

worden<sup>5)</sup>). Gewisse geschäftliche oder richtiger rechtliche Momente, welche im Schoosse der Gesellschaft eine private Wichtigkeit haben und denen ich fernstehe, scheinen die weitere Entwicklung für einige Zeit aufzuhalten. Aber ich bin der Meinung, dass der textile Flachdruck, der aus der Initiative des Herrn A. Hoz hervorgegangen ist, und der sich, wie ich hoffe gezeigt zu haben, chemisch auf eine so einfache und klare Basis stellen lässt, in der Zeugdruckerei früher oder später als ein brauchbares technisches Verfahren seine Stelle erobern wird.

### Selbststrahlende Materie, Atome und Elektronen.

Von Privatdozent Dr. Paul Köhner in Halle a./S.  
[Schluss von S. 1168.]

#### Ursprung und Ursache der Becquerelstrahlen.

Alles, was an Becquerelstrahlen bisher beobachtet worden ist, haben wir nunmehr von einem allgemeinen Gesichtspunkt aus kennen gelernt. Wir haben erfahren müssen, dass das Wesen dieser Strahlen nicht allzudurchsichtig ist. Schliesslich war es aber doch gelückt, eine befriedigende Deutung dieser eigenartigen Phänomene aufzufinden. Bis jetzt beschäftigte uns aber nur das, was — ohne die gewohnten Wege zu verlassen — der Erklärung zugänglich ist, unbedacht liessen wir das grösste Rätsel der selbststrahlenden Materie: ihre unverminderte Strahlung.

Dieses Rätsel zu lösen ist eine interessante, aber auch schwierige Aufgabe. Wir werden sie folgendermaassen formuliren: Woher stammt der scheinbar unerschöpfliche Energievorrath der selbststrahlenden Körper? —

Seit sechs Jahren kennt man nun diese Körper und diejenigen, welche zuerst ihre Strahlungsenergie erkannt und gemessen hatten, versichern übereinstimmend, dass bis heute noch nicht die geringste Abnahme ihrer Wirksamkeit nachgewiesen werden konnte.

Da jetzt nach Gründen für diese That- sache gesucht werden soll, muss man vor Allem wissen, an welche Körper diese Strahlung gebunden erscheint; sind es bekannte oder unbekannte Elemente, sind es bestimmte chemische Verbindungen oder haben wir es hier mit einer bestimmten Eigenschaft aller Stoffe zu thun, welche nur unter be-

sonderen Bedingungen wahrgenommen werden kann?

Die radioactiven Substanzen. — Es gibt ein Mineral in der Natur, das sich durch eine eigenthümlich complicirte Zusammensetzung auszeichnet und fast alle bekannten Elemente enthält: das Uranpecherz; in ihm erkannte man auch den Sammelplatz aller radioactiven Stoffe; es ist keine selbststrahlende Substanz bekannt, die nicht im Uranpecherz aufzufinden wäre, und ganz allgemein wurde festgestellt, dass radioactive Elemente nur in Gesellschaft mit Thor und Uran zu finden sind. — So spielt denn das Uranpecherz bei dem Studium der Radioaktivität eine wichtige Rolle.

Eine mühevolle Arbeit war es, aus vielen Tausenden Kilo des Erzes die winzigen, nach Zehntelgramm sich bemessenden Mengen jener Stoffe abzuscheiden, in welchen die Quelle der Radioaktivität vermutet wurde.

Rühmend hervorheben muss man übrigens die grosse Freigebigkeit und thatkräftige Unterstützung, durch welche unsere chemische Industrie diese bisher rein wissenschaftlichen Arbeiten gefördert hat. Zu einer Zeit, als die Erforschung dieses Gebietes noch in den Anfangsstadien war, stellten z. B. die Joachimsthaler Werke durch Vermittelung der österreichischen Regierung dem Physikerehepaar Curie in Paris die erste Tonne Pechblende (Uranpecherz) zur Verfügung. Und jetzt giebt es schon seit Jahren sowohl in Frankreich wie in Deutschland<sup>62)</sup> Fabriken, welche die Verarbeitung der Uranerze auf radioactive Elemente in grossem Maassstabe ausführen und dadurch den Fachleuten ihre schwierige Arbeit ganz erheblich erleichtern.

Das erste Element, welches als radioaktiv bezeichnet werden konnte, war das Uran selbst; Uransalze sowie das Metall<sup>63)</sup> senden Becquerelstrahlen aus. — Es gelang aber aus dem Uranpecherz einen Körper abzuscheiden, welcher mehrere Tausend Mal activer war als Uran; er fällt mit dem Wismuth zusammen aus und wird von ihm durch partielle Fällung der Lösungen mit Wasser als der leichter lösliche Bestandtheil getrennt, sein Sulfid ist leichter flüchtig als Wismuthsulfid. Dieses Element wurde von seinen Entdeckern, dem Ehepaar Curie, Polonium genannt<sup>64)</sup> (Mdme. Skłodowska Curie stammt aus Polen).

Anfangs stand man dieser Entdeckung

<sup>52)</sup> De Haen, Chemische Fabrik in List vor Hannover, lässt stark wirksame Polonium- und Radiumpräparate darstellen; ebenso die Fabrik von Dr. Stähmer in Hamburg.

<sup>53)</sup> Compt. rend. 1896, 122, 420, 501.

<sup>54)</sup> Compt. rend. 1898, 127, 175.

eines neuen Elementes in dem wohlbekannten Wismuth sehr skeptisch gegenüber; es ist viel darüber gestritten worden, ob Polonium in die Reihe der chemischen Grundstoffe aufzunehmen sei oder nicht, zumal Demarcay<sup>85)</sup> in dem Spectrum keine neuen Linien finden konnte. Inzwischen aber sind Beweise für seine Sondernatur erbracht worden. Berndt<sup>86)</sup> wies bei der Untersuchung des ultravioletten Spektrums vom sog. Polonium unzweifelhaft 15 fremde Linien nach. Das hinderte nun allerdings nicht, dass noch vor wenigen Monaten die Entdecker selbst behaupteten, Polonium sei kein neues Element<sup>87)</sup>. Erst Marckwald<sup>88)</sup> hat die Frage definitiv entschieden, indem er das Polonium elektrolytisch aus einer Wismuthlösung an einem Wismuthpol abschied und mit diesem Product so stark radioactive Wirkungen hervorrufen konnte, wie sie vorher nie beobachtet worden waren (vgl. S. 1157).

Dem Anscheine nach haben wir also hier einen Körper vor uns, welcher die Radioaktivität verursacht. Polonium zeigt aber nicht das Charakteristicum primär activer Substanzen: es wirkt zwar äusserst stark, verliert jedoch (nach dem übereinstimmenden Urtheil Aller) seine Strahlung allmählich und zwar für immer. Somit besitzt Polonium nach den bisherigen Beobachtungen nur inducirte Radioaktivität. — Das von Marckwald abgeschiedene Metall konnte allerdings noch nicht auf seine Beständigkeit bezüglich der Ausstrahlung untersucht werden; man wird abwarten müssen, ob es ebenfalls seine Wirkung verliert. Immerhin ist bemerkenswerth, dass das Ausgangsproduct dieses Poloniums noch nach 9 Monaten aktiv war; vielleicht liegt hier ein von dem Polonium Curie's verschiedener Stoff vor.

Permanent radioaktiv dagegen ist ohne Zweifel ein anderes Element, das kurze Zeit nach der Entdeckung des Poloniums von Curie und Bémont<sup>89)</sup> und gleichzeitig, aber unabhängig von Giesel<sup>90)</sup> aus der Pechblende isolirt worden war. Dieses mit dem Namen Radium (das Strahlende) bezeichnete Element steht dem Baryum in seinem chemischen Verhalten sehr nahe und wird aus den Barytniederschlägen der Pechblende gewonnen. Das Chlorid dieses Radiums ist in Wasser leichter, in Alkohol schwerer löslich als Baryumchlorid.

<sup>85)</sup> Compt. rend. 1898, **27**, 176.

<sup>86)</sup> Physikalische Zeitschrift 1900, II, 180.

<sup>87)</sup> P. u. S. Curie, Compt. rend. 1902, **134**, 85.

<sup>88)</sup> Berichte der deutsch. chem. Ges. 1902, **35**, II, 2285.

<sup>89)</sup> Compt. rend. 1898, **27**, 1215.

<sup>90)</sup> Wiedemann's Annalen 1899, 69, 91.

Auch das Radium ist sehr wahrscheinlich ein selbständiger Grundstoff. Die Spectraluntersuchung, welche von Demarcay<sup>91)</sup>, Runge<sup>92)</sup> und Berndt<sup>93)</sup> ausgeführt wurde, ergab, dass das Radiumspectrum, wenn auch nicht 15, wie Demarcay angab, so doch sicher 3 neue Linien enthält.

Auch das Atomgewicht ist bestimmt worden<sup>94)</sup>), früher zu 141 an einem unreinen Präparat, kürzlich zu 225 an baryumfreiem Radiumchlorid. Man wird demnach vermuten dürfen, dass in dem Radium dasjenige höhere Homologe des Baryums vorliegt, welches in der letzten Horizontalreihe des Systems neben Thor und Uran seinen Platz findet.

Auffallend ist übrigens, dass Henning<sup>95)</sup> für die elektrolytische Leitfähigkeit von Baryumchlorid und Radiumchlorid dieselben Werthe erhielt.

In diesem Radium besitzen wir nun eine sehr ergiebige und unerschöpfliche Quelle der Radioaktivität; seine Strahlung ist 100 000 Mal stärker als diejenige des Urans. An ihm sind alle Eigenschaften der selbststrahlenden Substanzen deutlich erkennbar; es besitzt primäre Aktivität.

Je nach seinen Erscheinungsformen ist aber seine Wirksamkeit stärker oder schwächer. Krystallisiert man z. B. das Chlorid aus Wasser um, so zeigen die Krystalle fast gar keine Aktivität, auf die photographische Platte wenigstens wirken sie nicht. Das Radiumchlorid hat dann seine ganze  $\beta$ -Strahlung an das Wasser, in dem es gelöst war, abgegeben; destilliert man das Wasser ab, so findet man seinen Rückstand inducirt radioaktiv.

Die frischen Krystalle zeigen aber eine andere Eigenschaft in höherem Maasse, als vor dem Umkrystallisiren: sie leuchten im Dunkeln sehr stark. Diese Phosphorescenz tritt nun im Laufe von einigen Tagen bis zu einem Minimum zurück, während welcher Zeit sich die  $\beta$ -Strahlung immer deutlicher entwickelt und bis zu einem Maximum wächst<sup>96)</sup>. Das Phosphorescenzlicht ist also wohl ein Zwischenproduct bei der Bildung von  $\beta$ -Strahlen.

<sup>91)</sup> Compt. rend. 1898, **127**, 1218; **129**, 716.

<sup>92)</sup> Annalen der Physik 1900, II, 742.

<sup>93)</sup> Physikal. Zeitschr. 1900, II, 180.

<sup>94)</sup> S. Curie, Compt. rend. 1899, **129**, 760 und 1902, **35**, 161.

<sup>95)</sup> I. c.

<sup>96)</sup> Das Salz nimmt dabei eine schwach grüne Färbung an, welche ohne Frage auf eine chemische Wirkung der entstehenden Kathodenstrahlen zurückzuführen ist, derjenigen ähnlich, welche wir oben (vgl. S. 1161) besprochen haben.

Wenn die secundäre Strahlung des Radiumchlorids und ganz allgemein jeder löslichen primär activen Verbindung verloren gegangen ist, so hat man also nur nöthig, die Salze aus Wasser umzukristallisiren, um nach einigen Tagen bez. Wochen die ursprüngliche Intensität der Ausstrahlung wiederzuerlangen. Stark beschleunigt wird dieser Regenerirungsvorgang durch Glühen der frischen Krystalle. In der Hitze verschwindet nämlich das Phosphorescenzlicht vollständig und die unsichtbare Strahlung entwickelt sich schnell bis zu einem Werth, der über dem normalen Maximalwerth liegt. Anhaltendes Glühen bis auf Weissgluth bewirkt daher zuweilen eine völlige Abgabe der  $\beta$ -Strahlung. — Auch durch Bestrahlen mit Kathodenlicht wird die  $\beta$ -Strahlung regenerirt. — Es kommt also, wie man sieht, nur darauf an, starke Schwingungszustände hervorzurufen, welche eine Dissociation der Moleküle in Ionen veranlassen. Die Analogie, welche zwischen den Lösungsvorgängen und der Wirkung von Kathodenstrahlen obwaltet, haben wir ja oben (vgl. S. 1167) hinreichend ausführlich besprochen, so dass uns das Gemeinsame der Wirkung beider Processe hier nicht mehr auffallen kann. — Aber auch ohne alle Anregung erneuert sich, wie wir wissen, die  $\beta$ -Strahlung und namentlich dann, wenn man ihr möglichst wenig Raum giebt sich zu zerstreuen; das Einschliessen der Substanz in Celluloidkapseln, welche nicht durchdrungen werden, soll besonders günstig wirken.

Da nun der Intensitätswerth der Radiumstrahlung auch nach häufigem Umkristallisiren durchaus constant bleibt, so kann man kaum mehr im Zweifel darüber sein, dass die Radioaktivität an das Element Radium bez. an seine Verbindungen gebunden ist.

Es giebt aber ausser diesem noch andere Elemente, welche die Radioaktivität zu bedingen scheinen. Ebenfalls aus der Pechblende gewonnen wurde von Debierne<sup>97)</sup> das Actinium, ein sehr wirksames Element, das mit dem Titan zugleich abgeschieden wird. Beweise für seinen elementaren Charakter sind noch nicht mitgetheilt worden, wie denn überhaupt die Litteratur über diesen Körper sehr spärlich ist, vermutlich deshalb, weil seine Gewinnung ganz besonders mühevoll ist: Debierne musste mehrere Hundert Kilo bereits uranfreien Erzes in Arbeit nehmen, um einige Gramm annähernd reines Actinium zu gewinnen.

Das Uranpecherz schliesst ausser Polonium, Radium und Actinium noch drei andere selbst-

strahlende Elemente ein; eines derselben ist dem Blei ähnlich, und die beiden anderen sind bei einer eingehenden Untersuchung des Urans selbst sowie des Thors aufgefunden worden.

Hofmann und Strauss<sup>98)</sup> isolirten aus Uranpecherz (und auch aus Uranglimmer, Bröggerit, Cleveit, Samarskit) chemisch reine Bleisalze, welche sich als radioaktiv erwiesen. Viele Tonnen Erz mussten in Arbeit genommen werden, um Bruchtheile eines Gramms von reinem activen Salz zu erhalten. Beim häufigen Umkristallisiren des Bleichlorids concentrirte sich die Wirksamkeit auf die leichter löslichen Anteile. Die Trennung vom Blei gelang durch Lösen des Sulfats in basisch weinsaurem Ammonium; dabei blieb „Radioblei“ als stark activer Rückstand ungelöst. Nach einer anderen Methode (wiederholte Fällung des Chlorids mit Natriumthiosulfat) wurde ein Präparat gewonnen, dessen  $\alpha$ - sowohl wie  $\beta$ -Strahlung der des käuflichen Radiumbromids nichts nachgab. Die Entdecker geben unzweifelhafte Beweise dafür, dass ihr Radioblei in chemischer Hinsicht nichts mit Radium, Polonium und Actinium gemein hat; eine angeneherte Bestimmung des Atomgewichts führte sie zu der Annahme, dass Radioblei das höhere Homologe des Zinns sei mit dem Atomgewicht 171,96. Auch das Spectrum, von Hofmann und von Demarçay untersucht, weist einige neue Linien auf.

In Zweifel gezogen wurde die Sonder-natur des Radioblaes als neues actives Element von Giesel<sup>99)</sup>, welcher aus Baryum-Radiumchlorid eine intensiv wirksame Substanz abscheiden konnte (aus 2000 kg Erz 2 mg), die sich wie Blei verhielt; Giesel vermutet, dass durch Radium inducirtes Blei vorliegt. Dagegen spricht aber die Angabe Hofmann's, dass Radioblei stärker aktiv ist als das Ausgangsproduct, und vor Allem seine Beobachtung, dass radiumfreies Radioblei seine verloren gegangene Wirksamkeit wiedergewinnt, wenn es einige Tage in Röhrchen eingeschlossen wird. Diese Eigenthümlichkeit kommt nur primär activen Substanzen zu.

Etwas anders als das stark wirkende Radium verhält sich aber Radioblei doch; es scheint, als bedürfe es einer Anregung, um die  $\beta$ -Strahlung voll entwickeln zu können. Während nämlich alle seine Verbindungen die ionisirenden  $\alpha$ -Strahlen erkennen lassen, äussert nur das Sulfat des Radioblaes die

<sup>97)</sup> Berichte der deutsch. chem. Ges. 1900, **33**, 3126; 1901, **34**, 8, 407, 907.

<sup>98)</sup> Berichte der deutsch. chem. Ges. 1902, **35**, 102 u. 1143.

spezifische Wirkung der  $\beta$ -Strahlen auf die photographische Platte und dieses auch dann nur erheblich, wenn es durch Kathodenstrahlen angeregt wird; Erhitzen auf Rothgluth bewirkt dasselbe (vgl. S. 1185).

Das Wesen der Radiobleistrahlung ist also durchaus nicht verschieden von dem der anderen primär activen Elemente; quantitative Wirkungsverschiedenheiten haben sich beim Vergleich der einzelnen strahlenden Stoffe immer ergeben.

Die werthvollsten Aufschlüsse über die mögliche Ursache einer permanenten Energieäusserung sind bei dem Studium der jetzt zu besprechenden radioactiven Elemente Thor und Uran gewonnen worden.

Schon 1898 lehrten G. C. Schmidt<sup>100)</sup> und S. Curie<sup>101)</sup> die Strahlung des Thoriums kennen. Später (1900) erkannte Rutherford<sup>102)</sup> in dem Thor ein Element, das die radioactiven Influenzerscheinungen mit besonderer Deutlichkeit hervorruft, und lieferte die erste grössere Arbeit über diese Phänomene (vgl. S. 1165). Damit schien zugleich bewiesen, dass Thor primäre Aktivität besitzt. Neuere Arbeiten von Hofmann und Zerban<sup>103)</sup> stellen dagegen diese Eigenschaft als eine dem Thor als solchem zukommende wieder in Frage. Es lag also die Vermuthung nahe, dass auch in dem Thor ein fremdes Element enthalten ist, welches die Radioaktivität verursacht.

Diese Vermuthung ist in einer ganz eigenartigen Weise durch Rutherford und Soddy's<sup>104)</sup> neueste Arbeiten theils bestätigt und theils widerlegt worden.

Für die Existenz eines Elements X im Thor liegen folgende Anzeichen vor. Werden Thorsalzlösungen mit Ammoniak vollständig gefällt, so zeigen die thorfreien Filtrate noch beträchtliche Aktivität und Emanation; der Verdampfungsrückstand derselben ist 1000 mal activer als Thor selbst. — Schüttelt man Thoroxyd einige Zeit mit Wasser, so enthält das Wasser nach dem Abdampfen minimale Abscheidungen, welche ebenfalls stärker strahlen als Thor.

Somit hätten wir in die Reihe der radioactiven Elemente ein neues: Thor-X aufzunehmen.

An sich kann uns nun aber die Entdeckung eines neuen Elementes nicht mehr sonderlich erregen; denn man ist in den letzten Jahren an Überraschungen dieser Art allmählich gewöhnt worden. Nie aber haben

wir es bis heute erlebt, dass ein Element von einem anderen erzeugt wird. Und diese geradezu verblüffende Thatsache liegt nach Rutherford und Soddy der Gewinnung von Thor-X aus Thor zu Grunde.

Wenn Thor einmal durch Ammoniak vollständig ausgefällt war, blieb beim Abdampfen des Filtrats eine bestimmte Menge Thor-X zurück. Nach einer gewissen Zeit kann aber aus dem Filtrat des wieder gelösten und mit Ammoniak wieder gefällten Thorhydroxyds eine neue Menge Thor-X erhalten werden. Und dieser Process kann beliebig oft wiederholt werden: nach einiger Zeit gewinnt man immer wieder neue Mengen von Thor-X. Bemerkenswerth ist dabei, dass nach gleichen Zeitintervallen stets gleich grosse Mengen Thor-X gewonnen werden, während nach längerer Ruhepause mehr, nach kürzerer weniger Thor-X entsteht.

Ermittelt wurden die relativen Mengen allerdings nicht durch die Waage; die wahrnehmbaren Abscheidungen selbst sind schon kaum wägbar; noch viel geringer aber sind die gebildeten Mengen von Thor-X, denn sie haften wahrscheinlich nur an zufälligen Verunreinigungen der Reagentien, so dass also Thor-X selbst durch Wägung nicht nachweisbar ist. Einen Ersatz für die Waage bot aber in diesem Falle das Elektroskop, welches die relative Strahlungsintensität von Thor-X anzeigt. Die aus diesen Beobachtungen sich ergebenden Schlussfolgerungen büßen aber durch solche Art der Gewichtsbestimmung an Schärfe nichts ein; denn wir müssen uns vergegenwärtigen, dass es ja Materie ist, wenn auch weit unter den Grenzen der Wägbarkeit, welche abgeschleudert werden muss, um die Wirkungen der Radioaktivität zu äussern; und die Menge dieser Materie, also die Zahl der aussendbaren Elektronen muss der Menge von Thor-X proportional sein. Man wird mithin die Intensität der Strahlung als Maass für die vorhandene Menge Substanz anerkennen müssen.

Nach etwa drei Wochen hat das abgetrennte Thor-X seine Emanation abgegeben, es ist für immer unwirksam geworden; während dieser Zeit gewinnt die Thorerde, welche durch den Verlust von Thor-X wirkungslos geworden war, ihre Aktivität wieder; und zwar erreicht diese ihren höchsten Werth immer zu derselben Zeit, wo Thor-X seine Emanation ganz verloren hat.

Ganz analoge Erscheinungen wurden am Uran beobachtet. Auch aus activem Uran konnte ein Uran-X isolirt werden<sup>105)</sup>, das im

<sup>100)</sup> Wiedemann's Annalen 1898, **65**, 141.

<sup>101)</sup> Compt. rend. 1898, **126**, 1101.

<sup>102)</sup> Phil. Mag. 1900 (5), **49**, 161.

<sup>103)</sup> Berichte d. deutsch. chem. Ges. 1902, **35**, 531.

<sup>104)</sup> Proceedings 1902, **18**, 2, 120.

<sup>105)</sup> Rutherford und Soddy, Proceedings 1902, **18**, 121, Philos. Mag. **47**, 109.

Wesentlichen nur ablenkbare Strahlen besitzt und diese allmählich ganz verliert. Die  $\alpha$ -Strahlung des Urans zeigt insofern ein etwas abweichendes Verhalten von der analogen Thorstrahlung, als sie nicht so leicht von Luftsichten absorbiert wird wie diese. Uran-X soll übrigens dem Radium chemisch ähnlich sein<sup>106</sup>.

Das merkwürdige Resultat ist also: Im chemisch einheitlichen Thor (und Uran) werden fort dauernd in konstanter Menge neue Stoffe hervorgebracht, welche in chemischer Hinsicht von den Muttersubstanzen verschieden sind.

Diese Erzeugung von neuem Stoff lässt sich durch bekannte chemische Agentien weder hemmen noch beschleunigen, sie verläuft unabhängig von dem chemischen und physikalischen Zustand des Moleküls.

Hier sind wir also schon der Ursache der  $\alpha$ -Strahlung auf der Spur. Aber nicht diese allein gilt es zu verfolgen; denn wir wollen die Ursache der Gesamtstrahlung auffinden. Den Sitz und Ursprung der  $\beta$ -Strahlung zu deuten, wird nach den bisherigen Erfahrungen die leichtere Aufgabe sein; darum wollen wir uns jetzt zunächst über den Ursprung der  $\beta$ -Strahlung völlige Klarheit verschaffen.

Ursache der  $\beta$ -Strahlung. — Es gibt, wie wir erfahren haben, mehr als ein Element, an welches die primäre Aktivität gebunden erscheint, nämlich Radium, Actinium, Radioblei, Thor und Uran. Während nun das Studium der ersten drei dieser Elemente vermuten liess, dass sowohl die  $\alpha$ - wie die  $\beta$ -Strahlung an ein und demselben Körper entsteht, machen es die bei Thor und Uran gewonnenen Resultate wahrscheinlich, dass die  $\beta$ -Strahlung an einen besonderen chemischen Körper gebunden ist, welcher sich aus dem ersten bildet und von ihm getrennt werden kann.

Danach wird man sich Ursprung und Wirkungsweise der  $\beta$ -Strahlung folgendermaßen denken können: Die Ursache der  $\beta$ -Emanation ist Thor-X (oder Uran-X); dieses ist aus dem Energievorrath des Thors an  $\alpha$ -Strahlung erzeugt (eine Thatssache, die wir vorläufig unerklärt lassen) und in einem Zustande starker Erregung abgeschieden worden. Es bringt also in seine von der Muttersubstanz unabhängige Existenz ein bestimmtes Quantum von potentieller Energie mit. Dadurch wird das Thor-X befähigt, selbständig Wirkungen zu äussern, indem es allmählich seinen Energievorrath verbraucht und einem

Ruhezustand entgegenstrebt. Und diese Wirkungen sind derart, wie wir sie an inducirt radioaktiven Körpern kennen gelernt haben, so dass unsere oben (vgl. S. 1165) gewonnenen Erklärungen der radioaktiven Induction auch das Verhalten von Thor-X und Uran-X befriedigend deuten. Um jene Überlegungen zu ergänzen, wollen wir hier bemerken, dass der Vorgang in Thor-X während seiner Emanation grosse Ähnlichkeit mit dem Einfluss der Wärme auf das Zustandekommen einer chemischen Reaction hat.

Ein Beispiel möge zur Erläuterung dienen. Quecksilber und Sauerstoff zusammen bei einer Temperatur von über  $630^{\circ}$  möge den Zustand charakterisiren, in dem sich Thor-X kurz nach seiner Abscheidung befindet. — Die lebhaften Schwingungen, welche durch die hohe Temperatur hervorgerufen werden, überwiegen die zwischen Quecksilber und Sauerstoff thätigen anziehenden Kräfte, verhindern also eine Vereinigung der beiden Elemente; erst wenn die Wärmebewegung durch Ausstrahlung vermindert wird, beginnen die chemischen Verwandtschaftskräfte zu wirken und, sobald die Temperatur hinreichend gesunken ist, vereinigen sich die beiden Componenten zu Quecksilberoxyd. Hier ist also die Wärmebewegung das störende Agens, welches dem angestrebten Ruhezustand entgegenwirkt.

Nehmen wir an, Thor-X bestehe ebenfalls aus zwei Componenten a und b, zwischen denen Verwandtschaftskräfte thätig sind, so erhalten wir ein ähnliches Bild: a und b streben nach Vereinigung, werden aber daran gehindert durch die zwischen ihnen mit ungeheurer Geschwindigkeit sich bewegenden negativen Corpusceln, die Elektronen, welche den der Wärmebewegung vergleichbaren Spannungszustand und die potentielle Energie von Thor-X bedingen. — Wie nun die Wärme allmählich ihre Bewegung an die kältere Umgebung abgibt, so strahlen die Elektronen in die umgebende Luft aus, die Spannung zwischen den Componenten a und b nimmt dabei allmählich ab und, wenn alle störenden Elektronen abgeschleudert sind, haben sich a und b zu Thor-X vereinigt, es ist jener Ruhezustand erreicht, in welchem Thor-X seine radioaktiven Eigenschaften unwiderbringlich verloren hat.

Und ebenso, wie es in unserer Macht liegt, die Vereinigung von Quecksilber und Sauerstoff beliebig lange hinauszuschieben, wenn wir nur verhüten, dass die Wärme nicht ausstrahlt, so lässt sich auch Thor-X beliebig lange in seinem radioaktiven Spannungszustand erhalten, wenn man den Elektronen — durch Einschliessen der Substanz

<sup>106</sup> Crookes, Proceedings Royal Society London 1900, 66, 409.

in Röhrchen — keinen Raum zur Ausstrahlung darbietet.

Der ganze Vergleich hinkt allerdings etwas; denn wir können niemals Schwingungszustände im Äther mit dem Ausschleudern von materiellen Theilchen in Parallelle setzen; für diese Erscheinung kennen wir kein Analogon; deshalb wird man vergebens nach einem völlig genügenden Vergleich suchen.

Die eben gegebene Deutung der  $\beta$ -Emanation ist nicht völlig identisch mit der von Rutherford<sup>107)</sup> angenommenen. Rutherford glaubt, dass bei einer in Thor-X vor sich gehenden secundären Umlagerung eines der Reactionsproducte gasförmig sei, und dass von diesem Gase die Emanationswirkung ausgehe. Wir dagegen geben der Vorstellung den Vorzug, dass ein solches Gas sich in Nichts von den Elektronen selbst unterscheide, und wir haben Grund, diese Vorstellung beizubehalten.

Auch Elster und Geitel<sup>108)</sup> glauben die Existenz eines radioactiven Gases annehmen zu müssen. Es wird daher nothwendig sein, klarzulegen, dass vorläufig für eine solche Annahme keine zwingenden Gründe vorliegen.

Zu diesem Zweck werden wir uns nur an die Natur und Wesensäusserungen der Elektronen zu erinnern haben. — Elektronen sind frei existirende elektrische Ladungen, welche sich wie Massentheilchen verhalten. In Folge ihrer Kleinheit kommt ihnen eine grosse Beweglichkeit zu und sie können Geschwindigkeiten erreichen, welche nur mit derjenigen der Lichtwellen oder des elektrischen Stromes verglichen werden können. — In den chemischen Verbindungen sind sie an die Ionen gebunden und führen ein verborgenes Dasein. Durch elektrische oder andere Kräfte werden sie aber aus ihrem engen Verbande gelöst, gerathen in lebhafte Schwingungen, werden abgeschleudert und wirken dann nach aussen hin, so z. B. in Form von Kathodenstrahlen. Das Phänomen der Kathodenstrahlen ist also bedingt durch eine bestimmte Geschwindigkeit der Elektronen. — Die radioactiven Körper senden nun diese Elektronen mit noch weit grösserer Geschwindigkeit (vgl. S. 1159) in den Raum hinaus und was diese Elektronen nach aussen hin äussern, das fassen wir zusammen unter dem Namen: secundäre Radioaktivität.

Das radioactive Gas ist demnach nichts Anderes als Elektronen von bestimmter Geschwindigkeit<sup>109)</sup>.

<sup>107)</sup> l. c.

<sup>108)</sup> Physikalische Zeitschrift 1901, 590.

<sup>109)</sup> Wenn z. B. beim Erhitzen von Pecherz im Vacuum (Curie) Gase entweichen (u. A. Kohlen-

Mit diesen Betrachtungen schliessen wir unsere Ausführungen über die Ursache der  $\beta$ -Strahlen ab. — Völlig im Dunkeln liegt aber noch ein Phänomen, welches wir bisher unerklärt lassen mussten; das ist die permanente Erzeugung neuer Mengen Kraft und Stoff aus einem bekannten, chemisch einheitlichen Körper.

Ursache der primären Strahlung. — War der Naturforscher aber so glücklich, eine theoretische oder experimentelle Entdeckung gemacht zu haben, so wird er sich nicht damit begnügen, sie an den Stoffen, deren Untersuchung ihn zu derselben führte, bis in alle Details zu entwickeln und zu verwerthen, sondern er wird bald ähnliche Stoffe in Arbeit nehmen, in der Hoffnung, hier die nämliche Entdeckung zu machen. Als z. B. das Argon in der Luft aufgefunden war, suchte man auch in Quellwässern und Gesteinen nach Argon und — mit Erfolg. Als das Helium aus dem Cleveit abgeschieden war, währte es nicht lange, so kannte man eine ganze Anzahl heliumhaltiger Mineralien und schliesslich wurde es auch in der Luft entdeckt.

Dasselbe Bild gewährt uns die neuere physikalische Forschung. — Man hatte die Elektronen, deren freie Existenz schon Faraday nachzuweisen sich bemühte, als unentbehrlich erkannt für die Erklärung des Zeemann-effectes, sie als selbständige wirkende Massentheilchen entdeckt und fand bald, dass sie nicht hier allein, sondern bei allen optischen, elektrischen und magnetischen Erscheinungen eine wichtige Rolle spielen. Man suchte und fand sie überall; auch die Emanation der strahlenden und selbststrahlenden Materie waren Elektronen.

Nur Eins fehlte noch, um die Allgegenwart der Elektronen zu beweisen: der Nachweis ihrer freien Existenz in der atmosphärischen Luft. Es ist das Verdienst Wilson's<sup>110)</sup> und besonders der Herren Elster und Geitel<sup>111)</sup> in Wolfenbüttel, diesen Nachweis auf Grund werthvoller Experimentaluntersuchungen wirklich erbracht zu haben. — Die Versuche ergaben, dass in der gewöhnlichen atmosphärischen

oxyd, Argon, Helium), welche durch die verschlossene Röhre hindurch noch nach einem Monat die photographische Platte schwärzen, so deuten wir diese Erscheinung genau so, wie die Aktivität von Thor-X, das aus Thor abgeschieden wurde, nämlich als radioactive Induction; wenn von Elster und Geitel (l. c.) beobachtet wurde, dass das leere abgeschmolzene Ende einer Glaskugel, in dem lange ein Radium-präparat erhitzt war, vorübergehend aktiv geworden war, ohne eine Spur eines Anfluges zu zeigen, so erkennen wir darin nur die Wirkung schnell sich bewegender Elektronen.

<sup>110)</sup> Zeitschr. f. angewandte Chemie 1901, 1034

<sup>111)</sup> Physikalische Zeitschrift 1901, 560.

Luft sowohl wie in jedem anderen Gase, welches — in einem abgeschlossenen Gefäß aufbewahrt — der Einwirkung jedes ionisirenden Agens entzogen ist, spontane Neubildung von Ionen stattfindet. Die Geschwindigkeit der Ionenbildung ist nur vom Druck, nicht von der chemischen Natur des Gases abhängig, also ganz analog der Ionisirung durch Kathodenstrahlen; und die Werthe für die durch Luft spontan bewirkte Ionisation sind sehr nahe denen gleich, welche durch Radium und Polonium erreicht werden.

Die natürliche atmosphärische Luft besitzt also Eigenschaften, welche wir bisher als Privilegium der strahlenden und selbststrahlenden Materie angesehen hatten. — Die Analogie geht sogar noch weiter, denn Elster und Geitel<sup>112)</sup> wiesen nach, dass die Luft negativ geladene Körper beliebiger Art vorübergehend radioaktiv macht; also ruft die Luft nicht allein den Ionisirungseffect, sondern auch den photographischen Effect radioaktiver Körper hervor.

Und damit ist erwiesen, dass unsere Atmosphäre, die wir als den Tummelplatz einer Anzahl so träger Gase, wie Helium und Argon mit seinen Begleitern kennen lernten, gleichzeitig Massentheilchen enthält, welche — in schärfstem Gegensatz zu den seltenen Luftgasen — eine ungeheure Geschwindigkeit<sup>113)</sup> besitzen und mittels dieser befähigt sind, Moleküle zu sprengen und vielleicht auch Atome zu spalten.

Wie kommen nun die Elektronen in der Luft zu diesem hohen Energieinhalt, zu ihrer grossen Geschwindigkeit? — Wir werden die Quelle dieser Energie da zu suchen haben, wo ein für unsere Begriffe unerschöpflicher Energievorrath vorhanden ist: in unserem Centralgestirn, der Sonne; sie häuft seit Jahr-millionen durch ihre Wärme und Lichtwirkungen unermessliche Kraftmengen auf der Erde an; warum soll sie nicht auch jene Geschwindigkeiten zu Stande bringen können, welche die elektrischen Ladungen der Luftionen zu selbständiger Existenz befähigt, zumal ja die dazu erforderliche Geschwindigkeit auch nicht grösser ist, als diejenige der Lichtwellen. — Vielleicht ist sogar die Lichtbewegung die directe Ursache der Elektronenbewegung.

Die Entdeckung von freien Elektronen in der Luft giebt übrigens auch wichtige Auf-

schlüsse über Ursprung und Wirkung der atmosphärischen Elektricität, des Nordlichts u. s. w.<sup>114)</sup>.

Aus diesen Arbeiten, welche uns im Übrigen hier nicht interessiren, wollen wir wenigstens ein hier erwähnenswerthes Resultat entnehmen, welches das analoge Verhalten der Elektronen der Atmosphäre und der Ausstrahlung radioaktiver Körper kennzeichnet. Wilson beobachtete nämlich, dass geladene Körper in staubfreier Luft allmählich entladen werden und Wesendonck wies nach, dass Trübung der Atmosphäre stark entladend wirkt. Daraus geht hervor, dass der Wasserdampf der Atmosphäre als die Ursache der Trübung auf die Elektronen eine grosse Anziehungskraft ausübt. Diese Neigung der Elektronen, sich in Wasser zu lösen, tritt nun bei den Wesensäusserungen der selbststrahlenden Materie sehr deutlich zu Tage. Alle Substanzen, welche Radioaktivität zeigen, sind leichter in Wasser löslich als diejenigen Körper, mit denen sie zusammen in der Natur vorkommen. Wasser, welches sich in Berührung oder auch nur in der Nähe der Substanzen befindet, wird stets radioaktiv. Beim Umkrystallisiren der Salze wird sogar die gesammte  $\beta$ -Strahlung an das Wasser abgegeben. Das in Wasser unlösliche Thoriumoxyd giebt an dasselbe seine Emanation ab; die wässrigen Filtrate der Ammoniakfällungen von Thorsalzen hinterlassen einen stark activen Rückstand; Thor-nitrat besitzt nur 18 Proc. der Strahlung von Thoriumoxyd, mit Wasser in Berührung gebracht, entfaltet es eine 200mal stärkere Wirksamkeit als das Oxyd. — An diese Thatsachen wollen wir hier nur noch einmal erinnern, weil sie für eine künftige endgültige Aufklärung über das Wesen der selbststrahlenden Materie von Wichtigkeit sein werden. Die oben gewonnenen Erfahrungen leiten nun direct über zu der Lösung unserer Frage nach dem Ursprung unvergänglicher Radioaktivität.

Naheliegend ist die Annahme, dass bestimmt chemischen Körpern, eben den radioaktiven Elementen die Fähigkeit zu kommt, die Elektronen fort dauernd aus der umgebenden Luft aufzunehmen und Energie- und Stoffinhalt derselben für eine ungewöhnliche Umlagerung zu verwerthen, deren Product eine secundär active Substanz, z. B. Thor-X ist.

Leider ist uns aber die Möglichkeit einer

<sup>112)</sup> l. c.

<sup>113)</sup> Der Beweis für ihre Geschwindigkeit ist ihre Wirkung. Die freie Existenz von Elektronen in der Atmosphäre ist überhaupt nur möglich, wenn dieselben ein bestimmtes Maass von Geschwindigkeit besitzen (vgl. S. 1188).

<sup>114)</sup> Vgl. Elster und Geitel (l. c.) und Annalen der Physik 1900, 436; Wesendonck, Naturwissenschaftliche Rundschau 1902, 301; Pochettino, ebenda 1901, 290; Wilson, Proc. Roy. Soc. 1901.

solchen Deutung genommen, seit Elster und Geitel nachgewiesen hatten, dass jene Körper auch in luftleeren Räumen ihre Strahlungsenergie unvermindert bewahren. Und da überhaupt keine äusseren Bedingungen den constanten Werth der Primärstrahlung zu beeinflussen scheinen<sup>115)</sup>, so bleibt nichts übrig, als die unerschöpfliche Quelle der Strahlung in den Substanzen selbst zu suchen.

Ein solcher Versuch erscheint auf den ersten Blick völlig aussichtslos.

**Hypothese zur Erklärung der permanenten Strahlung.** — Unsere Vorstellungen über die Constitution der Materie gehen nicht über die Moleküle und Atome hinaus. Die Atome müssen wir auf Grund unzweifelhaft sicherer Erfahrungen als die kleinsten Massentheilchen anerkennen, welche in eine chemische Verbindung eingehen. Mit unseren Hülfsmitteln ist es uns noch nie gelückt, auch nur die geringste Veränderung in den chemischen Eigenschaften der Atome nachzuweisen; sie besitzen stets dasselbe relative Gewicht, aus welchen ihrer Verbindungen man sie auch abscheiden mag, und auch die Gewichtsverhältnisse, in denen sich die Atome zu einer chemischen Verbindung vereinigen, sind immer dieselben. — Diese Thatsachen gaben schon vor 100 Jahren Dalton die Veranlassung zur Aufstellung des Gesetzes der multiplen Proportionen; dieses ist das einzige in der Chemie, welches mit mathematischer Genauigkeit ohne Ausnahme gilt. Die gesamte neuere Entwicklung der Chemie ruht auf diesem Fundament.

Wie verträgt sich aber nun dieses Gesetz mit der Thatsache, dass aus einem eindeutig charakterisierten Körper, dem Thor, das — wie alle anderen Elemente — jenem Gesetz gehorcht, fort dauernd in konstanter Menge ein fremder Körper erzeugt wird, der sich chemisch vom Thor unterscheidet?

Dass ein fremdes Element im Thor enthalten sei, ist ja nicht unmöglich; wir haben häufig die Erfahrung machen müssen, dass anfangs als chemische Grundstoffe anerkannte Körper durch verfeinerte analytische Methoden in verschiedene Componenten zerlegt wurden; am auffallendsten hat sich dies beim Studium der seltenen Erden gezeigt; was man zuerst Yttrium nannte, entpuppte sich mit der Zeit als ein Gemenge von über 20 Elementen. Alle diese Componenten waren aber einander

<sup>115)</sup> Elster und Geitel stiegen z. B. mit ihrem Präparat in einen 852 m unter Tage liegenden Schacht der Clausthaler Werke und constatirten, dass ihr Radium auch dort unten nichts von seiner strahlenden Kraft einbüsst.

sehr ähnlich und vor Allem, sie waren in konstanter Menge in der ursprünglichen Substanz vorhanden und bildeten sich nicht etwa von Neuem aus ihr, nachdem sie einmal abgeschieden waren. Und diese fast unglaubliche Erscheinung ist beim radioactiven Thor und Uran beobachtet worden.

So müssen wir denn — der Noth gehorchend — der chemischen Forschung bisher fremde Bahnen betreten, um wenigstens unserem Causalbedürfniss zu genügen.

Wenn sich aus Atomen andere Atome bilden sollen, so können vor Allem die Atome nicht absolut untheilbar sein; giebt man aber die Theilbarkeit der Atome zu, so ist man zur Annahme einer Urmaterie gezwungen, eines einheitlichen Etwas, aus dem sich die Atome zu festen schwierlösbar Gebilden zusammenlagern.

Die Physik hat uns nun die Existenz von Massentheilchen kennen gelehrt, welche bezüglich ihrer Grösse weit hinter den Atomen zurückbleiben: die vielbesprochenen Elektronen. Sollen wir in ihnen die Urmaterie anerkennen? — Wir mögen es thun; denn die bisherigen Experimente konnten weder für noch gegen eine solche Annahme entscheiden. Ob man jemals wirkliche Beweise oder Gegenbeweise finden wird, scheint fraglich, wie wohl in Anbetracht der auf unserem Gebiete gemachten Entdeckungen nichts mehr für ganz unmöglich gelten darf.

Von den unzähligen möglichen Gruppierungen dieser Elektronen werden nur relativ wenige genügend stabil sein, um als charakteristische Gebilde in die Erscheinung zu treten. Diese wenigen werden sich aber in einem mehr oder weniger leicht angreifbaren Gleichgewichtszustande befinden, welcher als Atommasse fungirt<sup>116)</sup>.

Einer Anregung von O. N. Witt<sup>117)</sup> folgend, wird man sich vorstellen dürfen, dass diejenigen von den Atomen oder Elektronencomplexen, welche die geringste Masse besitzen, ihren Charakter als Ganzes leichter wahren werden, als die grösseren Conglomerate. Witt vergleicht die Atome von grosser Masse mit den grossen Planeten, welche ihre ursprüngliche Masse nicht zusammenzuhalten vermochten und einen Theil derselben in Gestalt der Monde abschleuderten, während die kleinen Planeten nichts von ihrer Masse hergaben.

Dementsprechend sind die chemischen Elemente um so weniger unveränderliche Gebilde, je höher ihr Atomgewicht ist, also am

<sup>116)</sup> Vgl. bez. der bisher entwickelten Idee W. Kaufmann, Naturw. Rundschau 1901.

<sup>117)</sup> Prometheus 1900, XI, 558.

wenigsten stabil die beiden Elemente mit der grössten Atommasse: Thor und Uran.

Das Thor- und das Uranatom erreicht also als solches niemals jenen Gleichgewichtszustand, der — unangreifbar durch unsere experimentellen Hülfsmittel — in uns den Eindruck des unveränderlichen, in Ruhe befindlichen Atoms erweckt; von ihnen wird vielmehr fortgesetzt Urmaterie (Elektronen) abgeschleudert, welche in Folge ihrer Geschwindigkeit Wirkungen nach aussen hervorrufen kann.

Dass diese abgeschleuderten Elektronen sich noch innerhalb des Thor- und Uransalzmoleküls zu anderen Complexen zusammenlagern können, welche nun mit Hilfe chemischer Reagentien abzuscheiden sind, ist durchaus denkmöglich. Und dass diese Abscheidungen von Thor und Uran verschieden sein müssen, ist ebenso begreiflich. — Besonders stabile Gebilde werden diese anfangs nicht sein; sie streben aber, sobald sie von ihrer Muttersubstanz getrennt sind, einem Gleichgewichtszustand entgegen, indem sie diejenige Schaar von Elektronen abstoßen, welche ihren Ruhezustand stören. Während dieses Vorganges ist Thor-X radioaktiv.

Wenn nun nach Rutherford's Beobachtung das Thor nach der Abscheidung von Thor-X auf kurze Zeit seine  $\alpha$ -Strahlung verliert, so beweist dies nur, dass Thor-X mit seinem Überschuss an Elektronen aus der  $\alpha$ -Strahlung, den schwereren positiven Ionen, erzeugt ist. Diese sind daher vorübergehend verschwunden, beginnen aber bald von Neuem, sich aus der vom Thoratom abgeschleuderten Elektronenmasse zu bilden; denn das Atom ist immer noch zu gross, um dauernd zur Ruhe zu kommen.

Was wird aber aus dem Thoratom, wenn es fortdauernd an Masse verliert? — Man müsste schliesslich doch eine Gewichtsabnahme constatiren können; einmal muss doch der Gleichgewichtszustand erreicht sein; und ist dies eingetreten, ist dann nicht aus dem Thoratom etwas ganz Anderes geworden?

Wir haben nun für die Erklärung dieser Phänomene schon so viel von unseren gewohnnten Vorstellungen geopfert und stehen doch immer vor neuen Rätseln!

Auf die erste Frage nach der Gewichtsabnahme des Thors haben wir noch eine Antwort bereit; denn Becquerel hat berechnet, dass in Anbetracht der äusserst geringen Masse der Elektronen nicht weniger als 1 000 000 000 Jahre dazu gehören, um das Gewicht einer radioaktiven Substanz um 0,001 g zu vermindern. — Wie sollen wir es aber anstellen, um so minimale Gewichtsdifferenzen nachzuweisen! — Nehmen wir

selbst an, wir könnten  $1/1000$  mg durch Wägung erkennen\*), so würde man doch erst nach 1 000 000 Jahren diesen Nachweis mit Erfolg führen können.

Damit müssen wir uns zufrieden geben und mindestens die Möglichkeit einer langsamem Gewichtsabnahme radioaktiver Substanzen zugeben.

Was aber aus dem Thor geworden sein wird, wenn es nicht mehr radioaktiv ist, also jenen für inactive Elemente vermuteten Gleichgewichtszustand erreicht hat, das entzieht sich völlig unserer Vorstellung, denn ein solches Thor existirt wahrscheinlich nirgends und wird uns so lange unbekannt bleiben, bis es gelungen ist, die Abscheidung von Thor-X aus Thor so lange unermüdlich fortzusetzen, bis Thor dauernd unwirksam geworden ist. Dieser Zustand wird von selbst nur nach fast unendlich langer Zeit eintreten, weil Thor-X nur dann neu gebildet werden kann, wenn das fertig gebildete Thor-X entfernt ist. Es wäre ja denkbar, dass sich Thor fortdauernd in Thor-X umwandelt, so dass also die Elektronencombination Thor-X jene von Thor angestrebte stabile Form darstellt. Aber ebenso, wie sich Thor-X bildet, kann auch jedes andere Atom entstehen. Sind wir aber schon so weit mit unseren Speculationen, so können wir auch noch einen Schritt weiter gehen und sagen: Die ersten aus dem Urchaos gebildeten Elektronencomplexen waren die Atome von grösster Masse, Uran und Thor oder noch grössere, bereits zerfallene, und aus diesen sind Elektronencomplexe jeder Grösse abgeschleudert worden, welche einem stabilen Zustande leichter entgegenstreben konnten; so wären denn alle unsere festgefügten Atome aus dem Uran heraus, als ihrer Mutter, entstanden und die selbststrahlende Materie wäre die Allerzeugerin des Stoffs. Wir hätten dann einen Entwicklungsgang der Atome anzunehmen genau dem der Planeten ähnlich. Fast wie eine Bestätigung dieser Vermuthung mag es erscheinen, dass das Uranpecherz fast alle unserer chemischen Grundstoffe einschliesst (vgl. Seite 1183); das Uranpecherz wäre demnach solch ein Atomplanetensystem für sich. — Aber wer könnte über diese Frage entscheiden! — Hier ist der Phantasie jedes Einzelnen freier Raum gelassen.

Wenn nun unsere obige Hypothese, die wir etwas ernster nehmen wollen, als diese müssigen Speculationen, begründet sein soll, so darf weder in der Natur inactives Uran

\*) Mit Hülfe der von Salvioni (Naturwiss. Rundschau 1902, 504) construirten Mikrowaage soll das möglich sein.

oder Thor existiren, noch darf es möglich sein, im Laboratorium die beiden Elemente in diesem Zustande zu erhalten. Nun glauben aber Crookes sowohl wie Hofmann und Strauss vollkommen inactives Uran durch fractionirte Krystallisation des Uranoxalats erhalten zu haben. Bedenkt man jedoch die grosse Schwierigkeit, minimale chemische Verschiedenheiten durch die gewöhnlichen analytischen Methoden nachzuweisen, so darf man annehmen, dass — falls wirklich dauernd inactives Uran existirt — dieses sich von dem radioactiven Uran chemisch, wenn auch schwer erkennbar, unterscheidet. Vor Allem müsste das Atomgewicht eines inactiven Uraus von dem des activen verschieden sein. Vielleicht ist es nur halb so gross. Wir werden also auch hier die endgültige Entscheidung durch das Experiment abwarten müssen.

Als Ergänzung unserer Hypothese sollen noch die theoretischen Betrachtungen erwähnt werden, welche Geoffrey Martin<sup>(18)</sup> an die Beobachtungen von Crookes, Thomson, Becquerel, Curie u. A. anknüpft.

Radioaktivität ist nach Martin eine allgemeine Eigenschaft aller Körper. Es besteht nur ein quantitativer Unterschied zwischen den Äusserungen der als radioaktiv bekannten und aller anderen Elementen. Jene verfügen in Folge ihres hohen Atomgewichts über einen Energieinhalt, der sie befähigt, schon bei gewöhnlicher Temperatur Becquerelstrahlen auszusenden, während die übrigen Elemente erst durch Wärmezufuhr mehr oder weniger stark angeregt werden müssen, um radioaktiv zu erscheinen. Bewiesen wird diese Vermuthung durch die Thatsache, dass heisse Körper (Flammen) das Elektroskop geradeso entladen, wie die radioactiven Substanzen. Demnach können alle Atome unter bestimmten Bedingungen zerfallen in positive und negative Elektronen und inactive Theilchen.

Diese inactiven Theilchen sind nach unserer Vorstellung ebenfalls Elektronen oder besser Elektronencomplexe im Gleichgewichtszustande, durch Sättigung der Ladungen wie träge Massen wirkend.

---

Wir sind am Ende unserer Ausführungen. — Man wird nicht erwarten dürfen, dass die oben skizzierte Hypothese eine endgültige und die einzige mögliche Lösung unseres Problems darstellt, selbst wenn die künftige Forschung zu ihren Gunsten entscheiden

würde. In der allgemeinen Form aber, in der sie entwickelt wurde, hat sie uns geleistet, was wir wünschten: sie gab uns eine denkmögliche Erklärung für die nicht zu hemmende und nicht zu fördernde, dauernde Erzeugung neuer Mengen von Kraft und Stoff aus einem bekannten heraus.

Es waren zwei Grundgesetze der Naturwissenschaft, welche wir vor dem drohenden Zusammensturze zu retten wünschten: das Gesetz der Erhaltung der Energie und die Atomhypothese.

Was ist jetzt das Resultat unserer Bemühungen? — Die Sorge um das Energiegesetz war unbegründet, es hat sich bewährt. — Aus Nichts heraus schienen die selbststrahlenden Substanzen ihre Energieäusserung zu entwickeln; wir forschten nach und erkannten die Ursache in der Allgegenwart stürmender Elektronen. Unversiegbar wählten wir diese Quelle und mussten erkennen, dass auch für die selbststrahlenden Körper eine Zeit kommen wird, wo ihre strahlende Kraft erlahmen und schliesslich ganz aufhören wird.

Aber woher nahmen wir die Mittel, das Gesetz der Erhaltung der Energie zu schützen und zu festigen? —

Werthvolles, vielleicht allzu kostbares Material haben wir dazu verwendet; denn nur auf Kosten der Atomhypothese war das Energiegesetz zu retten, wir haben es gleichsam mit den Bausteinen des Atomgebäudes gestützt. Die festgefügten Atome mussten gesprengt werden, und erst an ihren Bruchstücken, den Elektronen, konnten die Wirkungen der selbststrahlenden Substanzen erkannt und auf Grund des Energiegesetzes erklärt werden.

Und noch ein zweiter bedenklicher Stoss gegen das Atomgebäude war nötig zur Rettung des Energiegesetzes: Die Atome sind nicht allein nicht untheilbar, sondern sie verlieren auch fortdauernd an Masse. —

Wir können uns nun unmöglich damit begnügen, über den Trümmern der Atomhypothese zu trauern, ohne den Versuch zu machen, Ersatz zu schaffen für das Zerstörte.

Wir werden das Atomgebäude selbst wieder aufzubauen versuchen, nur mit dem Unterschied, dass wir jetzt anderes Material verwerthen. Unsere Atome sind uns zertrümmert, aber wir haben aus den Trümmern die Elektronen gewonnen. Diese sollen nun unsere Bausteine sein.

Die Hypothese als richtig vorausgesetzt, dass Atome Gleichgewichtscomplexe der Elektronen sind, wird es nicht schwer fallen,

diesen ebenfalls jene relative Untheilbarkeit und Beständigkeit in ihren chemischen Eigenschaften zu erkennen, welche die Atome charakterisiert. — Relativ untheilbar sind die Atome in Beziehung zu den zerlegbaren Molekülen; diese können durch chemische Reagentien gespalten werden, die Atome aber, wenigstens durch uns bekannte Mittel, nicht. Ob nun die Atome wirklich noch theilbar sind oder nicht, ist für den Chemiker ohne Belang; ihm genügt es, wenn er weiß, dass sie sich bei allen Reactionen und Bestimmungen wie untheilbare Ganze verhalten; und diese Thatsache lässt sich nicht aus der Welt schaffen.

Wie aber steht es mit der angeblichen Abnahme ihrer Masse, ihrem allmählichen Zerfall? — Auch über diese Schwierigkeit kommen wir hinweg. Es ist ja nachgewiesen worden, dass eine Milliarde Jahre dazu gehören, um an dem am stärksten zerfallenden Uranatom eine Gewichtsabnahme von 1 mg zu constatiren. Damit sind wir also ausser Stande, jemals auch nur die geringste Veränderung in den relativen Gewichten der Atome wirklich nachzuweisen. Und ebenso langsam wie die Gewichtsabnahme wird auch die dadurch vermutlich bedingte Änderung der Eigenschaften der Atome vor sich gehen. Wenn wir aber weder das Eine, noch das Andere mit unseren Hülfsmitteln nachweisen können, so werden uns diese Änderungen praktisch gar nicht interessiren.

Dem Chemiker wird also seine aus unzähligen Thatsachen abgeleitete Atomhypothese so lange das gleiche unentbehrliche Hülfsmittel bleiben, bis er mit Hilfe seiner Arbeitsmethoden jene Widersprüche wirklich aufdecken kann, die aus der Wirkungsart der selbststrahlenden Materie dem Energiegesetz zu Liebe hypothetisch construirt werden mussten.

So kommen wir denn zu dem merkwürdigen Schluss, dass die Atomhypothese in ihrer ursprünglichen Form theoretisch anfechtbar ist, obgleich sie praktisch wahrscheinlich noch für lange Zeit ihre Gültigkeit behalten wird.

Und in Anbetracht der Schwierigkeiten, welche sich bei dem Versuch ergeben mussten, die Erzeugung von neuen Elementen mit der Atomhypothese zu vereinbaren, werden wir uns mit diesem Resultat durchaus einverstanden erklären können.

## Verfahren und Apparat zur Bestimmung des Wassergehaltes in organischen Substanzen.

Von J. F. Hoffmann.

In vielen Gewerbebetrieben und Laboratorien besteht das Bedürfniss, den Wassergehalt in organischen Körpern auf einfache Weise und in kurzer Zeit bestimmen zu können.

Die bis jetzt in Aufnahme gekommenen Verfahren der Wasserbestimmung leiden aber an folgenden Nachtheilen: Die Zeitdauer der Bestimmung währt zu lange, die verwendeten Apparate sind zu theuer, oder die Methoden sind ungenau, und die Ausübung erfordert die Experimentirgeschicklichkeit eines ausgebildeten Chemikers.

Das im Folgenden beschriebene Verfahren sucht dessen Nachtheile zu vermeiden. Das zu bestimmende Wasser wird aus der Analysensubstanz ausgetrieben und in einem Messrohr in Substanz bestimmt. Diese Methode, die schon in der Mineralanalyse angewendet wird und hier oft ganz bedeutende Schwierigkeiten bereitet, wird bei der Wasserbestimmung organischer und organisirter Produkte durch die Neigung der Analysensubstanz zum Verköhlen noch wesentlich erschwert.

Bei der Ausarbeitung der Methode handelte es sich also in erster Linie darum, das Anbrennen derjenigen Theile des Materials zu verhindern, welche der gut leitenden Wand des Gefäßes anliegen, während die übrigen Theile noch kalt bleiben.

Diese Schwierigkeit wird durch Anwendung einer Arbeitsflüssigkeit beseitigt, welche die Wärmeübertragung von den geheizten Wandungen überaus wirksam regelt, alle Theile der Substanz gleichmässig mit Wärme versorgt und durch das beständige Umherwirbeln des Materials in der Flüssigkeit das Anbrennen verhindert.

Die innige Berührung der Substanz mit der heißen Arbeitsflüssigkeit treibt das Wasser schnell heraus, welches durch Destillation in das Messgefäß übergeführt wird.

Die Arbeitsflüssigkeit muss folgende Eigenschaften besitzen:

Die Körper dürfen von ihr chemisch nicht beeinflusst werden,  
der Siedepunkt muss höher liegen als  
der des Wassers,  
in Wasser darf sie nicht oder nur wenig  
löslich sein,  
sie muss billig sein,  
sie darf mit Wasserdämpfen nur in ge-  
riger Menge übergehen.

Der letztere Punkt ist wichtig, weil im anderen Falle das Kühlgefäß für die über-