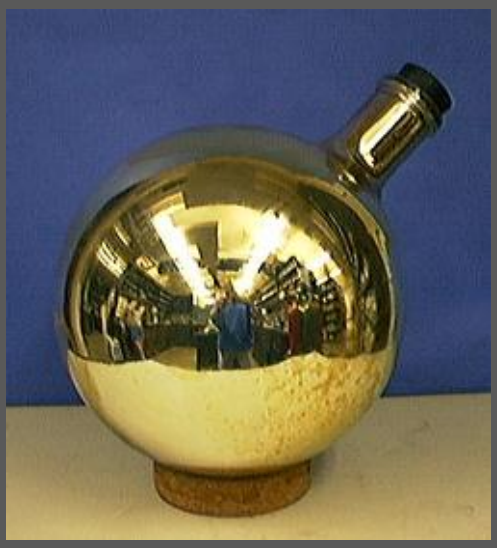
Чтобы не портить хорошее зеркало, возьмите какой-нибудь осколок, удалите слой лака и краски ватой, смоченной ацетоном, и положите на посеребренную поверхность небольшой кристаллик йода. Уже при комнатной температуре йод довольно быстро испаряется, его пары растекаются по стеклу, потому что они намного тяжелее воздуха. Чтобы их не разогнал случайный сквозняк, накройте кристаллик перевернутым стаканом.

При взаимодействии йода с серебром образуется иодид серебра, и возле кристаллика медленно расплывается прозрачное пятно: иодид в тонком слое прозрачен. А у краев прозрачного пятна серебряная пленка не исчезает, но становится тоньше. И в результате на зеркале появляются окрашенные кольца, которые видно особенно хорошо в отраженном свете.

Кольца кажутся цветными по той же причине, по которой нам кажутся радужными мыльные пузыри и масляные пятна на воде. Явление это называется интерференцией света в тонких пленках, его изучают в курсе физики. Для нас самое важное вот что: чем больше колец, тем толще серебряная пленка. Если их два, то толщина пленки около 0,03 мкм, три кольца соответствуют 0,06 мкм, четыре - 0,09, пять - 0,12, шесть - 0,15, семь - 0,21 мкм.

Зная толщину серебряного слоя, легко подсчитать и количество серебра: надо лишь умножить толщину на площадь зеркала и полученный объем еще раз умножить на плотность серебра (10,5 г/см^3).

Вот ориентир для проверки расчета: зеркало площадью около квадратного метра содержит чуть больше грамма серебра.



Реакция серебряного зеркала



< Смотреть видео >

Опыты без взрывов

Олег Ольгин

ГЛАВА 5

ЛОВКОСТЬ РУК



Нас окружает множество вещей и веществ, которые кажутся обыденными и ничем не примечательными. Однако очень часто они обладают удивительными свойствами - надо только суметь их заметить. Скажем, алюминиевой ложкой можно выпрямлять переменный ток, спичкой - зажечь электрическую лампочку, сахаром-рафинадом - высечь искры, а марганцовкой из аптеки - начистить до блеска кастрюлю. Но для этого надо, во-первых, знать свойства веществ и, во-вторых, уметь этими свойствами пользоваться, иными словами, необходима ловкость рук, приобретаемая с опытом. И, как в старые времена говорили фокусники - никакого мошенничества!

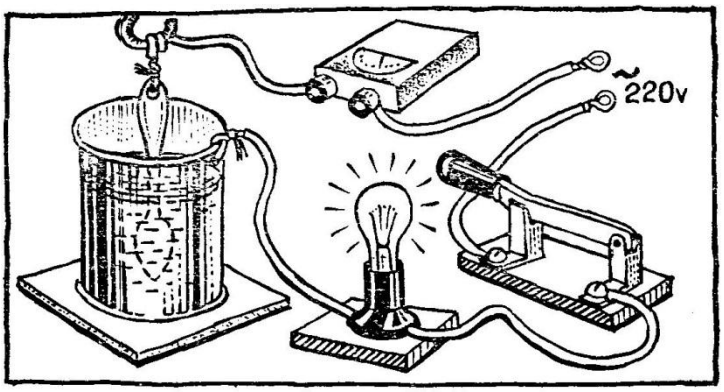
Итак, займемся фокусами - серьезными химическими фокусами. Иногда - для забавы, но чаще - для демонстрации необычных явлений и изготовления необычных вещей.

ЛОЖКА-ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Для этого опыта годится любая алюминиевая ложка - чайная или столовая. Ее надо тщательно вымыть и обезжирить; как это сделать, вы знаете из опытов с анодированием алюминия. Ложка будет первой деталью будущего выпрямителя тока, а второй нам пока послужит пустая консервная банка, высотой примерно с ложку, во всяком случае, не намного ниже.

Жестяную банку вымойте с мылом или стиральным порошком, ополосните и заполните раствором для анодирования алюминия: на 100 мл воды - 20 мл серной кислоты (осторожно!). Кислоту можно заменить, карбонатом аммония $(NH_4)_2CO_3$ (10 г) или в крайнем случае пищевой содой, растворив ее в воде до насыщения. Вода должна быть дистиллированная, годится и чистая дождевая.

Прежде чем опускать ложку в банку, прикиньте, до какого места ложки будет доходить раствор. На границе раствор - воздух алюминий будет интенсивно растворяться, и ложка скоро развалится на две части. Чтобы этого не произошло, участок вблизи границы покройте слоем лака или водостойкого клея.



Теперь подвесьте ложку в банке так, чтобы она не касалась стенок; устройство подвески вы, наверное, без труда придумаете сами. Под банку положите кафельную плитку или любую другую не проводящую электричество подставку. На этот раз мы будем пользоваться не батарейками или аккумулятором, а переменным током от сети, и, естественно, надо полностью себя обезопасить. По той же причине самым тщательным образом изолируйте все оголенные концы проводов, а во время опыта не прикасайтесь ни к ложке, ни к банке. Лучше всего, если перед включением тока вы накроете их перевернутым фанерным ящиком или пластмассовым ведерком.

Электрическая схема проста: включите в цепь последовательно лампу мощностью около 40-60 Вт, переключатель, ложку и банку; если есть амперметр, можно подсоединить и его. Когда схема собрана и надежность изоляции проверена, включайте ток.

Сначала, как вы и догадываетесь, лампа загорится, потому что раствор в банке электропроводен. Но примерно через полчаса она станет светить заметно слабее, а потом и вовсе погаснет. Ложка стала выпрямителем. Она пропускает ток только в одном направлении - от банки к ложке.

В этом было бы легко убедиться, будь у вас осциллограф: на его экране в начале опыта светилась бы синусоида, а в конце нижняя ее ветвь исчезла бы: в цепи течет так называемый импульсный ток. Осциллограф помог бы сразу установить, где положительный полюс выпрямителя, а где отрицательный (это очень важно, если вы собираетесь ставить с самодельным выпрямителем электрохимические опыты). Но можно обойтись и без приборов: полярность выпрямителя легко установить, пользуясь полоской фильтровальной бумаги, смоченной слабым раствором поваренной соли с добавкой индикатора фенолфталеина.

Отключите ток, прижмите листок к ложке и к банке и закрепите его, например, пластмассовыми бельевыми прищепками. Включите ток, и несколько минут спустя фильтровальная бумага покраснеет у одного из полюсов. Этот полюс - отрицательный. При электролизе воды (соль нужна только затем, чтобы увеличить электропроводность) на отрицательном электроде (катоде) выделяется водород, а ионы OH^- остаются в избытке. Эти ионы и обусловливают щелочные свойства, поэтому индикаторная бумага краснеет.

Такое же испытание влажной индикаторной бумагой с солью и фенолфталеином можно провести и в том случае, если вы перепутали полюса аккумулятора или батарейки. Так как здесь напряжение невелико, полоску бумаги можно просто прижать руками к обоим полюсам источника тока.

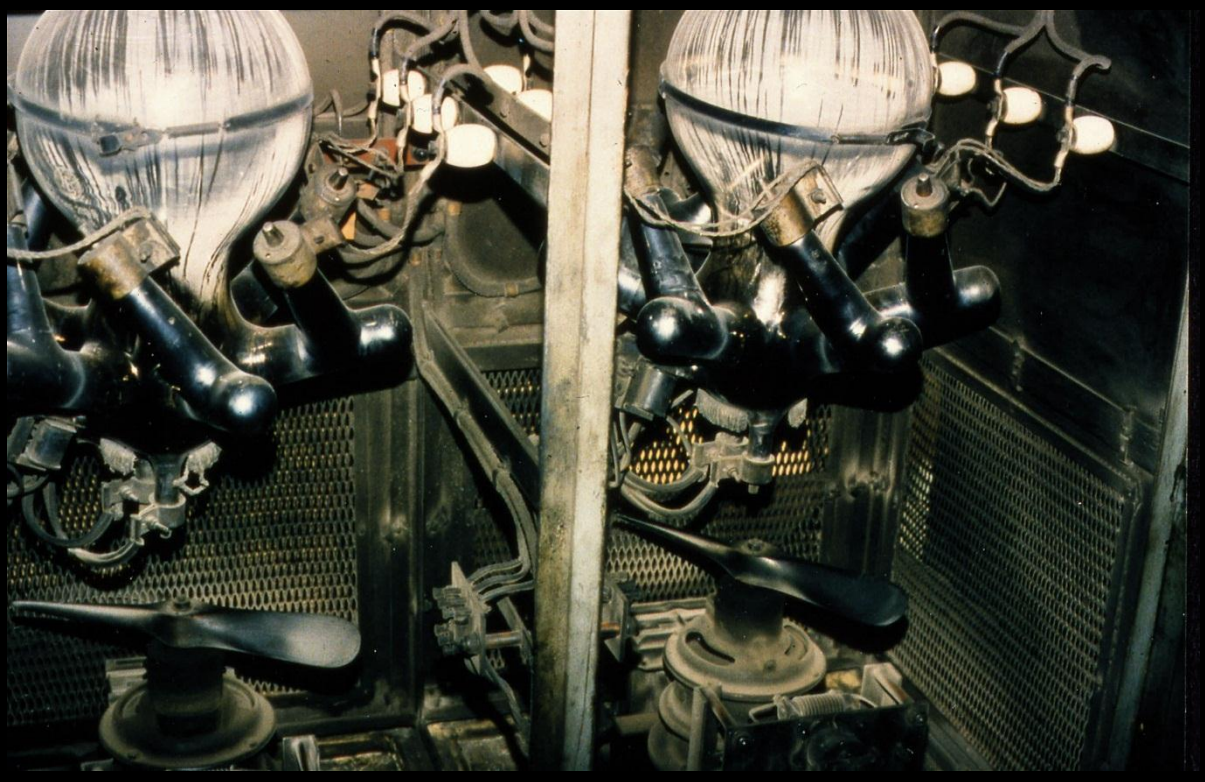
Но отчего алюминиевая ложка стала выпрямителем? После включения тока на ней, как и при анодировании алюминия, растет пленка оксида алюминия. А эта пленка - полупроводник: пропускает ток только в одном направлении. Это ее свойство нередко используют в технике.

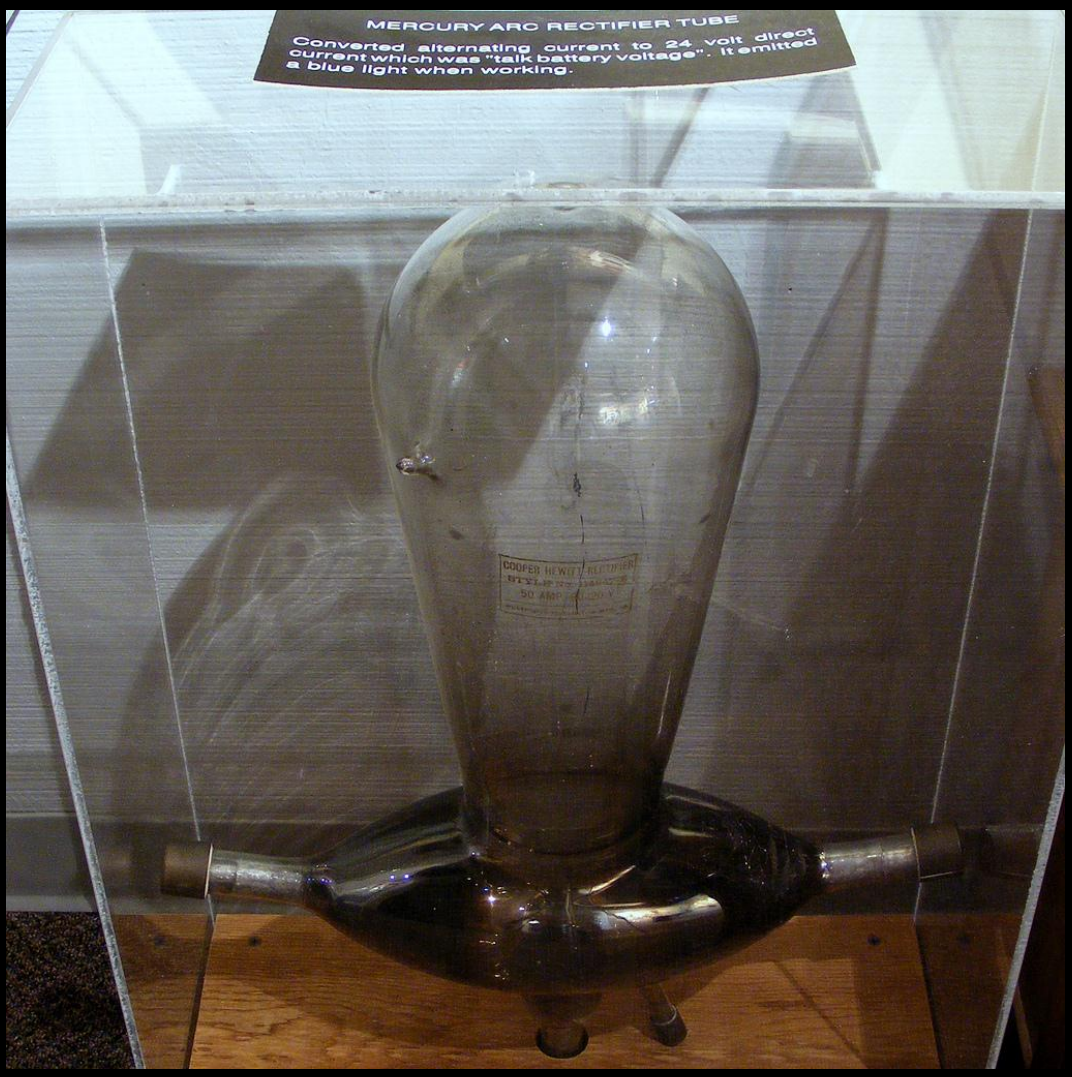
С помощью самодельного выпрямителя можно ставить некоторые электрохимические опыты, которые описаны в этой книге. Но в соответствии с условиями опыта включайте выпрямитель через понижающий трансформатор. Напряжение ни в коем случае не должно превышать 40 В. А ток, который можно снимать с алюминиевой ложки, может достигать нескольких десятков ампер.

Но обязательно ли брать для выпрямителя ложку и консервную банку? Разумеется, нет. Вместо ложки можно взять алюминиевый электрод любой формы, вместо банки - железный, свинцовый или графитовый электрод и погрузить их в стеклянный сосуд, в который налит раствор электролита. Более того, так мы и советуем вам поступить, если вы решите использовать самодельный выпрямитель на практике. Но если вы собираетесь продемонстрировать, как оксид алюминия выпрямляет переменный ток, то ложка с банкой выглядят гораздо эффектнее...



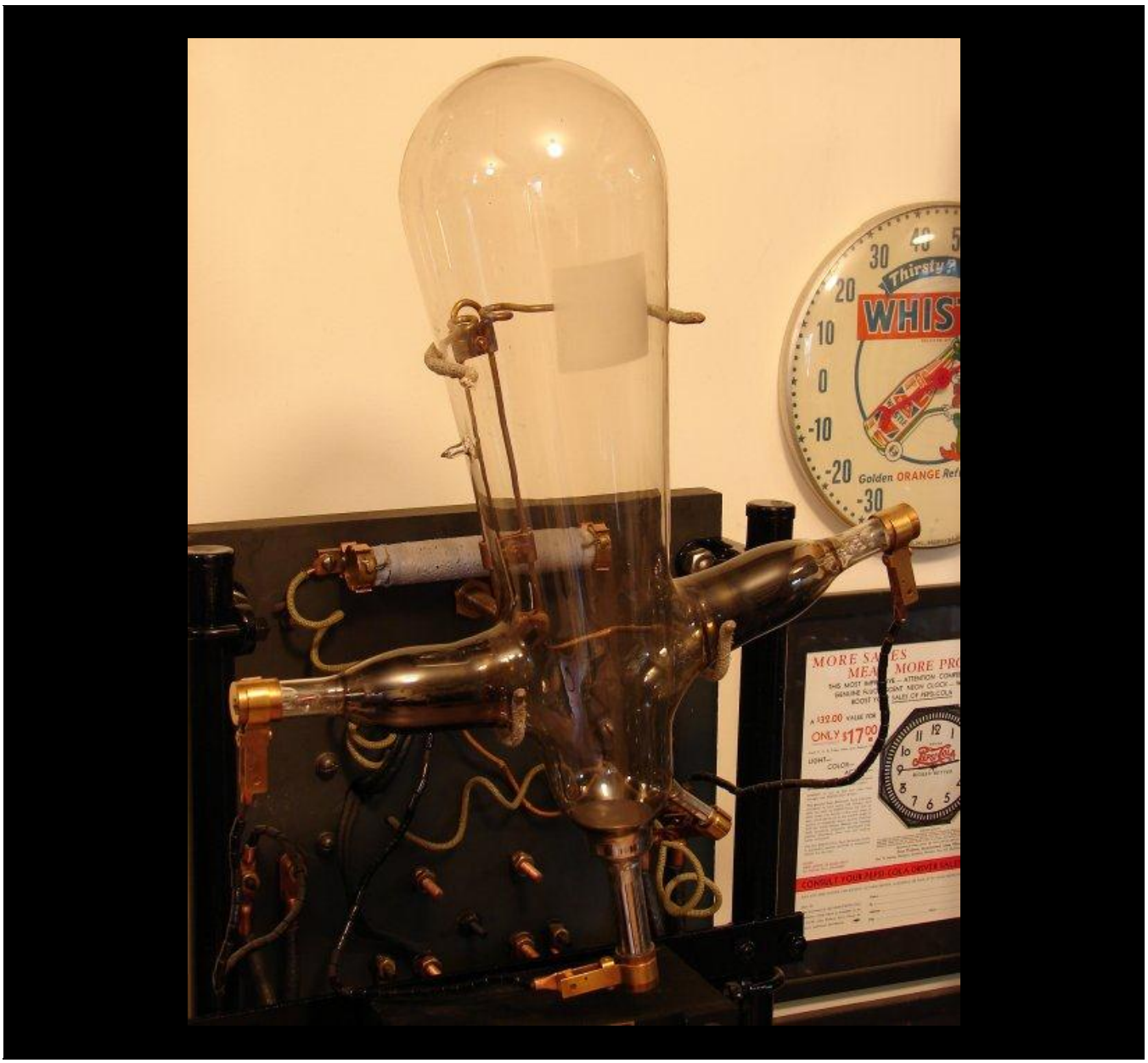
Ртутный выпрямитель (он же - игнитрон от лат. ignis - огонь и электрон). Применяется в мощных выпрямительных устройствах



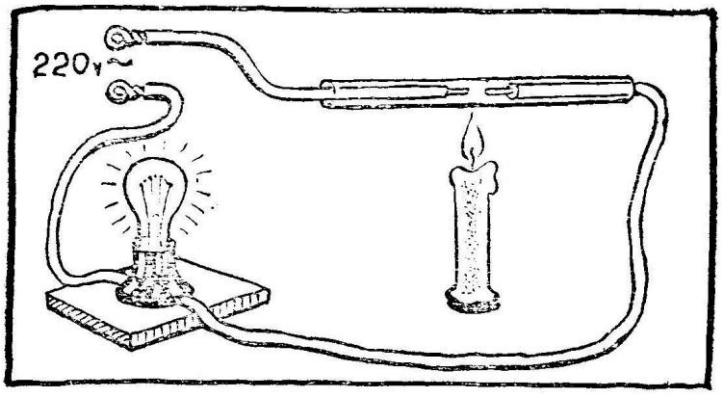

MERCURY ARC RECTIFIER TUBE
Converted alternating current to 24 volt direct current which was "talk battery voltage". It emitted a blue light when working.




MERCURY ARC RECTIFIER
NO. C-259856
CAT. 195584
TYPE MS
FORM
CYCLES 60
VOLTS D.C. 76
VOLTS A.C. 220
AMP. D.C. 30
LICENSED ONLY TO BE USED WITH RECTIFIER TUBES
MANUFACTURED BY THE GENERAL ELECTRIC COMPANY
NOT LICENSED TO BE USED TO DELIVER MORE THAN 10% IN EXCESS
OF THE RATED VOLTAGE MARKED ON THE NAME PLATE OR ON A
SUPPLY FREQUENCY MATERIALLY LOWER THAN THAT INDICATED
LICENSED UNDER COOPER-HEWITT PATENTS
PATENTED DEC.18,1906 AUG.26,1913 JULY 7,1914 APR.6,1915
GENERAL ELECTRIC CO.
SCHENECTADY, N.Y., U.S.A.
5/4770
ELECTRIC CONSTRUCTION
MADE IN
WOLVERHAMPTON
ENGLAND
COMPANY LTD.



ЗАЖГИТЕ ЛАМПУ СПИЧКОЙ!



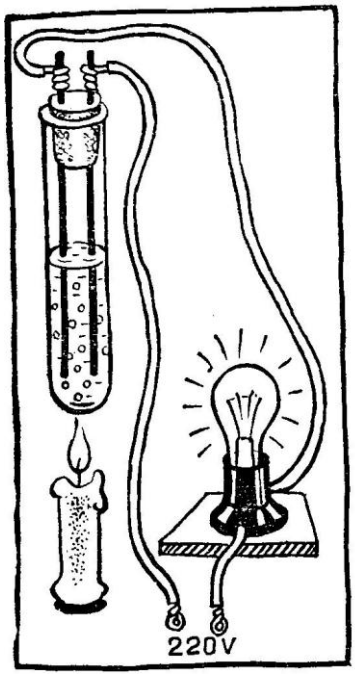
Для этого опыта удобнее взять настольную лампу. Один из ее проводов отсоедините от вилки и удлините, не забывая о хорошей изоляции.

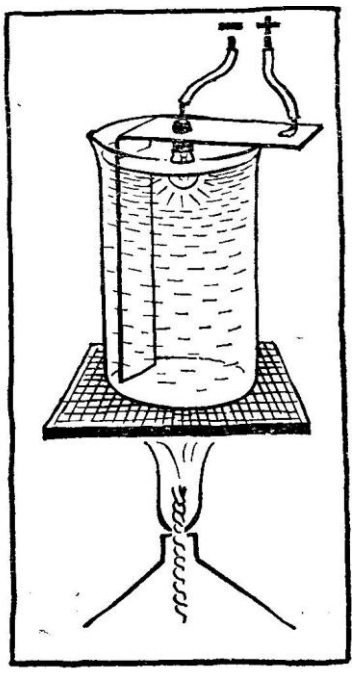
Возьмите небольшую узкую стеклянную трубку с тонкими стенками (проще всего воспользоваться стеклянными рейсфедерами с оттянутыми концами). Вставьте в трубку с двух концов электроды - проводки диаметром около 1 мм; закрепите их в трубке изоляционной лентой. Электроды не должны соприкасаться, расстояние между ними 1-2 мм.

Удлиненный провод от лампы присоедините к одному из электродов, а другой электрод соедините проводом со свободным гнездом вилки и изолируйте. У вас получится цепь, разомкнутая в одном участке - между электродами. Закрепите стеклянную трубку в горизонтальном положении. Это совсем просто сделать, если провода жесткие, с пластмассовой изоляцией: зажмите провод, и трубка будет на нем держаться. Подготовка к опыту закончена, можно включать вилку в сеть. Лампа, конечно, гореть не будет.

Поднесите к трубке, в которую вставлены электроды, зажженную спичку. Если трубка из не тугоплавкого стекла, то стекло размягчится и трубка при этом чуть-чуть провиснет. И тут же загорится лампа, несмотря на то, что цепь по-прежнему остается разомкнутой. Дело в том, что соли, входящие в состав стекла, при нагревании ионизируются, и стекло становится проводником.

Если опыт не получается из-за того, что трубка широка, то вместо спички возьмите свечку или спиртовку. Зажечь лампу свечкой - тоже эффектный опыт.





А еще можно ее зажечь с помощью расплавленной селитры. Закрепите вертикально пробирку, на дно которой насыпано немного калиевой или натриевой селитры (нитрата калия или натрия), и опустите в нее две медные проволочки. Чтобы медные электроды не соприкасались, пропустите их сквозь пробку. Подсоедините к электродам лампу так же, как в предыдущем опыте. Когда вы включите ток, лампа, естественно, не загорится: твердая селитра ток не проводит.

Нагрейте селитру до плавления с помощью таблеток сухого горючего - лампа вспыхнет. Ионы, составлявшие кристаллическую решетку соли, приобретают подвижность, и цепь замыкается. Лампа будет гореть и после того, как вы уберете пламя: у расплава селитры высокое электрическое сопротивление, и то тепло, которое выделяется при прохождении тока, поддерживает селитру в расплавленном состоянии.

Подобным образом можно поставить опыт не с расплавом, а с раствором, например, поваренной соли. Электроды в этом случае лучше взять графитовые. Погрузите их сначала просто в банку с водой, а потом небольшими порциями добавляйте соль, и лампа будет разгораться все ярче.

Между прочим, таким способом удобно проверять электропроводность растворов. Проверьте, например, как проводят ток растворы соды, сахара и уксусной кислоты разной концентрации.

И еще один, не вполне обычный опыт с электрической лампочкой, но не с большой, а от карманного фонаря. Укрепите ее в полоске жести, согнутой под прямым углом, и вставьте полоску в небольшой химический стакан так, чтобы стеклянный баллон лампочки оказался внутри стакана и был обращен к его дну. Подключите лампочку к батарейке: выступ на цоколе, самый крайний его участок соедините с отрицательным полюсом, а полоску жести - с положительным. Обратите внимание: припаивать проводники нельзя, потому что во время опыта припой может расплавиться. Надо придумать механический контакт или же использовать патрон от старого карманного фонаря.

До начала опыта выньте лампу из стакана и насыпьте в него нитрат натрия (нитрат калия в этом случае не годится; почему - станет ясно позже). Поставьте стакан на асбестовую сетку или металлическую пластинку и нагрейте его на пламени газовой горелки или спиртовки; сухой спирт не очень удобен, так как трудно регулировать температуру расплава. Селитра плавится при 309°С, а при 390°С уже разлагается; вот в таком интервале и придется поддерживать температуру. Для этого изменяйте либо размер пламени, либо расстояние до стакана. Следите, чтобы расплав не застывал, даже с поверхности.

В расплавленную селитру осторожно опустите лампочку. Большая часть стеклянного баллона должна быть погружена в расплав, но следите за тем, чтобы верхняя часть цоколя, к которой припаян проводник, не соприкоснулась с селитрой - произойдет короткое замыкание. Зажженную лампочку подержите в селитре около часа, потом отключите ток, погасите горелку и аккуратно доставьте лампочку. Когда она остынет, промойте ее водой, и вы увидите, что лампочка изнутри покрыта зеркальным слоем!

Мы уже говорили, что при нагревании заряженные частицы в стекле приобретают

подвижность (поэтому и зажглась лампа, когда трубку нагревали спичкой). Главные действующие лица - ионы натрия: уже при температуре выше 300°С они становятся достаточно подвижными. Само стекло остается при этом совершенно твердым.

Когда вы погрузили включенную лампочку в расплав селитры, то стекло, из которого сделан баллончик, оказалось в электрическом поле: спираль - отрицательный полюс, расплав, который соприкасается с полоской жести - положительный. Подвижные ионы натрия начали двигаться в стекле в сторону катода, т.е. по направлению к спирали. Иными словами, они перемещались к внутренней стенке баллона.

Значит, зеркальный налет изнутри натриевый? Да. Но как же ионы превратились в металл?

Раскаленные металлы (в том числе и те, из которых изготовлена спираль) испускают электроны. От спирали они попали на внутреннюю поверхность стекла и соединились там с ионами натрия. Так образовался металлический натрий.

Но почему для опыта не годится калиевая селитра? Ведь нитрат вроде бы и не участвует в процессе... Нет, участвует. Когда ион натрия стал нейтральным атомом, в стекле осталась отрицательно заряженная ионная дырка. Тут и нужна натриевая селитра: из ее расплава под действием электрического поля в стекло проникают ионы натрия и заполняют дырки. А ионы калия примерно в полтора раза больше ионов натрия, они не смогут войти в стекло. В калиевой селитре лампа просто треснет.

Такой необычный электролиз через стекло иногда применяют на практике, чтобы получить слой очень чистого натрия, или, более строго, - спектрально чистого.



Зажгите лампу спичкой - фото и видео: часть 1>> часть 2>>

ДОЛГАЯ ЖИЗНЬ БАТАРЕЙКИ

Представьте, что случилось такое: вы принялись за электрохимический опыт, собрали цепь - а батарейка вдруг "села", и запасной батарейки нет. Как быть? Но это еще полбеды. Гораздо хуже, когда карманный фонарик гаснет темным вечером, да еще в лесу. И как обидно, если батарейки транзисторного приемника отказывают как раз в ту минуту, когда по радио передают вашу любимую песню, или во время трансляции футбольного матча. Но что уж тут поделаешь...

А между тем кое-что предпринять можно. Если запасной батарейки нет, не спешите выбрасывать старую, а попробуйте ее "оживить".

Многие современные батарейки - "Крона", "Марс", "Сатурн", КБС и другие - состоят из элементов марганцево-цинковой системы. При работе отрицательный электрод этих батареек - цинковый стаканчик - постепенно, но очень медленно, растворяется, а положительный электрод - диоксид марганца MnO_2, восстанавливается до гидроксида трехвалентного марганца (его формулу можно представить как MnOOH). Он постепенно покрывает зерна оксида, проникает вглубь зерен и закрывает доступ электролиту. Еще и половина оксида марганца не использована, а элемент уже перестает работать; цинка же к тому времени остается еще больше, до четырех пятых! Словом, почти годную батарейку приходится выбрасывать.

Но если снять "скорлупу" MnOOH, то электролит вновь сможет поступать к зернам и батарейка оживет. Только как ее снять? Самый простой способ: постучать по батарейке как следует молотком или камнем. Тогда зерна внутри элементов расколются, и электролит снова сможет в них проникнуть. Этот способ не ахти как хорош, но в лесу, пожалуй, лучшего не найти...

Если же батарейка отказала дома, то активировать диоксид марганца можно гораздо эффективнее. В цинковом стаканчике батарейки пробейте гвоздем отверстие и опустите батарейку в воду. Электролит в элементе не жидкий (это было бы неудобно), а загущенный. Он размокает в воде, разжижается, и ему легче проникнуть к зернам диоксида марганца. Этот нехитрый прием позволяет увеличить срок службы батарейки почти на треть. Но его можно еще более упростить.

Заливать батарейку водой совсем необязательно. Достаточно только пробить отверстие

в цинковом стаканчике. Оксид марганца в элементе смешан с графитовым порошком - это нужно для того, чтобы увеличить электропроводность. Как только воздух начнет поступать внутрь, графит будет поглощать кислород, и наряду с диоксидом марганца появится еще один положительный электрод - так называемый воздушный, на котором кислород восстанавливается. Словом, простой гвоздь превращает марганцево-цинковый элемент в воздушно-цинковый!

Справедливости ради скажем, что после такой процедуры батарейка будет разряжаться малым током - таковы уж свойства самодельного воздушно-цинкового элемента. Зато служить будет очень долго.

И последнее: сделаем так, что старая батарейка станет почти совсем как новая. Для этого батарейку надо зарядить электрическим током, т.е. поступить с ней так же, как с аккумулятором. Реакция, идущая в батарейке, обратима, и MnOOH может вновь превратиться в MnO_2.

Заметьте, что подзаряжать можно не все батарейки, а только те, в которых не засохла паста и корпус не поврежден. И заряжать надо не обычным постоянным током, как заряжают аккумуляторы. В этом случае цинк станет осаждаться на корпусе батарейки в виде разветвленных нитей-дендритов, и очень скоро это приведет к тому, что произойдет короткое замыкание и батарейка выйдет из строя. Заряжать ее надо так называемым асимметричным током. Чтобы получить его, надо выпрямлять переменный ток не полностью, например: включить в цепь диод-выпрямитель и параллельно ему - сопротивление (около 50 Ом). Напряжение источника должно быть около 12 В, поэтому использовать ток непосредственно от сети нельзя, нужен понижающий трансформатор.

Марганцево-цинковые элементы можно заряжать до трех раз, их емкость при этом падает совсем незначительно. А маленькие, так называемые пуговичные элементы (в них использована ртутно-цинковая система) можно подзаряжать до десяти раз. Но пробивать их гвоздем или стучать по ним молотком нет смысла - в этих элементах после разряда практически не остается активных веществ.

ИСТОЧНИКИ ТОКА ИЗ ПОДРУЧНЫХ СРЕДСТВ

Чтобы оживить старую батарейку, действительно требуется ловкость рук. Но в еще большей степени она будет вам нужна, если вы решите изготовить самодельный

источник тока. Он может пригодиться для различных электрохимических опытов, например с анодированием алюминия или с никелированием.

Есть множество химических источников тока, но, пожалуй, самый простой в изготовлении - элемент Грене. Для него нужны две пластинки - цинковая и угольная такого размера, чтобы они входили в стеклянную банку. Подберите к ней полиэтиленовую крышку, проколите ее в двух местах шилом и пропустите в отверстия проволочки. На этих проволочках подвесьте пластинки-электроды так, чтобы они не касались друг друга.

Электролитом будет служить водный раствор, содержащий 16% серной кислоты и 12% бихромата калия (хромпика). Когда вы будете готовить раствор, лейте, как всегда, кислоту в воду и будьте очень осторожны.

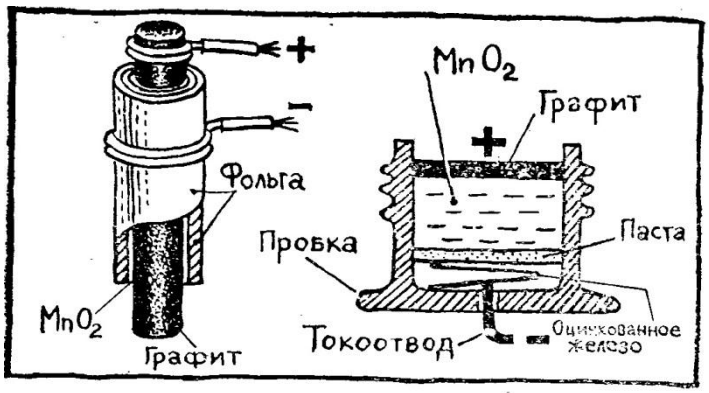
Электролит аккуратно перелейте в банку; раствор должен закрывать пластинки примерно на три четверти. Банку плотно закройте заготовленной крышкой с проводами и электродами. В тот момент, когда электроды, соприкоснутся с электролитом, возникнет электрический потенциал. Если цепь замкнуть, по ней пойдет электрический ток. Это легко проверить, подсоединив к проволочкам вольтметр: он покажет напряжение около 2 В. Однако сила тока не слишком велика, от элемента не будет даже работать лампочка для карманного фонаря. Но если вы изготовите не один, а два или три элемента Грене и соедините их последовательно - цинковую пластину с угольной, то лампочка будет гореть. А для опыта с никелированием достаточно и одного элемента Грене.

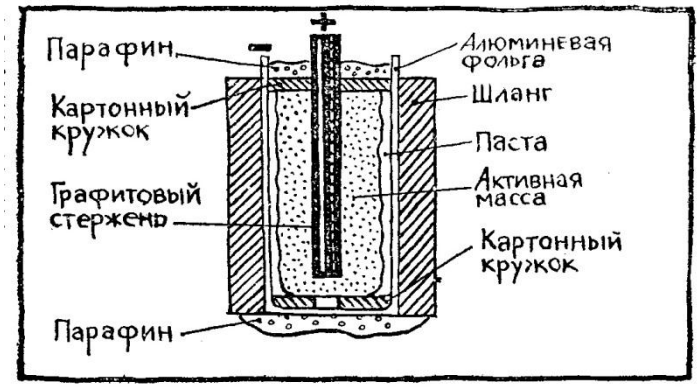
Хотя элемент Грене работает надежно, у него есть как минимум два недостатка: во-первых, неудобно иметь дело с жидким электролитом, да к тому же содержащим серную кислоту, во-вторых, не всегда есть под рукой цинковые и угольные пластинки. Поэтому займемся и другими самодельными источниками тока. Пусть они и уступают жидкостным элементам, зато не будет проблем с материалами.

Чай и сигареты часто заворачивают в фольгу, у которой одна сторона "серебряная", а другая - бумажная. В магазинах "Юный техник" продают медную фольгу. И ту и другую нарежьте на квадраты примерно 5 х 5 см и кладите одну на другую вперемежку так, чтобы медь ложилась на "серебро". Самый нижний слой должен быть бумажным, самый верхний - медным. У вас получилась батарея элементов; чем выше стопка, т.е. чем больше элементов, тем выше и напряжение.

Из медной фольги вырежьте полоски - токоотводы, приложите их к стопке сверху и снизу и обмотайте изоляционной лентой, а потом погрузите батарейку в электролит - раствор поваренной соли. Чтобы убедиться в том, что батарейка начала работать, поднесите к ее полюсам, как вы это уже делали прежде, полоску фильтровальной бумаги, смоченной раствором фенолфталеина. У отрицательного полюса раствор покраснеет. Напряжение у такой батарейки может достигать нескольких вольт, но ток, к сожалению, слабоват.

Для других источников тока проще всего будет воспользоваться готовыми уже материалами из старых, отслуживших свое батареек. Разломайте батарейки и извлеките из них активную массу оксида марганца, которой обмазаны электроды, графитовые стержни и засохшую пасту (загущенный электролит) - соскребите его и положите для набухания и воду. Оксид марганца разотрите в порошок и смешайте с несколькими каплями фотоклея или раствора желатины. Этой смесью обмажьте графитовый стержень или же грифель простого карандаша, оставив сверху свободный участок для крепления контакта. Когда смесь высохнет, обмотайте стержень "серебряной" бумагой в несколько слоев, "серебром" наружу, и обвяжите ниткой. Один проводок плотно обмотайте вокруг стержня, другой - вокруг "серебряной" бумаги и приклейте его липкой лептой. Обмотайте элемент изоляционной лентой - он готов к работе.





Более совершенные элементы получаются, если активную массу и пасту увлажнять раствором хлорида аммония (24 г на 100 мл дистиллированной воды; полезно добавить 1 г хлорида кальция). Если этот раствор нагреть с крахмальным молоком, то получится электролит в виде пасты.

Возьмите полиэтиленовую пробку от бутылки, проколите в дне отверстие и пропустите через него проволочку. В пробку положите кружок из оцинкованного железа, он должен быть прижат к проволочке-токоотводу. Из фильтровальной бумаги вырежьте кружок по внутреннему диаметру пробки, пропитайте его электролитом, смажьте пастой и вложите в

пробку. Сверху положите размоченную активную массу с оксидом марганца из старой батарейки и прижмите кружком, вырезанным из графитового стержня - он будет служить вторым токоотводом. Из таких "пробочных" элементов тоже можно составить батарею, дающую напряжение в несколько вольт.

Пластмассовую пробку можно заменить железной с оловянным покрытием - от бутылки с лимонадом или минеральной водой. Естественно, цинк в этом случае уже не нужен, равно как не нужно пробивать отверстие в пробке - она сама по себе электропроводна, но оловянный элемент дает невысокое напряжение.

Еще более совершенный элемент - в виде стаканчика из алюминиевой фольги. Стаканчик можно изготовить с помощью короткого (3-4 см) отрезка пластмассового шланга. Внутрь вложите листок фольги заведомо большей высоты, прижмите к стенкам, а из "лишнего" материала сделайте донышко и распрямите его круглым стержнем, например обратной стороной шариковой ручки. Алюминиевый стаканчик вполне заменит цинковый.

Картонный кружок положите на дно и смажьте стаканчик изнутри загущенным электролитом из старой батарейки или самодельным. Слой не должен превышать 1 мм. Мешочек из легкой ткани наполните увлажненной массой MnO_2, уплотните, слегка надавливая тем же круглым стержнем, добавьте доверху массу и вдавите графитовый стержень (или грифель карандаша). Еще раз слегка уплотните массу, прикройте по возможности мешочек и наденьте на стержень второй картонный кружок с отверстием посередине - он не даст электроду наклоняться. Зажгите свечу и накапайте на эту шайбу, а потом на донышко элемента парафин для изоляции.

Такой элемент дает напряжение около 1 В, но ток его больше, чем у элемента из пробок. Два-три "стаканчика" дают возможность слушать транзисторный приемник через наушники.

КРИСТАЛЛЫ - БОЛЬШИЕ И МАЛЕНЬКИЕ

О выращивании кристаллов написано так много, и эти опыты настолько эффектны и несложны в исполнении, что наверняка вы их ставили хотя бы раз и знаете, в чем принцип. Собственно, ничего мудреного тут нет: надо приготовить горячий насыщенный раствор какой-либо соли (хлорида натрия, сульфата меди или железа, квасцов, бихромата калия и т.д., перечень очень велик), осторожно охладить его, чтобы излишек

растворенного вещества не выпал в осадок (такой раствор называется пересыщенным), и, наконец, ввести затравку - кристаллик той же соли, подвешенный на нитке. После этого остается только прикрыть сосуд листком бумаги, поставить в укромное место и ждать, пока не вырастет крупный кристалл, на что могут уйти недели или даже месяцы; единственное, что придется изредка делать - это подливать понемногу насыщенный раствор по мере испарения.

Все это действительно известно. Но вариантов опыта очень много, и мы выберем не самые распространенные, например, с нитратом свинца и иодидом калия. Смешайте одинаковые объемы 10%-ных растворов этих солей, и в сосуде выпадет осадок иодида свинца. Аккуратно слейте с него жидкость. Вскипятите воду в каком-либо прозрачном сосуде, подкислите ее уксусом и, пока она кипит, добавьте еще влажный осадок иодида свинца, взболтав его. При медленном остывании жидкости в ней вырастут золотистые кристаллы.

Вариация на ту же тему: слейте в пробирку растворы нитрата свинца и иодида калия, вскипятите содержимое вместе с осадком, чтобы он растворился, а затем быстро остудите под краном. В этом случае образуются мельчайшие золотые кристаллики, взвешенные в жидкости.

Вообще размер кристаллов сильно зависит от скорости охлаждения. Всыпьте 20 г нитрата калия небольшими порциями в сосуд с 25 мл воды. После добавления очередной порции взбалтывайте смесь, чтобы соль растворилась, а затем насыпайте следующую порцию. Когда соль перестанет растворяться, немного нагрейте сосуд, всыпьте еще порцию, взболтайте, снова нагрейте. И так до тех пор, пока вся взятая соль не растворится. Теперь разлейте раствор в два сосуда, и один оставьте остывать на воздухе (для еще более медленного остывания можно накрыть его несколькими слоями плотной ткани). В этом сосуде образуется несколько крупных кристаллов, а при удачном стечении обстоятельств - и один кристалл. Другой сосуд сразу же поставьте в кастрюлю с холодной водой, и в нем выделится множество мелких кристалликов. Это общее правило.

Следующие два опыта настолько впечатляющи, что их смело можно показывать зрителям, конечно, тщательно все подготовив. Первый из них - опыт Пелиго. Цилиндр высотой 25-30 см вымойте изнутри горячей водой и через воронку по стенке налейте в него горячий очень концентрированный раствор гипосульфита, чтобы он заполнил цилиндр на 1/3. Этот раствор готовят так: 450 г гипосульфита растворяют при нагревании

в 45 мл воды.

Второй раствор - ацетата натрия (300 г на 45 мл воды) также горячим влейте через ту же воронку еще на 1/3 цилиндра. Лейте очень аккуратно, этот раствор не должен смешиваться с ранее налитым раствором. Наконец, верхнюю треть цилиндра столь же осторожно заполните горячей водой, которая предохранит насыщенный раствор от преждевременной кристаллизации.

В сосуде три слоя: вода, пересыщенный раствор ацетата натрия, пересыщенный раствор гипосульфита. Накройте цилиндр стеклом, дайте остыть до комнатной температуры, а после этого можно приступать к опыту.

К концу стеклянной палочки прикрепите кусочком воска маленький, незаметный кристаллик гипосульфита (воск слегка расплавьте, нагрев его над пламенем). На глазах у зрителей быстро опустите палочку в нижний слой. Концентрация соли столь высока, что тотчас вокруг кристаллика нагромоздится множество новых кристаллов, образуя подобие цветка. А в среднем слое "чужое" вещество вокруг кристалла гипосульфита кристаллизоваться не будет.

Другую, точно такую же палочку с воском, но уже с маленьким кристаллом ацетата натрия (зрители не должны заметить разницы) опустите в средний слой - здесь тоже вырастет цветок, но совсем другой! Цилиндр, если обращаться с ним осторожно, удается использовать несколько раз.

Другой опыт, напоминающий фокус - с одним только ацетатом натрия. Растворите 100-150 г соли в горячей воде (лучше в эмалированной посуде) и медленно выпаривайте, стараясь точно уловить момент, когда надо прекратить выпаривание: дуйте время от времени па поверхность горячего раствора, и как только станет появляться пленка, напоминающая жировую, это значит, что концентрация соли та, что требуется для образования кристаллогидрата состава $CH_3COONa \cdot 3H_2O$. Перелейте жидкость в чистый тонкий стакан, закройте его и поставьте остывать. В остывшую жидкость достаточно внести ничтожное количество затравки - ацетата натрия, чтобы она мгновенно закристаллизовалась и превратилась в твердую массу, напоминающую лед. Если вы немного недодержали жидкость на огне и воды в ней многовато, то над застывшей массой будет немного воды, которую надо слить. Если же воды не хватает, то на поверхности окажется налет соли. Снимать его нет смысла, проще добавить немного

воды.

Расплавляя кристаллогидрат на водяной бане и охлаждая его, опыт можно проделывать множество раз, в том числе и на глазах изумленной публики - а кто не изумится, увидев, как вода на глазах застывает без охлаждения? Напротив, стакан даже разогревается - это выделяется теплота кристаллизации. Стакан можно перевернуть, и из него не выльется ни единой капли.

Показывая опыт как фокус, постарайтесь стряхнуть крупинку соли незаметно - скажем, с кончика "волшебной палочки". И обязательно плотно закрывайте стакан между опытами, иначе даже случайная пылинка сможет вызвать незапланированную кристаллизацию.

Реагент для этого опыта - ацетат натрия можно получить из уксусной кислоты и соды. Если вы будете готовить его самостоятельно, то уксусную кислоту разбавьте водой примерно втрое и всыпайте в нее соду небольшими порциями, постепенно, дождавшись, когда прекратится вспенивание от предыдущей порции соды. Без этого реакция пойдет так бурно, что жидкость может выбросить из сосуда.

И еще необычные кристаллы - металлические. Будем выращивать кристаллы меди.

Мелкие медные кристаллы вы уже получали, когда опускали гвоздь в раствор медного купороса. Они настолько малы, что пленка меди на поверхности кажется почти сплошной. А чтобы приготовить крупные кристаллы, надо как-то замедлить реакцию, чтобы выделяющаяся в реакции медь успевала осесть на кристаллы и достраивала их. Медленное охлаждение - возможный способ, но в том случае, когда не идет химическая реакция...

Тормозом для реакции будет служить поваренная соль. Положите на дно сосуда (например, стеклянной банки) немного кристаллов медного купороса и засыпьте их поваренной солью, по возможности мелкой. Прикройте их кругом, вырезанным из промокательной или фильтровальной бумаги; этот круг должен касаться стенок сосуда. Сверху, прямо на бумагу, положите железный кружок несколько меньшего диаметра. Заранее протрите его наждачной бумагой и промойте.

Налейте в банку насыщенный раствор поваренной соли, чтобы он полностью закрыл железный кружок. Дальше все пойдет без вашего участия. Сколько времени придется

ждать, точно сказать нельзя - многое зависит от условий опыта. Во всяком случае, не час и не два, а несколько дней.

Итак, спустя несколько дней вы обнаружите в сосуде красивые красные кристаллы меди. Меняя размеры сосуда, размеры кристалликов медного купороса, толщину слоя поваренной соли и температуру опыта, можно получить медные кристаллы разнообразной формы, порой на редкость необычной. А иногда вырастают дендриты - незавершенные в развитии кристаллы, похожие на ветви деревьев.

Если оставить медные кристаллы в том же сосуде, в котором они были получены, то долго они не сохранятся. Извлеките их, промойте водой, перенесите в пробирку с разбавленной серной кислотой и закройте пробкой. Вот теперь с кристаллами ничего не случится.




IronAmmonite.com


IronAmmonite.com


IronAmmonite.com







Пещера кристаллов (исп. Cueva de los Cristales).
Расположена в Мексике на глубине 300 метров под городом Найка (штат Чиуауа). В пещере находятся гигантские кристаллы гипса (минерал селенит). Наибольший из найденных кристаллов имеет размер 11 м в длину и 4 м в ширину, масса 55 тонн. Это одни из наибольших известных кристаллов.

Пещеру случайно обнаружили рабочие, которые вскрыли полость, где росли кристаллы. Пещеру осушили, со временем температура в ней упала, однако и сейчас в пещере очень жарко (температуры достигают 48 °С при влажности 90-100 %). Для нахождения в Пещере кристаллов необходимы специальные защитные средства.



Кристаллы - фотографии: Смотреть ч.1>> Смотреть ч.2>>

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ УЗОРЫ

Есть такие вещества, которые называют изоморфными: они кристаллизуются одинаково, несмотря на разный состав. Кристаллы одного такого вещества способны расти в насыщенном растворе другого: получается как бы "кристалл в кристалле". Если его разрезать, то на срезе окажется геометрический узор.

Самые доступные среди изоморфных веществ - квасцы, кристаллогидраты двойных сульфатов с общей формулой $M^{I}M^{III}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$. Воспользуемся тремя их разновидностями: темно-фиолетовыми хромокалиевыми $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, зелеными железоаммонийными $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ и бесцветными алюмокалиевыми $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

В эмалированную или стеклянную посуду налейте воду, насыпьте каких-либо квасцов (одного вида) и нагревайте, размешивая стеклянной или деревянной палочкой, но не до кипения. Когда соль растворится, добавьте еще порцию тех же квасцов и снова нагревайте. Когда раствор станет насыщенным, быстро профильтруйте его через ватный тампон, помещенный в стеклянную или эмалированную воронку, ополоснутую крутым кипятком. Если воронка будет холодной, может начаться преждевременная

кристаллизация и кристаллы закупорят воронку.

Банку с раствором квасцов прикройте и оставьте медленно остывать. На дно выпадут небольшие кристаллы. Если они будут срастаться, нагрейте раствор, добавив немного воды, и вновь охладите. Кристаллы извлеките, обсушите, переложите в пробирку и закройте ее пробкой. Так же приготовьте кристаллу других квасцов. Насыщенные растворы сохраняйте! Чтобы не перепутать их, наклейте на банки этикетки.

Отберите по одному кристаллику каждого вида, обвяжите тоненькими нитями (например, от капронового чулка) и опустите каждый в "свой" раствор. Банки держите подальше от сквозняков; накройте их бумажными крышками.

Примерно за неделю кристаллы заметно вырастут. Поменяйте их местами. Если с самого начала подвесить в каждой банке по два кристалла, то будет еще больше чередований цветов. Чтобы не запутаться, к концам нитей прикрепите ярлычки и записывайте в лабораторном журнале, сколько времени и в каком растворе находятся кристаллы.

Правильный кристалл квасцов имеет форму октаэдра, но нам и не нужен идеальный кристалл. Напротив, чем причудливее форма, тем интереснее рисунок на срезе. Одновременно вы можете выращивать кристаллические сростки - друзы, взяв для затравки уже сросшиеся кристаллики. Если они начали ветвиться во время роста, не исправляйте их; более того, вы сами можете управлять ростом граней. Смажьте грань вазелином, и она перестанет расти, смойте вазелин ацетоном - и грань будет расти снова.

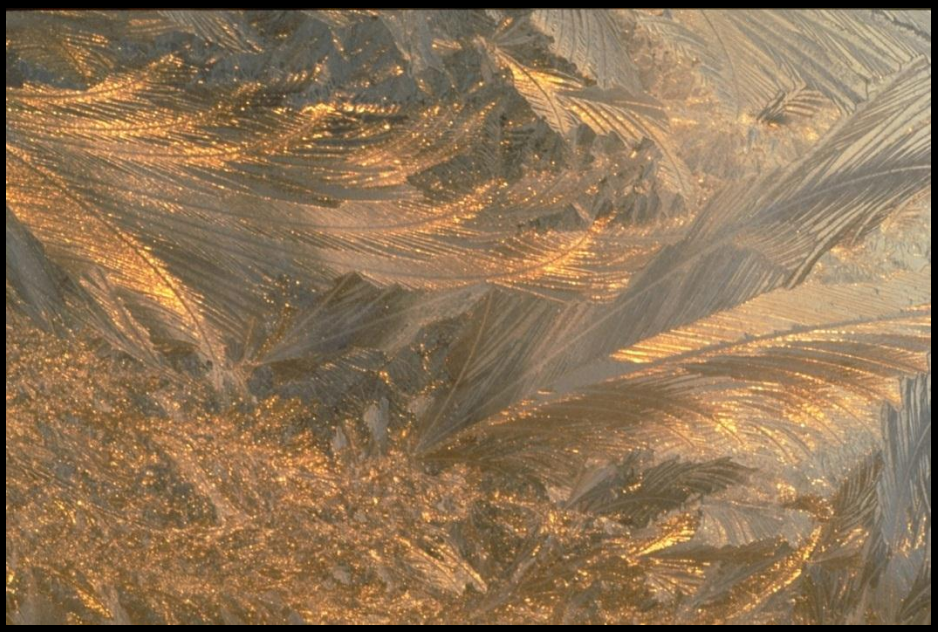
Готовый кристалл разрежьте мокрой суровой ниткой; эта работа требует аккуратности и терпения. Поверхность среза подровняйте наждачной бумагой и отполируйте на влажной ватманской бумаге круговыми движениями.

В зависимости от того, как выбрана плоскость разреза, сколько в кристалле слоев и какова их толщина, получатся самые разнообразные геометрические узоры. У друзы вариантов еще больше. Разрезанный кристалл с узором тотчас покройте бесцветным лаком (годится лак для ногтей), иначе он потускнеет и рассыплется в порошок.

Намного проще в изготовлении узор из кристаллов нашатыря - хлорида аммония. Правда, он бесцветен, зато рисунком так напоминает... Впрочем, не будем забегать вперед.

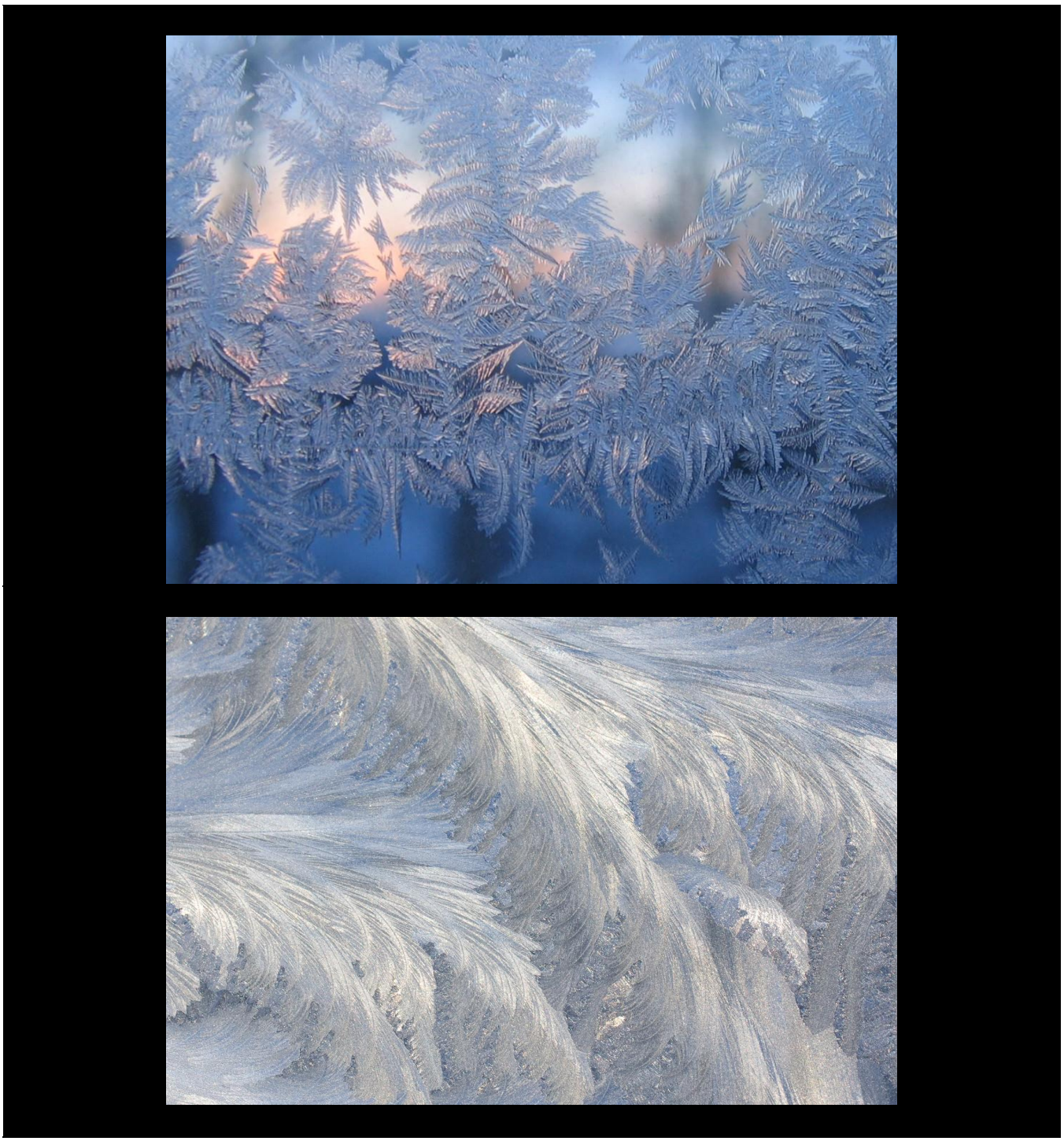
Всыпая хлорид аммония в теплую воду и тщательно перемешивая, приготовьте насыщенный раствор. Возьмите стеклянную пластинку или зеркальце, вымойте поверхность, кисточкой нанесите на нее приготовленный раствор. Пусть пластинка с раствором медленно охлаждается на воздухе, а чтобы на нее не попадала пыль, можно спрятать ее в шкаф. Спустя несколько часов вода испарится и на стекле образуется узор. Не надо даже всматриваться, чтобы понять, что же он напоминает: морозный узор на зимнем окне.

Такой опыт, конечно, лучше всего ставить под Новый год. Тепло искусственному морозному узору не грозит, но от воды его надо держать подальше...



Морозные узоры (кристаллы льда на стекле)





КЛАД НА ТАРЕЛКЕ

Поиски кладов - занятие хлопотное и, как правило, бесполезное. И все-таки предлагаем вам попытать счастья, гарантируя полный успех. Мы будем искать настоящее золото, причем не в пещере и не в лесу, а на самой обычной тарелке с золотой каемочкой. И даже не на целой, а на разбитой.

Может быть, вас это удивит, но золотая каемка на посуде состоит действительно из золота. Правда, его там совсем мало, потому что слой очень тонкий. Возьмите стакан с

золотым ободком и посмотрите на просвет: слой золота кажется прозрачным.

Золото на посуду наносят из раствора. И мы начнем этот опыт с приготовления раствора, содержащего золото.

Запаситесь черепками с позолотой - их вы получите бесплатно в посудном магазине. Для опытов вам достаточно будет примерно 10 $см^2$ позолоты. Из нее мы приготовим около 5 мл разбавленной золотохлороводородной кислоты $H[AuCl_4]$. Для этого растворите золото в смеси концентрированных кислот - 3 мл соляной и 1 мл азотной. Такую смесь принято называть царской водкой. Обращаться с концентрированными кислотами надо крайне осторожно! Работать в резиновых перчатках! Ставить опыт только в химическом кружке!

Перед растворением тщательно вымойте слой позолоты на битой посуде и удалите следы жира, протерев его ватным тампоном, смоченным в ацетоне. В стеклянную пипетку наберите несколько капель царской водки и растворите позолоту. Образовавшийся раствор золотохлороводородной кислоты аккуратно соберите в небольшую пробирку, промытую дистиллированной водой. Все растворы в этом опыте также надо готовить на дистиллированной воде и в чистой посуде.

Чтобы полнее использовать золото, место, где оно растворилось, промойте небольшим количеством воды (лучше из пипетки) и соберите ее в ту же пробирку. Долейте воду до 5 мл. С этим раствором и будем работать. Мы приготовим очень красивый кассиевый пурпур - коллоидный раствор, содержащий мельчайшие частицы металлического золота. Он образуется, когда в сильно разбавленный раствор золотохлороводородной кислоты добавляют раствор хлорида олова $SnCl_2$.

Растворите 0,5 г хлорида олова (II) в 50 мл воды. Несколько капель этого прозрачного раствора влейте в пробирку с бледно-желтым раствором золотохлороводородной кислоты. Сперва смесь станет желто-коричневой, а через несколько минут возникнет замечательная окраска кассиевого пурпура. При этом металлическое золото восстанавливается, а образующийся гидроксид олова $Sn(OH)_4$ придает коллоидному раствору устойчивость. Цвет жидкости обычно интенсивно красный, но в зависимости от размера частиц у него могут быть различные оттенки - от розового до фиолетового.

Коллоидное золото можно осадить раствором поваренной соли. Частицы золота при этом объединяются и тонут. После промывки и высушивания из осадка можно вновь получить

(с помощью царской водки) раствор золотохлороводородной кислоты.

Если в вашем распоряжении есть водородная горелка, то можно поставить очень эффектный опыт - так называемый опыт Донау. Пламя водорода, направленное на поверхность раствора золотохлороводородной кислоты, тоже восстанавливает золото, и в жидкости появляются цветные полосы. Можно поступить и так: нанести на чистую фарфоровую пластинку неразбавленный раствор кислоты, полученный при обработке золота царской водкой, высушить его, а затем поместить в пламя водородной горелки. На фарфоре образуется блестящая пленка золота.

Предупреждаем: водородной горелкой можно пользоваться только с разрешения и в присутствии преподавателя.

КАК НЕВИДИМОЕ СДЕЛАТЬ ВИДИМЫМ

В приключенческих романах, повествующих о давних временах, упоминаются порой письма, написанные бесцветными чернилами; хитрые враги не знают секрета тайнописи, и лишь благородные герои могут превратить невидимое в видимое...

А секрета особого тут и нет, он давно уже известен. Некоторые бесцветные вещества как бы проявляются под действием тепла, образуя окрашенные соединения. К таким веществам относятся, например, сок лимона или репчатого лука. Обмакните в них перо и сделайте надпись на листе бумаги - ничего и не видно. А теперь подержите листок бумаги над закрытой электроплиткой или над пламенем, но достаточно далеко, чтобы бумага не вспыхнула, и надпись станет отчетливо видна. Такой же опыт неплохо удается с молоком и разбавленным уксусом.

Еще несколько подобных опытов - но не с природными веществами, а с химическими реагентами. Насыпьте в маленькую пробирку совсем немного, на кончике ножа, хлорида аммония и добавьте около чайной ложки воды. В прозрачный раствор обмакните перо, напишите или нарисуйте что-нибудь на бумаге и дайте высохнуть. После сильного нагревания надпись или рисунок станут отчетливо видны.

Еще эффектнее этот опыт получается с сильно разбавленным раствором хлорида кобальта $CoCl_2$. После высыхания линии на белом фоне почти незаметны, потому что кристаллогидрат $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (а именно он и образуется после высушивания) - бледно-

розовый. Но когда листок подогревают, часть кристаллизационной воды отщепляется, и соль приобретает синий цвет. Если же вновь увлажнить ее, подышав на бумагу или, еще лучше, подержав ее над паром, то изображение исчезает, потому что опять образуется шестиводный кристаллогидрат.

Возможно, этот опыт вам уже встречался. Вот его вариант, гораздо менее известный. Мы вовсе не будем нагревать листок с надписью, а чтобы показать, как можно отнять часть воды без нагревания, поставим предварительный опыт.

Налейте в пробирку немного концентрированного раствора хлорида кобальта розового цвета. Добавьте равное количество ацетона и перемешайте: цвет раствора станет голубым! Разбавьте раствор водой, и он опять станет розовым.

Что же произошло? Ацетон хорошо растворяет воду и может отнимать ее у других веществ. Но если так, то написанное раствором хлорида кобальта можно проявить с помощью ацетона и без всякого нагревания? Именно так. Листок с надписью протрите ваткой, смоченной в ацетоне, и результат будет тем же, что и при нагревании.

Еще один опыт с письмом - без пера и без чернил. Расправьте листок фольги от шоколада и приколите его кнопками к дощечке. Одну из кнопок присоедините к отрицательному полюсу батарейки. К положительному полюсу присоедините гвоздь, очищенный наждачной шкуркой. Лист писчей бумаги смочите почти бесцветным раствором поваренной соли с добавкой красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$, положите поверх фольги и коснитесь гвоздем бумаги: на ней появится синий след. При электролизе ионы Fe^{2+}, взаимодействуя с красной кровяной солью, дают турнбулеву синь $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$. Она проникает бумагу и закрепляется в ее волокнах. Если же вместо кровяной соли взять роданид калия KSCN или аммония NH_4SCN, то получится не синий след, а красный, потому что образуется роданид железа красного цвета.

Такие опыты можно ставить не только с писчей бумагой, но и с лоскутами чистой белой ткани.

Превращение невидимого в видимое нередко оказывает огромную помощь тем, кто раскрывает преступления, Говорят, что на месте преступления всегда остаются следы, только не всегда они сразу заметны. И криминалисты ищут в первую очередь отпечатки пальцев, потому что у каждого человека они неповторимы - так же, как неповторимы

человеческие лица. Конечно, у экспертов есть тонкие способы и подходящие вещества, позволяющие обнаружить и совсем слабые отпечатки; мы же воспользуемся довольно грубым, зато простым способом.

Приготовьте смесь из равных количеств талька и сажи (тальк продают в аптеках, а получение сажи описано в главе о пигментах). Подышите на палец, чтобы слегка увлажнить его, и прижмите к чистому листу бумаги. След на листе незаметен, но если присыпать его приготовленной смесью, осторожно распределить мягкой кистью (или просто покачать листок) и ссыпать излишек смеси, то на бумаге останется четкий отпечаток пальца. На бумаге были невидимые жировые следы, и на них адсорбировались частицы черной смеси.

Такой же опыт можно поставить с разными предметами и поверхностями - возьмите старую газету, картонную коробку, пластмассовый или стеклянный стакан. В последнем случае для лучшего прилипания надо взять побольше талька; после того, как излишек смеси удален со стекла, слегка подогрейте стакан - тогда отпечатки на прозрачной поверхности станут более отчетливыми.

ПРОСТЫЕ ФОКУСЫ

Опыты с превращением невидимого в видимое, да и некоторые другие проделанные вами опыты смело можно показывать как фокусы. Впрочем, фокусы производят гораздо более сильное впечатление, если показывать их подряд, один за другим, окружая происходящее тайной, заклинаниями и медленными пассами "волшебной палочки"...

Химической сути фокусов (а она не так уж сложна) раскрывать не будем. Отыщите ее самостоятельно, и тогда вы не просто развлечете зрителей, но и пополните свои знания.

Количественные соотношения надо соблюдать, но не очень строго. Чтобы вам каждый раз не взвешивать реактивы, сделайте из дерева мерные ложечки, вмещающие около 10 мг сухого реактива. Можно воспользоваться и пластмассовыми ложечками, которые прикладывают к некоторым порошкообразным лекарствам. Каждый раз мы будем пояснять, сколько таких мерок надо взять.

Сначала - фокус с превращением воды в молоко. В один стакан поместите пять мерных ложечек хлорида кальция, в другой - столько же карбоната натрия (стиральной соды) и

залейте водой примерно до трети стакана. Растворы на вид ничем не будут отличаться от воды. Слейте их вместе - и жидкость станет белой, словно молоко. Не тратя времени зря (иначе осадок может опуститься на дно, и все увидят, что это никакое не молоко), добавьте к жидкости раствор соляной кислоты в избытке - и "молоко", мгновенно вскипев, снова станет "водой".

Теперь фокус чуть посложнее - вода в нем будет превращаться не только в молоко, но и в чернила. Для фокуса понадобятся три стакана. В один насыпьте две ложечки хлорида бария (или стронция), в другой - одну ложечку танина. Влейте в оба стакана по половине чайной ложки воды. Порошки на дне после размешивания растворятся, а воды так мало, что издалека стаканы будут казаться зрителям пустыми.

В третий стакан поместите пять ложечек двойного сульфата железа и аммония $FeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4$ (соль Мора). Этот стакан наполните водой почти доверху. Все готово к фокусу. На глазах у зрителей возьмите третий стакан, с солью Мора, и отлейте из него бесцветный раствор в "пустые" стаканы. В одном из них (там, где хлорид бария) вода мгновенно превратится в "молоко", во втором - в "чернила".

Следующий фокус ничуть не труднее. В пробирке с водой растворите две ложечки хлорида кобальта (его раствором вы делали невидимые надписи). Белый хлопчатобумажный платок намочите в этом растворе и высушите его. Платок станет голубым.

Фокус заключается в том, что вы показываете зрителям голубой платок, а потом комкаете его и сжимаете в руке. Если вы несколько раз сильно дунете на платок, то он увлажнится и вновь станет белым. Разожмите кулак и покажите белый платок зрителям. Его, кстати, можно использовать еще несколько раз: после просушки платок вновь поголубеет.

Для очередного фокуса с изменением цвета понадобятся три соли: красная кровяная, салицилат натрия и соль Мора. Всех этих веществ надо совсем немного, по одной ложечке; растворите их по отдельности в пробирках, до половины наполненных водой. Суть фокуса в том, что красная кровяная соль дает с солью Мора синее окрашивание, а салицилат натрия - красное. Если вы простым карандашом слегка наметите контур рисунка на бумаге, а затем смочи" те его с помощью кисточки двумя растворами: красной кровяной соли и салицилата натрия - и дадите просохнуть, то зрители не заметят даже, что на бумагу что-то нанесено. "Чистый" лист повесьте на стену и проведите по нему

кистью, смоченной в растворе соли Мора (зрителям скажите, что это обычная вода). Рисунок мгновенно, прямо на глазах, окрасится в красные и синие цвета.

Еще один традиционный фокус - как без огня зажечь свечу. Наверное, вы знаете принцип этого фокуса, но очень многое зависит от его оформления.

Советуем поступить так. Стеклянную пробирку облейте снаружи стеарином или парафином, чтобы она стала похожей на свечу. Закройте пробирку металлическим колпачком с отверстием, сквозь которое пройдет фитиль. В пробирку налейте немного спирта, чтобы он пропитал фитиль. После этого колпачок тоже залейте стеарином или парафином, чтобы наружу выглядывал только фитиль. "Свеча" готова.

Волшебной палочкой вам будет служить обычная стеклянная палочка, на конец которой вы наберете совсем немного кашицы из перманганата калия и серной кислоты. Предупреждение: смесь готовить в очень малом количестве, необходимом только для одного опыта! Не трогать смесь руками!

Как обставить этот опыт, вы и сами, наверное, сообразите (не забудьте про пассы и заклинания). А затем коснитесь палочкой фитиля - и на конце его сразу вспыхнет пламя.

Опыты-фокусы с изменением цвета выглядят очень своеобразно, когда пользуются не просто водными, а загущенными растворами. Загустителем может быть силикат натрия, водный раствор которого называют жидким стеклом. Вполне подойдет для фокуса и разбавленный водой вдвое конторский силикатный клей.

Налейте в стакан немного раствора хлорида кальция и добавьте одну-две капли фенолфталеина. В другой стакан введите раствор силиката натрия. Как только вы выльете в него первый раствор и взболтаете смесь, она, само собой разумеется, станет красной, и что еще более любопытно, густой, будто фруктовое желе.

Вместо хлорида кальция можно взять 3 мерки сульфата магния (аптечная горькая соль), залить водой, взболтать и добавить несколько капель раствора силиката натрия. После размешивания и на этот раз образуется "желе", только не ярко-красное, а бледно-розовое.

Окрашенные силикатные студни позволяют "рисовать" волшебные картинки. Сделайте

набросок рисунка, и те места, которые должны быть окрашены, смочите бесцветным раствором фенолфталеина. Другой лист бумаги смочите раствором силиката натрия - тоже бесцветным. Прижмите листы один к другому и спустя несколько минут (тем временем вы можете показывать другой фокус) осторожно разделите листы. Картинка "сама собою" стала красной! Для посвященных нет ничего удивительного - ведь у растворов силиката натрия щелочная реакция...

И последний фокус, тоже обещанный ранее - с превращением "воды" в "кровь". Приготовьте непрозрачный сосуд, например, оклеив стеклянную банку цветной бумагой; для большей таинственности нарисуйте на бумаге алхимические символы. В банку налейте воду.

Приготовьте несколько чистых стаканов. Вообще-то достаточно трех, но для того, чтобы создать у зрителей впечатление, будто превращения очень сложны, возьмите пять или шесть стаканов. В один стакан насыпьте четыре ложечки гидросульфата калия или капните несколько капель уксусной кислоты и пометьте для себя (но так, чтобы не было заметно зрителям) этот стакан, чтобы его можно было сразу отличить от остальных. В другой стакан насыпьте ложечку кальцинированной соды, в третий - несколько капель раствора фенолфталеина. Сухие реактивы залейте малым количеством воды и размешайте до растворения. Теперь можно показывать фокус.

Прежде всего убедите зрителей, будто в банке простая вода; а поскольку так оно и есть, то можно в доказательство отпить из банки несколько глотков. А затем все стаканы наполните водой из банки. Не произойдет ровным счетом ничего. Перелейте всю воду обратно в банку из всех стаканов, кроме одного, с гидросульфатом натрия (или с кислотой). Жидкость в банке станет красной, словно кровь, и зрители убедятся в этом, как только вы выльете ее обратно в стаканы.

Вновь слейте содержимое стаканов в банку - на этот раз из всех без исключения стаканов. Жидкость обесцветится, "кровь" превратится в "воду", которую вы опять разольете по стаканам. Однако пить ее уже не надо.

Опыт нехитрый, но достаточно эффектный, если, разумеется, не забыть про заклинания...

ХИМИЧЕСКИЕ ЧАСЫ

В опытах, которые так похожи на фокусы, бесцветные растворы окрашивались то в один, то в другой цвет, и происходило это сразу же, как по мановению волшебной палочки. И действительно, химические реакции идут очень быстро и, как правило, начинаются сразу же после смешения реагентов. Однако из этого правила есть исключения. Реакционная смесь может оставаться какое-то время бесцветной, а затем мгновенно окраситься. Хотите - через пять секунд, хотите - через десять; вы сами можете поставить "химические часы" на требуемое время.

Приготовьте два раствора. Состав первого: 3,9 г йодата калия KJO_3 на литр воды. Состав второго: 1 г сульфита натрия Na_2SO_3, 0,94 г концентрированной серной кислоты (осторожно!) и немного, несколько миллилитров крахмального клейстера - тоже на литр воды. Оба раствора бесцветны и прозрачны.

Отмерьте по 100 мл обоих растворов и быстро, лучше при перемешивании, прилейте второй к первому. Опыт удобнее ставить вдвоем - пусть ваш товарищ сразу же начнет отсчет времени по секундомеру или по часам с секундной стрелкой. Через шесть-восемь секунд (точное время зависит от температуры) жидкость мгновенно окрасится в темно-синий, почти черный цвет.

Теперь отмерьте вновь 100 мл второго раствора, а 50 мл первого разбавьте водой ровно вдвое. С секундомером в руках вы убедитесь, что время, прошедшее с момента сливания растворов до их окрашивания, тоже увеличится в два раза.

Наконец, смешайте 100 мл второго раствора с 25 мл первого, разбавленного водой вчетверо, т.е. до тех же 100 мл. "Химические часы" будут работать в четыре раза дольше, чем в первом опыте.

Этот опыт демонстрирует один из фундаментальных химических законов - закон действия масс, согласно которому скорость реакции пропорциональна концентрациям реагирующих веществ. Но вот в чем вопрос: почему растворы окрашиваются мгновенно после паузы, а не равномерно и постепенно, как этого следует ожидать?

Серная кислота в растворе вытесняет йодат- и сульфит-ионы из их солей. При этом в растворе образуется йодоводородная кислота HI, но живет она недолго и тут же вступает

во взаимодействие с йодноватой кислотой HJO_3. В результате выделяется свободный йод, он-то и дает цветную реакцию с крахмалом.

Если бы все шло именно так, то раствор и темнел бы постепенно, по мере выделения иода. Однако параллельно идет еще один процесс: сернистая кислота H_2SO_3 реагирует со свободным иодом и вновь образуется иодоводородная кислота. Эта реакция идет быстрее предыдущей, и йод, не успев окрасить крахмал, снова восстанавливается до JO_3^-.

Выходит, что окраска не должна появиться вовсе? Обратите внимание: в ходе реакции сернистая кислота непрерывно расходуется, и как только вся она превратится в серную, иоду ничто уже не будет мешать реагировать с крахмалом. И тогда раствор мгновенно окрасится по всему объему.

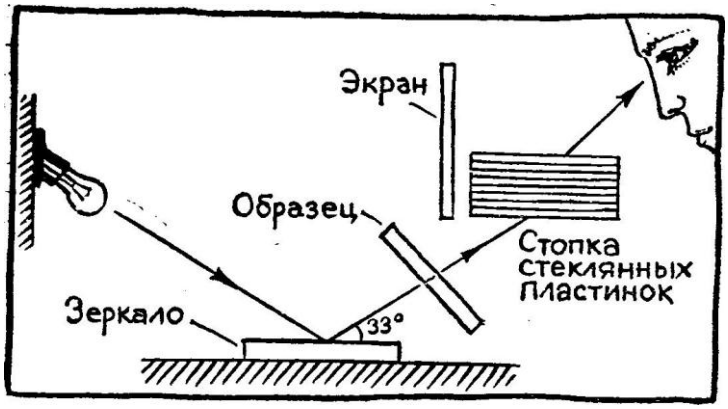
Разбавляя раствор вдвое и вчетверо, вы уменьшали концентрацию иодата калия, и скорость реакции уменьшалась пропорционально.

Объяснение, кажется, заняло больше времени, чем сам опыт с часами...

РАДУГА БЕЗ СОЛНЦА

В химических исследованиях очень часто используют оптические способы. Явление, которое вы сейчас будете наблюдать, применяют для того, чтобы определить температуру плавления вещества.

Подготовьте около пятнадцати одинаковых пластинок из тонкого стекла (годятся, например, старые фотопластинки). Горячей водой смойте с них эмульсию и нарежьте на квадратики размером примерно 5 х 5 см. Десять таких квадратиков положите один на другой и с торцов обмотайте изоляционной лентой, чтобы стопка не рассыпалась. На одну из оставшихся пластинок насыпьте немного тиосульфата натрия (гипосульфита) и аккуратно подогрейте, чтобы кристаллы расплавились. Другую свободную пластинку нагрейте и сразу накройте ею расплав. Между пластинками образуется тонкий прозрачный слой расплавленной соли. Если он окажется мутным, добавьте немного, буквально одну-две капли воды. При остывании расплава на воздухе гипосульфит начнет кристаллизоваться; это само по себе любопытно наблюдать через увеличительное стекло.



Положите на стол лист черной бумаги, а поверх него - чистое тонкое стекло. Включите яркую лампу и сядьте у стола так, чтобы сквозь стопку, которую вы будете держать, было видно отражение лампы в тонком стекле, лежащем на столе. Меняя наклон стопки, наклоняясь ближе к столу, либо отдаляясь от него, найдите такое положение, при котором отражение лампы померкнет. На стопку лучше смотреть под острым углом. Если вам мешает прямой свет от лампы, прикройте стопку экраном или ладонью, но так, чтобы видеть свет, отраженный от стола.

Свободной рукой возьмите пластинки с гипосульфитом и поместите их между стопкой и столом так, чтобы они оказались на пути света. Слегка поворачивайте и наклоняйте их - и вы увидите очень красивую радугу.

Объяснение опыта завело бы нас в мир уже не химических, а физических явлений. Расскажем только, как с помощью таких стопок - их называют поляризационными - измеряют температуру плавления. Радуга, которую вы наблюдали, появляется только в кристаллах. Если же постепенно нагревать твердое вещество, то в тот самый момент, когда вещество перейдет в жидкое состояние, радуга исчезнет.

СВЕТЯЩИЕСЯ РАСТВОРЫ

Во время некоторых химических реакций часть энергии выделяется в виде света. Такой процесс называют хемилюминесценцией. Иногда хемилюминесценция происходит в живых организмах: самый наглядный пример - всем известные светляки. Слабое свечение появляется и при окислении некоторых органических соединений. Вы можете наблюдать его в опыте с окислением гидрохинона. Заключительную стадию этого опыта надо проводить в темноте, чтобы свечение было лучше заметно.

Растворите 1 г гидрохинона и 5 г карбоната калия (поташа) в 40 мл аптечного формалина - водного раствора формальдегида. Перелейте реакционную смесь в большую колбу или в бутылку емкостью не менее литра.

В небольшом сосуде приготовьте 15 мл концентрированного раствора пероксида (перекиси) водорода. Можно воспользоваться таблетками гидроперита - соединения пероксида водорода с мочевиной (второй компонент опыту не помешает). Поставьте оба сосуда в темной комнате так, чтобы они были под рукой. Как только глаза привыкнут к темноте, добавьте раствор пероксида в большой сосуд. Тотчас смесь начнет вспениваться (из-за этого мы и просим вас взять сосуд побольше) и появится отчетливое оранжевое свечение.

Химическая энергия, выделяющаяся при окислении гидрохинона пероксидом в щелочной среде, почти полностью переходит в световую, а не в тепловую, как обычно. Тем не менее тепло в реакции тоже выделяется, поэтому формальдегид немного испаряется. А так как он неприятно пахнет, то, во-первых, не наклоняйтесь над сосудом и, во-вторых, сразу после опыта проветрите помещение.

Свечение может появиться не только при окислении. Иногда оно возникает при кристаллизации. Явление это давно известно; вы можете наблюдать его.

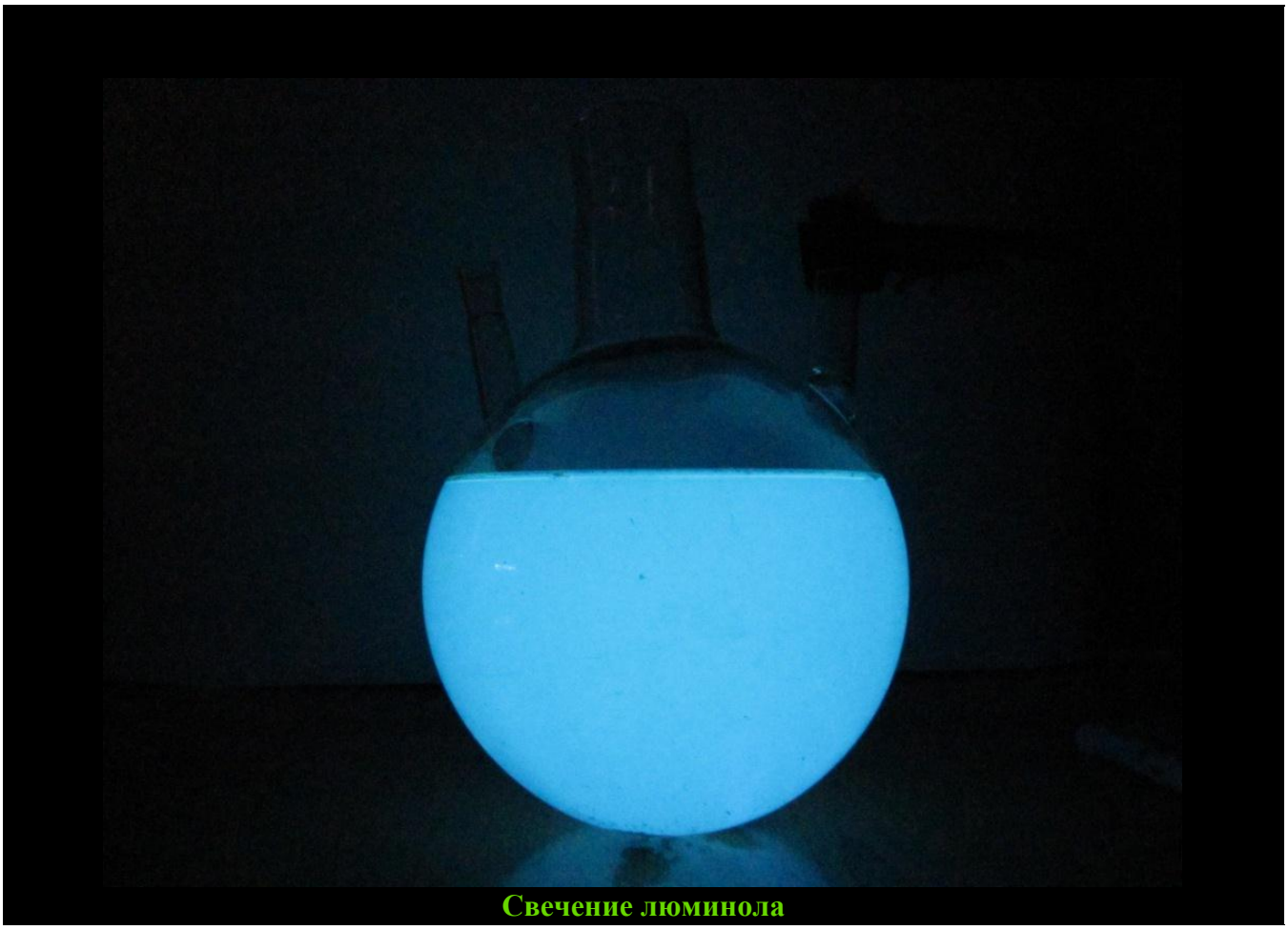
Самый простой объект наблюдения - поваренная соль. Растворите ее в воде, причем соли возьмите столько, чтобы на дне стакана оставались нерастворившиеся кристаллы. Полученный насыщенный раствор перелейте в другой стакан и по каплям, с помощью пипетки, осторожно добавляйте к этому раствору концентрированную соляную кислоту. Соль начнет кристаллизоваться и при этом возникнет свечение - в растворе будут проскакивать маленькие искры. Чтобы заметить их, опыт также надо ставить в темноте.

Подобным образом ведут себя при кристаллизации и некоторые другие соли - хлорид калия, хлорат бария. Во всех случаях искры появляются лишь при добавлении соляной (хлороводородной) кислоты. Но, пожалуй, наиболее эффектен опыт со смесью сульфатов калия и натрия. Смешайте 200 г калиевой и 80 г натриевой соли и небольшими порциями добавляйте к ним горячую воду. Когда все кристаллы растворятся, оставьте раствор для охлаждения. Помещение, в котором вы ставите опыт, должно быть затемнено. Первые, совсем слабые искры появятся уже при 60°С. Потом их будет становиться все больше и больше. Когда кристаллов выпадет много, вы увидите целый сноп искр, но этого приходится ждать долго - иной раз целый час. Если приложить ухо к стенке сосуда, можно услышать нечто вроде грома. Свечение в этом случае вызвано, вероятно, образованием двойной соли $2K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.

Раствор с кристаллами не выливайте - опыт можно повторить и после того, как свечение прекратится. Проведите стеклянной палочкой по кристаллам, которые находятся под жидкостью, или просто встряхните несколько раз сосуд с кристаллами - искры появятся вновь.

Вот еще опыт со свечением при кристаллизации (это явление называют кристаллолюминесценцией), Для него придется приготовить бромат бария $Ba(BrO_3)_2$ из более доступных веществ - бромата калия $KBrO_3$ и хлорида бария $BaCl_2$. Так как растворимость первого из них невелика, придется брать разбавленные растворы, примерно 3%-ной концентрации. Если смесь реагентов охлаждать, то в осадок выпадет искомая соль: в холодной воде бромат бария почти не растворяется.

Отфильтруйте, промойте холодной водой и высушите бромат бария, затем отвесьте 2 г, растворите в 50 мл кипятка и вновь профильтруйте раствор. Стакан с раствором поставьте охлаждаться, но не при комнатной температуре, а при несколько более высокой - 40-45°С (лучше всего - в сушильном шкафу). При этой температуре в растворе будут появляться голубые искры и раздаваться хлопки - опять микрогроза в химическом стакане...



Свечение люминола





Опыты с люминолом - фотографии и видео : **Смотреть >>**

СВЕЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Раствор бромата бария, приготовленный в предыдущем опыте, охладите до комнатной температуры; в осадок должны выпасть белые кристаллы соли. Когда их соберется достаточно, разотрите их стеклянной палочкой. Может быть, и не с первого раза (требуется навык), но при растирании появятся вспышки света.

По какой же причине - ведь химические процессы уже не идут, и кристаллизация тоже закончилась?

Действительно, причина тут иная - трение. И явление это - триболюминесценция (по-гречески трибос - трение). Есть вещества, которые очень чувствительны к трению и начинают светиться в темноте не только при растирании, но даже при встряхивании. Правда, эти вещества - не из самых распространенных, но может быть, они есть в школьном кабинете химии или в химическом кружке. Вот два из них: сульфид цинка ZnS с добавкой 0,02 % сульфида марганца MnS; сульфид кадмия CdS. Однако среди веществ, испускающих свет при трении, есть и на удивление обыденные. Например, сахароза.

В большую фарфоровую ступку насыпьте на дно немного рафинированного (т.е. очищенного) сахарного песка. Войдите в темное помещение и пробудьте в нем несколько минут. Когда глаза привыкнут к темноте, сначала медленно, потом постепенно убыстряя темп, растирайте круговыми движениями сахарный песок фарфоровым пестиком. Вскоре появятся голубоватые искры, которые сольются в светящееся кольцо. Если не убыстрять темп растирания, то искры будут вспыхивать под пестиком тут и там.

Упрощенный вариант опыта: крепко зажмите в руке кусок сахара-рафинада и чиркните им несколько раз по шероховатой поверхности - фаянсовой, керамической. Проделайте это, как и прежде, в темноте. Если глаза к ней привыкли, вы увидите светящиеся полосы, которые гаснут, едва вспыхнув.

Излучение при триболюминесценцин объясняется электрическими разрядами, возникающими при разрушении кристаллов. Вот почему оно прекращается, когда кристаллы сахара в ступке уже перетерты. Сахарная пудра от трения не светится.

ФАНТАСТИЧЕСКИЙ БУКЕТ

Сейчас займемся приготовлением цветов фантастической окраски. Мы воспользуемся свойством некоторых природных красителей изменять свой цвет под действием среды - тем самым свойством, благодаря которому нам удавалось превращать растения в самодельные индикаторы.

У английского писателя Редьярда Киплинга есть стихотворение "Синие розы" - о девушке, которая отвергла букет красных роз, и о юноше, который отправился на поиски синих, но так и не нашел их:

"Зря изъездил я весь свет -
Синих роз под солнцем нет".

Точно так же, как нет на свете ни зеленых пионов, ни желтых ландышей, ни малиновых нарциссов. И все же их можно видеть своими глазами...

В колбе или стакане смешайте 50 мл медицинского эфира с таким же количеством концентрированного раствора аммиака - это и есть реактив для изготовления фантастического букета. Пожалуйста, помните о том, что пары эфира легко воспламеняются, а значит, поблизости не должно быть огня. Кроме того, у обеих жидкостей резкий запах, поэтому опыт надо проводить в вытяжном шкафу или, в крайнем случае, на открытом воздухе.

Цветок, окраску которого вы собираетесь изменить, поместите над сосудом со смесью жидкостей. Некоторое время спустя (точное время придется определить на практике для каждого вида цветов) окраска изменится. Обе жидкости, которыми вы пользуетесь, летучи. Пары эфира экстрагируют Красители цветка из растительных клеток, а пары аммиака создают в лепестках щелочную среду. От этого красители и меняют окраску, подобно лабораторным индикаторам.

Обработав таким способом несколько разных цветков, вы получите невероятные букеты. Если вы собираетесь удивить необычными цветами своих знакомых, то учтите, что букет следует готовить незадолго до демонстрации, потому что обработанные смесью аммиака и эфира цветы быстро увядают.

Казалось бы, в кислой среде, под действием паров какой-либо кислоты, окраска цветов

должна восстановиться. К сожалению, это не так: в цветках идут и необратимые процессы, поэтому восстановить прежний цвет удается далеко не всегда.



Синяя роза



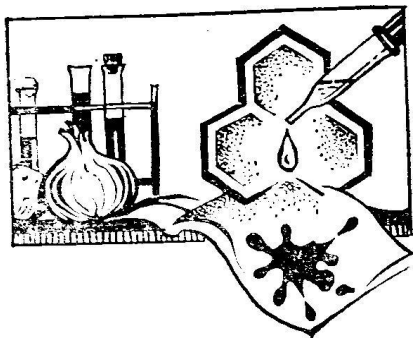
Красная роза

Опыты без взрывов

Олег Ольгин

ГЛАВА 6

СВОИМИ ГЛАЗАМИ



В школе вы изучаете химическую теорию, а на лабораторных занятиях убеждаетесь в том, что теория верна. Но все ли теоретические положения можно проверить на уроках? Вряд ли, времени не хватит, а многое слишком сложно для проверки. И все-таки некоторые явления, сложные по своей природе, можно наблюдать и на занятиях химического кружка, и даже в домашней лаборатории. Узнать о них не по книгам, а на опыте.

Сейчас бурно развивается биохимия - и вы можете своими глазами увидеть биохимические превращения. Вы слышали о солнечных элементах, которые преобразуют солнечную энергию в электрическую? Такие элементы можно изготовить самостоятельно - и они будут давать ток. Получить искусственный шелк, разделить смесь веществ на хроматографической колонке, синтезировать полупроводниковый материал и проверить его свойства - все это посильные задачи для юного химика.

Конечно, множество явлений и процессов останутся у нас вне поля зрения - необъятного не объять. Однако будем надеяться, что то немногое, с чем вы встретитесь в этой главе, даст вам пищу для размышлений. Увидеть своими глазами - очень важно, разобраться в сути - еще важнее.

ОПЫТЫ С ФЕРМЕНТАМИ: ОКСИДАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ

В клетках растений и животных непрерывно протекают сложные химические процессы. Они регулируются белковыми веществами - ферментами, которые (напомним еще раз) играют роль катализаторов химических реакций в клетках. Для изучения таких биохимических процессов нужны сложные приборы и множество реактивов. Однако некоторые биохимические явления можно наблюдать, как говорится, и невооруженным глазом.

Начнем с окислительных ферментов - оксидаз и пероксидаз. Они присутствуют во многих живых тканях, потому что окисление лежит в основе процессов дыхания. Но действуют эти ферменты по-разному: оксидазы окисляют органические вещества кислородом воздуха, пероксидазы для той же цели "добывают" кислород из пероксидов. Конечно, вещества медленно окисляются и без помощи ферментов, но ферменты ускоряют реакцию во много тысяч раз.

При окислении некоторых веществ, например, фенола и гидрохинона, образуются окрашенные продукты реакции. Появление окраски говорит о том, что фермент сработал. А интенсивность окраски позволяет судить о количестве продуктов окисления. Если же окраска вообще не появляется, значит, фермент неактивен. Это может случиться в слишком кислой или слишком щелочной среде, или если отсутствуют поставщики кислорода, или в присутствии вредных для ферментов веществ - так называемых ингибиторов ферментов.

После этого небольшого вступления - сами опыты. Вам понадобятся: капустная кочерыжка, яблоко, клубень картофеля с ростками, луковица с корешками, проросшая в темноте. Реактивами будут служить холодная кипяченая, а еще лучше дистиллированная вода, гидрохинон (из магазина фототоваров) и аптечная перекись водорода. Запаситесь также теркой для овощей, водяной баней, пробирками или флакончиками из-под пенициллина, чистыми пипетками и марлей либо белой тканью.

Начнем исследования с капустного сока. Кусочек капустной кочерыжки, примерно 20 г, измельчите на терке, полученную кашицу отожмите через два слоя марли или один слой ткани, сок соберите в стакан и разбавьте водой в десять раз. Сразу же предупреждаем: при исследовании других растительных объектов сок нужно разбавлять не более чем в два-три раза.

Шесть чистых сухих пробирок или флакончиков пронумеруйте. В пробирки № 1, 2, 3 и 4 налейте по 1 мл разбавленного капустного сока. Пробирки 1 и 2 поставьте для разрушения (инактивации) ферментов минут на пять в кипящую водяную баню, а затем охладите до комнатной температуры. В пробирки 5 и 6 вместо сока налейте по 1 мл воды.

Во все шесть пробирок добавьте немного, на кончике ножа, гидрохинона. Затем в пробирки 1, 3 и 5 налейте по пять капель воды, а в пробирки 2, 4 и 6 - по пять капель

пероксида водорода. Содержимое каждой пробирки тщательно перемешайте.

Через десять-пятнадцать минут можно уже наблюдать результаты опыта. Настоятельно советуем записать их в виде таблицы. Внесите в таблицу номера пробирок и состав смеси в каждой из них, в графе против каждой смеси пометьте, изменилась ли окраска в ходе опыта, а если изменилась, то как именно. В следующей графе сделайте вывод - произошло ли окисление.

Когда вся таблица будет заполнена, попытайтесь проанализировать полученные результаты. Для этого подумайте над такими вопросами.

Может ли пероксид водорода окислить гидрохинон в отсутствие капустного сока?

Окисляется ли гидрохинон под действием сока капусты без пероксида водорода?

Сохраняется ли активность ферментов в соке после кипячения?

Какие окислительные ферменты содержатся в капустном соке - оксидазы или пероксидазы?

Однако па основании опыта с растениями одного вида рано еще делать окончательные выводы. Поэтому поставьте такие же опыты с клубнем картофеля и его ростками, с мякотью яблок, с мясистыми чешуями луковицы, а также с ее донцем и листьями ("перьями"). Напоминаем: в этих случаях полученный сок надо разбавлять водой в 2-3 раза.

Когда все опыты проделаны, можно определить, в каком из исследованных материалов окислительные ферменты активнее. Как вы считаете, могут ли одновременно присутствовать в растительных тканях оксидазы и пероксидазы?

Попытайтесь сделать выводы сами, не заглядывая в объяснение. А когда выводы сделаны, проверьте, насколько они правильны.

Вывод первый. Пероксид водорода может постепенно окислять гидрохинон и без сока: в пробирках 5 и 6 медленно появляется розовая окраска. Значит, фермент необязателен для реакции. Как и все катализаторы, ферменты лишь ускоряют начавшуюся реакцию во

много раз. Вы заметили, конечно, как быстро появилась окраска в пробирке 4. Однако пероксидазы не могут ускорить реакцию гидрохинона с кислородом воздуха (окраска в пробирке 3 отсутствует или появляется очень медленно).

Вывод второй. Фермент можно вывести из строя даже кратковременным кипячением. В пробирке 2 окраски практически нет. Ведь ферменты - это белки; они свертываются при нагревании - в пробирках 1 и 2 появились белковые хлопья.

Вывод третий. В пробирке 3 окраска не появилась. Значит, в капустном соке содержатся только пероксидазы, ускоряющие окисление гидрохинона лишь в присутствии пероксида водорода. Однако в опытах с картофельными клубнями и яблоком окраска появляется, и особенно быстро при встряхивании флакона, когда раствор обогащается кислородом воздуха. Значит, в картофеле и яблоке есть оксидазы (конкретнее - фенолоксидаза), способствующие окислению гидрохинона кислородом. Поэтому и темнеют на воздухе разрезанные клубни картофеля и яблоки - они содержат вещества, родственные гидрохинону. Оксидаза также теряет активность при нагревании. Вспомните, темнеет ли вареный картофель? Наконец, четвертый вывод. В картофеле и яблоке есть также оксидазы - при добавлении пероксида в пробирку 4 окраска появляется скорее. А в мясистых чешуях лука оксидазы нет. Они не темнеют на воздухе даже с гидрохиноном.

Кстати, вы обратили внимание на то, что окислительные ферменты особенно активны в готовящихся к росту или растущих органах растений - в донце луковицы и ее корешках, в ростках клубней картофеля? Обмен веществ идет там наиболее интенсивно.

Итак, мы выяснили, что не всякие условия среды благоприятны для действия ферментов. Если сильный нагрев инактивирует ферменты, то, может быть, они более активны при низкой температуре? Проверим и это. Для опыта нужны будут дополнительно четыре стеклянные или металлические банки емкостью около одного литра и лед или снег (примерно 1 кг). Опыт поставим с капустной кочерыжкой.

Натрите кочерыжку на терке, сок, как и прежде, отожмите через марлю или ткань и разбавьте водой в двадцать раз. Пронумеруйте вновь пробирки, если старая нумерация почему-либо стерлась, и налейте в пробирки 1, 2, 3 и 4 по 1 мл разбавленного капустного сока, а затем добавьте гидрохинон на кончике ножа. В пробирки 5 и 6 вместо сока налейте по 1 мл воды и тоже насыпьте гидрохинон. А затем расставьте пробирки следующим образом: 1 - в банку со снегом или льдом; 2 - в банку с теплой водой (40°С); 3

- в банку с горячей водой (60°С); 4 - оставьте на столе при комнатной температуре; 5 - в банку с кипящей водой; 6 - оставьте при комнатной температуре.

Через 5 мин после начала опыта во все пробирки, начиная с более холодных, влейте по пять капель пероксида водорода. Смесь осторожно взболтайте и заметьте время начала реакции. Еще через 5 мин выньте пробирки из банок и запишите результаты опыта в виде таблицы, примерно такой же, как и в прошлый раз. Когда таблица заполнена, можно заняться анализом полученных данных.

Попробуйте сделать выводы самостоятельно, ответив сначала на следующие вопросы.

Ускоряется ли реакция окисления при повышении температуры без добавления фермента?

Можно ли сказать, что ферменты лучше действуют при охлаждении?

Какая температура наиболее благоприятна для действия пероксидаз?

Почему пищевые продукты дольше сохраняются в холодильнике?

Для чего кипятят молоко?

Почему теплокровные животные - млекопитающие и птицы - наиболее развитые и жизнеспособные животные на Земле?

Вы ответили на все эти вопросы? Тогда - наши пояснения.

Вы, вероятно, заметили, что скорость окисления гидрохинона пероксидом водорода неодинакова при низкой и высокой температурах. При высокой температуре скорость окисления, естественно, выше. Пероксидазы облегчают взаимодействие гидрохинона с пероксидом. В присутствии фермента реакция проходит даже при низкой температуре, однако чем выше температура, тем легче ферменту активировать молекулы реагирующих веществ.

Но нельзя забывать, что белки при высокой температуре свертываются, скорость реакции снижается. Существует понятие оптимальной температуры действия ферментов, при

которой они проявляют наибольшую активность. Для разных ферментов эта температура неодинакова, но многие ферменты, в том числе и пероксидазы, имеют температурный оптимум 40-50°С.

Пищевые продукты портятся под действием ферментов, которые содержатся в них или выделяются микроорганизмами. На холоде активность ферментов снижается - вот почему в холодильнике продукты портятся меньше.

На верхнюю ступень эволюции поднялись теплокровные животные, которые могут поддерживать температуру тела, оптимальную для деятельности ферментов.

ОПЫТЫ С ФЕРМЕНТАМИ: ДЕГИДРОГЕНАЗЫ

До сих пор вы ставили опыты с растительными тканями. Попробуем поэкспериментировать с ферментами из тканей животных. Объект нового исследования - дегидрогеназы, которые участвуют в процессах тканевого дыхания у животных. Из названия этих ферментов видно, что они отнимают у веществ атомы водорода. Как это происходит, вы увидите чуть позже, а пока приготовьте все необходимое для опыта.

На этот раз вам понадобятся следующие вещества: 5 мл 0,5%-ного водного раствора формальдегида (аптечный формалин разбавить водой в десять раз); столько же 0,02%-ного водного раствора метиленового синего (можно использовать разбавленные синие чернила); столько же водного раствора янтарной кислоты, осторожно нейтрализованного пищевой содой до прекращения выделения пузырьков; 10 мл вазелинового или растительного масла. Еще нужен будет термометр и объекты исследования - свежее коровье молоко и мясо курицы или кролика.

Сначала посмотрим, как окисляет формальдегид дегидрогеназа свежего молока. Чтобы это стало заметно, и понадобился раствор красителя метиленового синего: дегидрогеназа отнимет у формальдегида атом водорода, перенесет его на легко восстанавливающийся краситель, и он обесцветится. А формальдегид окислится при этом до муравьиной кислоты. Обесцвеченный после восстановления краситель легко окисляется кислородом воздуха и вновь синеет. Поэтому реакционную смесь придется изолировать от воздуха слоем масла.

Пронумеруйте шесть пробирок. В пробирки 1 и 2 налейте по 5 мл свежего некипяченого

молока, а в пробирку 3 - такое же количество холодного кипяченого молока.

Воду в водяной бане нагрейте до 37°С. Во все три пробирки добавьте по 0,5 мл (около 50 капель) раствора формальдегида и по 5 капель раствора метиленового синего. Смесь станет голубой. В каждый флакон налейте немного масла, чтобы образовался тонкий изолирующий слой на поверхности, и поставьте пробирки 1 и 3 на водяную баню. Пробирку 2 оставьте при комнатной температуре. Заметьте время начала реакции и наблюдайте за изменением окраски растворов. Результаты не забудьте записать в тетрадь.

Как и раньше, зададим вам наводящие вопросы. При какой температуре раствор обесцвечивается быстрее?

Сохраняет ли фермент свою активность в кипяченом молоке?

Что произойдет, если продуть через обесцвеченный раствор воздух?

Прежде чем проверить правильность своих выводов, поставьте еще один опыт с дегидрогеназой, а потом уже рассмотрим результаты обоих опытов.

В мышцах животных содержится специфический фермент - дегидрогеназа янтарной кислоты. Она катализирует превращение янтарной кислоты в фумаровую с переносом отнятого водорода на подходящее вещество, например, на метиленозый синий. Эта реакция протекает без участия кислорода, как говорят, в анаэробных условиях.

Сырое мясо курицы или кролика (около 10 г) мелко нарежьте и разотрите на блюдце. Кашицу промойте несколько раз водой на марле, чтобы удалить растворимые вещества. Промытую кашицу размешайте с тройным объемом воды, в которую добавлена поваренная соль - примерно треть чайной ложки. Разбавленную кашицу влейте в пробирки 4, 5 и 6 - по 5 мл в каждую. Пробирку 4 погрузите на пять минут в кипящую водяную баню и охладите до комнатной температуры. Затем в пробирки 4 и 5 добавьте по 0,5 мл раствора янтарной кислоты и по 10 капель раствора метиленового синего, а в пробирку 6 добавьте 0,5 мл воды и 10 капель красителя. В каждый флакон долейте чуть-чуть масла, чтобы изолировать смесь от воздуха. Проследив изменение окраски, попробуйте ответить на очередные вопросы.

Восстанавливается ли краситель в присутствии прокипяченной кашицы из мяса?

Нужна ли для этой реакции янтарная кислота?

Сходно ли поведение ферментов из тканей при высокой температуре?

А теперь - пояснения. Дегидрогеназы в свежем молоке ускоряют реакцию окисления формальдегида (это замечено по обесцвечиванию метиленового синего). Восстановленному красителю можно вернуть синий цвет, окисляя его кислородом воздуха. Дегидрогеназа молока при низкой температуре "работает" медленно; после кипячения молока она вовсе теряет активность. Значит, у этого фермента тоже есть оптимальная температура реакции.

В опытах с кашицей из мышц дегидрогеназа янтарной кислоты, как и все ферменты, теряет активность после кипячения. В отсутствие янтарной кислоты реакция также не идет (если вы хорошо промыли кашицу водой и удалили таким образом содержащуюся в ней янтарную кислоту). Фермент довольно быстро окисляет янтарную кислоту до фумаровой, перенося атомы водорода на краситель.

И еще один опыт с этим же ферментом, но с другим объектом - с микроорганизмами. До сих пор вы имели дело с животными и растительными тканями. Однако микроорганизмы, пожалуй, еще лучше вооружены ферментами: ведь у них нет других средств борьбы за существование, кроме биохимических. С одним из микроорганизмов, а точнее - грибов, мы и поставим опыт. Речь идет об обычных пекарских дрожжах. Среди множества активных ферментов, которые вырабатываются дрожжами, есть и знакомая нам дегидрогеназа.

Кусочек прессованных дрожжей разотрите на блюдце с двумя чайными ложками кипяченой воды. Растирать лучше пластмассовой или алюминиевой ложкой. Когда смесь станет однородной, внесите ее чистой пипеткой в две пробирки. Их надо предварительно вымыть с мылом ватным тампоном на палочке, промыть водой и высушить. Другой пипеткой добавьте в обе пробирки немного масла.

Пробирку 1 поставьте на пять минут в кастрюлю с кипящей водой и охладите до комнатной температуры. В обе пробирки добавьте по щепотке сахарного песка и осторожно взболтайте, чтобы сахар растворился. Третьей пипеткой введите в обе

пробирки по 10-15 капель раствора красителя. Наблюдайте за окраской раствора.

Опыт можно несколько усложнить, для этого понадобится больше пробирок. Попробуйте изменять температуру раствора, брать разные количества дрожжей и сахарного песка. А выводы предоставляем вам сделать самостоятельно, без всяких наводящих вопросов. Теперь, когда вы накопили достаточный опыт, вам это вполне под силу.

ОПЫТЫ С ФЕРМЕНТАМИ: АМИЛАЗЫ

Ферменты ускоряют течение многих химических реакций, но делают это избирательно. У каждого из них своя узкая "специальность", один и тот же процесс ускоряется иногда несколькими ферментами. В этом мы сейчас и убедимся.

Рассмотрим ферменты, разрушающие крахмал с присоединением к его "осколкам" молекул воды, т.е. гидролитические ферменты. Среди них - амилазы, о которых мы уже рассказывали в главе "Опыты с углеводами". Поскольку суть действия таких ферментов вы уже знаете, займемся сразу сравнительными опытами: проверим, как действуют на крахмал амилазы человека и животных.

Источником амилазы человека, как и раньше, будет служить слюна. Амилазы животного происхождения вы найдете в пчелином меде.

Приготовьте сначала пять растворов. Первый раствор: соберите в пробирку около 0,5 мл слюны и разбавьте холодной кипяченой водой в двадцать раз. Второй раствор: очень жидкий крахмальный клейстер (четверть чайной ложки крахмала на стакан воды). Третий раствор: разбавленная водой в двадцать раз аптечная иодная настойка. Четвертый раствор: две-три капли пчелиного меда, разведенные водой в десять раз и тщательно перемешанные. Пятый раствор: половина чайной ложки пищевой соды на десять ложек воды.

На этот раз потребуется девять пробирок. Во все пробирки налейте около 5 мл клейстера. В пробирки 1, 4 и 7 прибавьте пипеткой по 5 капель уксуса, а в пробирки 2, 5 и 8 - столько же раствора соды. В остальные пробирки прибавьте по 5 капель чистой воды. Содержимое всех пробирок перемешайте и в каждую внесите по 10 капель разбавленной слюны.

Через 10 мин в пробирки 1, 2 и 3 прибавьте одну-две капли раствора иода и перемешайте смесь. Наблюдайте за изменением окраски. Еще через 15 мин прибавьте такую же порцию иода в пробирки 4, 5 и 6, а еще через 10 мин - в остальные пробирки. Крахмал и декстрины, как вы помните, дают различную окраску с подом, и по мере разрушения крахмала амилазой цвет меняется. Так можно судить не только о распаде крахмала, но и о том, какая среда - кислая, нейтральная или щелочная - более благоприятна для этого процесса.

Опыт с пчелиным медом ставится точно так же. Активность амилаз в разных образцах может сильно колебаться, поэтому, возможно, время гидролиза придется уменьшить или увеличить. Например, в слюне заядлых курильщиков амилазы содержится очень мало.

Для следующего опыта понадобится ячменный солод - проросшие зерна ячменя. Опустите зерна в воду на несколько часов и оставьте их прорастать на блюдце в течение 4-5 дней, каждый день подливая немного воды. Проростки отделите, промойте водой ? тщательно разотрите деревянным пестиком или ложкой. Кашицу разбавьте двойным количеством дистиллированной воды и отожмите через плотную ткань в стакан. Такой экстракт содержит два фермента: альфа-амилазу и бета-амилазу. Дополнительной обработкой можно разрушить один из них, чтобы наблюдать действие другого. Альфа-амилазу разрушим нагреванием. К одной части экстракта из ячменя добавьте три части воды, размешайте смесь и нагревайте ее 20 мин на водяной бане при 70°С, тщательно перемешивая. Охлажденный раствор содержит бета-амилазу.

Теперь, чтобы получить раствор альфа-амилазы, нужно разрушить бета-амилазу кислотой. Около 5 мл экстракта охладите до 2-3°С в холодильнике или на льду, прибавьте неполную чайную ложку охлажденного уксуса и долейте в пробирку почти доверху холодную воду. Смесь перемешайте и оставьте на 15-20 мин, а затем нейтрализуйте раствор, добавляя порошок мела до прекращения выделения пузырьков. Еще раз размешайте смесь, разбавьте в два раза водой, дайте отстояться и слейте жидкость над осадком в чистую пробирку. На этом подготовка к опыту закончена.

В десять пробирок налейте по 1 мл раствора крахмала и по 9 мл воды. В пробирки 1-5 добавьте пипеткой десять капель раствора альфа-амилазы, в остальные пробирки - столько же раствора бета-амилазы, Содержимое всех пробирок перемешайте. Через 3 мин в пробирки 1 и 6 прибавьте одну каплю раствора иода и размешайте. То же проделайте с пробирками 2 и 7 через 5 мин, 3 и 8 - через 10 мин, 4 и 9 - через 20 мин, 5 и

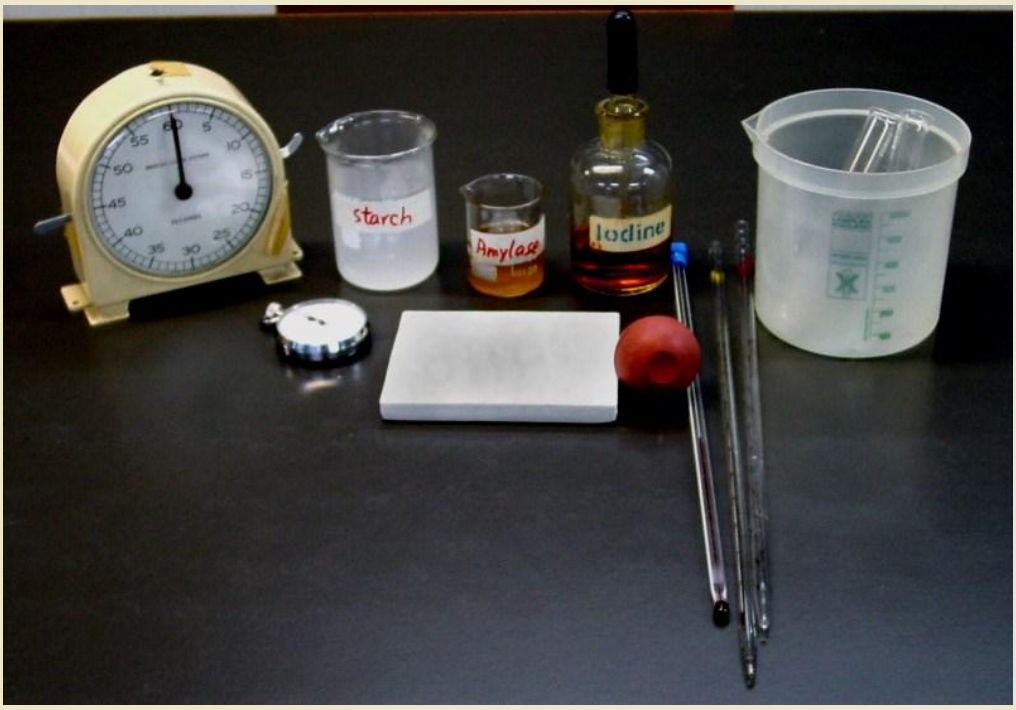
10 - через 30 мин.

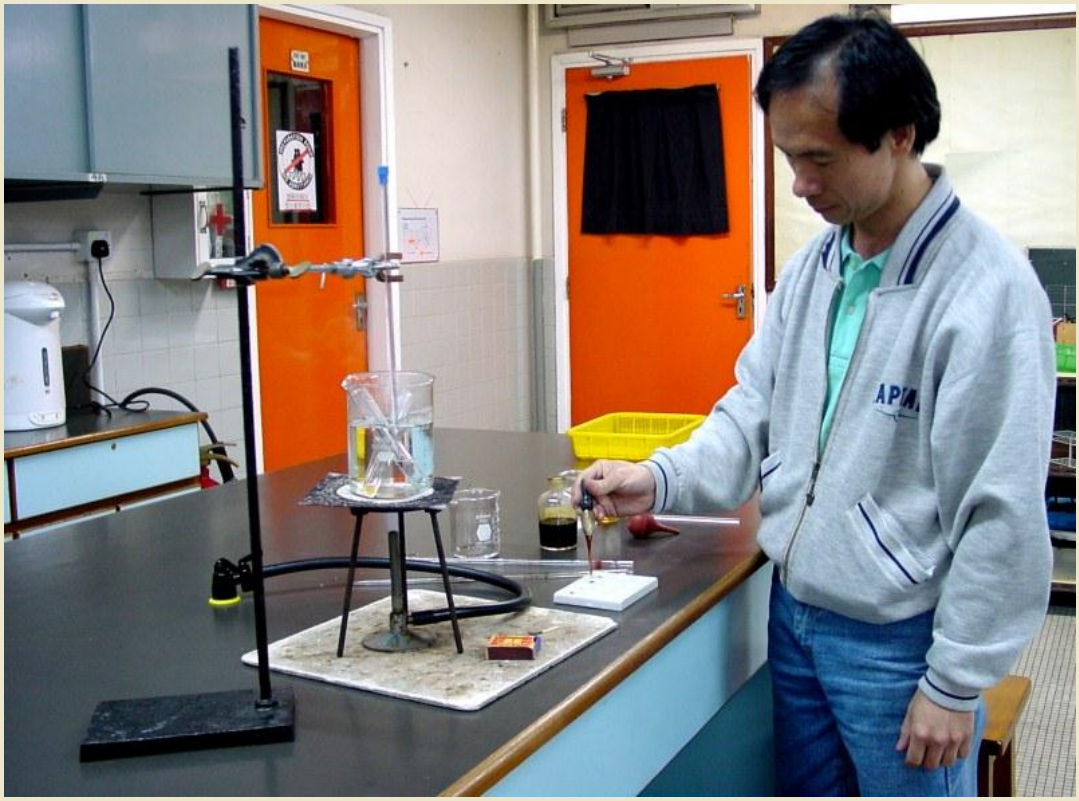
Вы заметите, что в присутствии альфа-амилазы окраска быстро меняется: синяя - фиолетовая - розовая - желтая: при этом образуются декстрины - осколки молекул крахмала. Бета-амилаза действует иначе: она как бы "откусывает" кусочки от молекул крахмала, и поэтому окраска с иодом остается синей, но по мере распада крахмала ее яркость уменьшается.

Результаты этого опыта наглядно показывают разнообразие свойств даже у похожих ферментов. В живых организмах ферменты обычно действуют совместно. Происходящие при этом превращения намного сложнее тех сравнительно простых реакций, которые вы наблюдали в пробирках. Но познание простого - это первый шаг к познанию сложного.



Крахмал и амилаза





И НЕ ТОЛЬКО АМИЛАЗА

Вы уже убедились в том, что слюна - превосходный объект для биохимического исследования, и притом, в отличие от большинства других объектов животного происхождения, постоянно доступный.

Помимо амилазы, в слюне есть и другие ферменты, помогающие переваривать пищу, расщепляя сложные природные вещества на более простые. Но выделять и изучать их гораздо труднее, чем амилазу. Поэтому последние наши биохимические опыты мы поставим с веществами иной природы.

Ополоснув рот водой, соберите около 1 мл слюны в пробирку или флакончик и разведите тройным количеством дистиллированной или кипяченой воды. Отлейте половину содержимого в другую пробирку и капните примерно десять капель раствора ляписа - нитрата серебра $AgNO_3$ (можно растворить в 1 мл воды половину ляписного карандаша из аптеки; примеси не помешают опыту). К белому осадку, выпавшему в пробирке, добавьте уксус, и осадок частично растворится. Так при взаимодействии с нитратом серебра ведут себя соли соляной (хлороводородной) и фосфорной кислот - хлориды и фосфаты.

Вторую часть раствора слюны слегка подкислите слабым раствором соляной кислоты и добавьте несколько капель 3%-ного раствора хлорида железа $FeCl_3$. Красно-бурая окраска свидетельствует о том, что в растворе есть роданиды - соли роданистоводородной кислоты. В то время как в слюне у курильщиков мало амилазы, роданидов, напротив, больше обычного. Это можно проверить экспериментально, если у вас есть курящие родственники.

Следующий опыт потребует примерно 5 мл слюны. Поместите ее в стакан и при перемешивании стеклянной палочкой добавьте несколько капель уксусной кислоты (не разбавленного уксуса, а эссенции). На палочку будет налипать белый комочек, похожий на сваренный яичный белок. Это вещество - муцин, он увеличивает вязкость слюны, загущает ее и способствует образованию пены.

Попробуем самостоятельно разобраться в составе муцина. Часть полученного вещества поместите в маленькую пробирку, капните немного, буквально 2-3 капли азотной кислоты и дождитесь, пока муцин пожелтеет. Теперь капните столько же концентрированного раствора щелочи (можно взять раствор аммиака) - и цвет станет оранжевым. Такая реакция называется ксантопротеиновой, она характерца для белков. Вместо нее можно провести биуретовую реакцию, описанную в главе "Опыты с белком" - и в том и в другом случае подтвердится белковая природа вещества.

Но это еще не все. Остальной муцин, выделенный из слюны, подвергните пробе на углеводы. Для этого воспользуйтесь цветной реакцией Молиша, описанной в главе "Опыты с углеводами", или, если у вас есть немного нафтола, то ее упрощенной модификацией: к раствору муцина в слабой, примерно 1 %-ной соляной кислоте добавьте три-четыре капли 0,1 %-ного раствора нафтола в спирте и после размешивания очень аккуратно капните на поверхность концентрированной серной кислоты. Фиолетовое кольцо будет свидетельствовать о том, что вы взяли для анализа углевод.

Выходит, что муцин - и белок, и углевод одновременно? Именно так. Он из класса глюкопротеинов, т.е. соединений, содержащих и белковую, и углеводную часть. Если разлагать его сильными кислотами, то образуются аминокислоты, из которых состоят белки, и одновременно - углеводы.

ХРОМАТОГРАФИЯ НА ДОМУ

Для разделения всевозможных смесей, для анализа и выделения из смесей отдельных веществ в лабораториях очень часто пользуются хроматографией: это один из лучших методов разделения и анализа смесей. Хроматографию применяют и в промышленности, когда надо очистить и разделить похожие вещества - органические и неорганические, от лантаноидов до аминокислот. Суть ее в том, что отдельные компоненты смеси (жидкости или газа) по-разному удерживаются веществом-адсорбентом, способным избирательно поглощать те или иные химические соединения.

Современные газовые и жидкостные хроматографы - сложные приборы с автоматическим управлением, нередко - с микро-ЭВМ, которая планирует ход исследования и выдает готовые результаты. Конечно, такое недоступно ни для домашней лаборатории, ни для кружка. Однако начинался этот способ анализа с простых приемов, которые доступны и начинающему химику.

Начнем с бумажной хроматографии. Химики-аналитики пользуются специальной хроматографической бумагой, но для наших опытов подойдет обычная фильтровальная бумага, а то и промокашка. Возьмите квадратный листок бумаги и в середину капните исследуемый раствор, содержащий смесь окрашенных веществ. Это может быть спиртовая настойка какого-либо лекарства, например валерианы или календулы. или приготовленный вами экстракт хлорофилла (см. главу "Экстракция"), или смесь красителей, составленная специально для этого опыта. На бумаге образуется пятно. В центр его капните несколько капель растворителя: в приведенных выше примерах растворителем должен служить спирт, причем одеколоном его заменить нельзя - в нем содержатся вещества, которые могут исказить ход опыта. Вместо этилового спирта можно взять изопропиловый - под названием ИПС его продают в хозяйственных магазинах как средство для мытья окон.

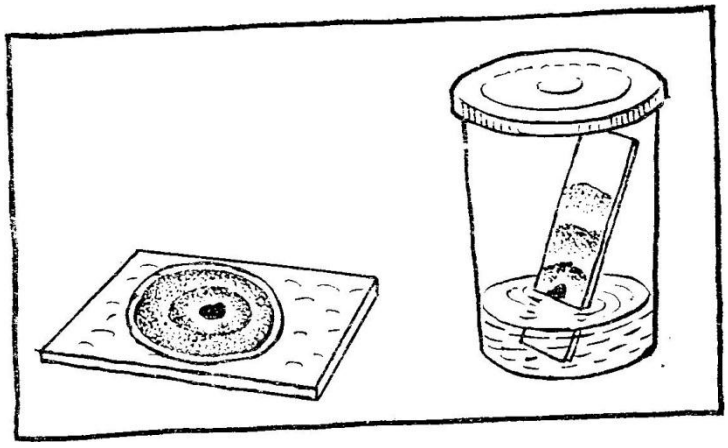
Итак, вы капнули несколько капель растворителя, и он, словно по фитилю, продвигаясь между бумажных волокон, разносит окрашенные вещества от пятна во все стороны. В зависимости от природы вещества и его молекулярной массы опыт идет быстрее или медленнее, но рано или поздно на листе оказывается несколько колец разного цвета. Сколько именно колец - зависит от того, сколько веществ было в анализируемой смеси.

В опыте с хлорофиллом таких колец будет два: желтое и серое.

Вы можете придумать множество вариантов этого опыта, используя разные смеси и подходящие растворители. А еще более точные результаты можно получить, если вместо бумаги использовать тонкий слой сорбента, нанесенный, например на стекло. Такой вариант метода называют тонкослойной хроматографией, а веществом-сорбентом в простейшем случае может служить крахмал.

Разболтайте крахмал в небольшом количестве спирта (вновь можно взять изопропиловый спирт), вылейте смесь на стекло и дайте растворителю испариться. Когда пластинка станет сухой, в ее центр, как и на бумагу, капните одну каплю исследуемой смеси; разумеется, она должна быть окрашенной, иначе разделение трудно будет заметить. Объект для эксперимента подберите сами. Помимо того, что было уже названо, годятся окрашенные соки, чернила, гуашевые краски и многое иное.

Дайте пятну подсохнуть и капните одну-две капли растворителя. Если расплывающееся пятно оставит на сорбенте-крахмале не одно, а два или несколько цветных колец, это будет свидетельствовать о том, что вы имели дело не с индивидуальным веществом, а со смесью.

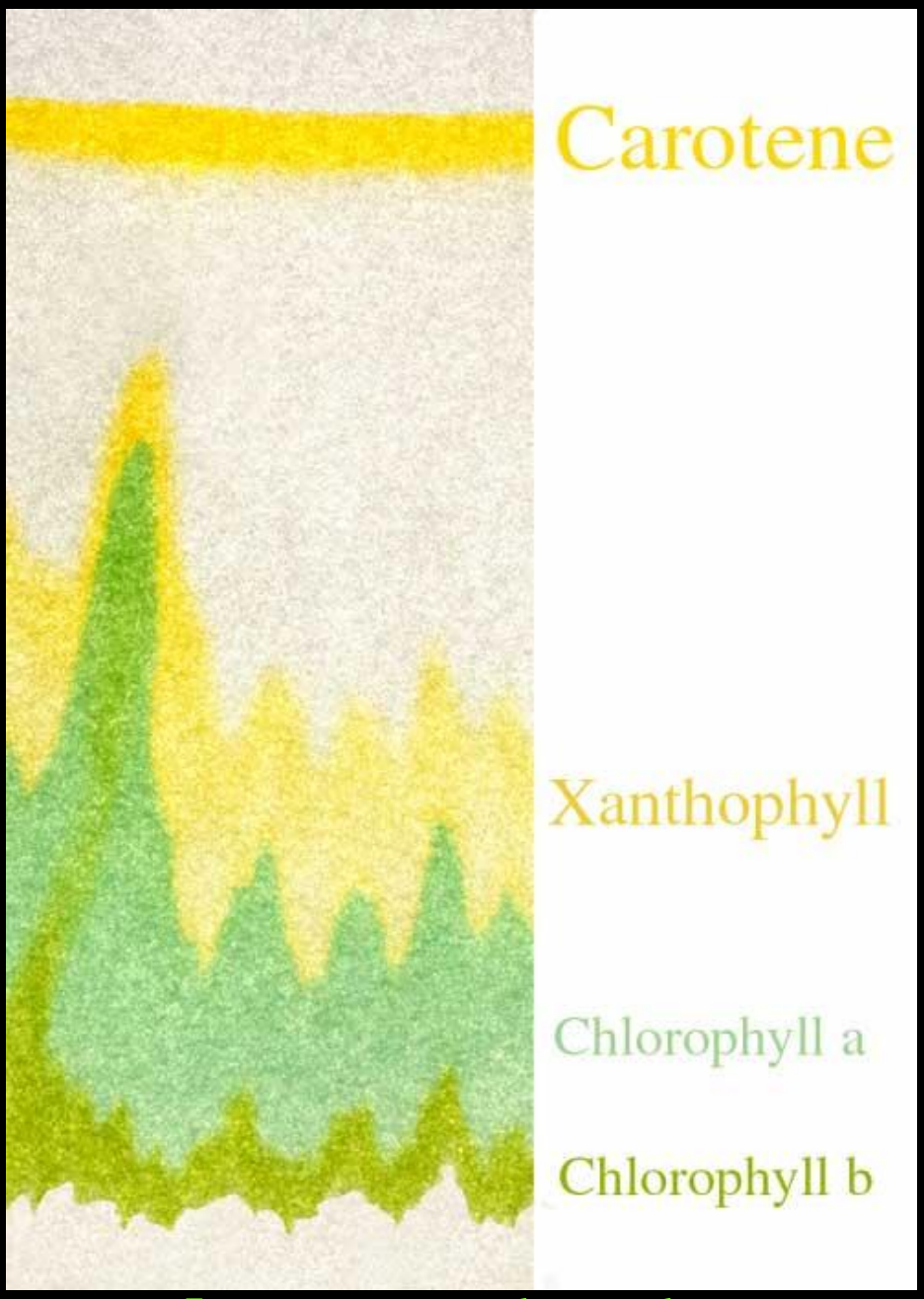


Вариант опыта с тонкослойной хроматографией: пластинку с исследуемым веществом ставят наклонно в стакан, на дно которого налито совсем немного растворителя - так, чтобы он смачивал немного крахмал. Растворитель (спирт) будет подыматься по крахмалу, дойдет до капли смеси, продвинется еще выше, а смесь при этом разделится на компоненты: они по-разному удерживаются адсорбентом-крахмалом.

Не менее распространена в лаборатории колоночная хроматография, при которой смеси разделяют на колонках, заполненных сорбентом. Такой метод, пожалуй, еще точнее, но он требует терпения, поскольку раствор в колонке движется медленно.

Хроматографической колонкой вам будет служить стеклянная трубка диаметром около 1

см и длиной примерно 20 см. Закройте ватой ее нижний конец и всыпьте крахмал или сахарную пудру чуть больше, чем наполовину. Сверху влейте в трубку раствор исследуемого вещества, желательно не слишком высокой концентрации. Когда раствор пропитает крахмал или пудру в колонке примерно на половину его высоты, влейте 3-4 мл чистого растворителя. Смесь разгонится по высоте колонки, станут отчетливо видны окрашенные кольца. Их будет столько, сколько веществ входит в состав изучаемой смеси. Этот опыт хорошо удается, в частности, с экстрактом хлорофилла, если в качестве растворителя взят чистый бензин (не автомобильный, а бензин-растворитель).



Бумажная хроматография хлорофилла



ЛУЧ УПАЛ НА КРИСТАЛЛ...

Займемся тем, что приготовим полупроводник. Один раз вам это уже удалось - когда вы превратили алюминиевую ложку в выпрямитель тока. Теперь опыт не менее интересный, и с теоретическими пояснениями. Ставить его лучше в химическом кружке или в школьной лаборатории, И не потому, что опыт опасный: просто дома у вас скорее всего нет требуемых веществ.

Сначала - предварительный опыт. Приготовьте раствор нитрата или ацетата свинца и пропустите через него сероводород (работайте под тягой!). Выпавший осадок сульфида свинца PbS высушите и проверьте, как он проводит электричество. Оказывается, это самый обычный изолятор. Так причем же здесь полупроводники?

Не будем спешить с выводами, а поставим следующий, основной опыт. Для него придется приготовить равные количества, скажем, по 15 мл, 3%-ного раствора тиокарбамида $NH_2C(S)NH_2$ и 6 %-ного раствора ацетата свинца. Вылейте оба раствора в небольшой стакан. С помощью пинцета внесите в раствор стеклянную пластинку и держите ее вертикально (либо закрепите в таком положении). Надев резиновые перчатки, налейте в стакан почти доверху концентрированный раствор щелочи (осторожно!) и очень аккуратно размешайте стеклянной палочкой, стараясь не задевать ею пластинку. Слегка подогрейте раствор - так, чтобы появился пар; помешивание продолжайте. Минут через десять стеклянную пластинку аккуратно выньте, вымойте под струей воды и высушите.

И в этом случае вы получили сульфид свинца - так в чем же разница?

Во втором опыте реакция идет медленно, и осадок выпадает не сразу. Если вы наблюдали за раствором, то заметили, что сначала он помутнел и стал почти как молоко, и лишь потом потемнел - это промежуточные соединения, разлагаясь, образовали черный сульфид свинца. И он оседает на стекле в виде тонкой черной пленки, которая состоит из очень маленьких, различимых только под микроскопом кристаллов. Поэтому пленка кажется очень гладкой, почти зеркальной.

Присоедините к пленке два электрических контакта и пропустите ток. Если сульфид свинца из предыдущего опыта вел себя как диэлектрик, то теперь он проводит ток! Включите в цепь амперметр, измерьте ток и подсчитайте сопротивление: оно окажется выше, чем у металлов, но не столь уж большим, чтобы служить препятствием для прохождения тока.

Поднесите к пластинке зажженную лампу совсем близко и снова включите ток. Вы сразу обнаружите, что сопротивление сульфида свинца резко упало. Примерно так же будет вести себя черная пленка, если ее просто нагреть. Но если при освещении и нагревании проводимость увеличивается, значит, мы имеем дело с полупроводником!

Отчего же у сульфида свинца такое свойство? Мы записали его формулу как PbS, однако истинный состав кристаллов этого вещества не вполне ей соответствует. Некоторые соединения, среди которых и сульфид свинца, не подчиняются закону постоянства состава. И все они - полупроводники. (Это же, между прочим, относится и к оксиду алюминия, выпрямлявшему переменный ток.)

В кристалле PbS порядок расположения частиц должен, казалось бы, строго повторяться. Но нередко благодаря тому, что концентрации растворов, из которых кристаллы получены, колеблются, порядок нарушается. Сказывается влияние температуры, других внешних причин. Как бы то ни было, в реальном кристалле соотношение атомов серы и свинца не точно 1:1. Отклонения от этого отношения очень невелики, всего около 0,0005. Но и этого достаточно, чтобы свойства существенно изменились.

Атомы свинца и серы связаны в кристалле двумя электронами: свинец отдает их сере. Ну а когда соотношение 1:1 нарушается? Если рядом с атомом свинца нет атома серы, электроны окажутся свободными - они-то и будут служить носителями тока. А таких случаев совсем не так мало, как может показаться. Конечно, отношение 1,0005:1 почти равно единице, но если вспомнить, как много атомов в кристалле, то эта незначительная разница уже не покажется вам такой пустячной.

Состав сульфида свинца можно регулировать. Нужно это затем, чтобы изменять его проводимость. Когда атомов серы в кристалле становится больше, то проводимость падает, а когда их меньше, то образуется больше свободных электронов, и проводимость растет. Словом, меняя соотношение атомов серы и свинца, можно получить требуемую проводимость. Опыт этот поставить непросто; если вы не рискнете проводить эксперимент, поверьте на слово, что он получается.

Возьмите кварцевую трубку и поместите в нее лодочку с сульфидом свинца. С другой стороны введите в трубку такую же лодочку со свинцом и очень сильно нагрейте трубку, чтобы свинец начал испаряться. Сульфид в этом случае будет поглощать пары, он обогатится свинцом, и его электропроводность значительно повысится.

Осталось лишь ответить на вопрос, отчего сульфид свинца так чувствителен к освещению. Световые кванты сообщают энергию электронам, причем в каждом конкретном случае наиболее эффективны лучи с определенной длиной волны. Для сульфида свинца - это инфракрасное тепловое излучение. Поэтому-то мы и советовали

вам поднести лампу поближе к пленке.

Между прочим, в приемниках инфракрасного излучения и используют обычно прекрасный полупроводник - сульфид свинца.

НЕОБЫЧНАЯ ФОТОГРАФИЯ

В основе фотографического процесса лежат превращения светочувствительных веществ - галогенидов серебра, чаще всего бромида. Находясь в светочувствительной эмульсии, они распадаются под действием света, и на освещенных участках появляются крохотные кристаллические зародыши серебра.

А серебро - драгоценный металл, нужный не только для фотографии. И поэтому исследователи ищут такие светочувствительные вещества и системы, которые не содержали бы серебра. На этом пути есть и удачные находки, но полноценного заменителя пока не найдено. Впрочем, для некоторых целей фотографию без серебра или почти без серебра успешно используют. И такие необычные процессы можно воспроизвести самостоятельно. Вот несколько примеров.

В 100 мл дистиллированной воды растворите 15 г глюкозы и 2 г бихромата аммония. Чистую тонкую белую ткань пропитайте приготовленным раствором и высушите ее, но обязательно в темноте, потому что она стала светочувствительной, и в темноте же прогладьте утюгом. Заранее приготовьте проявляющий раствор. Он состоит из 1 г нитрата серебра (обойтись вовсе без солей серебра не удается) и 10 мл уксусной кислоты на 100 мл воды.

Сделайте на кальке рисунок - то изображение, которое вы хотели бы перенести на ткань. Положите кальку поверх ткани и вынесите на дневной свет. Не торопитесь; чтобы фотохимический процесс завершился, понадобится около пяти минут, а при электрическом освещении и того больше. Для проявления опустите ткань в проявляющий раствор. Полная темнота уже необязательна, допустимо слабое рассеянное освещение.

Высушите проявленную ткань; на ней темно-коричневый рисунок.

В этом опыте вы воспользовались восстановительными свойствами глюкозы - она восстанавливала хром в бихромате аммония. А тот бихромат, который не восстановился,

вступил в реакцию с ионами серебра из проявителя, образовал окрашенное соединение, которое и осталось на ткани, так как оно нерастворимо. И поскольку окраска появилась на неосвещенных участках, вы получили сразу позитивное изображение.

Другой вариант этого способа, тоже с бихроматом аммония, но уже без глюкозы и, что важнее, без серебра даже в проявителе. Приготовьте эмульсию, состоящую из двух растворов. Первый раствор: 17 г столярного клея и 6 г желатины залейте 100 мл воды, добавьте 3 мл водного раствора аммиака и оставьте для набухания на сутки, а затем нагревайте около часа на водяной бане при 80°С до полного растворения. Второй раствор: по 2,5 г бихромата аммония и хромокалиевых квасцов, 3 мл водного раствора аммиака, 30 мл воды и 6 мл спирта. Когда первый раствор остынет примерно до 50°С, при энергичном перемешивании влейте в него второй раствор и полученную эмульсию дважды профильтруйте (лучше - через вату). Поставьте ее в темное место, и следующую операцию - нанесение эмульсии на металлическую, стеклянную или керамическую пластинку - проводите в затемненном помещении.

Подогретую до 30-40°С эмульсию налейте тонкой струйкой на чистую пластинку, покачивав ее, чтобы выровнять слой. Минут десять-пятнадцать посушите пластинку, желательно при небольшом нагревании, и, как и в предыдущем опыте, положите на светочувствительный слой кальку с изображением. Прижмите ее стеклом, чтобы она распрямилась, и осветите. Несколько минут на ярком солнце - то, что нужно, а если освещение искусственное, то включите на 10 мин несколько ламп общей мощностью около 2000 Вт, желательно с рефлекторами.

Проявлять надо сразу, иначе хромовые соли задубят желатину и там, где не надо. Проявитель - чуть теплая, не более 30°С, вода. Незадубленная желатина в ней растворится. А те участки, в которых под действием света белки желатины затвердели, останутся на поверхности.

Изображение получилось не очень четким. Чтобы исправить этот недостаток, опустите отпечаток в 1%-ный раствор индикатора метилового фиолетового (можно взять разбавленные фиолетовые чернила). Промойте пластину в воде и приступайте к закреплению в растворе: 5 г бихромата аммония, 2 г хромокалиевых квасцов и 4 мл спирта на 100 мл воды; время - три-четыре минуты. Высушите фотографию на воздухе. Для дополнительного закрепления снимка можно нагреть его несколько минут в сушильном шкафу или в духовке.

Следующую бессеребряную фотографию сделаем более привычно - на бумаге. Правда, на фильтровальной; но все равно - этот опыт демонстрационный.

Кружок бумаги опустите в раствор, содержащий по 20 мл 5%-ных растворов красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$, хлорида железа $FeCl_3$ и щавелевой кислоты $H_2C_2O_4$ (осторожно!). Пропитанную бумагу извлеките из раствора и высушите в темноте, затем положите кальку с рисунком и засветите солнечным светом. Лампы накаливания для этой цели не годятся, а вот ультрафиолетовая (кварцевая) лампа подойдет. Освещенные места станут темно-синими из-за образования уже знакомой вам турнбулевой сини. Проявления не нужно, а для закрепления промойте бумагу водой, чтобы смыть вещества, не вступившие в реакцию.

И последний опыт с бессеребряной фотографией. В одном стакане растворите в 100 мл воды по 0,4 г хлорида железа (III) и щавелевой кислоты, в другом - 1,4 г хлорида меди в таком же количестве воды. Смешайте 10 мл первого и 0,6 мл второго раствора, пропитайте смесью фильтровальную бумагу и высушите ее в темноте. Заготовьте проявитель: 3,5 г медного купороса, 17 г сегнетовой соли (двойной натриево-калиевой соли винной кислоты), 5 г едкого натра (осторожно!) на 100 мл воды и смешайте с 25 мл 40%-ного раствора формальдегида. Вновь засветите бумагу на солнечном свете или под ультрафиолетовой лампой через кальку с рисунком; в отличие от предыдущего опыта изображения сперва не видно. Оно появится после 15-минутной выдержки в проявителе и промывки в большом количестве воды.

Этот процесс несколько напоминает серебряную фотографию, поскольку в светочувствительном слое также образуются центры кристаллизации, но не серебра, а меди; однако медь осаждалась не из эмульсии, как в обычной фотографии, а из проявляющего раствора.

ВНИМАНИЕ, СКОРОСТЬ!

В химической науке есть особая область, которая изучает скорости и механизмы различных реакций - химическая кинетика.

Хотя химическая теория может объяснить многое, предсказать теоретически скорость любой реакции пока нельзя. Ее изучают экспериментально, в лаборатории, и потом

разрабатывают способы, как эту скорость изменить. Есть немало реакций, важных для промышленности, которые идут слишком медленно, нужно уметь их ускорять. Другие реакции, напротив, приходится тормозить, потому что они вредны.

Словом, химическая кинетика - экспериментальная наука. В справедливости ее законов можно убедиться, поставив несколько несложных опытов.

Для начала удостоверимся в том, что скорость одной и той же реакции действительно может изменяться, и довольно значительно. (Впрочем, это можно предположить на основании не химического, а жизненного опыта; к примеру, продукты на морозе портятся медленнее, чем на жаре, потому что при разных температурах одни и те же биохимические реакции идут с разными скоростями.)

Для проверки повторите опыт из главы "Химические часы", но изменяйте на этот раз не концентрации веществ (это вам уже знакомо), а температуру. Если оба исходных раствора - сульфата натрия и йодата калия с серной кислотой - выливать в воду со льдом, то времени до появления синей окраски пройдет заметно больше, чем при использовании теплой воды. Заметьте только, что в очень горячей воде окраска не появляется вовсе, так как окрашенное соединение иода с крахмалом неустойчиво.

Итак, вы выяснили на опыте: чем выше концентрация и температура, тем быстрее идет реакция. Но некоторые реакции на первый взгляд кажутся исключением из правила. Вот пример.

Налейте в пробирку на высоту 1-2 см уксусной кислоты и бросьте в нее несколько кусочков цинка. Цинк надо предварительно очистить, погрузив его секунд на двадцать в раствор соляной кислоты и промыв водой.

Уксусная кислота слабая, и цинк растворяется в ней очень медленно - пузырьки водорода еле выделяются. Как ускорить реакцию? Нагреть раствор. Правильно. А нельзя ли иначе? Поступим так: понемногу станем добавлять в пробирку чистую воду, каждый раз хорошо перемешивая. Внимательно последите за пузырьками. Удивительное дело: кислота уже разбавлена вдвое, втрое, а реакция вместо того чтобы замедляться, идет все быстрее!

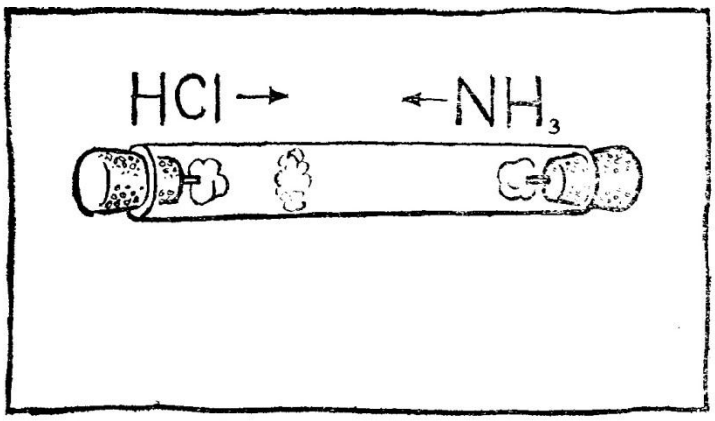
Если вы ставите этот опыт на занятиях кружка, то замените цинк маленьким кусочком магниевой стружки и ничем ее не обрабатывайте. С разбавленной уксусной кислотой

магний реагирует еще энергичнее, чем цинк.

Такое "исключение" из правила становится понятным, если его хорошо изучить. Наш опыт с уксусной кислотой объясняется следующим образом. Скорость, с которой цинк или магний взаимодействуют с кислотой, зависит от концентрации ионов водорода в растворе. Эти ионы образуются при растворении в воде любой кислоты. Но когда воды мало, слабая уксусная кислота находится в растворе почти исключительно в виде недиссоциированных молекул. По мере разбавления водой все больше молекул уксусной кислоты распадается на ионы, и реакция идет быстрее. Но если добавить слишком много воды, то реакция вновь замедлится, уже по другой причине: из-за сильного разбавления концентрация ионов водорода опять уменьшится. Быстрее всего реагирует с цинком 15%-ная уксусная кислота.

Конечно, мы разобрали этот опыт отнюдь не ради того, чтобы просто показать, какими необычными бывают химические превращения. Мы хотели обратить ваше внимание вот на что: для управления скоростью реакции обязательно надо знать, как она идет.

Всякая реакция начинается с того, что молекулы веществ сталкиваются друг с другом. Посмотрим, как начинается реакция.



Возьмите не очень широкую стеклянную трубку длиной в несколько десятков сантиметров и подберите к ней две пробки. С внутренней стороны, обращенной к трубке, вставьте в обе пробки по небольшому стеклянному стерженьку и намотайте на них по кусочку ваты. Один кусочек смочите несколькими каплями концентрированной соляной кислоты, другой - концентрированным раствором аммиака. Одновременно вставьте пробки с ватками в трубку с обеих концов. Через несколько минут, в зависимости от длины трубки, в ней, ближе к ватке с соляной кислотой, появится белое кольцо хлорида аммония NH_4Cl.

Обычно при химических реакциях смесь перемешивают, чтобы процесс шел быстрее. Мы умышленно этого не сделали и не пытались даже помочь молекулам встретиться - они двигались сами. Такое самостоятельное передвижение молекул в той пли иной среде

называют диффузией. Испаряясь с ваты, молекулы обоих веществ испытывали миллиарды столкновений в секунду с молекулами воздуха и друг с другом. И хотя скорость молекул очень велика, она исчисляется сотнями метров в секунду, при 0°С и нормальном давлении свободный пробег, т.е. расстояние, которое успевает пройти молекула от одного столкновения до другого, составляет для этих веществ всего около 0,0001 мм. Поэтому-то аммиак и хлористый водород (из соляной кислоты) так медленно двигались в трубке. Столь же медленно распространяется по комнате с неподвижным воздухом пахучее вещество.

Но отчего белое кольцо появилось не посередине трубки? Оттого, что молекулы аммиака меньше, они продвигаются через воздух быстрее. Если же из трубки откачать воздух, то молекулы аммиака и хлористого водорода встретятся через доли секунды - длина свободного пробега молекул значительно увеличится.

Советуем вам самостоятельно провести небольшое исследование, чтобы узнать, как влияют на диффузию силы тяжести и температура. Для этого располагайте трубку вертикально и наклонно, а также нагревайте отдельные ее части (включая то место, где оседает хлорид аммония). Выводы попробуйте сделать сами.

От газов перейдем к жидкостям. В них диффузия идет еще медленнее. Проверим это на опыте.

На гладкую и чистую стеклянную пластинку капните рядом по нескольку капель трех жидкостей: в середине - воды, по бокам от нее - растворов соды и соляной кислоты. Жидкости до начала опыта не должны соприкасаться. Затем очень осторожно, избегая перемешивания, палочкой соедините растворы. Должен выделяться диоксид углерода, но это произойдет не сразу. А когда газ начнет выделяться, то пузырьки его расположатся вдоль границы, разделяющей области диффузии кислоты и соды.

Вместо соды и кислоты можно взять два любых растворимых в воде вещества, которые при смешивании окрашиваются или дают осадок. Впрочем, в таких опытах трудно избежать потоков жидкости, искажающих картину, поэтому лучше ставить опыты в загущенных растворах. А загущать их можно желатиной.

Приготовьте 4%-ный раствор желатины, опустив ее в горячую воду (не кипятить!). Горячий раствор налейте в пробирку и, когда он остынет, в центр пробирки быстро, одним

движением, введите пинцетом кристаллик перманганата калия, медного купороса или другого ярко окрашенного и растворимого в воде вещества. Пинцет сразу же выньте осторожным, но быстрым движением. В течение нескольких часов можно наблюдать очень красивую картину диффузии. Растворяемое вещество распространяется во всех направлениях с одинаковой скоростью, образуя окрашенную сферу.

С загущенным раствором можно поставить еще один опыт. Налейте горячий желатиновый раствор в две пробирки и добавьте в одну немного раствора щелочи, а в другую - фенолфталеина. Когда содержимое пробирок застынет, пинцетом быстро введите в центр первой пробирки кусочек таблетки фенолфталеина, в центр второй - комок кальцинированной соды. В обоих случаях появится малиновая окраска. Но заметьте: во второй пробирке окраска распространяется гораздо быстрее. Ионы гидроксида, образовавшиеся при диссоциации щелочи, намного меньше и легче сложной органической молекулы фенолфталеина, и поэтому они движутся в растворе быстрее.

Перейдем теперь к твердым веществам. В реакциях между ними (или между твердым веществом с жидкостью либо газом) молекулы могут сталкиваться только на поверхности. Чем больше поверхность раздела, тем быстрее идет реакция. Убедимся в этом. Железо на воздухе не горит. Однако это справедливо только для железных предметов. Например, у гвоздей поверхность соприкосновения с воздухом невелика, реакция окисления идет слишком медленно. Железные опилки реагируют с кислородом намного быстрее: на холоду раньше превращаются в ржавчину, а в пламени могут и загореться. Мельчайшие же крупинки способны вспыхнуть вообще без нагревания. Такое железо называют пирофорным. Его невозможно настругать даже самым мелким напильником, так что получают его химическим путем, например, разлагая соль щавелевой кислоты - оксалат железа.

Смешайте водные растворы какой-либо соли двухвалентного железа, например железного купороса, и щавелевой кислоты или ее растворимой соли. Желтый осадок оксалата железа отфильтруйте и заполните им пробирку не более чем на пятую часть объема. Нагрейте вещество в пламени горелки, при этом держите пробирку горизонтально или чуть наклонно, отверстием вниз и в сторону от себя. Выделяющиеся капли воды снимайте жгутом фильтровальной бумаги или ватой. Когда оксалат разложится и превратится в черный порошок, закройте пробирку и охладите ее.

Понемногу и очень осторожно высыпайте содержимое пробирки на металлический или

асбестовый лист: порошок будет вспыхивать яркими искрами. Особенно эффектен опыт в затемненном помещении.

Важное предупреждение: пирофорное железо нельзя хранить, это может привести к пожару! По окончании опыта порошок обязательно прокалите на воздухе или обработайте кислотой, чтобы не осталось несгоревших частиц - они могут самовоспламениться.

Далее исследуем, как влияет размер поверхности твердого вещества на скорость его реакции с жидкостью. Возьмите два одинаковых кусочка мела и один из них разотрите в порошок. Поместите оба образца в пробирки и залейте одинаковыми объемами соляной кислоты. Мелкораздробленный мел, как и следовало ожидать, растворится гораздо быстрее. Еще один кусочек мела поместите в пробирку с серной кислотой. Начавшаяся, было, энергичная реакция вскоре затихает, а затем и вовсе прекращается. Отчего же? Ведь серная кислота не слабее соляной...

При реакции мела с соляной кислотой образуется хлорид кальция $CaCl_2$ который легко растворяется в воде и не мешает притоку к поверхности мела новых порций кислоты. При взаимодействии с серной кислотой получается сульфат кальция $CaSO_4$, а он очень плохо растворяется в воде, остается на поверхности мела и закрывает ее. Чтобы реакция пошла дальше, надо время от времени очищать поверхность мела или заранее превратить его в порошок. Знание таких подробностей процесса очень важно для химической технологии.

И еще один опыт. Смешайте в ступке два твердых вещества, дающих окрашенные продукты реакции: нитрат свинца и иодид калия, железный купорос и красную кровяную соль, и т.д. и разотрите смесь пестиком. Постепенно, по мере растирания, смесь начнет окрашиваться, так как поверхность взаимодействия веществ все увеличивается. Если же налить на смесь немного воды, то сразу появится интенсивная окраска - ведь в растворе молекулы передвигаются значительно легче.

И в заключение опытов по кинетике поставим количественный эксперимент; единственный инструмент, который понадобится - это секундомер или часы с секундной стрелкой.

Приготовьте 0,5 л 3%-ного раствора серной кислоты (лить кислоту в воду!) и столько же

12%-ного раствора тиосульфата натрия. Перед растворением тиосульфата добавьте в воду несколько капель нашатырного спирта.

На две цилиндрические склянки (стаканы, стопки) вместимостью 100 мл нанесите метки на уровне 50; 25; 12,5 и 37,5 мл, последовательно разделяя высоту пополам. Пометьте склянки и налейте в них до верхних меток (50 мл) приготовленные растворы.

Обычный тонкий стакан вместимостью 200 или 250 мл поставьте на темную бумагу и вылейте в него раствор тиосульфата, а затем - кислоты. Сразу заметьте время и перемешивайте смесь в течение одной-двух секунд. Чтобы не разбить стакан, лучше пользоваться деревянной палочкой. Как только раствор начнет мутнеть, запишите время, прошедшее с начала реакции. Опыт удобно проводить вдвоем: один следит за часами, другой сливает растворы и сигнализирует о помутнении.

Вымойте стакан и проведите опыт еще трижды; раствор тиосульфата наливайте в стакан до третьей (37,5), второй (25) и первой (12,5 мл) меток, доливая каждый раз воду до верхнего деления. Количество кислоты во всех опытах остается постоянным, и общий объем реагирующей смеси всегда равен 100 мл.

Теперь начертите график: как зависит скорость реакции от концентрации тиосульфата. Концентрацию удобно выразить в произвольных единицах: 1, 2, 3 и 4. Отложите их на оси абсцисс. Но как подсчитать скорость реакции?

Точно это сделать нельзя хотя бы потому, что момент помутнения мы определяем на глаз, в известной мере субъективно. К тому же помутнение показывает только, что мельчайшие частицы серы, которые выделяются в ходе реакции, достигли такого размера, что их можно заметить. И все же, за неимением лучшего, примем начало помутнения за окончание реакции (что, кстати, не очень далеко от истины). Сделаем еще одно допущение: скорость реакции обратно пропорциональна ее продолжительности. Если реакция шла 10 секунд, то будем считать, что скорость равна 0,1. Отложите скорости на оси ординат.

Четыре опыта дали четыре точки, пятая - начало координат. Все пять точек расположатся примерно на одной прямой. Ее уравнение записывается так:

$$v = k\,[Na_2S_2O_3]$$

где *v* - это скорость реакции, квадратные скобки - принятое в химической кинетике обозначение концентрации, а *k* - константа скорости, которую легко найти из графика.

Но скорость реакции должна зависеть и от концентрации серной кислоты. Оставляя количество тиосульфата неизменным и разбавляя серную кислоту, проверьте, как изменяется скорость реакции. Как ни странно, она не меняется!

Такие случаи не редкость. В нашем опыте идет сложная реакция, и ее продукт - сера - выделяется не сразу при непосредственных столкновениях молекул тиосульфата и кислоты. И вообще реакций, где продукты получаются сразу, не так уж много.

В сложных последовательных реакциях какая-то стадия протекает медленнее остальных. В нашем случае - последняя, в которой и образуется сера. Именно ее скорость мы, по сути дела, и измеряли.



Дым хлорида аммония

ИСКУССТВЕННОЕ ВОЛОКНО

В последние десятилетия химические волокна буквально завоевали мир. И хотя по-прежнему сеют хлопок и лен, разводят овец и коз - даже к традиционным натуральным волокнам добавляют искусственные и синтетические для придания прочности, нарядности, несминаемости и других полезных свойств. Наконец, для экономии натуральных волокон...

Приготовить самостоятельно самые распространенные ныне химические волокна - полиамидные (типа капрона) и полиэфирные (типа лавсана) будет, пожалуй, сложновато. Остановим свой выбор на медно-аммиачном волокне. Это одно из самых первых искусственных волокон, сырьем для него служит целлюлоза, например, из опилок и других отходов лесной промышленности. Медноаммиачное волокно применяют и сейчас - в ковроткачестве, на трикотажных фабриках, но гораздо реже, чем раньше, потому что появились более прочные и дешевые волокна. Однако для самостоятельного эксперимента удобнее объекта, пожалуй, не найти.

Искусственные волокна формуют из вязких прядильных растворов, продавливая их сквозь узкие отверстия - фильеры. При этом растворенная клетчатка выделяется в виде нитей. В нашем случае основу раствора составляет соединение меди с аммиаком, имеющее общую формулу $[Cu(NH_3)_n](OH)_2$. Чтобы приготовить такой раствор, прежде всего запаситесь основным карбонатом меди $Cu(OH)_2CO_3$. Если нет готовой соли, приготовьте ее простейшим способом - слейте водные растворы медного купороса и кальцинированной (стиральной) соды, профильтруйте осадок и высушите его.

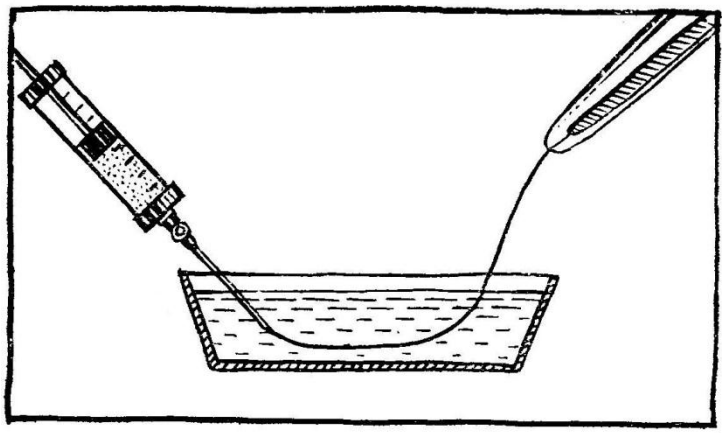
В склянку с узким горлышком налейте 20 мл 25%-ного раствора аммиака (лучше делать это под тягой или на свежем воздухе) и добавьте 2 г основного карбоната меди. Закрыв склянку резиновой пробкой, взболтайте смесь, чтобы получилась темно-синяя однородная жидкость. Это медноаммиачный раствор. У него есть очень важное свойство: он способен растворять целлюлозу (клетчатку).

К двум небольшим склянкам подберите резиновые пробки и разлейте в эти склянки темно-синий раствор. В одну бросайте маленькими кусочками аптечную хлопчатобумажную вату; бросив очередную порцию ваты, закройте склянку пробкой и взболтайте содержимое. Во второй склянке точно так же, маленькими кусочками, растворите белую промокательную или фильтровальную бумагу. И в том и в другом

случае должны получиться вязкие растворы, по густоте напоминающие сироп. Из них можно выделить клетчатку, составляющую основу волокна. Чтобы удостовериться в этом, налейте в стакан разбавленный уксус и по каплям прибавляйте любой из прядильных растворов. Хлопья клетчатки выпадут в осадок.

Однако из хлопьев пряжу не приготовить. Как же получить из раствора нить? Так же, как на заводе - продавливая раствор через узкое отверстие, причем в раствор серной кислоты - в нем фиксируется форма нити.

Чтобы посмотреть, как это происходит, поставьте такой опыт: в стакан с 10%-ным раствором серной кислоты капайте из пипетки медноаммиачный раствор ваты или промокательной бумаги. Часть раствора будет опускаться на дно, оставляя за собой блестящую нить. Попробуйте ухватить эту нить пинцетом и осторожно вытянуть ее из стакана. Это и есть настоящее медноаммиачное волокно. Правда, нить получилась не очень ровной. Но это поправимо. Только ставить опыт надо вдвоем: один будет формовать нить, а другой извлекать ее из раствора.



Иглу от медицинского шприца вставьте по возможности плотнее в резиновую трубку с толстыми стенками. В трубку налейте прядильный раствор, закройте ее пробкой и погрузите иглу в ванночку или кювету с раствором серной кислоты. Ваш товарищ должен стоять с пинцетом наготове: вы будете сжимать постепенно трубку, а он подхватит пинцетом образовавшуюся нить и протянет ее через раствор, налитый в ванночку.

Такой опыт после небольшой тренировки обычно удается хорошо. Для удобства попробуйте наматывать полученную нить на катушку. Вместо резиновой трубки можно взять большой шприц или старый велосипедный насос.

И вискозное, и ацетатное волокно получают примерно так же, только берут другие растворители для клетчатки. Во всех случаях ее молекулы располагаются таким образом, что образуется ориентированная нить.

Из нити, вами полученной, не соткать, наверное, и платочка. Но мы к этому и не стремились. Этот раздел книги называется, как вы помните, "Своими глазами", а вы и впрямь увидели собственными глазами, как из невзрачной бумаги, растворенной в темно-синей жидкости, получилась красивая шелковая нить.



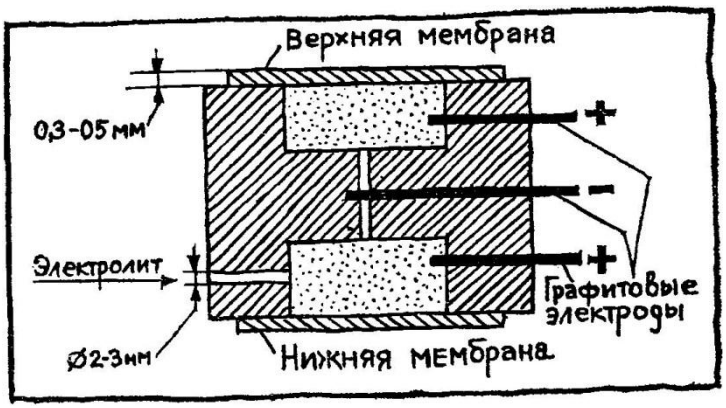
Завод химических волокон

ХИМИЧЕСКИЙ СТОРОЖ

Вот и последний опыт в нашей книге. Он, наверное, несколько сложнее предыдущих, потому что для него придется самостоятельно изготовить небольшой прибор. Мы назвали его химическим сторожем, а более строгое его название - хемотронный датчик. Хемотроника - новая отрасль науки, она возникла на стыке электроники и химии. В отличие от электроники она изучает процессы в жидкости, где передвигаются ионы. Так как ионы намного тяжелее электронов, то хемотронные процессы идут медленнее. Но далеко не всегда быстродействие - самое главное. Хемотронные устройства очень надежны, им уже сейчас находят много применений.

Разумеется, настоящие хемотронные приборы сложны. И все же вы можете сделать модель одного такого устройства - датчика. Прежде всего, любопытно посмотреть, как работают хемотроны. А вдобавок этот датчик наверняка сослужит вам добрую службу.

Сначала изготовьте цилиндрический корпус. Лучше всего было бы выточить его из оргстекла на токарном станке, но это не обязательно; корпус можно и склеить из отдельных пластинок оргстекла, в этом случае он будет прямоугольным. Примерный диаметр круглого корпуса - 40 мм, а высота около 20 мм. С торцов цилиндра надо



выточить две полости глубиной около 5 мм и диаметром 30 мм, так чтобы между ними осталась толстостенная перемычка. Непосредственно под перемычкой просверлите горизонтально отверстие диаметром 2-3 мм для заливки электролита и подберите к этому отверстию плотную пробку. Затем с противоположной стороны корпуса просверлите одно под другим еще три отверстия для электродов диаметром чуть больше миллиметра. Центральный электрод должен находиться в перемычке, верхний и нижний - в соответствующих полостях.

В качестве электродов возьмите толстые грифели для цанговых карандашей. Те места, где грифели выходят из корпуса, надо загерметизировать каким-либо клеем. Когда клей высохнет, в перемычке просверлите вертикально очень тонкое сквозное отверстие диаметром не более 0,5 мм. Выбирая для него место, имейте в виду, что это отверстие обязательно должно пройти через средний грифель-электрод.

Прибор уже почти готов. Осталось лишь приклеить к нему сверху и снизу по тонкой мембране из того же оргстекла, только небольшой толщины (0,3-0,5 мм). Пока приклейте только нижнюю мембрану.

Теперь об электролите. В половине стакана воды растворите 20-30 г иодида калия, а затем, слегка подогрев раствор, добавьте около 1 г йода. Через боковое, более широкое отверстие залейте этот электролит внутрь датчика, в нижнюю полость, следя за тем, чтобы не осталось воздушных пузырьков. Легче всего провести эту операцию медицинским шприцем. Когда заполнится и верхняя полость, приклейте вторую мембрану и окончательно загерметизируйте корпус, для чего вставьте во впускное отверстие заранее приготовленную пробку и тщательно залейте ее клеем.

Хемотронный датчик будет работать от батарейки для карманного фонарика. Верхний и нижний электроды, находящиеся в полости, соедините с положительным полюсом батарейки, средний - с отрицательным. В цепь желательно включить реостат, а также вольтметр и микроамперметр, которые, как вы уже знаете, можно заменить тестером.

С помощью реостата (или сопротивлений) установите напряжение примерно 0,8-0,9 В.

Микроамперметр, включенный в цепь центрального электрода, покажет ток 200-300 мкА. Оставьте цепь замкнутой часов на десять-пятнадцать. Ток постепенно понизится до 10-20 мкА, что и требуется. Теперь датчик готов к работе.

Проверить, как он действует, проще всего так: подуйте на одну из мембран или коснитесь ее острием иголки. В то же мгновение стрелка микроамперметра резко отклонится вправо. Для глаза движение мембраны незаметно, но датчик на него сразу отреагировал.

Поясним, почему так происходит. Сила тока зависит от того, сколько иода находится возле отрицательного электрода - катода. Под действием постоянного тока иод на катоде восстанавливается, принимая электроны, а на аноде он вновь образуется из ионов. Поэтому иод как бы постепенно перекачивается от катода к аноду. После зарядки датчика ток понемногу падает, потому что у отрицательного электрода остается все меньше иода. Но как только вы чуть-чуть, даже слабым прикосновением, сдвинули мембрану, к катоду поступает дополнительная, пусть и очень небольшая, порция молекул иода; датчик мгновенно на это реагирует: ток возрастает.

Такие хемотронные приборы на редкость чувствительны; тщательно изготовленные, они могут иногда отреагировать буквально на считанные молекулы. Их чувствительность используют на практике - когда сигнал слаб и другими способами его трудно зарегистрировать. Подобные хемотронные устройства применяют, например, в медицинских исследованиях, в технике - для подсчета мелких деталей, движущихся на конвейере.

А нельзя ли как-нибудь использовать такой датчик дома или в школе? Конечно, можно. Почему бы не превратить его в прибор, который будет предупреждать вас о приходе гостя? Для этого датчик достаточно поставить в дверях квартиры, и он откликнется, как только гость дотронется до двери.

Но, понятно, один такой датчик, сам по себе, для этой цели не слишком удобен: надо все время смотреть на микроамперметр и ждать, пока отклонится его стрелка. Однако к датчику можно приспособить систему сигнализации - звонок или электрическую лампу. Как это сделать - придумайте сами или посоветуйтесь с учителем физики.

Между прочим, такой хемотронный "сторож" удается использовать для охраны важных объектов, например банков. Конечно, в этом случае датчик отнюдь не гостеприимен - он

предупреждает об опасности.

Вот и все. Последняя страница дочитана, последний опыт поставлен.

Но, собственно, почему последний? Мы вовсе не рассчитывали дать вам исчерпывающее руководстве по доступным химическим экспериментам, и очень многое осталось за пределами этой книги. Существует так много химических опытов, что вряд ли их можно собрать в одной книге, даже гораздо большей, чем эта. И вы, несомненно, сумеете найти описания этих опытов в журналах, в популярных книгах, в учебниках, в пособиях по лабораторным работам. Конечно, если вам понравилось ставить химические эксперименты, на что мы от души надеемся.

А еще вы можете придумывать опыты самостоятельно. В начале книги мы вас от этого отговаривали, но тогда у вас не было навыков и практики; теперь же вы освоили многие технические приемы и познакомились с безопасными способами работы. Все предупреждения - о бесцельном сливании реактивов, о чрезмерно больших количествах реагирующих веществ и о прочих ошибках начинающих химиков - остаются в силе. И самое главное: надо четко представлять себе, как идет реакция, что и при каких условиях получается в результате. Для этого прежде всего надо познакомиться с теорией. По школьному ли учебнику, по более серьезному руководству, по журнальной статье. А еще лучше посоветоваться со знающим человеком - с учителем химии, с руководителем химического кружка, И только потом аккуратно и не торопясь ставить опыт.

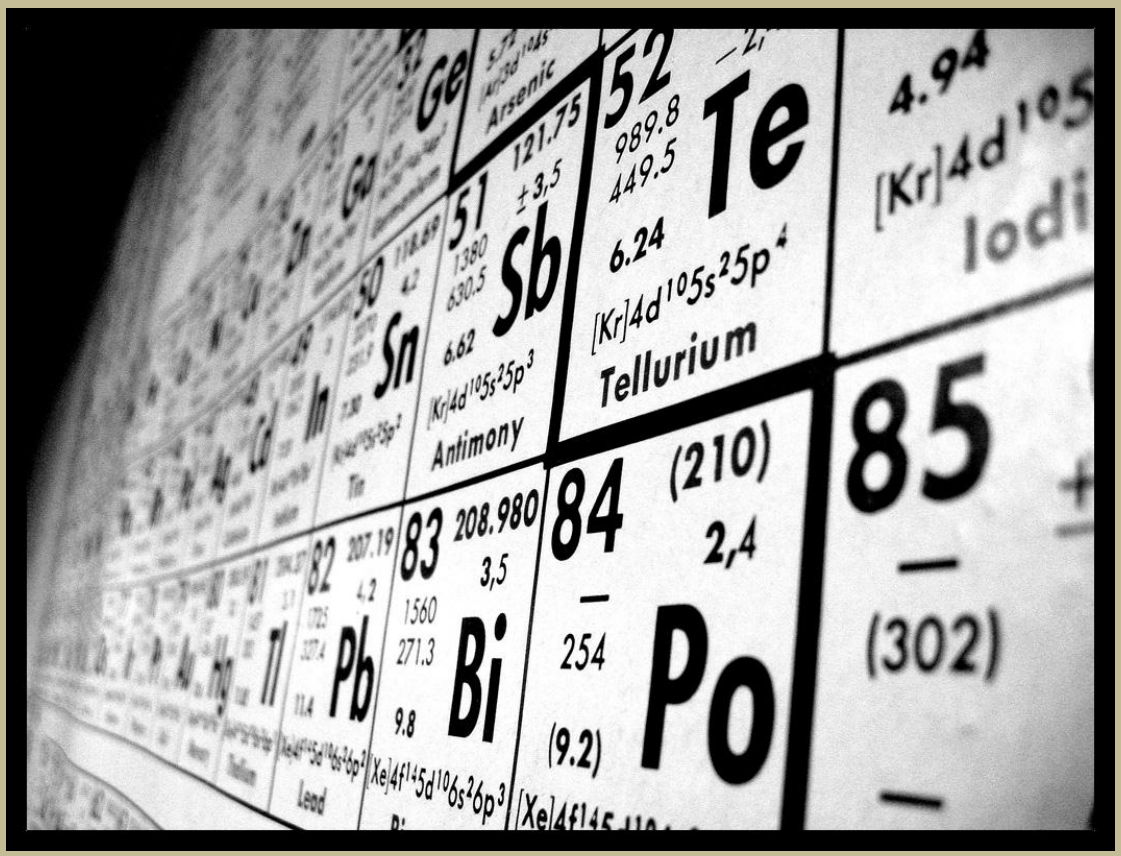
Будем считать, что вся эта книга - не сборник наставлений для начинающих химиков, а предисловие к будущей самостоятельной работе. И если эти опыты хоть в какой-то мере помогут вам утвердиться в решении посвятить себя химии, то, значит, все, кто готовил эту книгу, старались не зря.



Химическая посуда



Дискуссии


Ge
Arsenic
121.75
±3,5
51
1380
630.5
Sb
6.62
[Kr]4d¹⁰5s²5p³
Antimony
52
989.8
449.5
Te
6.24
[Kr]4d¹⁰5s²5p⁴
Tellurium
4.94
[Kr]4d¹⁰5
Sn
82
207.19
4.2
Pb
Lead
83
208.980
3,5
1560
271.3
Bi
9.8
84
(210)
2,4
254
(9.2)
Po
85
(302)

Про підручник Г.А. Лашевська, А.А. Лашевська Хімія. 11 клас

(лист до редакції)

Добрий день, шановна редакція!

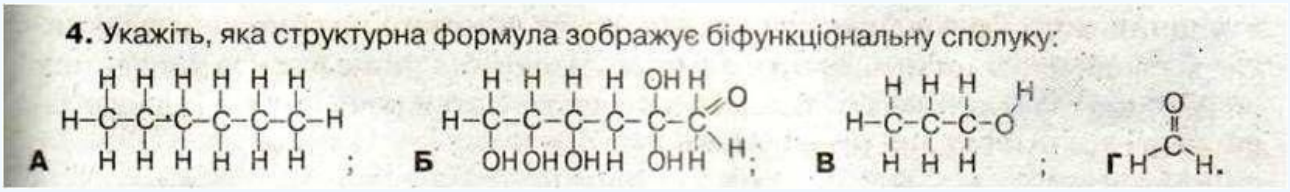
Я розумію, що всі ми "переживаємо" (не хвилюємось, а живемо) чергову освітню реформу. І за заявами наших чиновників, мабуть ця реформа не остання. Я розумію профілізацію шкіл - це дає можливість учням обирати напрямок свого навчання. Я розумію, що програми з хімії абсолютно різні для академічного та рівня стандарту. Я вже звикла до думки (та привчаю до цієї думки батьків школярів), що учні, які будуть мати з хімії 12 балів на рівні стандарту в 11 класі, не зможуть здати ЗНО.

Я не розумію одного: як можна вивчати хімію в 11 класі на рівні стандарту за підручником Г.А. Лашевської? Шановні редактори, ви його бачили?!

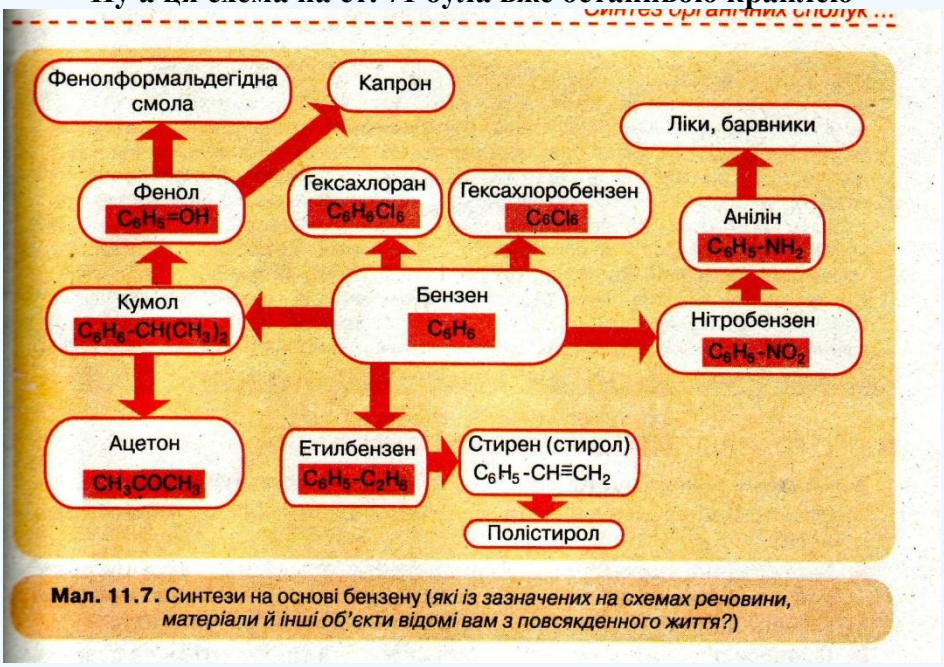
Ст. 23



Ст. 27



Ну а ця схема на ст. 71 була вже останньою краплею



Мал. 11.7. Синтези на основі бензену (*які із зазначених на схемах речовини, матеріали й інші об'єкти відомі вам з повсякденного життя?*)

Я не скажу, що прискіпливо читаю статті в "Хімії" в надії знайти помилку, але нам, вчителям, вони впадають в око. Я не пам'ятаю жодного випадку, коли б у вас в журналі була написана невірно формула. А тут на одній схемі 4(!) помилки. І це ще не кінець підручника.

Не знаю, хто відповідає за зміст підручника, який для багатьох дітей - єдине джерело інформації. До речі, щоб там не говорили про школярів, та для них шкільний підручник - дійсно авторитет.

Я вже не говорю про поліграфічну якість цієї книжки. Не хочу сканувати - все рівно нічого не побачите - на ст. 71, нижче, наведена структурна формула, мабуть, хлорофілу. Розпізнати, що це таке, можна лише інтуїтивно…

І насамкінець. В продажі шкільних підручників з хімії я не зустрічала. За новою програмою в школу надходили такі книги: Хімія-7,8,10 (Попель П.П., Крикля Л. С.), Хімія-9 (Буринська О.Г.), ну і Хімія-11 (Лашевської Г.А.). Підручники Павла Петровича - найкращі! Звичайно, це незаконно, але в мене є електронна копія Хімія-11, яку я з задоволенням прочитала сама та "перекинула" своїм учням. До речі, файл з цією книгою з мережі зник (ну незаконно це все!).

Ось так сердито починаю писати вам в цьому році. Але, "і це мине…".

Богданова Вікторія, вчитель хімії

…И о науке в Украине можно забыть

Вадим Локтев
академик-секретарь Отделения физики и астрономии НАН Украины

Выдающийся российский физик, лауреат Нобелевской премии В.Гинзбург в одном из своих последних интервью подчеркнул: «…будущее человечества и России определяется наукой. За 400 лет со времен Галилея, первого в современном понимании ученого, в мире произошли невероятные изменения. Наука формирует мир в большей степени, чем любая другая область. Политикам необходимо это понять и поддерживать науку щедро и разумно». Этот призыв перекликается с высказыванием великого Луи Пастера: «Наука должна быть самым возвышенным воплощением Отечества, ибо из всех народов первым всегда будет тот, кто опередит остальных в области мысли и умственной деятельности». У меня же создается впечатление, что далеко не все разделяют это мнение, в том числе — наши политики. У них свои заботы, и сложно надеяться, что в ближайшие годы им хватит ума понять, насколько печальное будущее ожидает общество, в котором наука и образование остаются без внимания его вождей.

Отважусь даже сказать больше: всякий непредубежденный наблюдатель может легко убедиться, что, вопреки громким речам, не наука, а лженаука в Украине расцвела и крепко проторила путь во все официальные инстанции. Руководящие органы поддерживают и поощряют религиозные взгляды, которые фактически превратились в государственные и не оставляют в стороне ни среднюю школу, ни армию. Гороскопы, вещуны, шарлатаны-целители и т.п. пленили экраны ТВ и так называемые серьезные СМИ, а научное мировоззрение и атеизм шельмуются со всех сторон, не находя поддержки в обществе. Возникает вопрос: разве не стыдно, что такое происходит в Украине, недавно считающей себя страной, которая больше всего читает, просвещенной и научно развитой? У нас наука (прежде всего фундаментальная) и ее носители — ученые и педагоги — находятся среди приниженных слоев общества. В конце концов, научно-образовательная сфера перестала быть престижной как сфера деятельности или трудоустройства. А ее талантливые представители, получившие образование, бегут из страны, потому что уже усвоили, что здесь те, кто получил новое знание, вряд ли достигнут хотя бы среднего уровня жизни и никогда, подчеркиваю — никогда! — не заработают на собственное жилье. Этот так называемый отток мозгов имеет очевидные

последствия — нехватка квалифицированных кадров, без критической массы которых решение накопленных экономических и социальных проблем или осуществление глубинной модернизации становится утопией.

Как член президиума НАНУ, где обсуждаются наиболее актуальные вопросы развития нашей науки, свидетельствую, что в последнее время едва ли не главный среди них — вопрос финансирования, катастрофическая нехватка которого опасна для научной сферы в целом. В текущем году ситуация обострилась настолько, что многие учреждения должны переходить на неполный рабочий день, сокращать персонал. Считаю это недопустимым. При этом провозглашаются такие лозунги: «Предложите что-нибудь полезное, и тогда государство найдет возможности для надлежащей поддержки». То есть НАНУ призывают сосредоточиться только на исследованиях сугубо практического направления. А фундаментальная наука — математика, физика, химия, биология, — результатом которой являются «только» публикации, может подождать или вообще не очень-то и нужна.

Должен подчеркнуть, что носители таких взглядов не понимают места науки в современном мире, поскольку ее польза не сводится только к созданию новых технологий или продуктов, хотя без этого невозможно. Главное назначение науки — получение новых знаний, что — и это поняли во многих странах — является ключевым фактором для функционирования государства и его стратегической безопасности. Только научные исследования мирового уровня становятся залогом воспроизведения квалифицированных кадров, в том числе тех, кто знаком с высокими технологиями. Буквально на наших глазах сильная наука появилась в странах, где до недавнего времени ее не было и где темпы ее развития поражают: Япония, Китай, Южная Корея, Бразилия, Индия, Финляндия и т.п. Государства, которые надеются получать научную информацию извне, обречены на отставание. Потому недальновидно считать приоритетными только те научные направления, которые будто бы будут приносить непосредственную практическую пользу. Иногда науки, далекие от практических потребностей, становятся первоочередными для самого существования страны. Вспомним пример ядерной физики и довольно негативное отношение к ней перед Второй мировой войной. Поэтому политика концентрирования средств только на прикладных работах может обернуться опасностью для такой большой страны, как наша. При этом мы теряем и возможность открыть что-то новое, обрекая себя на вечное отставание.

Следует также четко признавать, что наука — не только вопрос денег. Прежде всего это

вопрос системы человеческих ценностей, личностной и коллективной морали, правильного миропонимания, а также — нормального климата в обществе. Еще одна предпосылка развития науки — возможность сохранять (в человеческих массах) чувство собственного достоинства, чтобы хоть иногда на ключевой вопрос «Кто прав?» был дан ответ по сути. Это, наконец, и элементарная честность перед гражданами, которую они должны осознавать как один из приоритетов, поскольку в науке очень многое держится на доверии как общества к ученым в целом, так и между учеными в частности.

Зная о мизерном бюджете НАН Украины, хочу спросить у народных депутатов, которые его принимали, не считают ли они ее сотрудников любителями, по аналогии, например, с футболом. То есть может ли какая-либо любительская команда спорить на равных с грандами, чей бюджет на порядки больше? Для футбола ответ очевиден. Так и в науке: если ее доля составляет менее 1% ВНП, она теряет конкурентоспособность и умирает. Это хорошо поняли в ЕС или США, где на науку идет от двух до трех процентов — и это только ВНП! Даже при этом треть (31%) европейцев считают финансирование науки в ЕС недостаточным и только 7% — высоким. Показательно, что в 2010 г. Европарламент принял стратегию «Европа 2020», согласно которой процент ВНП на научные исследования в странах ЕС должен составлять не менее 3%. Нам бы таких депутатов, потому что наши в который раз проголосовали за приблизительно 0,3%! Комментарии, так сказать, излишни…

Отношение к науке украинского истеблишмента сказывается и на отношении к ней общества: наукой интересуются только около 1% (!) украинцев, в то время как в Европе таких 79%, что больше, чем заинтересованных спортом (65%), культурой (69%) или политикой (68%). Привлекает внимание и тот факт, что уважение к ученым высказывают 75% людей, а 72% считают, что именно наука обеспечит улучшение их жизни в будущем.

В прошлом году две зарубежные группы аналитиков (от информагентства Thomson Reuters и от Национального научного фонда США) сделали достоянием гласности отчеты о состоянии науки в странах Восточной Европы. Вопреки популярному тезису об улучшении ситуации в украинской науке (особенно относительно финансирования), показатели по ряду ключевых позиций оказались довольно неутешительными. Прежде всего поражает печальный факт сокращения общей численности научных сотрудников (за последние 10 лет приблизительно на 1-2% в год). Такие же страны, как США, Япония, ЕС, Южная Корея, Китай, неустанно увеличивают этот показатель. Уменьшилось также общее количество публикаций: по этому показателю Украину уже опередила Бразилия. Главную

причину упадка авторы усматривают в неадекватном финансировании, на чем, в частности, все годы независимости подчеркивает НАНУ.

Как активный участник различных научных исследований в области физики могу представить, как успешно будет развиваться страна, которая не экономит на них. Так же нетрудно очертить плачевные перспективы страны, у которой наука стала второстепенным фактором ее развития. Поэтому, зная не по слухам о положении дел с наукой и образованием в Украине, беру на себя ответственность прогнозировать: если имеющиеся тенденции не будут сознательно и решительно сломаны высшим руководством государства, которое — еще раз подчеркну — пока что практически ничего не делает в этом направлении, передовой Украина не будет никогда и бесповоротно исчезнет с научных карт мира.

Проблема развития науки стоит во многих индустриальных странах (включительно с «восьмеркой»). Их ученые встревожены трудностями с получением средств, вызванными и могуществом бюрократических структур, и слабостью политических деятелей, и традициями. Так, обычный западный профессор тратит не менее двух третей своего рабочего времени на написание грантов, потому по этой позиции брать с них пример не следует. Но их спасают несравненно большие общие средства, позволяющие привлекать к исследованиям самых талантливых специалистов из любого уголка мира, справедливо оплачивая им, как правило, ненормированную, но всегда добросовестную работу. Мы, наоборот, должны отойти от почти сплошной уравниловки и найти собственные пути развития.

Рассчитывать в этом деле на госструктуры не приходится. Тогда остается бизнес. На него можно было бы положиться, если бы в Украине существовало законодательство относительно рынка интеллектуальной собственности. О расширении сотрудничества ученых и бизнесменов не говорит только ленивый, но воз и ныне там, и у нас практически нет законов, которые касались бы инновационных или технологических центров с высоким риском, где практически всегда продолжается поиск с желаемым, но не гарантированным заведомо результатом. Здесь должна была бы включиться ВР Украины, хотя не все так просто. С одной стороны, некоторые народные депутаты понимают, что инвестирование в науку — это единственное условие роста ВНП, а с другой — правила поощрения бизнеса к долгосрочным инвестициям еще не написаны. При этом не секрет, что бизнес поддерживает то или иное дело только при условии получения быстрой выгоды. Пришло время для еще более безотлагательной цели — выращивание нового

поколения бизнес-элиты, которая знала бы толк в коммерциализации именно инноваций и твердо усвоила, что наука — фундамент, на который опирается улучшение стандартов жизни. Последние, в частности, нуждаются в изменении структуры экономических затрат в Украине, где только 15-20% приходится на заработную плату (в развитых странах ее доля составляет 60-70%), чего не сделать, не опираясь на знание. По разным экспертным оценкам, приблизительно до 2015-2020 гг. в мире будет сформирован рынок VII технологического уклада, где интеллектуальные изделия станут основными объектами продажи. Уже теперь в передовых странах их доля составляет 25-30%, а будет — 70-80%.

Конечно, спасать науку надо. Но чрезвычайная сложность задачи состоит в том, что в 2012 г. объяснять обычному налогоплательщику значение для государства науки и образования намного сложнее, чем 10-15 лет назад. В Украине выросло поколение людей, для которого интеллект не является общественным приоритетом, а, скажем, звание «профессор» не эквивалентно искреннему уважению со стороны граждан и нормальному жизнеобеспечению его носителя со стороны государства. Общество вообще привыкло жить без науки, а в определенной степени — и без культуры, поэтому мои слова одинаково касаются кого-то, кто занимается по-настоящему умственным трудом. Для повышения роли просвещенного человека надо узаконить такую зарплату научного сотрудника или преподавателя, которая была бы выше средней в месте расположения научного учреждения или образовательного заведения. Бытовая неустроенность и жилищный вопрос — вот краеугольные факторы решения проблемы старения кадров. При этом обязательно должны выделяться средства на оборудование. Если этого не сделать, наука окончательно деградирует, и о ней в нашей стране можно будет забыть.

Взято на сайте газеты "Зеркало Недели"

ВИБОРИ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ
31 жовтня 2004 року
АНКЕТА
кандидата на пост ПрезидентаУкраїни

висунутого Партією регіонів
(назва політичної партії, виборчого блоку політичних партій, самовисування)

1. Янукович Віктор Федорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

2. Число, місяць, рік народження 9 липня 1950 року

3. Місце народження м. Єнакієво Донецької обл. Україна
(село, район, місто, область, держава)

4. Громадянство України з 1991 року 5. Проживає в Україні з 1950 року

6. Освіта вища, Донецький політехнічний інститут у Донецьку 198
(середня, вища, закінчується найменування навчального закладу,
Української академії зовнішньої торгівлі м. Київ 2000 р.
його місцезнаходження, рік закінчення)

7. Спеціальність автомобілі та автомобільне господарство, міжнародне
8. Кваліфікація інженер-механік, магістр міжнародного права
9. Науковий ступінь доктор економічних наук
10. Вчене звання професор
11. Посада (заняття), місце роботи Прем'єр-міністр України, Кабінет
Міністрів України м. Київ вул. Грушевського 12/2
(із зазначенням установи та її місцезнаходження)

12. Володіння державною мовою володію вільно
13. Володіння іншими мовами російською - вільно, англійською -
із словником
14. Нагороди, почесні звання орденом За заслуги трьох ступенів
Заслужений працівник транспорту України
15. Громадська робота член президії Національної академії наук Украї
Голова Національного олімпійського комітету України
16. Партійність член Партії регіонів
(назва партії, членом якої є кандидат, або відомості про безпартійність)

17. Сімейний стан, склад сім'ї одружений, дружина-Янукович Людмила
Олександрівна; сини: Олександр 1973 р.н., Віктор 1981 р.н.
(перелічити членів сім'ї)

18. Адреса місця проживання 01010 м. Київ вул. Сіяльного новобудова
буд. 10 кв. 18
(поштовий індекс, адреса місця проживання: область, район, населений пункт,
вулиця, номери будинку та квартири)

19. Телефон: службовий 226 26 75, домашній 234394

5. [illegible]

Особистий підпис кандидата в Президенти

Анкета В.Ф. Януковича - проФФесора



Церковная этика



"Научный креационизм" и "Основы православной культуры" (ОПК)

О научной карьере (Германия)

Начало

Даже с самого начала пропущу кусок жизненьки, когда занесла меня нелегкая в Германию. Поскольку сеять и жать я не умею (вру, конечно, я и коня могу на скаку и крестиком), то научилась я ДНК выделять и стала докторантом. В Германии есть два основных докторантских пути. Первый - теплицы для докторантов, колледжи. Выделяется бабло, набираются студенты, выдаются им темы, назначаются занятия и вперед, к титулу. Их лелеют пару лет, а после защиты выбрасываются на мороз голыми. Не знаю, как у них потом складывается, но это вариант для фармацевтов, например, чтобы посолиднее выглядела фамилия на вывеске в аптеке.

Второй путь: какого-нить шефа прет научными идеями, он пишет заявку в фонд на финансирование, обычно года на три. Ему дают денюжку, чтобы взять себе раба докторанта. Докторант - это пол-ставки. Шеф вывешивает позицию в людном месте, к нему валят заявки, он отбирает себе подходящего, вручает тему и все дела.

Тут для докторанта есть западня, но он о ней еще не догадывается. Во-первых, идея научная она чужая для докторанта. Во-вторых, она может быть гнилой изначально. Ну и шеф, он может быть гений в науке и деспот по жизни, может быть так себе в науке и лапочка по жизни, может быть так себе в науке и деспот по жизни (докторанты потом считают, что это единственно возможная комбинация). Может быть также и гений в науке и лапочка по жизни, но такая комбинация лично мне не встречалась. Эти особенности потом имеют значение, но сначала у докторанта пол-ставки, ненормированный рабочий день примерно 28 часов в сутки и светлая мечта заполучить титул к фамилии.

Обычно жизненные планы дальше вершины под названием "Защита" не просматриваются. Да и, откровенно говоря, покорение этой вершины само по себе настолько выматывает, что кажется, что сразу за ней расположены ворота в рай. А на самом деле, сразу после этого только все и начинается.

Ну защитился я и....

~~Сначала напиться.~~ Потом пройтись хороводом, грудь колесом перед другими докторантами, которые еще не. Тем временем шеф, который или деспот, или лапочка, взял твои результаты (которые ух, какие интересные и многообещающие) и написал в фонд заявку на продолжение банкета. Еще на три года, но уже пост-док.

Вы спросите, а почему это не вы сами написали заявку в фонд? А потому что вы еще зеленый докторант и у вас нет постдоковского опыта - это раз. Во-вторых, заявку могут подавать те, у кого есть постоянное место работы. Но вы этих нюансов еще не знаете. Главное, у вас есть посдоковские денюжки, а это в два раза больше. И у вас нет геморроя, что по окончанию проекта вам надо кровь из носу защититься. Три года после защиты - золотое постдоковское время. Беззаботный постдок еще не знает, что он теряет время, которое по немецким законам как шагреневая кожа.

Шагреневая кожа карьерного роста.

Значит так, немецкий закон о вышей школе отводит на карьерный рост в науке 12 лет. Это означает, что за 12 лет вы должны стать профессором. А если не хочу? А вот никого не интересует. Или профессором, или досвидания. До защиты 6 лет, после защиты 6 лет. Как только приняли предварительную версию закона пару лет назад, из Германии потянулись вереницы "престарелых" потсдоков в Штаты. Потому что профессорских ставок нет. Потом закон чуток послабили и старичкам разрешили оставаться в науке и дальше, но на временные проектные ставки.

Сейчас статистика гласит, что 80% научных ставок в Германии - временные. И тут пост-док, где-то через три года успешной работы на чужую идею вдруг осознает, что надо что-то срочно делать. Несмело впервые открывает сайты фондов и узнает, что фондов раз-два и обчелся. Финансируют они преимущественно большие программы, а подать на собственное финансирование можно, но в рамках до 6ти лет после защиты. А уже три годочка миновало. Осталось еще три, а потом легальные ворота с лязгом закрываются.

Че делать, че делать?

В этот момент постдок прозревает, что между защитой и собственной научной карьерой лежит пропасть. Чтобы подать на финансирование, надо иметь научную идею, гипотезу. Причем на момент подачи желательно, чтобы она уже была проверена и половина

работы сделанной. И самое главное, это должна быть его СОБСТВЕННАЯ идея. А мы помним, что до сих пор он работал как наемный рабочий на шефа и вскапывал его научную делянку.

Тут уже зависит много от шефа. Если шеф гений, даже если сволочь, то у него этих идей завались, он просто отпочковывает доктора вместе с вскопанной делянкой. Так формируются научные империи. Если шефу самому надо результаты, он мило прощается с постдоком, благодарит за проделанную работу и пишет новый проект на докторанта или даже на двух. Если постдок не дурак, а шеф не деспот, то дает возможность помимо проектной деятельности заниматься хобби- потихоньку вскапывать свою собственную научную делянку в свободное от работы время.

Этим, собственно, я и занималась.

Копала, копала и вырыла алмазик.

Я вам честно признаюсь, я перестала дышать где-то на пол-года, пока насобирала пригорошню. Ну, думаю, вот оно, мое счастье. Иду к шефу, показываю. Он мне говорит - клево! давай я подам твою идею на финансирование...Я так няшно смотрю, глазюки растопыренные блестят и говорю, я уже взрослая, я сама хочу подать. Он пожимает плечами и говорит, что ему не жалко, только ж мне не дадут, потому что у меня нет постоянной ставки. Постоянной ставки? Не поняла. Бегу я на сайт фонда и нахожу маленькими буковками под звездочкой это условие. Вот так я впервые сталкиваюсь с жестокой действительностью.

Должен же быть какой-то выход? Выход здесь.

Звоню в фонд, спрашиваю, как же так, ничего не понимаю. У меня есть идея, но нет постоянной ставки. Мне отвечают, что для таких придурков-некарьеристов есть опция для самостоятельного научного стартапа. Там для молодых ученых такие классные условия. У меня есть 2 месяца до 6-ти лет, чтобы считаться молодым ученым и вскочить в последний вагон.

Пишу проект. Нет, не так, ПИШУ ПРОЕКТ. (Тут должно быть три абзаца мучений, но я их упускаю). И подаю на финансирование лично моей идеи за месяц до окончания моего персонального карьерного дедлайна. Это было два года назад.

Теперь внимание. Рассмотрение заявки длится пол-года. Через 8 (восемь) месяцев приходит мне конвертик из фонда. Отказ.

Утерев слезы, узнаю наконец, как это все функционирует. Фонд - это такой карман бюджетных денег, который управляется бюрократическим клубом. Бюрократы при фонде сами как бы решения не принимают, а служат посредником между научным комьюнити и ученым, подающим заявку. Заявку с научной идеей отправляют к анонимным экспертам. Затем собирают неанонимный коллегиум из научной среды, который избирается раз на пять лет. И этот коллегиум рассматривает экспертные оценки и решает кого финансировать, а кому отклонить. Бюрократы как бы ни при чем, чисто бумажки переслать туда-сюда. И конвертики.

Читаю экспертные оценки. За одно узнаю, на что именно следует обратить внимание. Ибо, как писать проект и что именно оценивается - это сакральные знания, которым меня никто не учил. Четких критериев оценки не существует. Итак, сужу со своей колокольни - есть замечания по делу, а есть явные придирки не по делу. Ладно. Проглотила обиды, сделала выводы, кое-чему научилась. Теперь зато знаю, как писать проекты.

Что же делать дальше?

Звоню в фонд и спрашиваю, уже все-все совсем все с моим персональным дедлайном? Отвечают, что есть еще в одном месте мелкими буковками под звездочкой, что если я первый раз успела подать до дедлайна, то даже если отклонили, то все-равно теперь есть опция "можно подать еще раз" и даже не раз. ОК.

За это время у меня поднакопились новые результаты, и я решила подать заново, переписав акценты и добавив новенького. ПИШУ ПРОЕКТ намбер ту. Отправляю.

Проходит полгода. Приходит мне конвертик из фонда. Открываю. Отказ. Читаю отзывы экспертов. Ни одного замечания, одни похвальбы. Вру, один из экспертов отметил, что я мало запросила денег и рекомендует фонду поднять бюджет на треть. А почему отказ? Читаю заключение неанонимного коллегиума. Вот пишу, чтобы вы знали, как оно в жизни бывает. Коллегиум считает, что им показалось, что это идея моего шефа, раз я с ним до сих пор работаю. А раз так, то пусть шеф и подает заявку. А я настолько зрелая и опытная, что они рекомендуют мне поискать работу на физическом удалении от шефа. Где-нибудь еще. Где? Ну, где-нибудь.

(Пропускаю приблизительно 4 абзаца самой глубокой ямы в моей жизни). Звоню в фонд. Говорю (вежливо), что я сейчас настолько полна решимости, что им стоит подумать, какие еще варианты могут быть.

В этот момент я узнала, что процедуры опротестования не существует в природе. Но они с радостью готовы получить от меня еще одну новую заявку, но ничего, разумеется, не обещают, не они решают.

ПИШУ ПРОЕКТ намбер три. (цензоред). Обнаглела настолько, что меняю только дату подачи. Иду к шефу и требую письмо с подписью и печатью, где он клянется мамой, что это исключительно моя идея и он тут вообще ни при чем. Иначе ~~пишу в спортлото и ЖЖ~~ иду к омбудсмену.

Да, прошло пять месяцев. Я уже писем ждать не стала. Звоню сегодня в фонд сама. Короче, все ОК. Официальной решение, правда, через месяц.

Заключение.

1. Вы спросите, а на что жить все эти два года долбления в стенку? Ото ж бо и воно. К счастью, с шефом мы отлично сработались и он за меня боролся. Все время отстегивал от других проектов деньги, там, где требовался мое участие.

2. Все это время я продолжала левой ногой полировать свои алмазики.

3. Помню, что когда отказали второй раз, мне казалось, что мне не хватит сил. Надо бороться, даже если кажется, что сил не хватает. Было очень плохо, потому что несправедливо. Очень несправедливо. Мне кажется, что даже сейчас я не переварила все это.

4. Есть другие пути в карьере? Есть. Они и в Германии называются личные знакомства.

5. Кто защитился, начинайте думать о карьере уже сейчас. Женщине с детьми делать карьеру сложнее.

6. Все равно, это был прекрасный опыт. Теперь могу, наконец, спокойно заняться личным

научным поиском. И то, на три года. Где-то через годик надо начинать бороться за продолжение. Но можно всегда плюнуть и опять кочевать по чужим проектам.

7. Те, кто не защитился, подумайте, надо ли оно вам.

http://progenes.livejournal.com/148188.html



Лаборатория



Доска Позора



"Капуста" из тыквы

Как сделать из тыквы капусту? Оказывается, для этого совсем не обязательно использовать методы генной инженерии. Оригинальный метод получения (вернее - перекачивания в собственные карманы) "капусты" из государственного бюджета изобрели чиновники Министерства образования и науки Российской Федерации.

Это наглядно показывает, куда на самом деле уходят те скудные средства, которые выделяются в России на науку и образование.

источник:
zakupki.gov.ru/pgz/public/action/orders/info/order_lot_list_info/show?notificationId=2698500

Шифр: 2012-2.2-522-010 Предмет государственного контракта по лоту № 3: Выполнение опытно-технологических работ по теме: "Разработка технологии глубокой переработки тыквы для получения продуктов пищевого назначения".	**90 000 000,00** Российский рубль	7310000 Интеллектуальная и материальная продукция, услуги по исследованиям и разработкам, нефинансовые нематериальные активы в области естественных и технических наук

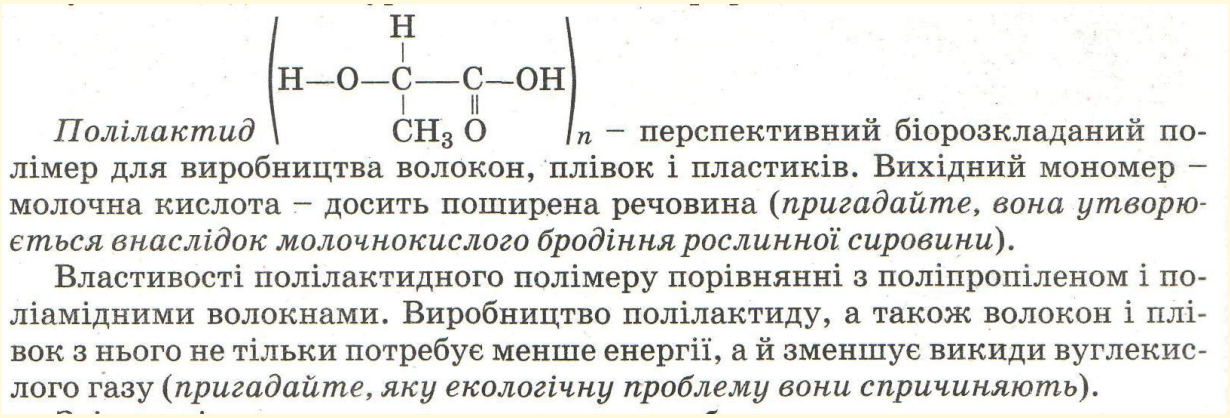
ПНИР	Нет
Классификация по ОКДП	7310000 Интеллектуальная и материальная продукция, услуги по исследованиям и разработкам, нефинансовые нематериальные активы в области естественных и технических наук
Классификация КБК	
Количество поставляемого товара, объема выполняемых работ, оказываемых услуг	Объем работ: устанавливается Техническим заданием в составе конкурсной документации.
Место поставки товара, выполнения работ, оказания услуг	Место выполнения работ: определяется исполнителем по государственному контракту с учетом условий Технического задания в составе конкурсной документации, отчет о выполненных работах представляется по адресу Заказчика: Российская Федерация, 125009, Москва, ул.Тверская, д.11

Срок поставки товара, выполнения работ, оказания услуг (по местному времени заказчика)	Срок выполнения работы: Начало работ: с даты заключения государственного контракта. Срок окончания работ: определяется предложением участника конкурса, с которым заключается государственный контракт, сделанным в заявке на участие в конкурсе, но не может быть менее 450 дней и более 600 дней с даты заключения государственного контракта.
Особенности размещения заказа	Требования не установлены
Преимущества в отношении предлагаемой цены контракта	Требования не установлены
Обеспечение заявки	Требования не установлены
Обеспечение исполнения контракта	Требуется
Размер обеспечения исполнения контракта	**9 000 000,00** Российский рубль
Срок и порядок обеспечения исполнения контракта	Способ обеспечения исполнения государственного контракта определяется Участником конкурса само-стоятельно. Обеспечение исполнения контракта в виде страхования ответственности по контракту не допускается. Срок предоставления обеспечения контракта: в тече-ние 10 дней со дня получения Участником, с которым заключается государственный контракт, проекта госу-дарственного контракта. Документы, подтверждающие обеспечение исполнения контракта, представляются Заказчику до заключения контракта по адресу: 125993, г. Москва, Тверская улица, д. 11, **Министерство образования и науки Российской Федерации**, или уполномоченной Заказчиком организации.
Платежные реквизиты обеспечения исполнения контракта	р/с 40302810900001001901 л/с 05951000740 БИК 044501002



Полимономер

Предлагаем вниманию читателей очередной шедевр из школьного учебника химии Г.А. Лашевской (Г.А. Лашевська). Попутно зададим риторический вопрос автору: "Как по Вашим учебникам можно учить детей?"



Полілактид $\left(\begin{array}{l}\mathrm{H}\\ \mathrm{H{-}O{-}C{-}C{-}OH}\\ \mathrm{CH_3\ O}\end{array}\right)_n$ – перспективний біорозкладаний полімер для виробництва волокон, плівок і пластиків. Вихідний мономер – молочна кислота – досить поширена речовина (*пригадайте, вона утворюється внаслідок молочнокислого бродіння рослинної сировини*).

Властивості полілактидного полімеру порівнянні з поліпропіленом і поліамідними волокнами. Виробництво полілактиду, а також волокон і плівок з нього не тільки потребує менше енергії, а й зменшує викиди вуглекислого газу (*пригадайте, яку екологічну проблему вони спричиняють*).

Полимономер

Перевод

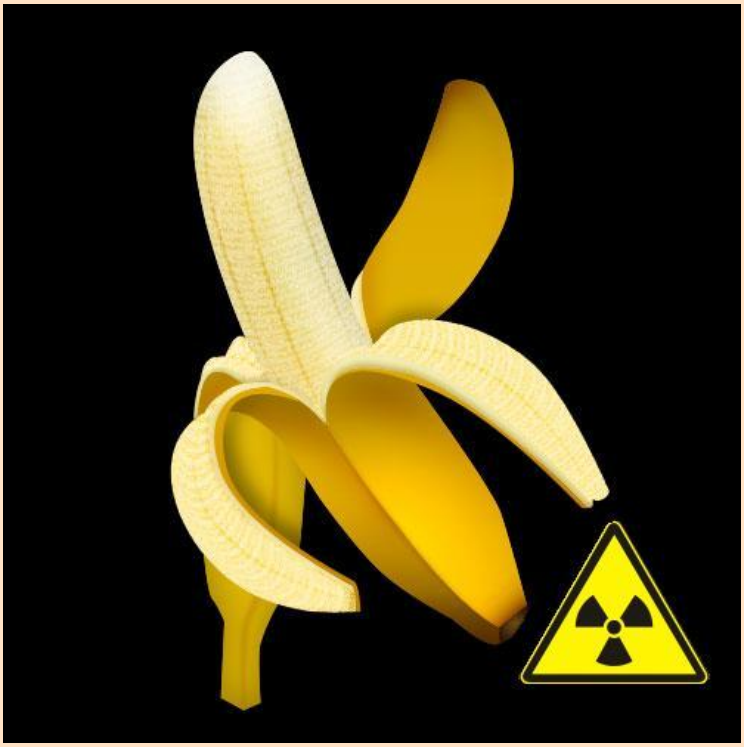
Полилактид - $\left(\begin{array}{l}\mathrm{H}\\ \mathrm{H{-}O{-}C{-}C{-}OH}\\ \mathrm{CH_3\ O}\end{array}\right)_n$ перспективный биоразлагаемый полимер для производства волокон, пленок и пластиков. Исходный мономер - молочная кислота - достаточно распространенное вещество (*вспомните, она образуется в результате молочнокислого брожения растительного сырья)*.

Свойства полилактидного полимера сравняемы с полипропиленом и полиамидными волокнами. Производство полилактида, а также волокон и пленок из него не только требует меньше энергии, а и уменьшает выбросы углекислого газа *(вспомните, какую экологическую проблему они создают)*.

(*Мы постарались сохранить стилистику и орфографию оригинала*)



Научный Юмор



Химики ещё шутят

Написано, записано и списано Ю.А. Золотовым

Наука должна быть веселая, увлекательная и простая. Таковыми же должны быть ученые.
П.Л. Капица

Предисловие

Когда публика читала брошюру "Физики шутят" и затем ее продолжение, химикам было обидно: шуток у них не меньше, только собрать их как-то не получалось. Потом все-таки стали собирать и публиковать. Недавно вышла книга М.Г. Воронкова и А.Ю. Рулева "О химии с улыбкой, или Основы пегниохимии" (1999 г.). А до этого была "Книга по химии для домашнего чтения" Б.Д. Степина и Л.Ю. Аликбековой (1995 г.) и некоторые другие. У М.Г. Воронкова и А.Ю. Рулева есть ссылки и на иноязычные издания такого рода.

В этой брошюре - и старое, и новое. Что-то взято из опубликованного, в том числе в Интернете. Другие материалы - "с голоса", из услышанного. Свои многочисленные записи мне передала доктор химических наук Е.А. Терентьева, и ряд их включен в брошюру. Есть и написанное самим собирателем-публикатором, поэтому он еще и автор.

Классифицировать шутки не очень легко, но тем не менее они распределены по разделам.
Ю.А. Золотов

Основы науки
Научное исследование

Органическая химия

Органическая химия - наука о превращении отвратительных веществ во вполне сносные публикации.

Энергия активации

Энергия активации - это количество энергии, содержащееся в одной чашке кофе.

Химический реактив

Химический реактив - это то, что химик-органик превращает в вонючий продукт, аналитик - в очередную методику, физико-химик - в прямую линию, а химик-инженер - в прибыль.

Пилотная установка

Пилотная установка - достаточно скромное устройство для подтверждения ошибок технологии перед их тиражированием в дорогостоящем крупномасштабном производстве.

Стекло

Первый закон работающего в лаборатории: горячее и холодное стекло выглядят одинаково!

Спектроскопия

Спектроскопия не умрет - ведь можно пятиться вперед.

Вы можете считать себя химиком:

если назвали своего первенца именем одного из элементов лантаноидов и теперь считаете себя обязанным заполнить весь ряд;
если вы думаете, что свежий воздух плохо пахнет;
если вы, как ребенок, играете со взрывчатыми веществами, но все пальцы у вас еще целы.

Фуллерены в сарае

В фуллеренах чередуются шести- и пятичленные циклы. Так же шьют футбольные мячи. Но вот еще одна аналогия. В Стамбуле над входом в Сарай Топкари есть скульптурное изображение полусферы, сделанной точно так, как устроены фуллерены.

Уймитесь!

Одна тысячная моля - это, как известно, миллимоль. Пошли дальше:

10^{-6} моля - микромоль;
10^{-9} моля - наномоль;
10^{-12} моля - пикомоль;
10^{-15} моля - фемтомоль;
10^{-18} моля - аттомоль;
10^{-21} моля - зептомоль;
10^{-24} моля - куакомоль.

Стоп, стоп… Ведь 1 куакомоль составляет 0,6 молекулы… Дальше некуда.



Осваиваем нанотехнологии!



- Не подскажете, где кафедра нанотехнологии?
- Вы как раз на нее наступили.



Нано-омоложение



Фуллерен (модель)



Ремонт тигля

Ох уж эти химики

Когда мыть руки

Химики - самые большие чистюли: они моют руки даже перед посещением туалета.

Электрохимики

По сравнению с другими химиками электрохимики имеют более высокий потенциал.

Химики-технологи

Химик-технолог - это специалист, пытающийся делать как бы на пользу то, что обычный химик делает просто для удовольствия.

Не тот гимн

Группа студентов химического факультета Московского университета, оказавшись в одном купе поезда с французами, запела "Гимн химиков-агрессоров":

Мы отравим весь мир меркаптаном,
Будут трупами ямы полны.
Смрадный запах дойдет к марсианам,
К обитателям хладной Луны.

Услышав эту песню, французы, не знавшие русского языка, встали навытяжку. Песня исполнялась на мелодию "Марсельезы".

Что такое ламин

На лекции по военному делу полковник рассказывает о составе раствора для дезактивации боевой техники, в который входит антикоррозионная добавка, моноэтаноламин. В конце лекции полковник предлагает задавать вопросы. Один студент, прикинувшись простачком, спрашивает:

- Товарищ полковник, а что такое моноэтаноламин?

- Моно, ди, три - это один, два, три. Бывает метано, этано, пропано. А вот что такое ламин, сказать затрудняюсь.

Гореть надо умеючи!

Однажды, когда профессор МГУ Алексей Николаевич Кост вел практикум по органической химии, у одного из студентов разбилась колба с эфиром и его пары вспыхнули. Началась паника, кто-то прибежал с углекислотным огнетушителем и с трудом погасил пожар. Все это время Кост совершенно невозмутимо сидел за своим столом и с кем-то разговаривал. Потом, когда все успокоились, подошел к месту происшествия и приказал:

- Спички!

Ему дали коробок, он чиркнул спичкой и бросил ее в еще не просохшую эфирную лужу. Огонь вспыхнул вновь, все оторопели. А Кост, не суетясь, взял противопожарное одеяло, ловко накрыл им пламя и изрек:

- Гореть надо умеючи!

Автороведение

Известный украинский физико-химик Ю.Я. Фиалков написал об одном советском ученом (Д.), который за 1967 год опубликовал 67 статей, 3 книги и один справочник. "Держу пари, - пишет Фиалков, - что Д. занимал должность отнюдь не младшего научного сотрудника".

Ю.Я. Фиалков заметил также, что по его данным два соавтора О. и П-ова, начиная с 1953 года, опубликовали в разных журналах более 60 статей. Последняя совместная работа появилась в 1996 году. Но потом выяснилось, что П-ва умерла еще в 1984 году! Ну как тут не вспомнить Чичикова…

Можно полностью привести еще одну историю, опубликованную Ю.Я. Фиалковым в подборке "Занимательное автороведение".

"Еще в 50-х годах я заинтересовался статьями югославского химика П. Т-ча, которые он в основном публиковал в журнале "Гласник хемиского друштва", из-за чего пришлось выучиться читать по-сербски, что оказалось совсем нетрудно. Т-ч, судя по тому, что он начал публиковаться еще с начала 30-х годов (вместе с одним из основателей югославской Академии наук Пушиным), был человеком уже немолодым. В начале 50-х среди соавторов в его статьях появилась некая Милица Л-р. Прошел год-полтора, и новая серия статей вышла под авторском "П. Т-ча и Милицы Т-ч", а спустя пару выпусков журнала авторами уже значились "Милица Т-ч и П. Т-ч". Увы, скоро это соавторство прекратилось, ибо в очередной совместной статье после имени Т-ча стоял трефовый туз, что в западной научной периодике означает перемещение автора работы в мир, где заранее известно все, даже состав аддуктов серной кислоты с эфирами.

Следующая статья этого цикла была подписана лишь одной Милицей Т-ч, после чего имя мадам в "Гласнике" больше не появлялось. Всплыла она года через три в Канаде, где начала печататься с маститым химиком R. G-i. Надо полагать, что Милица была хороша собой и умело этим обстоятельством распоряжалась. Так или иначе, но тандем "R. G-i и Milica T-ch" с непостижимой для пуританской Канады скоростью трансформировался в "R. G-i и Milica R. G-i". Стоит ли говорить, что еще через год-полтора уважаемый R. G-i составил компанию П. Т-чу? Вдова же исчезла с химического горизонта и больше не печаталась. А может быть, еще раз сменила фамилию?

Хороша эта история еще и тем, что ее можно обрамлять в различные интонации:

нравоучительные, назидательные, юмористические, можно даже подпустить легкую скабрезинку…"

Три точки

Однажды лекции по органической химии начал читать молодой неопытный преподаватель. Студенты это заметили и передали ему записку с вопросом: "Как было доказано, что молекула циклопропана плоская?"

Лектор с увлечением, на протяжении пятнадцати минут, объяснял, что это следует из совокупности результатов исследований с помощью инфракрасной спектроскопии, ядерного магнитного резонанса и других методов.

После этого он получил записку следующего содержания: "Профессор, Вы согласны с тем, что через три точки можно провести только одну плоскость?"

Старые химики 1

Старые химики не умирают, они просто перестают реагировать.

Старые химики 2

Старые химики не умирают, они просто достигают равновесия.

Старые химики 3

Последние слова химика: "Почему нет этикетки на этой бутылке?"

Напуганный математик

В 50-х годах лекции по высшей математике студентам химфака МГУ читал профессор механико-математического факультета Тумаркин. Лектор внятно и размеренно излагал предмет, прохаживаясь за кафедрой вдоль доски. Вдруг передняя стенка кафедры почему-то вывалилась и плашмя, с громким сухим хлопком, упала на пол. Реакция лектора оказалась совершенно неожиданной: он застыл, подняв ногу стал вопросительно смотреть на аудиторию.

Выяснилось, что несколько лет назад студенты-химики над ним подшутили, рассыпав вдоль доски влажный йодистый азот, который, высохнув, с громким хлопком взрывается от малейшего прикосновения.

Все гениальное просто. Увы, не все простое - гениально

В Научно-исследовательском институте по удобрениям и инсектофунгицидам (НИИУИФ) работал в свое время некто Юзько. Он писал жалобы и вносил, причем на самый верх, невероятные предложения. Институт много занимался вопросами промышленного получения фосфорных удобрений, которые производят, как известно из Фосфоритов или апатита. Юсько предложил "гениальное" решение вовсе не производить фосфорные удобрения на заводах, а вносись в почву непосредственно добытые фосфориты и затем поливать поля серной кислотой!

Реакция идет сносно

На экзамене в Московском университете профессор Роза Яковлевна Левина спрашивает студента:

- Как идет реакция окисления этилового спирта азотной кислотой?

Студент отвечает:

- Сносно.

- То есть как это "сносно"?!

- Но вы же сами, Роза Яковлевна, писали на доске:

$$C_2H_5OH \text{ (в } HNO_3) = CHOCHO.$$

Соединение CHOCHO (O=CH-HC=O) называется глиоксалем.

Растерялся

Долгие годы практикумом по органической химии в МГУ ведал Юрий Константинович Юрьев - строгий педант, которого студенты очень боялись. Один из них только что подготовил все для проведения синтеза - осталось лишь открыть водопроводный кран, чтобы пустить воду в холодильник. Но, видно, открыл слишком сильно - трубку сорвало и из нее полилась вода. А тут, как на грех, входит Юрий Константинович. Бедный студент с перепугу вместо того, чтобы перекрыть кран, сунул трубку в рот и стал судорожно глотать воду.

Кто больше?

Лиза Мейтнер была в семье третьим ребенком, Мария Кюри - шестым, Иван Алексеевич Каблуков - восьмым, а Дмитрий Иванович Менделеев - семнадцатым. Каким бы выдающимся химиком был бы, скажем, двадцать второй ребенок!

Азот все не выделяется

Лаборантка сидит перед установкой для определения азота по методу Дюма. Понемногу придвигает горелку к тому месту трубки для сожжения, где лежит навеска органического вещества, и пристально наблюдает, когда же в азотометр начнут подниматься микропузырьки газа. Время идет, уже близко обед. Решила пока что заморить червячка принесенным из дома бутербродом. Откусывает, жует, а сама глаз не спускает с азотометра и говорит: "Что-то я ем, ем, а азот все никак не выделяется!"

Налей по форме № 3

Студент получил для выполнения работы по органической химии трехгорлую колбу со шлифами - большую ценность. Закончив работу, студент начал мыть эту колбу, случайно проткнул ершиком ее дно и ужасно расстроился. Его решил выручить однокурсник: взял злополучную колбу и с пузырьком спирта пошел к стеклодуву. А когда дно колбы было запаяно, сказал товарищу, что стеклодуву за работу следует заплатить через бухгалтерию 3 рубля 62 копейки по форме № 3 (в то время бутылка водки стоили 3,62).

Студент пошел к бухгалтеру, но тот удивился и порекомендовал обратиться к заместителю декана по административно-хозяйственной части. Тот тоже удивился и отправил студента к начальнику стеклодувной мастерской. Удивился и этот:

Зачем платить по форме № 3? Налей мастеру двести граммов, и дело с концом!

Индивидуалисты и коллектив

Профессор объясняет нынешнему молодому поколению химиков разницу между ионной и ковалентной связью: ионная связь - это высшая степень индивидуализма, а ковалентная связь - это когда приватизированные электроны становятся коллективизированными.

Чайная церемония

До переезда в новое здание химфака МГУ на Воробьевых горах практикум по органической химии размещался на Моховой улице в полуподвале, под кабинетом академика Николая Дмитриевича Зелинского. Это была знаменитая лаборатория № 80, которая выглядела очень таинственно, чем-то напоминая лабораторию алхимика (она

красочно описана в мемуарах Андрея Белого "На рубеже двух столетий").

Однажды в эту лабораторию пришли школьники, записавшиеся в химический кружок. Увидев большую коническую колбу, в которой кипела какая-то бурая жидкость, они со священным трепетом спросили старую лаборантку, что это такое.

"Чай!" - ответила она.

Знания - сила

В 50-е годы женщина-химик, ставшая впоследствии доктором наук и заведующей лабораторией академического института, в своих выступлениях путала полиморфные формы (модификации) веществ с полимерными. Молодежь, промывая ей косточки, все порывалась выяснить, не путает ли восходящая звезда висмут с вермутом или, скажем, ветеранов с ветеринарами.

Из справочника химика

Элемент: Женщина.
Символ: Wo
Первооткрыватель: Адам.
Атомная масса: условно принято 53,6 кг, но варьируется от 40 до 200 кг.
Распространенность в природе: В изобилии встречается повсеместно.

Физические свойства:

1. Поверхность обычно покрыта красящей пленкой.
2. Вскипает без какого-то бы то ни было воздействия, замерзает без видимой причины.
3. Плавится, будучи подвержена специальной обработке.
4. Становится мягкой, податливой, если в правильно выбранных местах приложить давление.

Химические свойства:

1. Имеет большое сродство к золоту и серебру.
2. Способна поглощать значительное количество веществ, особенно дорогостоящих.
3. Может самопроизвольно взрываться без предварительных признаков этого и по неизвестным причинам.
4. Нерастворима в жидкостях, но активность сильно увеличивается при насыщении этиловым спиртом.

5. Наиболее мощный агент, уменьшающий денежную массу мужчины.

Область применения:

1. С большой пользой может быть использована на отдыхе.
2. Очень эффективный чистящий агент.

Способы обнаружения:

1. При обнаружении в натуральном виде образец становится румяно-розовым.
2. Зеленеет, когда помещается позади образца лучшего качества.

Степень риска:

1. Очень опасна в неопытных руках.
2. Считается недопустимым иметь более одного образца, однако несколько образцов можно содержать в разных местах - до тех пор, пока образцы не придут друг с другом в контакт.

Фенолфталеин в криминалистике

Два бойких студента вызвались помогать готовить демонстрационные опыты. Ассистент профессора охотно согласился, и ребята толково принялись за дело, иногда даже в отсутствие ассистента в лекционной комнате. Все было хорошо, пока он не заметил подозрительное снижение уровня спирта в стоявшей на полке склянке, хотя для опытов он был не нужен. "Уж не ребята ли балуются?" - подумал ассистент. Но как проверить? "А вот насыплю-ка я в склянку фенолфталеина". На следующий день его помощники почему-то не пришли. Явились только на третий - осунувшиеся и бледные. "Что-то у нас животы расстроились. Наверное, чего-нибудь не то в столовой съели". Вот так фенолфталеин - обычное слабительное "пурген" - послужил индикатором для обнаружения любителей казенного спирта.

Отклонение письма, извещающего об отклонении

Уважаемый господин А.!

Благодарю вас за ваше письмо от 17 февраля. Внимательно изучив его, я с сожалением должен сообщить вам, что не имею возможности принять ваше отрицательное решение о предоставлении мне работы в вашей организации.

В этом году мне посчастливилось получить особенно много писем с отказом от моих

предложений. Имея перед собой такое количество разнообразных и весьма перспективных возможностей, трудно принять все эти отклонения.

Несмотря на очень высокую квалификацию и весь предшествующий опыт вашей химической фирмы в отсеивании кандидатов, я нахожу, что ваше негативное заключение не удовлетворяет в настоящее время моим потребностям. В связи с этим я приступлю к работе у вас сразу после получения диплома.
Искренне ваш В.

С таким именем - на конференцию без вступительного взноса

Покойный профессор К. И. Сакодынский в книге "About Chromatography Seriously and with a Smile" приводит забавные "химические" фамилии участников симпозиумов по хроматографии. Например,

A. Pieson - из Англии;
P. E. Glicol - из Франции;
Si Li Con - из Кореи;
C'Olumn - из Ирландии.

Можно пояснить, что апиезон - вещество, используемое в хроматографических колонках, а полиэтиленгликоль - водорастворимый полимер, используемый в том числе в пищевой промышленности. Скорее всего, это, однако, не реальные имена, а придуманные.

По программе "Интеграция"

Известно, что царские дети, особенно в XIX-XX столетиях, имели хорошее образование. Цесаревич Николай, он же великий князь Николай Александрович, он же - потом - император Николай II, свободно говорил на английском, немецком и французском языках и неплохо был подготовлен по военной линии: прошел курс Академии генерального штаба. Знал ли Николай II химию? Должен был знать, потому что его учителем в 1887-1891 годах был известный химик, ординарный член (академик) Петербургской академии наук Николай Николаевич Бекетов. Ученый, первым получивший чистые оксиды щелочных металлов и показавший возможность выделять металл из жидкой среды действием водорода под давлением, находил время для занятий с цесаревичем.

Как хорошо много знать

В 1998 году директором крупнейшего Кирово-Чепецкого химического комбината стал

Б. Дрожкин, по специальности механик, работавший ранее в машиностроительной промышленности. Один из акционеров пристал к Дрожкину с настоятельной просьбой написать формулу воды. Господин Дрожкин себя показал. Он не только сказал про воду, но выдал еще и формулу аммиака и даже бензола. Вероятно, он когда-то учился в школе.

Газетные штучки

Иногда в массовых изданиях читаешь удивительные вещи. Начинаешь сомневаться - а учились ли в школе авторы и редакторы?

"В результате переработки данной субстанции предусматривалось выделить один из редкоземов" (Алексей Тарасов, Известия, № 242, 1996). Под "редкоземом" здесь понимается редкоземельный элемент.

"Московский комсомолец", 31 января 1995 г.: "В парах азотной кислоты прямо на рабочем месте нашел свою смерть начальник участка завода "Акрихин"… На предприятии, выпускающем медикаменты, проводили профилактические работы. Чтобы прочистить трубы оборудования, по ним пустили азот. К несчастью, в трубах оказалась вода. В результате соединения с нею образовалась азотная кислота".

Читая старые газеты

"Вся нефтяная промышленность сосредоточивается в Соединенных Штатах - 51 % и в России - 46 %" (Русские ведомости, 1895, 26 августа). Сто лет назад не было нефти Саудовской Аравии, Кувейта, Ирака и Венесуэлы. "Почти вся поверхность Волги покрыта нефтью, просачивающейся из деревянных барж, в которых перевозится этот продукт, а в нынешнем году в полую воду две такие баржи были разбиты. Когда же мы дождемся перевозки нефти в железных судах?" (Сын Отечества, 1895, 15 августа).

Дождались. Но грязи стало намного больше.

"Метод живых мух"

Несколько поколений студентов для решения профессорской задачи по качественному анализу разработали систему своих методов. Их выбор зависит от ряда условий. Так, если в лаборантской комнате, где преподаватели составляют загадочную смесь, растворы находятся в обычных бутылях, из которых содержимое отливают через горло, то можно применить два метода. Первый из них - "метод качания", то есть сразу после того, как тебе налили задачку, надо ухитриться быстро заглянуть в лаборантскую и отметить, в каких именно бутылях раствор продолжает качаться. Есть и другой метод,

требующий предварительной тайной подготовки: надо наловить живых мух и по одной посадить под вогнутое дно каждой бутыли. Тогда после составления задачки остается только убедиться, из-под каких бутылей мухи улетели. Другое дело, если растворы содержатся в бутылях с нижними тубусами и кранами. Тогда повиснувшие на кончиках свежие капли точно укажут состав задачки. Ну, а когда не срабатывает ни один из этих трех способов, остается лишь "метод отмучивания": надо почаще подходить занудно к преподавателю все с новыми вариантами состава твоей задачки. Намучившись с тобой, преподаватель сдается и ставит тебе зачет.

Слишком большой рояль

Одним из преподавателей в практикуме по количественному анализу МГУ был П.К. Агасян. Количество хлорида бария, которое давалось для контрольной задачи студентам, он записывал мелким почерком в маленькую книжечку, которую всегда держал в кармане. И вот сульфат бария прокален, взвешен. Студент подходит к Перчу Карловичу с результатом. Тот достает свою секретную книжечку и, не раскрывая ее, сначала подозрительно оглядывается назад сначала через одно, потом через другое плечо - не подглядывает ли кто-нибудь. Наконец, приоткрывает книжечку и говорит: "Хороший рояль, но немножко в дверь не проходит!" Это значит, что надо еще прокалить и опять взвешивать.

Вот это реклама!

Создатель нейлона - Уоллес Каротерс. Первые нейлоновые чулки распродавались "на ура" в 1940 году. 15 мая в Нью-Йорке был большой ажиотаж. Одна женщина, выстояв длинную очередь и получив, наконец, вожделенную покупку, тут же возле магазина села на тротуар и натянула чулки на глазах у собравшейся публики. Правда, соответствующую фотографию распространила фирма Дюпон, которая и производила нейлон. Может ли быть лучшей реклама?

Почти по Герострату

Весной 1962 года произошло событие, на несколько лет сделавшее физиков МГУ бесспорными лидерами в перманентном соревновании с химиками: приехавший в СССР Нильс Бор выступил с речью на ступенях физфака перед студентами-физиками, проигнорировав студентов-химиков. В результате возликовавшие физики учредили день физика, ежегодно отмечавшийся в мае месяце на ступенях их факультета между памятниками Лебедеву и Столетову, а химики лишь в 1967 году стали отмечать свой день между памятниками Менделееву и Бутлерову. Но однажды утерли нос соседям, устроив грандиозный фейерверк, из-за чего к химфаку приехали четыре пожарные команды, хотя

никакого пожара не произошло. На такое физики не могли ничем ответить из-за незнания химии. Не взрывать же над памятником М.В. Ломоносову атомную бомбу.







Конкурс лабораторной моды



Откроем холодильник...





Лабораторная хурма



Протекла воронка...



Соблюдайте технику безопасности, а то...



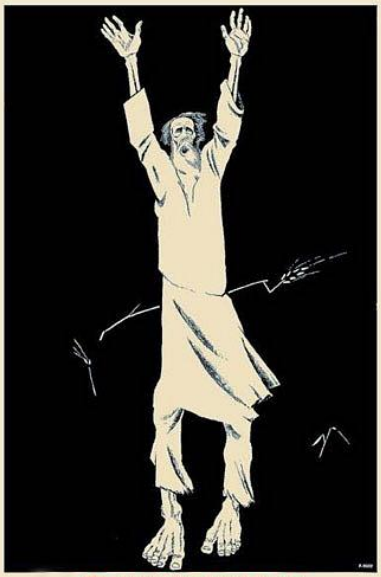
... могут случиться мелкие неприятности.



Главное помнить номер вызова пожарных...



Мой дом - моя научная крепость!

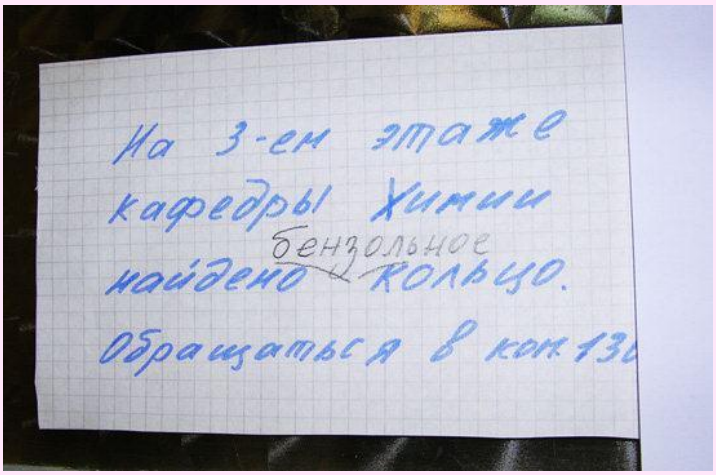


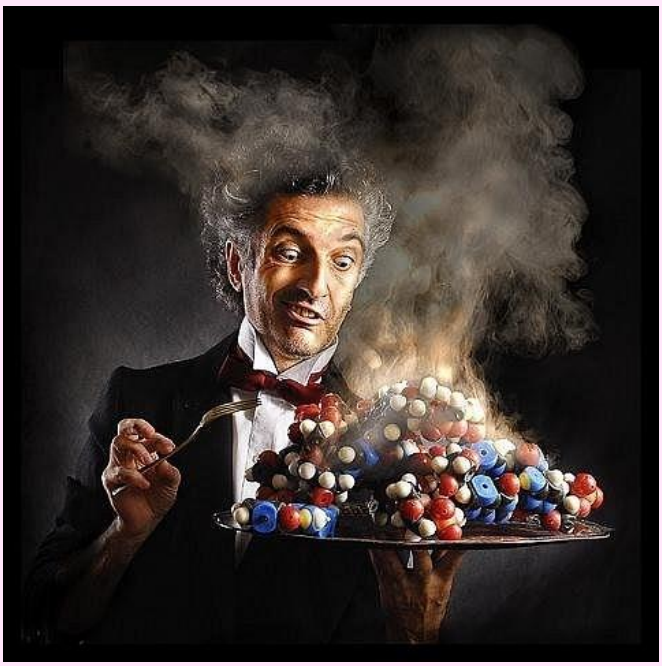
Сливай отходы оргсинтеза в отведённое место!



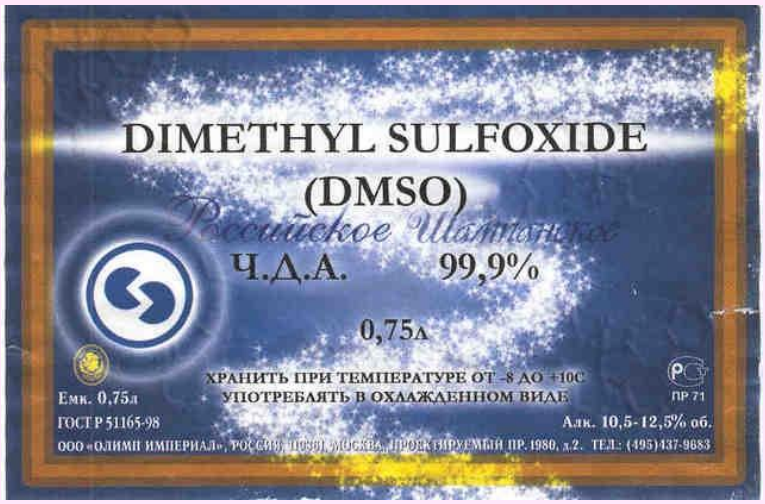


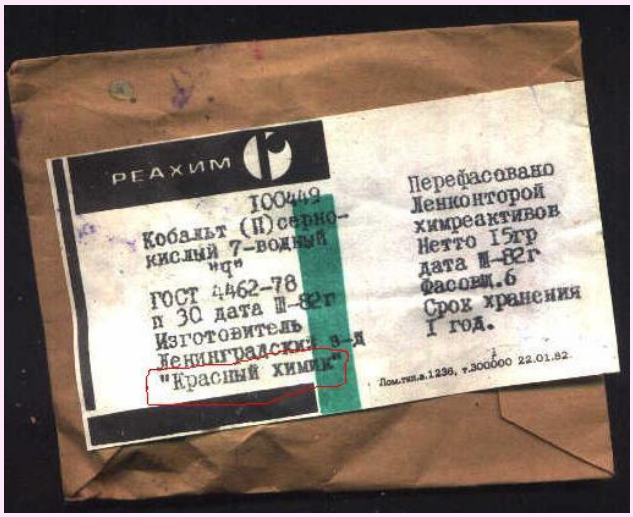
Надёжнее охраняйте практический выход продукта реакции!

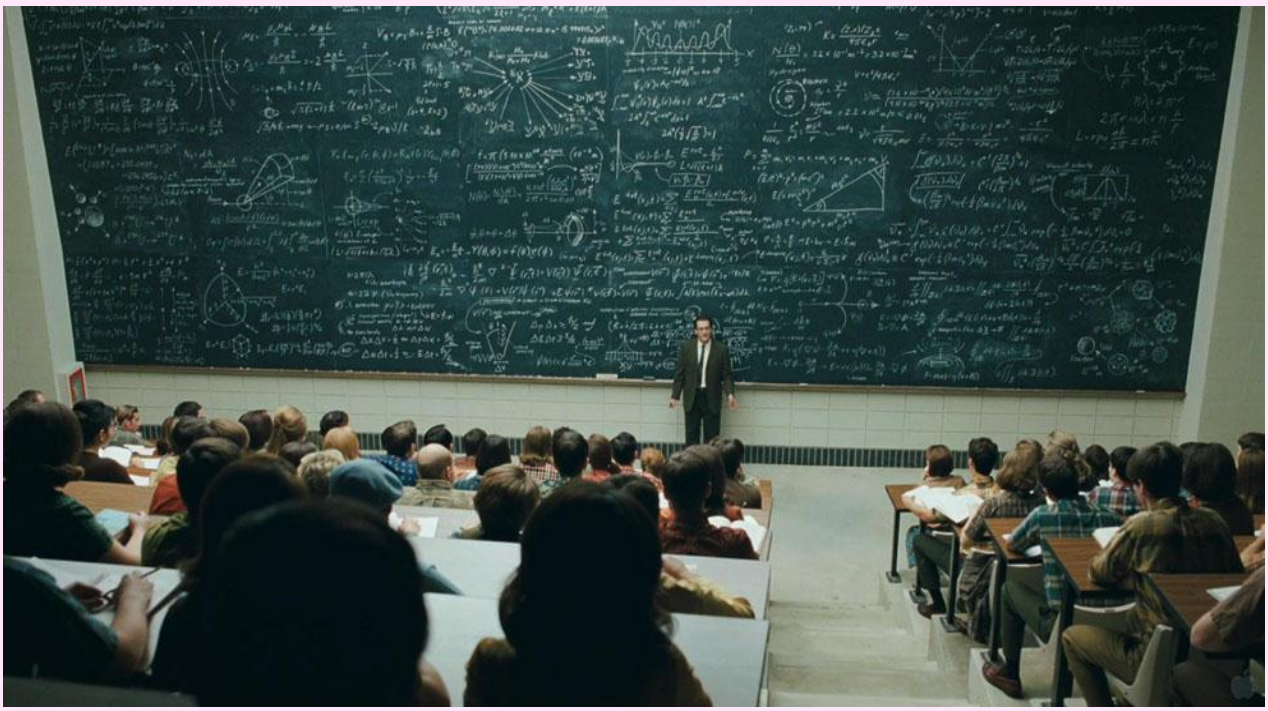

На 3-ем этаже
кафедры Химии
найдено бензольное кольцо.
Обращаться в кон. 13




рафинад
Гексоген
вкус сезона
© 1999 Артемий Лебедев







Квантовая механика: без иодистого азота не разобраться...

Наши корифеи

Планирование науки

Однажды профессору МГУ Андрею Владимировичу Фросту предложили составить поквартальный план работы его лаборатории на будущий год. Фрост представил на рассмотрение начальства такой план:

Первый квартал - закрыть первое начало термодинамики.
Второй квартал - закрыть второе начало термодинамики.
Третий квартал - закрыть третье начало термодинамики.
Четвертый квартал - открыть четвертое начало термодинамики.

Больше к нему с подобными глупостями не приставали.

Под псевдонимом

Академик Виталий Иосифович Гольданский был известен как сочинитель шутливых фраз, не обязательно относящихся к химии и вообще к науке. Его фразы публиковались на 16-й странице "Литературной газеты". Печатался академик под псевдонимом, но близкие-то знали, кто действительный автор. Долго не хотели публиковать такую фразу: "Сказав А, не будь Б".

Химик о физиках

Уж если я упомянул В.И. Гольданского, не могу не вставить сюда "физическую шутку", которую я слышал от него.

Когда трижды Героя Социалистического труда Якова Борисовича Зельдовича избрали академиком, в Арзамасе-16 на банкете по случаю этого события Зельдовичу подарили черную академическую шапочку (носили такие примерно до 60-х годов) и плавки. На шапочке была надпись "Академия наук СССР", а на плавках - "Действительный член".

Ошибка или не ошибка

Во времена Н.С. Хрущева на заседании президиума Академии наук лингвист академик В.В. Виноградов докладывал проект несостоявшейся тогда реформы русского языка. Он, в частности, говорил о том, что язык захлестывает стихия безграмотной журналистики, ошибки тиражируются миллионами экземпляров. Например, есть фамилии, которые склоняются только в мужском роде, а в женском не склоняются. А их перестают склонять и в мужском.

- Поезжайте в Тимирязевскую академию, - сказал Виноградов, - там стоит памятник академику Вильямсу, а на пьедестале написано "Академику Вильямс", будто он женщина.

Виноградову возразил академик П.Л. Капица.

- Не понимаю, в чем нас пытаются убедить, - говорит Капица. - Вот рядом со мной сидит мой друг Петр Александрович Ребиндер (а про академика Ребиндера все знают, что он завзятый собачник и большой поклонник прекрасного пола)… Мы говорим "кобель Ребиндера". Никто ведь не скажет "кобель Ребиндер".

Китайская тема

Академика П.А. Ребиндера, который не только не жаловался на здоровье и возраст, но, наоборот, обычно прекрасно выглядел, как-то спросили:

- Петр Александрович, в чем секрет Вашей отличной формы? Жень-шень?

- Нет, - ответил академик. - Я предпочитаю жен-щин.

Дальтоники

Профессор Юрий Аркадьевич Клячко во время войны был некоторое время начальником Военной академии химической защиты. Он организовал группу для разработки простейших тест-средств для обнаружения отравляющих веществ. Тестирование должно было быть основано на появлении различных окрасок специально подобранных реактивов с разными отравляющими веществами. Однако вскоре выяснилось, что многие члены созданной команды - дальтоники. Дальтоником оказался и руководитель группы, будущий академик. Какое уж тут надежное обнаружение!

Умные коты

Член-корреспондент РАН Георгий Борисович Бокий неоднократно ставил вопрос о том, чтобы СССР, а затем Россия официально приняли химическую номенклатуру Международного союза теоретической и прикладной химии. Он полагал, что кто-то виноват в том, что такое решение десятилетиями не принимается, хотя номенклатуру приняли даже маленькие африканские страны, например Кот-д'Ивуар.

- Даже какие-то коты-дивуары приняли эту номенклатуру, а мы никак не можем! - возмущался Георгий Борисович.

С бубенцами не получилось

Однажды, экзаменуя студента и убедившись в его слабых знаниях, академик И.А. Каблуков спросил:

- Хотите на тройке прокатиться?

- Хотелось бы, - отвечает студент.

- Идите пешком, - говорит Каблуков и ставит двойку.

Шуточки координационщиков

Один петербургский коллега ознакомил меня с остротами, связанными с именем известного ученого в области координационной химии академика А.А. Гринберга.

В 60-е годы широкую известность среди отечественных химиков имели книга А.А. Гринберга "Введение в химию комплексных соединений" и монография академика Я.К. Сыркина и профессора М.Е. Дяткиной, посвященная квантовой химии. Как-то Сыркин, обращаясь к Гринбергу, сказал: "А Вы знаете, Александр Абрамович, в ИОНХе на каждом столе лежит по Гринбергу". Александр Абрамович отреагировал немедленно: "А я слышал, что там на каждом столе лежат Сыркин с Дяткиной!"

Говорят еще, что А.А. Гринберг был очень требовательным педагогом и получить у него на экзамене пятерку было трудной задачей. Гринберг обычно говорил: "Господь знает на "5", я знаю на "4", вам ставлю "3"!" Говорят также, что преподаватели кафедры Гринберга пошли еще дальше и говорили студентам так: "Господь знает на "5", Гринберг знает на "4", я знаю на "3" - так что ставлю вам…"

Еще один выдающийся специалист в области комплексных соединений, академик Илья Ильич Черняев, долгое время работавший директором ИОНХа, так говорил о новых идеях: "С красивыми идеями, как с красивыми женщинами. Самые красивые - далеко не самые верные!".

С позиции силы

Известный химик-органик Николай Николаевич Зинин (1812-1880), будучи преподавателем Казанского университета, а потом профессором Медико-хирургической академии в Петербурге, иногда позволял себе побить не очень старательных студентов.

В принципе, студенты могли ответить ему, им давалось(!) такое право. Однако они на это не решались: профессор отличался большой силой.

Сначала поругать

Известный химик XIX века, создатель знаменитого справочника органической химии, Ф.Ф. Бейльштейн писал А.М. Бутлерову в Казань о Петербургской академии наук: "Возможно, что почтенное учреждение и излучает некоторый блеск, но здесь, на месте, его значение и вес примерно равны нулю… Вероятно, вам известно, что основное занятие почтенных академиков заключается в войне друг против друга… Что вы можете после этого ожидать от такого учреждения, как Академия, которая оценивает ученых не по их заслугам, по их имени и национальности".

Писал это Бейльштейн до его избрания в академию. Избрание же Федор Федорович с удовлетворением принял…

Тут уместно вспомнить недавнюю историю создания Академии естественных наук, одной из многих общественных, негосударственных академий. Организаторы РАЕН (эта аббревиатура дала повод острякам называть академию "районной") начинали с критики "большой" академии, нынешней Российской академии наук. И такая-то она, и сякая… Мы создадим принципиально новую академию… А потом изготовили и вручили своим членам удостоверение - почти точную копию удостоверения действительного члена РАН. Создали и вручили членам нагрудный значок - полную копию значка члена РАН, только вместо Ломоносова на нем изобразили Вернадского - издалека и не различишь.

Ее вклад в химию

Известный ученый в области химии комплексных соединений профессор Л.А. Чугаев (1873-1922) и знаменитый академик, один из создателей современных методов нефтепереработки В.Н. Ипатьев (1867-1952) при одной из встреч в 1907 году случайно выяснили, что они - братья. Анна Дмитриевна Ипатьева после развода с мужем встретила физика А. Чугаева, в которого была влюблена еще в молодости. В результате на свет появился еще один выдающийся химик.

Комарь носа не подточит

Между двумя известными украинскими учеными в области аналитической химии, киевлянином А.К. Бабко и харьковчанином Н.П. Комарем, в 50-60 годах шли дискуссии о методологии исследований. Комарь, получивший, помимо химического, еще и математическое образование, был сторонником скрупулезного учета всех возможных

факторов при расчете химических равновесий - с соответствующим усложнением выкладок. Бабко же считал, что рациональнее принимать во внимание только самые главные величины, призывал брать быка за рога и доказывал, что основные результаты, требующиеся химикам-аналитикам, могут быть получены и в этом случае, притом несравненно быстрее и проще.Об этих разных подходах, об этих спорах много говорили, о них ходили разные легенды. Если под эгидой Бабко расчет делали полно и основательно, шеф говорил: "Комарь носа не подточит". Если же Анатолия Кирилловича очень уж доводила критика из Харькова, он в сердцах говорил: "Комарь и его комарилья". А Николай Петрович Комарь называл Бабко, а также академика И.П. Алимарина и многих других химиков-аналитиков адептами "рецептурной" аналитической химии, что надо было понимать как "кухонной", "ползучей", эмпирической и т.п.

Одеяло - соседу

Самое хорошее здание из химических институтов Российской академии наук имеет Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова. Это великолепное и очень большое здание включает несколько прекрасно отделанных и оборудованных залов, просторные холлы, оснащенные лаборатории. Там, кажется, даже дверные ручки импортные. Строил здание его тогдашний директор и вице-президент АН СССР академик Ю.А. Овчинников.

"Высокое начальство обычно тянет одеяло на себя, и мы знаем - увы! - примеры создания для такого начальства институтов двадцать первого века, съедающих у других бюджет двадцатого" (В.И. Гольданский).

Не хочу в академики

На ответственном совещании у Сталина рассматривался вопрос о том, чтобы сделать С. М. Буденного почетным членом академии наук. За выведение буденновской породы лошадей. Почти все присутствовавшие не имели возражений. Только Сергей Васильевич Кафтанов, инженер-химик, работавший в то время председателем Комитета по делам высшей школы, выразил сомнение:

- Семен Михайлович - маршал, народный герой, широко известный человек, у него множество наград. Что ему добавит членство в академии?

Сталин подумал, а потом сказал, обратившись к Кафтанову:

- Вот Вы и объясните Буденному, почему ему не надо быть в Академии наук.

Бывший командарм знал, что вопрос о его приобщении к ученому сообществу поставлен и обсуждается.

Кафтанов нашел, однако, нужный заход. Он сообщил маршалу, что членство в академии требует ежемесячного выступления с научными лекциями и докладами. Буденный заволновался, а затем заявил:

- Да зачем мне эта честь? Все у меня есть, все меня и так знают. Отказываюсь.

Химик и лирик

Химию и музыку связывает вовсе не один Александр Порфирьевич Бородин. Находясь на отдыхе в Крыму, академик Семен Исаакович Вольфкович увидел тонущего мужчину. Ученый бросился в воду и вытащил беднягу. Как тут же выяснилось, этим беднягой был знаменитый певец Иван Семенович Козловский. Тонувший артист и его спаситель-химик не только познакомились, но и стали друзьями на многие годы.

Правила Спицына

Когда академик Виктор Иванович Спицын объяснял строение периодической системы элементов, он непременно демонстрировал слайд, на котором был изображен вместе с Нильсом Бором, и при этом говорил: "Вот это я, а рядом со мной - Нильс Бор…"

Студенческая молва приписывала академику Спицыну такие правила.

Правило первое: "В периодической системе Д.И. Менделеева элементы расположены слева направо и сверху вниз".

Правило второе: "В периодической системе Д.И. Менделеева после каждого четного элемента, как правило, следует нечетный, и наоборот".

Отцы и дети

Член-корреспондент АН СССР Александр Петрович Терентьев, долгие годы заведовавший одной из лабораторий кафедры органической химии МГУ, обладал феноменальной памятью. Во всяком случае создавалось впечатление, что он наизусть знает многотомный справочник Бейльштейна. Например, вызывает он своего молодого сотрудника и говорит:

- Возьмите девятнадцатый том, откройте его на тысяча двадцать четвертой странице. Прочитайте, что там написано, начиная с двадцать пятой строки. Вот это и синтезируйте.

Через неделю-другую сцена повторяется.

- Возьмите тридцать первый том, откройте на восемьсот первой странице. Прочитайте, что там написано, начиная с пятьдесят шестой строки. Вот это и синтезируйте.

И так далее, на протяжении месяцев. Наконец молодой сотрудник не выдерживает:

- Александр Петрович, сколько я ни думаю, не могу понять, зачем нужно делать эту бессмысленную работу?

- А вы не думайте, вы работайте. Думать будете потом, когда станете писать диссертацию!

Эффект Ребиндера

Читая лекции по коллоидной химии, академик Петр Александрович Ребиндер самолично с большим энтузиазмом демонстрировал некоторые эксперименты без помощи ассистента. Например, наливал в чашку Петри немного ртути, добавлял сверху каплю раствора поверхностно-активного вещества, резал ртутную лужицу стеклянной палочкой на две не сливающиеся друг с другом половинки и торжественно заявлял:

- Это эффект Ребиндера!

"Рашен коктейл"

Однажды профессор Илья Васильевич Березин, бывший в то время заместителем заведующих кафедрой химической кинетики Московского университета академиков Николая Николаевича Семёнова и Николая Марковича Эмануэля, и по совместительству секретарем парткома химфака, должен был принимать коллегу из США и, накануне его визита, купил литровую бутылку фруктового сока. А аспиранты кафедры отлили половину для изготовления расслабляющего напитка и остаток разбавили спиртом.

На следующий день, после лекции, заокеанский профессор захотел пить. Илья

Васильевич налил ему стакан соку - и гость, к великому изумлению хозяина, стал быстро косеть. "О, рашен коктейл!" - одобрительно заметил американец.

Кто находчивее

Во время одного из приемов академик Николай Николаевич Семёнов подошел к известному драматургу Александру Корнейчуку и сказал: "Да, Корнейчук, Вы - не Шекспир". Писатель был ошарашен и не нашелся, что ответить. Позже он, правда, собрался с мыслями и, подойдя к Нобелевскому лауреату, ответил: "А вы не Ньютон, Николай Николаевич". Академик со смехом парировал: "Правильно, но надо бы ответить сразу, а не через час".

Его бы в КВН…

Другой академик - П.А. Ребиндер - зашел на какую-то небольшую вечеринку, которую организовали на химическом факультете МГУ. Выпивка была уже в разгаре. Гостю тут же налили стопочку, тот выпил, но на дне стаканчика обнаружил пуговицу.

- Надеюсь, не от кальсон, - быстро прореагировал Петр Александрович.

Потушенный конфликт

Академик, к тому же генерал, Иван Людвигович Кнунянц был очень экспрессивным человеком. Как-то раз, поговорив "на басах" с сотрудником, он так сильно хлопнул дверью, что с гвоздя, вбитого в косяк, сорвался огнетушитель. Ударившись об пол, он сработал и обдал генерала охлаждающей его пыл пеной.

Билет за семь копеек

Профессор Московского университета А.В. Раковский экзаменует студента. И все бы хорошо, но вот на один вопрос тот не ответил.

- Придется ставить вам четверку, - говорит профессор.

- Ну что вы, Адам Владиславович, я ведь только на один вопрос не ответил! - канючит студент. Раковский возражает:

- А вот, если вы, молодой человек, входите в трамвай, и у вас всего 7 копеек, кондукторша даст вам билет за 8?

- Ну если, конечно, она не сволочь, то даст.

- Да? Ладно! Ставлю вам пятерку за находчивость.

Испарившаяся отметка

На экзамене академик Иван Алексеевич Каблуков просит студента рассказать, как в лаборатории получают водород. "Из ртути", - отвечает тот. "Как это "из ртути"?! Обычно говорят "из цинка", а вот из ртути - это что-то оригинальное. Напишите-ка реакцию". Студент пишет:

$$Hg = H + g$$

и говорит: "Ртуть нагревают; она разлагается на H и g. H - водород, он легкий и поэтому улетает, а g - ускорение силы тяжести, тяжелое, остается". "За такой ответ надо ставить "пятерку", - говорит Каблуков. - Давайте зачетку. Только "пятерку" я сначала тоже подогрею. "Три" улетает, а "два" остается".

Бедный Шееле

И.А. Каблуков начинает лекцию на тему "Хлор". На демонстрационном столе собрана установка для получения этого газа. Каблуков говорит: "Хлор открыл Шееле. Вон он булькает!" - и указывает на установку.

Залил за воротник

Другой раз Каблуков решил сам провести перед аудиторией опыт с выделением осадка. Прилил реагент в пробирку, держа ее в одной руке. Затем захотел рассмотреть процесс получше и для этого обеими руками надевает очки. При этом содержимое пробирки благополучно выливается ему за воротник. Профессор удивленно смотрит в пустую пробирку.

После смерти им стоять почти что рядом

В 1907 году в Петербурге умирает Менделеев. От Московского университета на похороны делегируют Каблукова. Возвратившись, Иван Алексеевич докладывает коллегам, как проходило это печальное событие. Вспоминает о больших заслугах Менделеева и как-то вскользь замечает: "Тут, кстати, умер и Меншуткин…" Дальше, уже совсем запутавшись, Каблуков стал рассказывать о каком-то Мендельшуткине…

Устоял

А.П. Терентьев слыл строгим экзаменатором. Но хорошенькие девушки, рассчитывая на свою неотразимость, все же пытались в летнюю сессию, когда уже совсем тепло, отвлечь внимание профессора открытыми платьями. Однако на Александра Петровича это не

действовало, как на других преподавателей. Стали говорить, что "упрямый АПТ не верит декольте."

Кабачник и пустынник

Году в 1950-м к А.П. Терентьеву на химический факультет МГУ пришел на консультацию будущий академик М.И. Кабачник со своей сотрудницей Т.Я. Медведь. Александра Петровича в кабинете не оказалось. А.Н. Кост, сотрудник Терентьева, нашел его в комнате аспирантов и говорит: "Александр Петрович, там к Вам пришли Кабачник и Медведь". Терентьев сказал: "Алексей Николаевич, у Крылова такой басни нет. Есть "Пустынник и медведь"!"





Химия - это неизлечимо



H He

Li Be B

C N O F

Ne Na Mg Al Si

P S Cl Ar K

Ca Sc Ti V Cr Mn

Fe Co Ni Cu Zn Ga

Ge As Se Br Kr Rb Sr

Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh

Pd Ag Cd In Sn Sb Te I

Xe Cs Ba La Ce Pr Nd Pm Sm

Eu Gd Tb Dy Ho Er Tu Yb Lu

Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl

Pb Bi Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U Np Pu


H
Be
B
C
Al
Si
Sc
Ti
Zn
Ga
Ge
Y
Zr
Cd
In
Sn
Cs
Ba
La
Hf
Au



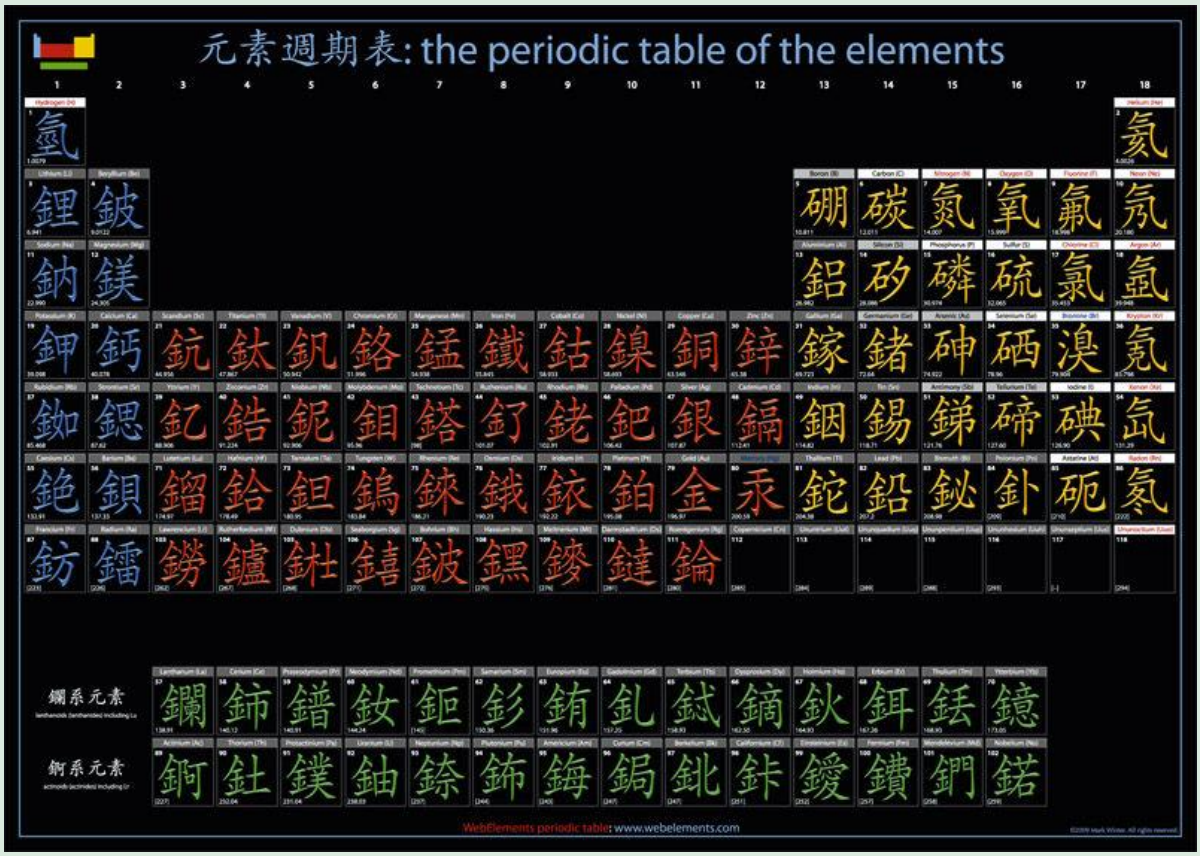


Таблица Менделеева на китайском

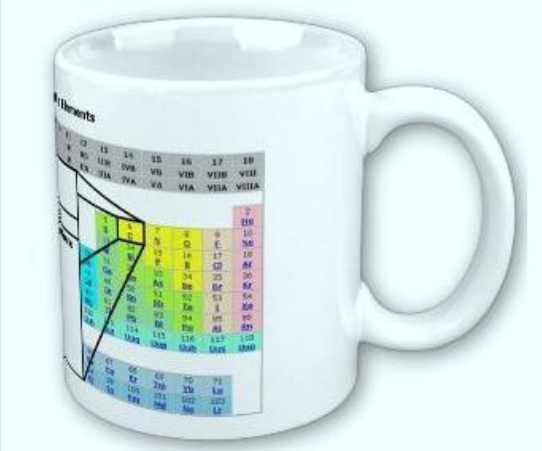




Кафедра истории химии: такой была Периодическая система в каменном веке



Стол, оказывается, тоже бывает периодическим







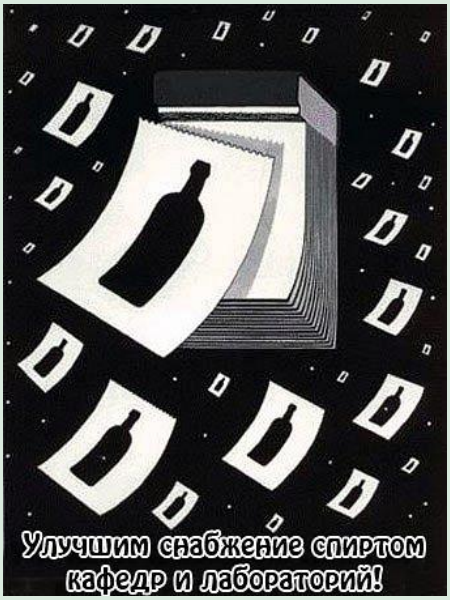
Теория и эксперимент



Будь готов!



Всегда готов!



Средство для протирки оптических осей





От сессии до сессии живут студенты весело...

Их гиганты

Снотворное

Выдающийся немецкий химик Эмиль Фишер гулял по парку. К нему подошел не очень известный писатель Зудерман и не без ехидства сказал:

- Я счастлив лично поблагодарить вас за то, что вы изобрели чудесный снотворный препарат. Очень эффективное средство. Причем мне даже не надо его употреблять. Достаточно того, что он лежит на моем ночном столике.

- Поразительное стечение обстоятельств, - ответил химик. - А когда мне бывает тяжело заснуть, я обращаюсь к одному из ваших романов. Причем действуют все они превосходно: их не надо даже читать, достаточно, чтобы они лежали на ночном столике.

Кофе по Фишеру

Эмиль Фишер, работая в Мюнхене, в лаборатории, организованной Ю. Либихом, нашел способ получения кофеина из ксантина и гуанина. Фишер приготовил на основе этого кофеина напиток, заменитель кофе. Когда сотрудники попробовали снадобье, Фишер объявил, что напиток изготовлен из птичьего помета (гуанин - составная часть гуано). Друг и коллега Фишера по лаборатории и сосед по дому, где они вместе снимали комнаты, Вильгельм Кёнигс, брат известного собирателя картин, даже сочинил об этом стихотворение.

И это все Бунзен

Бунзен вошел в историю не только своей горелкой и спектральным анализом. В 1904 году в Гейдельберге вышла книга под названием " "Бунзениана". Собрание юмористических историй из жизни Роберта Бунзена".

Кто кого открыл

Живший в XVII веке гамбургский торговец и алхимик Хейннг Бранд хотел поправить свои дела, пытаясь выделить золото из человеческой мочи. Это ему, понятно, не удалось, но по ходу дела Бранд обнаружил новый химический элемент - фосфор. Говорят, что не столько Бранд открыл фосфор, сколько фосфор, чуть позже детальнее изученный Р. Бойлем и другими, открыл немецкого торговца и увековечил его в истории науки.

Как стать Нобелевским лауреатом? Нужно выйти на пенсию

Зачинатель науки о синтетических макроциклических соединениях лауреат Нобелевской премии американец Чарльз Падерсен (1904-1989) не имел докторской степени, никогда не руководил большой исследовательской группой и опубликовал свои великолепные научные результаты, относящиеся к макроциклам, только после выхода на пенсию.

Типичная история о выборах в академию

Один химик очень хотел стать членом академии наук. Его заслуги к моменту выборов были еще довольно скромными. Но отец нашего героя был весьма влиятельным человеком и имел друзей среди академиков. К тому же сам кандидат проявил себя в качестве крупного денежного воротилы, нужного властям. Посему власти при выборах в академию выделили дополнительное (так сказать, целевое) место, и, как почти всегда бывает в таких случаях, большинство голосов было обеспечено. Дело было в 1768 году во Франции, а избирали в академию Антуана Лорана Лавуазье.

Он прожует, а мы попробуем

Выдающийся немецкий химик Адольф Байер, читая лекцию о крахмале, дошел до вопроса о его гидролизе под действием ферментов.

- Такой фермент есть в слюне, - сказал профессор. - Если несколько минут пожевать рисовую кашу, в ней можно обнаружить глюкозу, которая образуется при гидролизе крахмала. Сейчас вы сами сможете убедиться. Наш лаборант господин Бернард, я думаю, не откажет в любезности и покажет нам это.

Байер достал из-под стола фарфоровое блюдо с самой настоящей рисовой кашей и протянул его подошедшему Бернарду.

- Сейчас господин Бернард хорошенько прожует кашу, а мы потом убедимся, что в ней содержится глюкоза.

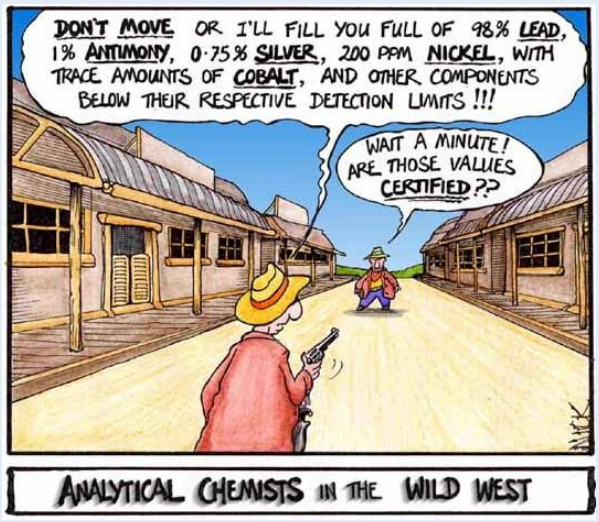
Монография из конюшни

Очень молодой (22 года) преподаватель ветеринарного училища в Голландии написал книгу, назвав ее "Химия в пространстве". "Не иначе, как какой-нибудь "пегас" из конюшни училища подтолкнул его необузданную фантазию", - язвили некоторые коллеги. Между тем книгу напечатали, и она произвела большое впечатление: в ней была развита теория пространственного размещения атомов в молекулах органических соединений (стереохимическая гипотеза).

Автором книги был Якоб Вант-Гофф, впоследствии лауреат Нобелевской премии.



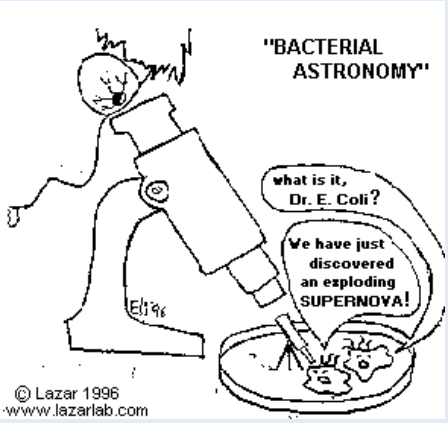
«Пудра ТО-РАДИЙ на основе радия и тория по формуле Альфреда Кюри...»



Аналитик на Диком Западе



Друзья, мы потеряли нашего дорогого коллегу!
Зато теперь можно написать статью



Что случилось, доктор E. Coli?
Я открыл взрыв сверхновой!

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect

Spectrochimica Acta Part A 70 (2008) 674–681

SPECTROCHIMICA ACTA PART A

www.elsevier.com/locate/saa

Model-based analysis for kinetic complexation study of Pizda and Cu(II)

M. Vosough [a], M. Maeder [b], M. Jalali-Heravi [c,*], S.E. Norman [b]

[a] *Chemistry and Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, Iran*
[b] *Department of Chemistry, University of Newcastle, Callaghan, NSW, Australia*
[c] *Department of Chemistry, Sharif University of Technology, P.O. Box 11365-9516, Tehran, Iran*

Received 19 March 2007; received in revised form 25 August 2007; accepted 27 August 2007

Abstract

In the present work, the multivariate kinetic complexation of a new synthesized ligand, 1-(2″-hydroxyl cyclohexyl)-3′-[aminopropyl]-4-[3′-aminopropyl]piperazine (Pizda) and Cu^{2+} in 50% ethanol–water solution is investigated using the UV–vis stopped-flow technique and state-of-the-art multi-wavelength numerical analysis. Model-based least squares fitting analysis or hard modeling is a specific part of chemometrics which is based on mathematical relationships for describing the measurements. Some recent developments include the incorporation of the effects of non-ideal experimental conditions into the fitting algorithm so it can substantially simplify experimental procedures. In this study no buffers are required because pH changes are taken into computations. Some 21 multi-wavelength kinetic measurements, taken at various initial concentrations of $[H^+]$ were analyzed globally, i.e. simultaneously applying an all inclusive reaction mechanism and a common set of species spectra. Using numerical analysis, the pH of the experimental solutions was allowed to vary as a consequence of the proceeding reactions. This enabled the complete kinetic analysis of the formation and dissociation of $Cu(Pizda)^{n+}$. Here protonation equilibria have been directly incorporated into the rate law, so thus variable pH values have been allowed during each measurement. Using the independently estimated stability constants (from spectrophotometric and potentiometric measurements) for the $Cu(Pizda)^{n+}$ complexes, a total of six rate constants and one protonation constant could be elucidated. The results of the analysis include the concentration distribution and spectra of all chemical species involved in the reaction. A low standard deviation and residual profiles obtained validate the results.
© 2007 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Hard modeling; Stopped-flow measurements; Global analysis; Pizda

Разное прочее

Руководство для исследователя

1. Если вы не знаете, что именно вы делаете, делайте это аккуратно.

2. Накопленный опыт прямо связан с количеством угробленного и порушенного материала.

3. Прошлый опыт всегда правилен и не должен искажаться фактами настоящего.

4. Если есть сомнение, замените его прочным убеждением.

5. Не верьте в чудеса - прямо полагайтесь на них.

6. Работа группой жизненно важна - она позволяет вам упрекать кого-нибудь другого.

7. Записывание полученных данных весьма существенно, оно показывает, что вы все-таки что-то делали.

8. Что бы не произошло, всегда найдется кто-то, кто посчитает, что это имело место в соответствии с его любимой теорией.

9. Величина, к которой, по экспериментальным результатам, что-то добавляют, что-то из нее вычитают, которую умножают и делят, чтобы получить правильный ответ, называется константой.

10. Вероятность того, что событие происходит, обратно пропорциональна его желательности.

11. Эксперименты должны быть воспроизводимы: они должны не получаться всегда в одних и тех же условиях.

12. Если эксперимент получается, следует провести заведомо неправильный опыт.

13. Эксперимент можно считать удачным, если пришлось отбросить не более половины полученных данных.

14. Стремясь к аккуратности, сначала проведите кривую, потом наносите экспериментальные данные.

15. Если эксперимент совсем уж не удался, его всегда можно использовать как отрицательный пример.

16. Помните, что выполнение любого научного задания включает шесть стадий: 1) энтузиазм; 2) разочарование; 3) паника; 4) поиск виноватого; 5) наказание невиновного и 6) похвала и почести тем, кто в работе не участвовал.

Богатое воображение перестраховщика

Турецкий цензор конца XIX века запретил издание учебника химии, увидев в изображении H_2O пасквиль на султана Хамида II. Формулу цензор прочитал так: "Хамид II - нуль".

Интерметаллический банан

В начале 90-х годов прошедшего века в США вышла книга "Взрыв химических шуток", автором которой был Ион Нимиц. Там, помимо прочего, есть такие вот прочтения формул интерметаллидов: $Ba(Na)_2$ - banana, $(Co)_3La$ - cococola.

Кто их разберет…

Председатель исполкома Моссовета Промыслов в приветствии участникам Международной конференции по координационной химии (1973 год), посвященной столетию со дня рождения известного химика Льва Александровича Чугаева, все время говорил не Чугаев, а Чугуев. В зале началось движение, публика зашумела, но откуда этому оратору было знать причину. С ним явно не поработали, когда вручали текст речи.

Политики - из Петербурга, химики - из Нагорного Карабаха

Два крупных химика-органика родились в Нагорном Карабахе - части Азербайджана, населенной армянами. Это профессор Николай Николаевич Зинин (1812-1880) и академик (АН СССР) Иван Людвигович Кнунянц (1906-1990). Из Нагорного Карабаха происходил также химик-полимерщик академик Н.С. Ениколопов (Ениколопян) (1924-1993).

Уж не каменистая ли, бедная растительностью карабахская "окружающая среда" толкала пытливый ум будущих ученых от косного минерального к живому и горючему?

Просчитался

Гиви решил поступить в один из престижных московских химических вузов. После письменного экзамена он передал написанное профессору, приложив 5000 долларов и записку: "По штуке за балл". На следующий день профессор раздал абитуриентам результаты экзамена. Когда Гиви открыл свой конверт, там было 3000 долларов и записка: "Сдача".

Придирасты

Это весьма придирчивые оппоненты.

Мечтам и годам нет возврата

Воспоминание о научных конференциях сорокалетней давности: "Тогда было много красивых женщин…"

Антинобелевские премии

В "Annals of Improbable Research", а затем в журнале "Universities" был опубликован уже двенадцатый (2002 год) по счету список лауреатов "Альтернативной Нобелевской премии".

В области химии лауреатом оказался некий Тео Грей из компании "Wolfram Research" (США) за использование максимально возможного числа химических элементов при создании стола с четырьмя ножками. Премией по физике отмечено исследование Арида Лейке из Мюнхенского университета, результаты которого опубликованы в "European Journal of Physics" (2002, т.23, с. 21-26). Автор доказал, что опадение пивной пены подчиняется закону экспоненциального затухания. Ну чем еще заниматься в Баварии, которая гордится тем, что была родиной пива?

Академический фольклор

Один академик-химик говорит другому:

- Жизнь стала не такой интересной: я уже пять лет не могу иметь дело с женщинами.

Второй стучит по деревяшке:

- Тьфу-тьфу. Мне грех жаловаться: я только два года.

Купцы-интернационалисты

В Москве, особенно на Юго-Западе, несколько улиц носят имена наших известных химиков. В районе МГУ, около химического факультета, - улица Менделеева. Перпендикулярно Ленинскому проспекту, по обе стороны от него, недалеко от площади Гагарина - улица Зелинского. Тут же рядом улица Несмеянова. Импозантное, издалека видимое здание Газпрома - на улице Наметкина. Есть еще улица Бутлерова.

Что-то я не припомню переулка, улицы или площади, в названии которых увековечилось бы имя какого-либо зарубежного химика. В этой связи можно отметить факт просто поразительный: в конце XIX века русские купцы внесли деньги на создание памятника Лавуазье в Париже.

Какие уж тут шутки…

Маленький химико-этимологический словарь

Галоген - носитель французской наследственности.

Гидролиз - пьющий только воду.

Крахмал - небольшая неприятность.

Подонок - осадок (XVIII в.); распущенный подонок - растворенный осадок.

Полимер - измеряющий сельхозугодия.

Рентген - ген, взятый напрокат.

Самарий - оперный солист.

Токсин - отравленный чужестранец.

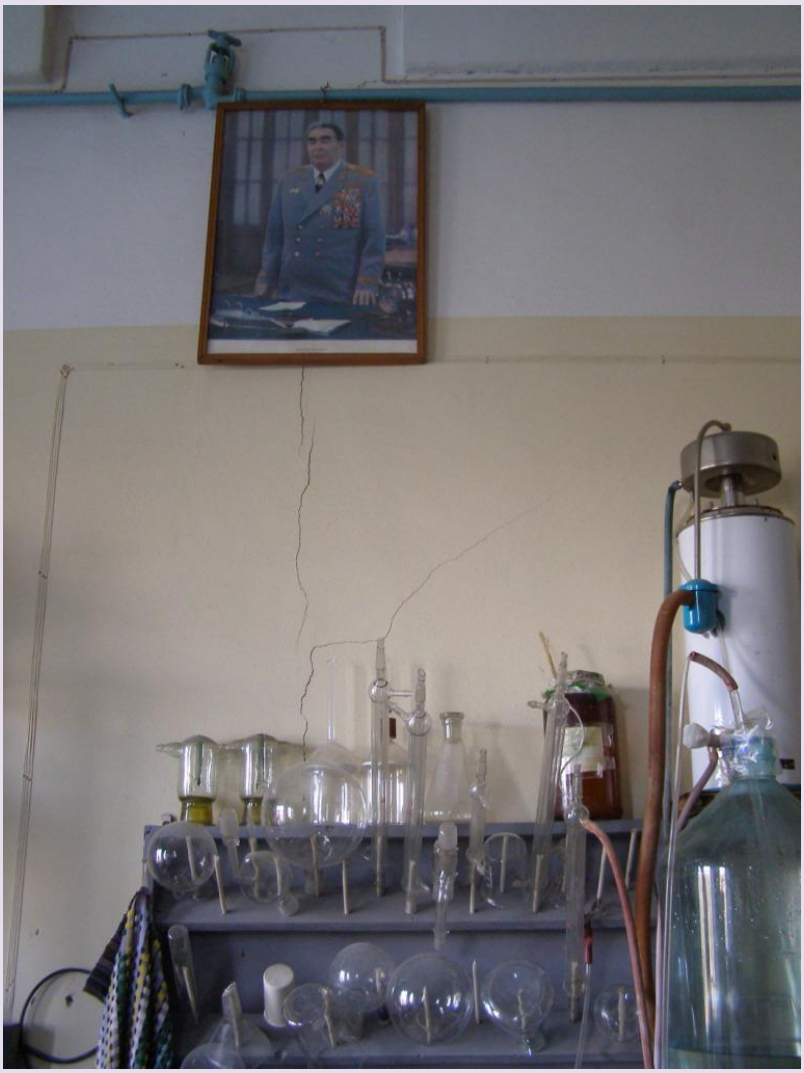
Хлорофилл - увлеченный химией хлора.

Экстракт - давно покинутая дорога.

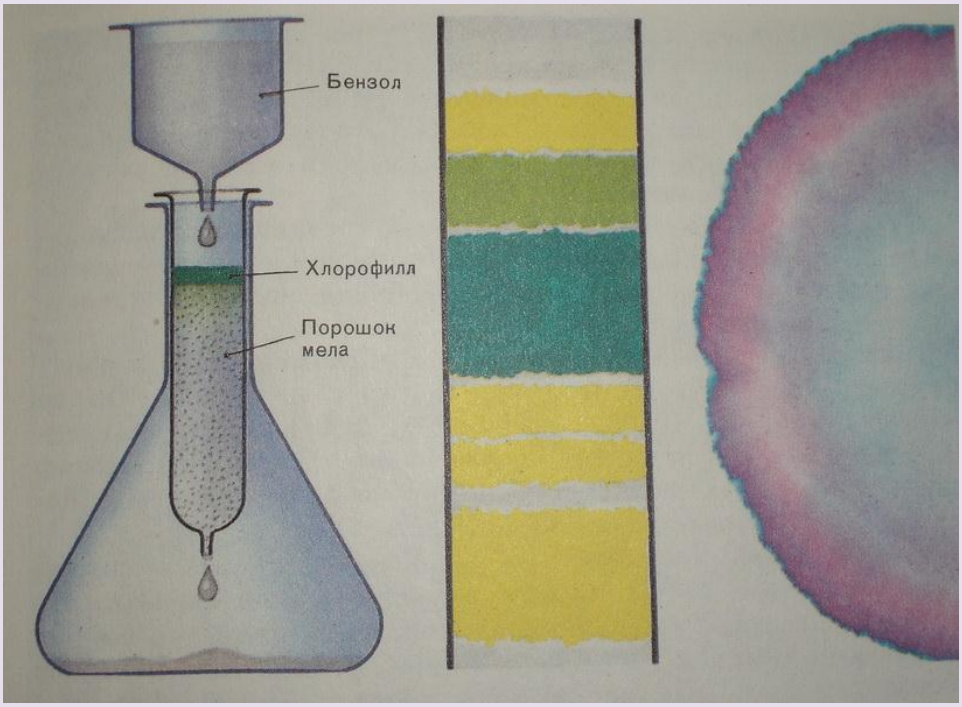
Экстрактор - списанная сельхозмашина.



Как из роданида сделать цианид



Фотография сделана в 2006 году



Хроматография на наглядном пособии





После метилового спирта никогда не двоится в глазах



Слово "пломбир" пишется без буквы "Е"



"Внутримышно"



Один из вариантов расшифровки аббревиатуры "ТЭС" - тетраэтилсвинец (очень токсичное соединение, которое приводит к сильным нервным расстройствам)

Цветная соль

Моня Квасов

Решил покрасить поваренную соль "экстра". Цвет мог быть практически любой, но я выбрал красный.



Цветная соль



Краситель способен светится в ультрафиолете.



Цветная соль в ультрафиолетовом свете

Чтобы показать, как покрашена соль, что нет порошка красителя отдельно от соли, я сделал фотографии с увеличением.

На фото макросъемки различимы отдельные кристаллики.

Видно, что каждая частица соли аккуратно покрашена со всех сторон; пленка красителя тонка и прозрачна. Она не мешает свету проходить сквозь кристаллики, преломляясь, отражаясь от поверхности частиц так, как если бы это было одно вещество.





И еще несколько фотографий отдельных кристаллов под микроскопом (увеличение в 40 раз).



Цветная соль под микроскопом





После "красной соли" решил попробовать, что получится, если окрасить соль флуоресцеином; может она начнет блистать зелеными переливами. Сделал два образца с разным количеством красителя на поверхности кристаллов. Цвет соли получился в точности такой, каким выглядит сухой флуоресцеин, т.е. с желто-красными оттенками, не было ни какого намека на зеленую флуоресценцию, даже при освещении

ультрафиолетом.

Совсем малое количество флуоресцеина придало лимонный цвет соли, но зеленой флуоресценции по-прежнему не наблюдалось.



Соль, подкрашенная флуоресцеином

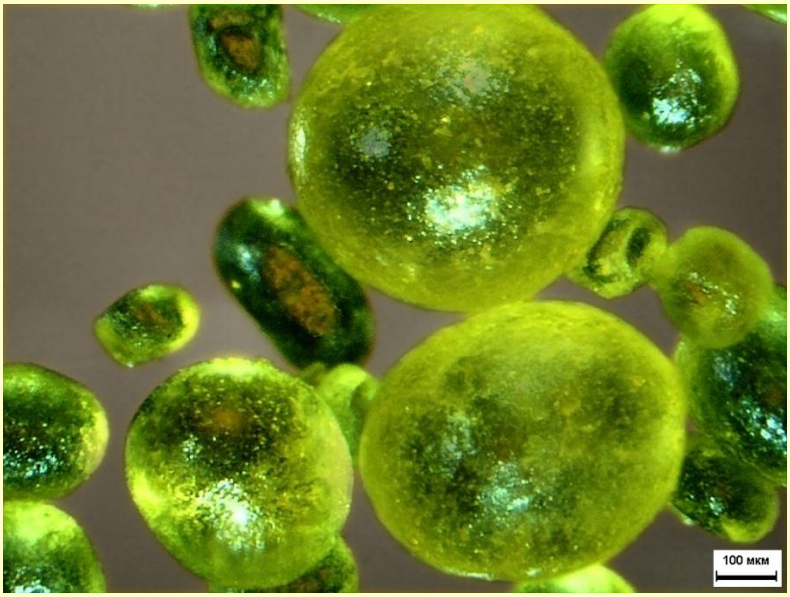


Я было уже начал сомневаться, а вдруг краситель изменил свои свойства. Бросил щепотку крашеной соли в воду и осветил ультрафиолетом. По мере растворения соли и красителя на ней, раствор засиял характерной зеленью.

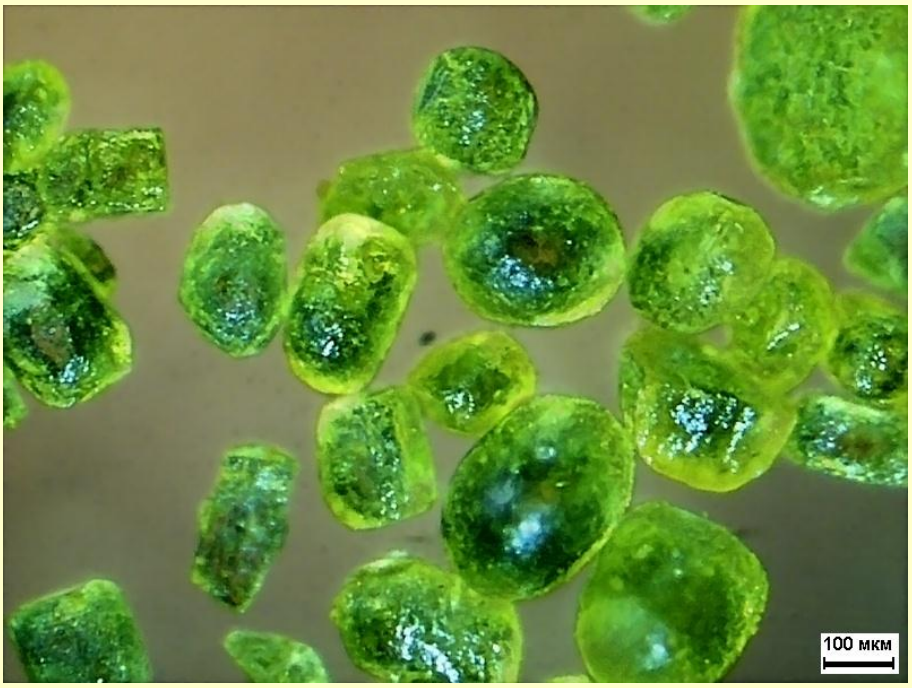


Соль, подкрашенная флуоресцеином

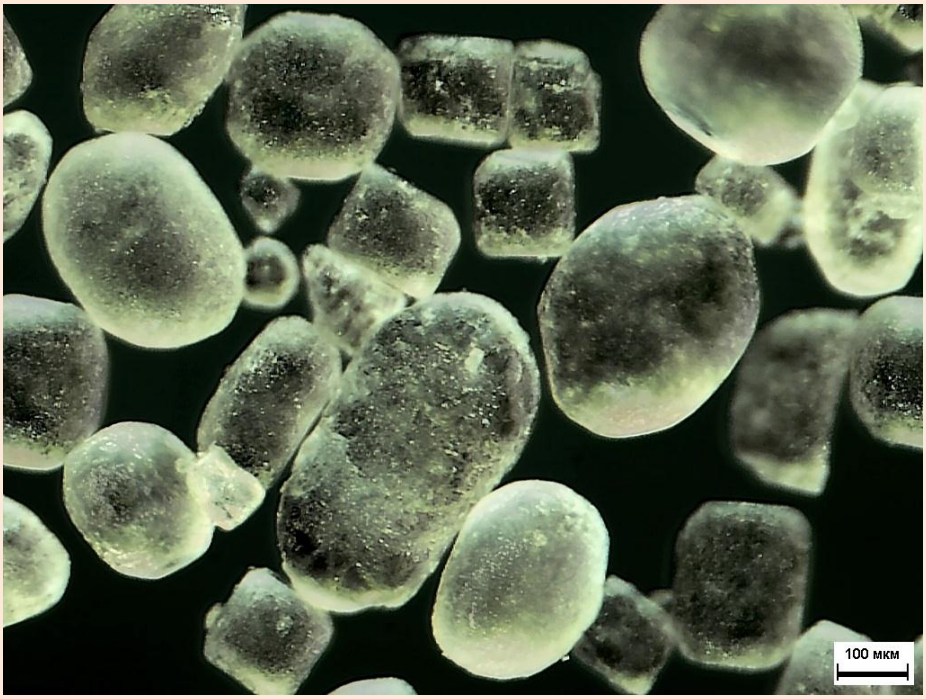
Но самое неожиданное оказалось при взгляде в микроскоп. Вначале я увидел знакомый желтый цвет с красноватым отливом, но проигравшись с подсветкой микроскопа, уловил момент, когда кристаллы вспыхнули ясной зеленой флуоресценцией. И это при полном отсутствии ультрафиолета в спектре светодиодной подсветки микроскопа.



Соль, подкрашенная флуоресцеином



Вот такими были кристаллы исходной соли.



Поваренная соль

Поваренная соль - самое распространенное и доступное вещество (после песка и пыли). Поэтому я выбрал именно этот "реактив". Разумеется, подобным способом можно окрасить не только хлорид натрия. Большое количество веществ подходит для изменения своей внешности. Такая себе косметика реактивов.





Литпортал



Размышления над сетью

Станислав Лем

В свое время я позволил экспериментировать над собой, попробовав псилоцибин, препарат, являющийся вытяжкой из грибка psylocybe, который действует подобно издавна известному мескалину, но более слабо.

Благодаря воспоминаниям Станислава Игнацы Виткевича известно из первых рук, как действует мескалин: вызывает сильные галлюцинации и, кроме того, очень неприятные соматические последствия (телесные, кишечные и т.п.). Но при употреблении в миллиграммной дозе псилоцибин таких побочных эффектов не вызывает. Впрочем, дело не в видениях, которые у меня возникали под влиянием этого галлюциногена, а в том, что, употребляя его и переживая какие-либо галлюцинации, человек ни на минуту не теряет осознания (знания) того, что все ему представляющееся, включая наиболее удивительные изменения пропорций собственного тела, изменения красок окружающего мира и его перспективы и т.д., является результатом действия препарата. Кроме этого, существуют галлюциногены, такие как LSD - производное лизергиновой кислоты, употребление которых может полностью стереть сознание фиктивности переживаемых видений так, что человек может выйти на улицу и попасть под приближающийся автомобиль с полным ощущением, что тот является совершенно прозрачным. В результате употребления LSD также может развиться шизофрения.

Вышеописанное было для меня лишь вступлением к классификации так называемой "виртуальной реальности". Может случаться так, что факт входа в произвольно выбранную либо навязанную (программистами) виртуальность личность осознает, и это более или менее соответствует результатам действия галлюциногенов группы псилоцибинов (а также мескалина). Однако, может быть и так, что виртуальная реальность "вытесняет" нормальное состояние реального бодрствования полностью.

В результате чего "фантоматизированный" (это уже мой термин, соответствует нахождению в "виртуальной реальности") не способен сделать вывод, является ли он реально бодрствующим или полностью закрытым в коконе переживаемой как явь фикции. Впрочем, каждый нормальный человек может для осмысления основных отличий между

первым и вторым состоянием обратиться к опыту собственных снов. Бывает так, что во время сна человек внутренне убежден в полной его реальности, и тогда, пробуждаясь, он часто недоумевает, как мог принять сон за действительность. Но может быть и так, что мы видим сны с ощущением, что это сон, по этому поводу народная поговорка гласит: "Сон - мечта, Бог - вера". Вот этим длинным вступлением я стремился подтвердить, что в настоящее время программируемая виртуальная реальность полностью осознаваема в том, что является реальностью виртуальной. Т.е. можно совершенно обоснованно утверждать, что подвергаемый иллюзии человек знает об этом. Если при этом он предпринимает наиболее рискованные действия по отношению к себе самому (или к другим лицам), например, прыгает в пропасть каньона Колорадо, или с верхушки Impire State Building, либо (тоже не без удовольствия) душит или только избивает врага, если автомобиль направляет осознанно в бетонное заграждение в каждом таком случае он знает, что то, как он поступает, и что происходит, либо что произойдет, является лишь его иллюзией, является фикцией, "качество" которой, т.е. способность имитирования "действительной действительности", может быть близко к совершенной. Не важно, что будет переживаться, важно, каков при этом будет модус переживания: или как во сне, который видим с ощущением того, что это сон, или как во сне, где присутствует субъективная уверенность, что все происходит наяву.

Эти рассуждения являются немаловажными: я бы сказал, что речь идет о наиболее фундаментальной разнице между иллюзией осознаваемой и иллюзией, неотличимой от реальности. Эту вторую пока еще не сумели осуществить подключением человека всем его sensorium, т.е. всеми чувствами, к компьютерной программе. Эта неосуществимость "совершенной" иллюзии, ее наиболее важных отличий, не является по природе "окончательной", и дело не в том, что мы не умеем и никогда не сумеем погружать людей в совершенную фантоматизированную действительность. Ибо различие не имеет ни "онтологического", ни "эпистемологического" характера, т.е. ни рассмотрение "бытовых" качеств переживаемых феноменов, ни исследование (практикой) этих феноменов прагматически не зависят ни от чего, кроме чисто технической возможности фантомата и его программы. Впрочем, я уже достаточно точно (на примерах) писал и об этом различии в Сумме технологии тридцать с лишним лет назад.

Короче говоря, акт снятия с головы "очков", через которые поступает поток фиктивно визуальной информации (что, скажем, мы находимся внутри пирамиды Хеопса или в собственной квартире), как акт, который, повторяю, якобы должен вернуть нас к бытию в нормальной и обычной действительности, может также на развитой стадии

фантоматизационной техники являться фикцией. (Что-то в этом роде, хотя и шуточное, можно найти в моей "Кибериаде": там, например, где король Rozporyk "подключается" к "снящему шкафу", чтобы познать прекрасную "Мону Лизу", а оказывается, что из этого получается "монархолиз", то есть "разложение короля" в иллюзиях, которые невозможно отличить от действительности.) Поскольку эта история была литературной фикцией, никто ее, наверное, не принимал за прогноз, но что делать: есть о чем говорить. Фантоматические иллюзии, которые можно в их иллюзорности "размаскировать", мы реализуем. Но ведь мы знаем, что позволим надеть на себя эти очки и сенсорные перчатки (datagloves), и что-нибудь еще, но на следующем этапе уже эти действия тоже могут оказаться очередным шагом иллюзии.

Почему я столько об этом говорю? Потому, что вошли в моду сказки об "интерактивном телевидении", об Интернете, о так называемом WorldWeb, или Netropolitan, или Euronet, и повторяют нам и даже, поправлю, внушают, что через сеть либо TV можно ощутить "виртуальную реальность".

Иными, не нравящимися мне словами, различие между "фантоматизацией, ультимативно не отличаемой от действительности" и фантоматизацией, актуально осуществляемой, подлежит, не знаю, осознанно ли, стиранию. Речь идет не о различии такого банального (простого) характера, как различие между бричкой с моторчиком господина Бенца 1908 года и гоночным автомобилем Феррари. Одно и другое были автомобилями, только что очень разными по виду и возможностям. Это сопоставление ошибочно, когда речь идет о фантоматизации. Известно, что уже сейчас после достаточно длительной тренажерной езды (путешествия) на "фантоматизированном" автомобиле тому, кто очнулся от иллюзии управления автомобилем, советуют, чтобы он садился за руль реального автомобиля только спустя определенное время, иначе может произойти несчастье (авария). Эта директива не означает, что этот водитель прежде знал о пребывании в тренажере, а потом "ошибся". Просто вырабатывается определенный навык, один из тех, которые способствуют, например, тому, что, поднимая по очереди чемоданы, полные книг, и, полагая, что следующий поднимаемый чемодан тоже будет тяжелым, мы чисто рефлекторно напрягаем мышцы для поднятия тяжелого чемодана, а в итоге этот пустой чемодан подбрасывается нашей рукой до самого потолка. И не следует принимать такую ошибку за реальность (принимать фикцию за явь).

Пойдем далее. Почему же пока не созданы программы "полной фантоматизации", герметичной как кокон, такой, которую фантоматизированный человек не способен

отличить от реального бытия, и если мы снаружи не освободим его от фантоматизации, он скорее пропадет с голоду, объедаясь иллюзорными лакомствами, если сам каким-либо образом не сумеет извлечь на свет истинный свой обманываемый sensorium. Существуют две причины отсутствия такой фантоматизации, которая бы наконец убедила (так же, как умело сфальсифицированная банкнота принимается за настоящую) фантоматизаторов, что достойна уже названия "машины епископа Беркли", т.е. такой, которая принцип esse est percipi осуществляет как непреложный факт. Первая причина банальна и следует просто из того, что инвестиционные капиталы, подобно воде (скажем, речной) стремятся туда, где их ждет работа, приносящая прибыль: возможно значительную, а возможно сомнительную. А капитал, который был бы необходим для существенной доработки "фантоматического извозчика" до уровня "фантоматической ракеты", должен быть очень значительным.

Вторая, наиболее важная причина, заключается в чисто инструментальном (технически-физиологическом) положении вещей, ибо сегодня исполнительность и программистов, и программ, и компьютеров не в состоянии достичь результатов, необходимых для создания фантоматизации "многошаговой" или "многоуровневой", а без этого до "машины епископа Беркли" еще очень далеко.

Поэтому также не следует всерьез принимать рекламу, обещающую "создание виртуальности" посредством "интерактивного телевидения" или "интернетовской сети". Обещать могут, но предоставят фактически суррогат "худшего качества", который не осуждаю за само то "худшее качество", потому что "машина епископа Беркли" угрожает нам "приведением в движение" миров, из которых погруженный в них может не найти выхода. А если и найдет, то уже никогда не получит стопроцентной уверенности, что освободился от власти "машины", потому как при "обмане" всех чувств человек становится совершенно беспомощным невольником фикции. Об этом я также писал уже в первом издании "Суммы технологии".

Итак, в совокупности своей ситуация сильно напоминает обычный режим развития созданных людьми технологий: мы стартуем от примитивных прообразов, через некоторое время совершенствуем их понемногу, затем наступают все более радикальные изменения, оптимизирующие новую технологию (ее продукцию), а в конце доходим до заданной "самим миром" ловушки. Разумеется, ловушки могут сильно отличаться друг от друга. Если фантоматизируемый пожелает лишь посетить парижский собор Notre Dame, это сегодня осуществимо. Если, однако, после этого "сеанса" он хотел бы вернуться не в

обычную действительность, а в состояние, в котором, по-прежнему оставаясь под властью иллюзии, возвращается (т.е. ему кажется, что возвращается) домой, застает в нем жену (т.е. это тоже ему кажется) либо какую-то девицу, склонную сразу к все более интимным ласкам. Этого уже сегодня предоставить ему так, чтобы он постоянно верил в действительность, а не сомневался, не удастся. Индивид, по натуре критичный и подозрительный, был бы скорее в неприятном положении при существующем уже в мире и известном ему состоянии высокого продвижения фантоматизационных техник: невротикам могло бы часто казаться, что их "в фантоматические сети" уже ловят или поймали. Должен сказать, что не мило было бы жить в таком мире с такими параметрами фантоматизационной реализации. Поистине, старец мог бы установить в нем мировые рекорды в беге на сотню, либо представлять эротические переживания с мисс мира, но последней соломинкой спасения перед верой в иллюзии останется уже только здравый рассудок.

Можно, наконец, поверить в то, что на улице в брошенном конверте найден чек на миллион долларов, выписанный на предъявителя. Значительно сложнее было бы поверить, что чудесная женщина, с тоской ожидающая нас на ложе, есть именно Мэрилин Монро (Marylin Monroe), post resurrectionem, которая, чудом выбравшись из могилы и вдобавок помолодев, жаждет нас взять в объятия. Иными словами, обобщая, чем менее правдоподобно какое-то событие (переживание) по шкале наших статистически обычных переживаний, тем больше вероятность, что нас фантоматизированных - программы обманывают. Здесь выходит на сцену очередной конфликт: поединок между фантоматизированными и фантоматизирующими или, проще говоря, между "жертвами в сетях" и авторами программ имитации бытия.

Нужно еще добавить, что чисто физические контакты (не обязательно сразу с покойницей) значительно легче имитировать, чем организовывать в фантоматическом мире (видении) встречу людей настолько разумных, чтобы с ними удалось поговорить хотя бы минуту.

В этом месте мои умозаключения сталкиваются, наконец, с проблемой, называемой AI (Artificial Intelligence), воплощения личности, т.е. в видении должны появиться ни Сфинкс, ни Пифия, ни мой Голем XIV, а нормальные, обычные люди (прохожие), и самым обычным способом перекинуться с нами хотя бы парой толковых фраз. И это пока является одним из наибольших недостатков, одной из основополагающих причин, из-за которой мы не можем сконструировать "машину епископа Беркли". Следует отдельно

добавить, что все вместе сети связи, глобальные и неглобальные (локальные), англоязычные и неанглоязычные, все вместе модемы, серверы, провайдеры и так далее - все это, если проводить физиологическую аналогию, элементы нервных путей организма каждого животного и человека, но все они тоже полностью безмозглые.

Нервные волокна, дендриты или аксоны, являются служебными, как система круговой (замкнутой) связи живого организма с реальным миром, как система, вводящая внутренние команды в центральную нервную систему и выводящая из нее по кругу "приказы" (действия или бездействия). (Опускаю здесь нервные системы насекомых или, например, стержневые узлы и центры, потому что и они в какой-то мере подчиняются мозгу). И сети межкомпьютерной связи при всем их превосходном разрастании и размножении, а также направленности на различные "хранилища информации" (например, экспертной, медицинской, астрофизической и так далее) эти сети ничего не понимают и управляются нами (как управляются, например, автомобили согласно "карте"). Уже сейчас можно иметь в непосредственном распоряжении только "разделенный компьютер", потому что "функционально необходимый остаток" сеть, в которой мы уже находимся online, сумеет нам "доделать" и "подключить". Но все эти возможности существуют как множество различных слагаемых к единственной сути - этой бестолковости сети, которую мы пытаемся заменить на безличие различных способов и приемов.

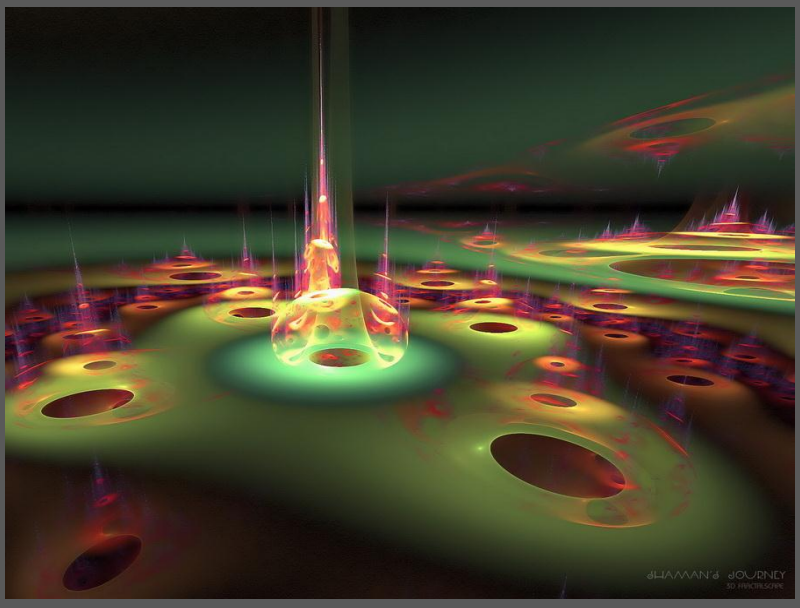
Но, поскольку анонимность издателей (например, порнографии, практикуемой с малолетними) легче выявлять, чем маскировать, уже возникли такие понятия, как "Infocops", "Cyberwar" или "Полиция - киберция", "Кибербой" - и это уже никакие не шутки из моих давнишних юморесок и гротесков, а самая реальная реальность. И при этом лагерь "сетевиков-интернетчиков" делится, грубо, надвое: на тех экспертов, которые утверждают, что никакие шифрования и кодирования, и firewalls, в конце концов, ничем не помогут, потому что имеется "цифровой меч", который сможет выйти победителем над "цифровым щитом секретов", а также на тех специалистов, которые говорят, что "цифровая защита" будет систематически совершенствоваться и "отвердевать" так, что спасутся находящиеся под угрозой раскрытия тайны штабов, и банков, и патентов, и промышленности, и частные, и что может это будет делом кропотливым, но, однако, окажется возможным - не на 98%, а на 100%.

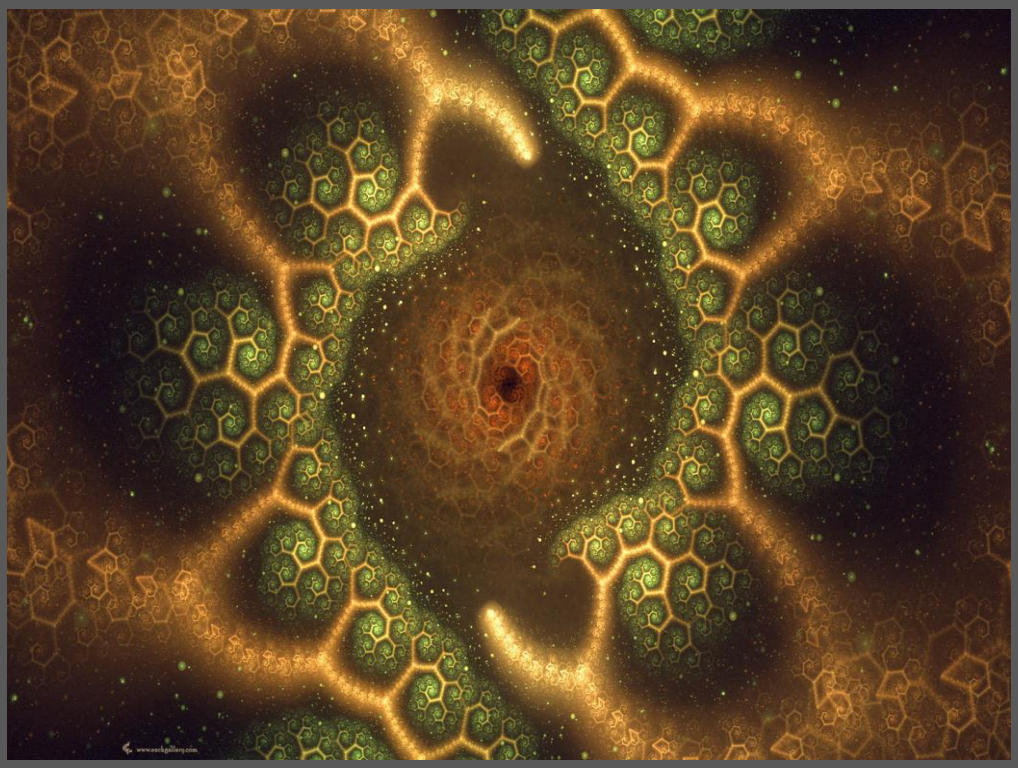
Так или иначе, но хоть немного разума сетям несомненно бы пригодилось. Дело из-за этого (к сожалению) очень затруднено, ибо и наш человеческий, наивысший на этой

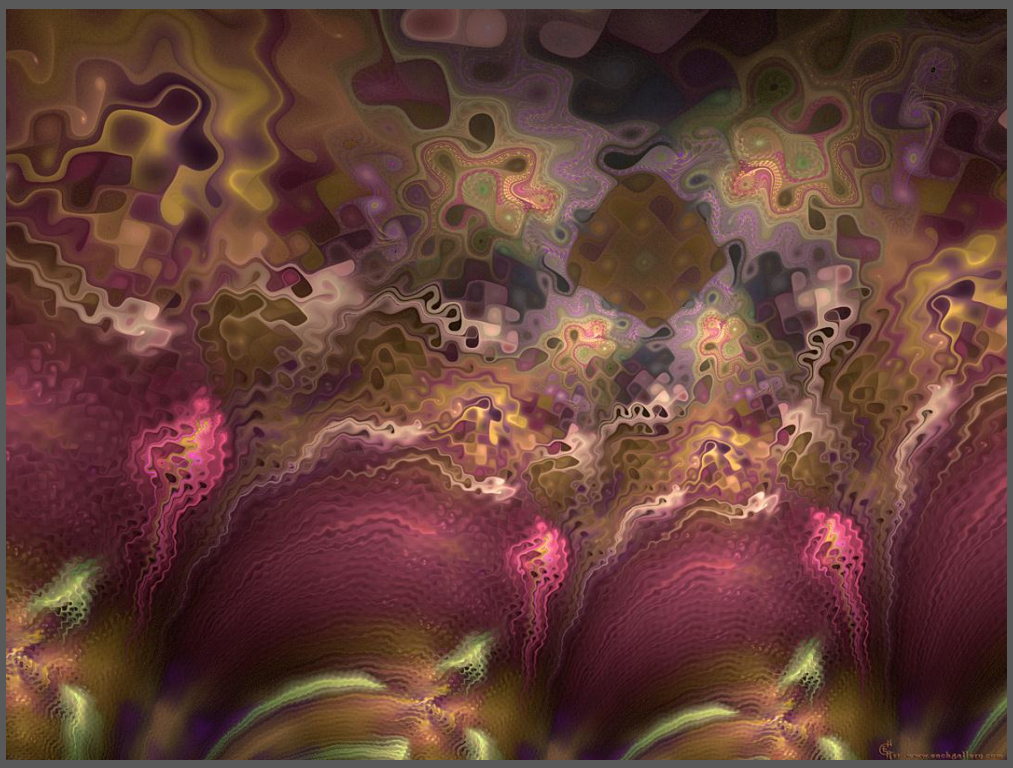
планете, разум, не всегда может справиться с проблемами, на которые натыкается: ведь существуют парадоксы, существует здравый рассудок, из которого появляется и квантовая механика, и "постмодернистский ансамбль парадогматов", и существует ведь одинаково (может быть) одаренные разумом философские лагеря и в сфере познания (эпистемы), и онтологические, и перегруженные (наполненные) аффектами (аксиологические), а в каждом акте восприятия присутствует существенная определенная часть (щепотка) веры и оценки. Как доказывал В. ван Орман Куин, двойственное деление суждений на аналитические и синтетические точно не выполнимо, т.к. в опыте существует какая-то помеха аналитичности, и не правда, что nihil est in intelleccty quod non prius fuerit in sensu (что означает, что наш мозг в момент рождения является - хотя очень слабо, очень начально - запрограммированным).

Итак, закончу. Стоит опасаться, что "Единственного Разума" - единственного искусственного интеллекта, очищенного ото всех упомянутых и неупомянутых налетов, - раз и навсегда создать не удастся. Ибо, если разум (Sapientia ex machina) удастся высечь, то уже eo ipso (тем самым) должны будут возникнуть различные виды (типы) разума. Точно так же, как это произошло с автомобилями, самолетами или ракетами. Может это и звучит банально, но это - правда. Если бы разум был возможен только "один единственный", тогда бы все (подобным образом воспитанные и образованные) люди знали, а также верили бы точно в одно и то же. А как нам прекрасно известно, так хорошо не было и нет.

Написано в сентябре 1996 г.







Клиент Бога

Станислав Лем

Жил некогда в штате Коннектикут очень богатый гангстер. Ему только что стукнул восьмой десяток, и обуял его великий страх. «Может быть, — говорил он себе, — и в самом деле существует потусторонняя сила, перед которой я предстану после смерти. Тогда мне несдобровать. Умирая, — думал он, — я и так оставлю здесь все мое состояние. Не благоразумнее ли пожертвовать его церкви, а она своими молитвами добудет мне вечное спасение?»

До утра ворочался он в постели, а едва зарозовело небо, позвонил маклеру и рассказал о своих заботах.

— Но ведь это так просто: спросите у БОГА, — посоветовал маклер.

— Что? — вскипел старый гангстер. — Я к вам серьезно, а вы издеваться?

— Нисколько. Я имею в виду БОГА, то есть Бюро обслуживания грешников-атеистов — акционерное общество с ограниченной ответственностью, Норскамберленд, 1227.

— Ну, это — другое дело, — ответил гангстер, положил трубку и поехал по указанному адресу.

Директор принимал в кабинете, огромном, как ковчег. От его стола веяло благовонием, издалека доносилась органная музыка.

— Вы желаете спасения? — сказал он. — Прекрасно. Очевидно, вам подойдет что-нибудь христианское?

— Вроде того, — сказал старый гангстер. — А у вас есть и другое?

— Естественно. Позволю себе упомянуть, например, ислам и иудаизм, но они требуют обрезания…

— Отпадает, — сказал гангстер.

— Прекрасно, итак, останавливаемся на христианстве. Начнем с методистов; их церкви располагают центральным отоплением и хорошей вентиляцией. У конгрегационалистов в церквах бильярдные залы и роскошные танцевальные площадки.

— Я не собираюсь танцевать, — нетерпеливо сказал гангстер. — У вас есть что-нибудь для меня или нет?

— В таком случае мы свяжем вас с протобаптистами. Если это вероисповедание не будет отвечать вашим желаниям, покорнейше просим обратиться к нам вновь; рекламации принимаем бесплатно в трехмесячный срок.

* * *

Над штаб-квартирой протобаптистов огнем сверкали окруженные серебряным ореолом буквы:

ВЕЧНОЕ ПРОСВЕТЛЕНИЕ. ТОЛЬКО У НАС.

ПОЛНАЯ ГАРАНТИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ —

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ОБЩЕНИЕ С НЕБОМ.

ВЕЛИКИХ ГРЕШНИКОВ ОБСЛУЖИВАЕМ

В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ

О гангстере уже предупредили, и его сразу же принял сам епископ.

— Мистер епископ, — сказал гангстер, — я много сделал в жизни зла и ужасно боюсь смерти. А вдруг и правда есть что-нибудь за гробом?..

— Конечно, есть, — ласково заметил епископ, — но прошу вас, говорите.

— Я охотно пожертвую все мое состояние вашей фирме… то есть церкви, если вы гарантируете мне полное отпущение грехов.

— Понимаю, — сказал епископ, — очень хорошо. Сейчас составим соответствующий акт; наш нотариус запишет условия, а потом займемся и духовными делами.

Епископ позвонил. Через минуту в комнате появился пожилой джентльмен с двумя помощниками, одетыми во все черное. Они представили гангстеру уже составленные условия и попросили его собственноручно их подписать. Старец, снедаемый сомнением, долго вертел в руках золотое перо.

— Нет, — наконец сказал он, — мне нет спасения, мистер епископ.

— Можно поддаваться тревоге, но нельзя сомневаться, — сказал епископ, — ибо милость божья не знает границ.

— Хорошо, так что же мне делать, святой отец?

— Сын мой, — сказал ласково епископ, — небо больше радуется одному раскаявшемуся грешнику, чем ста благочестивым. К тому же очень может быть, что многие поступки, которые ты считаешь греховными, на самом деле не так уж плохи.

— Святой отец! Позволь открыть мое гнилое сердце! С юных лет я обманывал ближних: молодым человеком организовал акционерное общество по добыче золота в песках Мильвоки; я продавал акции, не стоившие даже бумаги, на которой они печатались, и нажил двести шестьдесят тысяч долларов.

— Подожди, сын мой, — сказал епископ, — как же ты обманывал покупателей?

— Я ведь говорил, что в песке золото…

— Ты только слегка преувеличивал, а это свойственно любой рекламе: наука доказала, что золото находится всюду, даже в морской воде, хотя и в ничтожно малом количестве. Слушаю дальше.

— Дальше, святой отец, я понял, что такой заработок слишком легок, и стал преступником: я был грозой торговцев, предпринимателей, лавочников, лабазников. Они вынуждены были платить мне дань, иначе я грабил магазины, поджигал дома, а их самих избивал до потери сознания. Большие суммы я получал от одного концерна, который

хотел монополизировать рынок. Я не трогал магазинов, продающих его товар, я грабил только конкурентов.

— Нет, любезный сын мой, ты был только пешкой в большой экономической игре, а в писании говорится: «Руку карай — не слепой меч». Ты тоже слепой меч, тебя связывал уговор, ты не был свободен в поступках. Это не грех, говори дальше.

— Святой отец, во время сухого закона я был контрабандистом.

— Провозил водку? Что тут плохого, сын мой? Люди в искушениях очищаются. Тут нет греха.

— Но, святой отец, я вместо водки продавал всякую дрянь.

— Ах, так? Ты поступал благородно, закрывая людям грешную дорогу пьянства. Это был хороший поступок.

— Я убил много людей во время стычек с полицией.

— А ты стрелял бы, если б полиция на тебя не нападала?

— Нет…

— Вот видишь. Ты только защищался. Человек обязан защищать свою жизнь. Ты был вполне прав.

— Я занимался шантажом. Мы выманивали или воровали разные компрометирующие документы и, угрожая их опубликованием, получали большие барыши.

— Какие документы?

— Чаще всего любовные письма.

— Вы грозили опубликованием доказательств супружеской измены?

— Да.

— Эта очень хорошо: измена — большой грех.

— Святой отец, я тяжко грешил во время последней войны. Я переправлял гитлеровцев, эсэсовцев и комендантов лагерей смерти через границу в Латинскую Америку за золото, награбленное у замученных жертв. Я изменил родине и согрешил против человечества.

— Ты можешь назвать этих гитлеровцев?

— Конечно: Эйзель, Виннеке, Миттендорфер, Миллер, Шмик, Губерт…

— Сын мой, ты что, не читаешь газет?! — воскликнул священник, доставая из-под сутаны сложенную вчетверо «Нью-Йорк таймс». — Вот статья о совещании специалистов новой немецкой армии. Люди, которых ты назвал, будут руководить этой армией, это наши верные союзники и друзья. Когда ты в свое время спасал их, ты не только проявил христианское милосердие, помогая гонимым, но показал достойную уважения политическую прозорливость. Это не грех, а как раз наоборот…

— Святой отец, слышу слова твои, но признаюсь, не рассеивают они сомнения моего! — воскликнул гангстер.

Епископ встал.

— Ну, что же, — сказал он спокойно, — если мало надежды вселил я в твое сердце, подойди, я тебе что-то покажу. — С этими словами он нажал кнопку. На темной стене засветился экран: вначале на нем появился купол вашингтонского Капитолия, здания конгресса, потом — его зал. На широких скамьях сидели почтенные старцы, внимательно слушая оратора, говорившего следующее:

«Таким образом, джентльмены, цена ликвидации одного человека путем сбрасывания атомной бомбы составляет 15 центов, а с помощью рассеивания радиоактивного порошка — 64 цента! Итак, я спрашиваю уважаемых сенаторов, можем ли мы позволить себе выбрасывать доллары в окно и использовать в войне порошок, когда бомба в четыре раза дешевле?»

Епископ нажал кнопку. В глубине экрана на фоне голубого неба появился небоскреб,

окруженный греческой колоннадой. На двери виднелась скромная алебастровая табличка с надписью «Департамент здравоохранения». Дом приближался с ошеломляющей быстротой, потом экран потемнел, и появился тихий кабинет. Высокий мужчина с буйными каштановыми волосами и аскетическим лицом исследователя говорил, обращаясь к группе одетых в белое врачей:

«Вот наш новый, усовершенствованный препарат… После упорной работы, — продолжал восторженно ученый, — нам удалось выделить это вещество… Одна унция убивает двести тысяч людей! Мы вступаем в новую эру…»

Экран погас. Потом он снова засветился, появилось монументальное здание университета. В огромной аудитории, полной слушателей, знаменитый психолог излагал общую теорию паники. В лабораториях микробиологии разводили бактерии чумы.

— Сын мой, я убедил тебя? — мягко сказал епископ. — Пойми, что жизнь твоя не отличается от жизни многих твоих земляков, что…

— Святой отец! — воскликнул гангстер, стоя на коленях. — Скажи, все эти люди верят в спасение?

— Конечно, дорогой сын мой.

— Воистину я жил во тьме!

— Ну, пойдем, сын мой.

— Куда, святой отец?

— Подписывать условия, дорогой сын.

Гангстер встал, отряхнул пыль с колен и, поискав глазами свою шляпу, сказал:

— Это плохой бизнес.

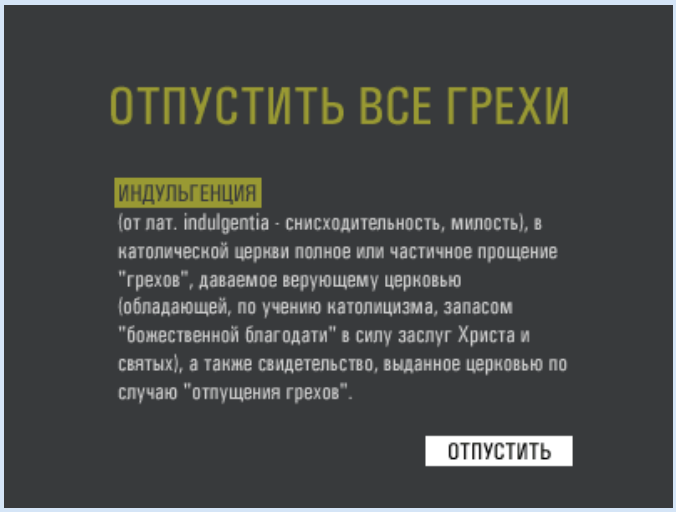
— Что? — изумленно спросил епископ.

— Ну да. Отдать вам имущество? За что? Все мои тяжкие грехи — пустяк в сравнении с тем, что делают сановники, уважаемые финансисты, ученые. Если они попадут на небо, то я-то уж наверняка стану святым и без вашей церкви!

_____

Название на языке оригинала — Klient Panaboga. Первая публикация на языке оригинала в книге Ст. Лема Sezam i inne opowiadania (Сезам и другие рассказы) Warszawa: Iskry, 1954. - прим. М. Безгодова







О журнале Химия и Химики

Журнал Химиков-Энтузиастов

Основные направления:

- **статьи по химии, физике, астрономии, биологии, медицине и другим естественным наукам**
- **занимательные эксперименты по химии и физике с подробным описанием и фотографиями**
- **материалы для профессиональных химиков**
- **обсуждение проблем науки и образования**
- **научный юмор**
- **литературные произведения близкие по духу науке**

девиз журнала:
Химия - Жизнь

- Материалы, публикуемые в журнале, берутся из любых доступных и легальных источников.
- Журнал полностью некоммерческий. Любая реклама на страницах журнала отсутствует.
- Все материалы журнала предназначены исключительно для свободного распространения.
- При использовании материалов журнала не забывайте делать ссылки.
- Редакция не обязательно разделяет точку зрения автора и не несет ответственности за содержание опубликованных материалов.
- Все присылаемые статьи проходят рецензию. Главное требование - актуальность темы и наличие полезной информации. Любые рецензии, рекомендации и т.п., написанные по инициативе авторов и прилагаемые к статьям, редакцией не рассматриваются.
- Любые материалы псевдонаучного содержания отклоняются без рассмотрения.
- По мере обнаружения опечаток и неточностей в номера журнала будут вноситься коррективы. Исправленные варианты доступны на сайте журнала.
- Номера журнала выходят по мере накопления материала без строгого соблюдения периодичности.

Адрес для переписки: chemistryandchemists@gmail.com

Форум журнала: http://chemistry-chemists.com/forum/index.php

Список замеченных опечаток: http://chemistry-chemists.com/Issues/corrections.html

Редакторы:

В.Н. Витер
А.В. Зубко

Журнал **Химия и Химики** основан 3.08.2008 г.



Зимний лес (фотографии)

























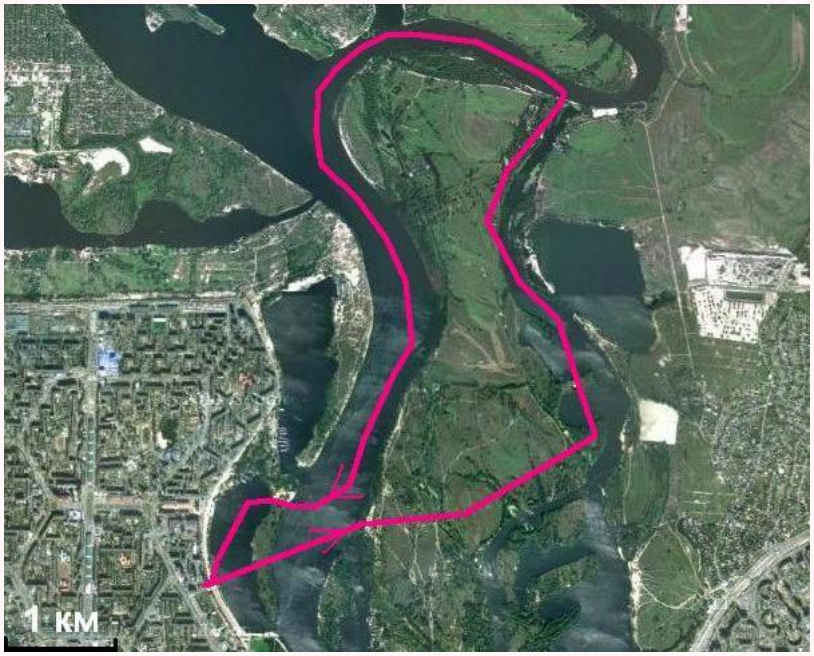








Днепр, Десенка, Десна, острова (фотографии)



Маршрут (Киев, 10 февраля 2012 года)



Пингвин днепровский.
Наука знает очень мало о жизни этого редкого и вымирающего вида. Подобно своему антарктическому собрату он охотится на рыбу, но в отличие от последнего не умеет плавать подо льдом.



Оболонский залив и Московский мост





Остров





Опарь (промоина во льду) - за день до этого именно здесь я слегка искупался





Замерзший Днепр (вид в сторону Оболони)



Лунка





Московский мост



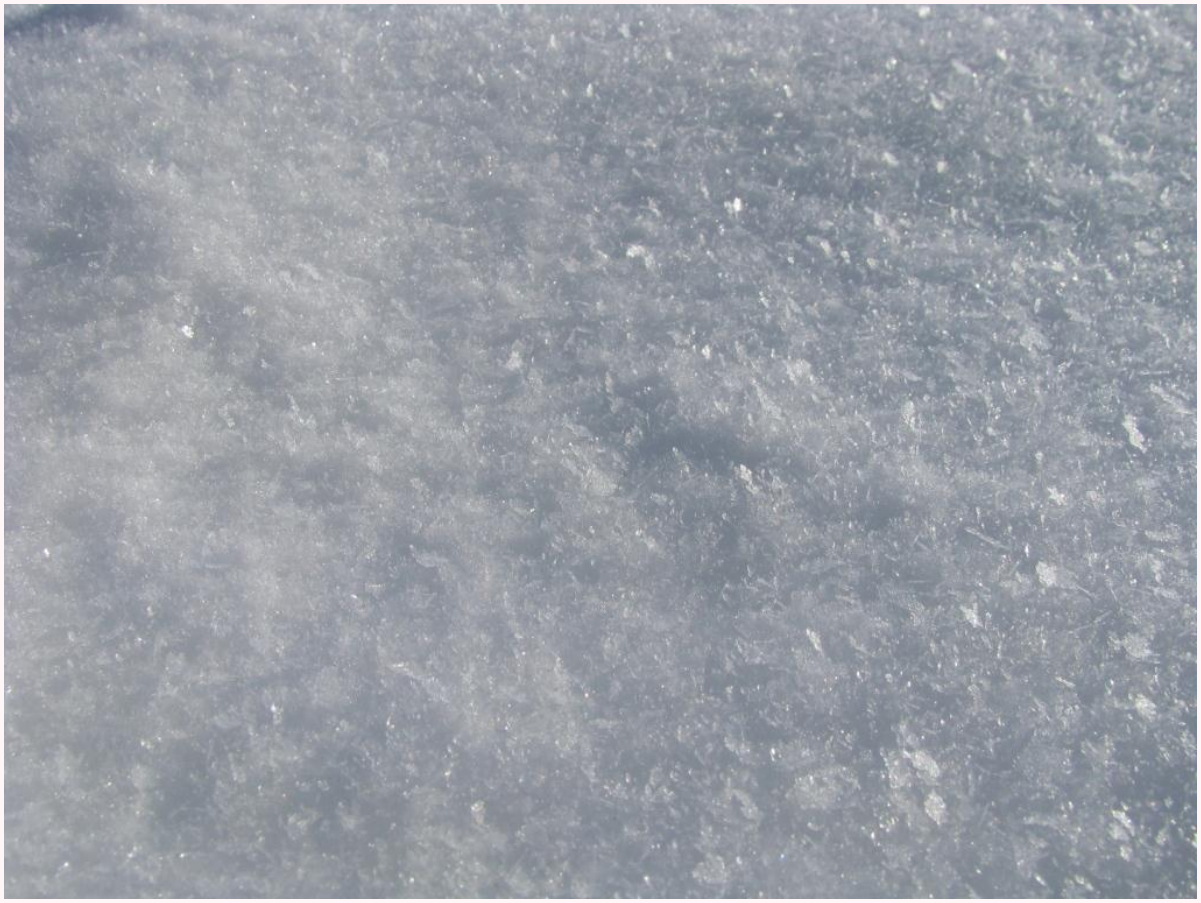
Замерзший Днепр (вид в сторону Вышгорода)



Остров (между Днепром и Десенкой)













Мост через реку Бобровня















Десенка









Замерзшая Десенка







Десна



База отдыха







Десна (водозаборная станция)







Десна впадает в Днепр
(место слияния Десны и рукава Днепра возле дерева в центре кадра)









Остров (возле Киевской ГЭС)





Замерзший Днепр (вид в сторону Оболони)



Замерзший Днепр (вид в сторону Вышгорода)







Замерзший Днепр (вид в сторону Вышгорода)

