

Zeitschrift für angewandte Chemie

und

Zentralblatt für technische Chemie.

XXII. Jahrgang.

Heft 47.

19. November 1909.

Über Vorkommen, Darstellung und Eigenschaften radioaktiver Körper¹⁾.

Von Prof. C. SCHIFFNER.

(Eingeg. 2/10. 1909.)

M. H.! In den letzten beiden Jahrzehnten ist eine Reihe glänzender Entdeckungen gemacht worden, welche geeignet erscheinen, so manche unserer alten uns lieb und wert gewordenen Anschauungen auf dem Gebiete der Chemie zu erschüttern und die Gültigkeit des Wortes des griechischen Philosophen „τάρτα ἀει, alles fließt“, auch auf Gebiete auszudehnen, wo man bisher nicht daran gedacht hatte. Die Annahme einer fortduernden Veränderung alles Seienden hat ja auch für den Menschen etwas Unbefriedigendes. Von jeher hat sich denn auch der Menschengeist gewisse Festpunkte gesucht und mit Aufwand vielen Scharfsinnes künstlich konstruiert, auf dem Gebiete der Religion, der Kunst und der Wissenschaft, auf denen fußend er seine Theorien aufzubauen und weiter entwickeln konnte. Und noch stets ist es zunächst mit großer Entrüstung zurückgewiesen worden, wenn jemand mit einer neuen Erkenntnis kam und an einem solchen Festpunkt zu rütteln wagte. Dabei wird meist übersehen, daß doch auch die Existenz solcher Festpunkte immer nur eine angenommene, aus den mit menschlichen Hilfsmitteln angestellten Beobachtungen erschlossene ist, eine Hypothese ohne strikten Beweis. Vor allem wird gern bei der Beurteilung des Wertes solcher Hypothesen und der Gültigkeit der aus ihnen gezogenen Schlüsse ein Moment nicht genügend berücksichtigt, das Moment der Zeit. Wir pflegen dasjenige, was sich in den von uns zu überblickenden Zeiträumen nicht meßbar oder erkennbar verändert, häufig nun auch als in alle Ewigkeit unwandelbar anzusehen. So sagen wir in der Chemie, daß zwei Körper nicht miteinander reagieren, wenn wir dies innerhalb der uns zu Gebote stehenden Zeit und mit unseren Hilfsmitteln nicht beobachten. Dies kann aber zu gefährlichen Trugschlüssen führen. Ich möchte dies an einem Beispiel erläutern.

Wir wissen, daß ein Gemisch von $2\text{H} + \text{O}$ bei 700° unter Explosion in Bruchteilen einer Sekunde sich zu Wasser verbindet, während wir sagen, daß diese beiden Gase bei gewöhnlicher Temperatur nicht miteinander reagieren. Ist dies letztere aber richtig? Nein! Denn wir wissen, daß z. B. bei 509° von diesem Gemisch sich 15% in 50 Minuten in Wasser umwandelt. Wir wissen andererseits, daß diese Reaktion bei einer um je 10° niedrigeren Temperatur jedesmal halb so schnell verläuft, daß also bei 499° 50×2 Minuten, bei 489° 50×2^2 Minuten er-

forderlich sind, um 15% des Gemisches in Wasser überzuführen. Rechnen wir in dieser Weise weiter, so finden wir, daß zur Bildung der gleichen Menge Wasser bei 9° erforderlich sind 50×2^{50} Minuten, das sind rund 100 000 Millionen Jahre. Praktisch kommt das ja auf dasselbe hinaus, als wenn wir sagen, das Gemisch reagiert nicht bei gewöhnlicher Temperatur. Aber jede Konsequenz, die wir aus der Nichtreaktionsfähigkeit ziehen wollten, würde zu folgeschweren Irrtümern Veranlassung geben. Um nur an eins zu erinnern: bei der Erklärung geologischer Verhältnisse spielen solche langsam verlaufende chemische Reaktionen jedenfalls eine außerordentlich wichtige Rolle.

Ganz besonders aber bedürfen wir solcher Anschauungen bei der Erklärung des Wesens der Radioaktivität, bei diesen neuen Theorien, welche uns die dauernde Veränderung von uns bisher als stabil angesehener Körper, der Elemente, wahrscheinlich machen. Wenn uns diese neuen Theorien zunächst auch fremd anmuten, da sie so ganz andere Bahnen einschlagen, so liegt doch kein Grund vor, sie auf Grund unserer bisherigen Theorien, für welche ja auch nur Wahrscheinlichkeitsbeweise vorliegen, abzulehnen. Wir werden diese neuen Theorien, soweit sie auf Versuche und Beobachtungen gestützt sind, sogar anzunehmen gezwungen sein, wenn sich durch sie ein größerer Kreis von Erscheinungen befriedigend erklären läßt, als das nach den bisherigen Theorien möglich war.

Bevor ich auf diese wichtigen und interessanten Theorien noch etwas näher eingehe, möchte ich zunächst einiges über Vorkommen und Darstellung der aktiven Körper sagen.

Schon längst wissen wir, daß ein geladenes Elektroskop, und wenn es noch so gut gegen die Erde isoliert ist, an der Luft sich langsam vom selbst entladet. Die Luft muß also leitend, ionisiert sein, es müssen in ihr sog. freie Ionen, und damit ein elektrischer Strom vorhanden sein. Nun kennen wir zwar eine Anzahl chemischer und physikalischer Vorgänge, durch welche in Gasen freie Ionen erzeugt werden. Indes reichen diese nicht aus zur Erklärung verschiedener beobachteter Tatsachen, z. B. der Tatsachen, daß bei uns die Stärke der Ionisation deutlich von der nordischen Tiefebene nach den Alpen zu zunimmt, daß aus dem Erdboden abgesaugte Luft stärker leitend ist als solche einige Meter über dem Erdboden, daß die Leitfähigkeit an manchen Orten z. B. St. Joachimsthal in Böhmen oder im Grubengebiet von Schneeberg in Sachsen ganz abnorm hohe Grade erreicht. Hier greift zur Erklärung das Vorhandensein aktiver Körper ein. Nach unseren noch zu erläuternden Anschauungen senden derartige Körper Strahlen verschiedener Art aus, und zwar neben Strahlen, die wir als Wellenbewegungen des Äthers aufzufassen haben, auch sog. Körperstrahlen, welche aus mit ungeheurer Geschwindigkeit fortgeschleuderten Mas-

¹⁾ Vortrag (erweiterte Form), gehalten auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker zu Frankfurt a. M. am 16./9. 1909.

senteilchen bestehen. Diese Massenteilchen zer sprengen infolge der ihnen innenwohnenden großen Energie bei ihrem Anprall an die elektrisch neutralen Gasatome der Luft einen Teil der letzteren zu elektrisch geladenen Teilchen, den freien Ionen. Da einerseits die Menge der entstehenden freien Ionen abhängig ist von der Menge der vorhandenen aktiven Körper, andererseits eine bestimmte Menge freier Ionen stets einer bestimmten Strommenge entspricht, so können wir durch Messung der letzteren auch die Menge des aktiven Körpers bestimmen; am besten geschieht die Messung der Strommenge indirekt, indem wir mittels eines Elektroskops von bekannter Kapazität die durch den Strom erzeugte Spannung messen, welche unter Einhaltung geeigneter Versuchsbedingungen der Stromstärke proportional ist.

Tatsächlich messen wir dabei allerdings nicht direkt die Menge des vorhandenen festen aktiven Körpers, z. B. des Ra, sondern die Menge seines ersten, gasförmigen Zerfallsprodukts, der Emanation, die aber wiederum im konstanten Verhältnis steht zur Menge des Ra selbst, und zwar wird nach L a b o r d e und C u r i e ein elektrischer Strom von der Stärke einer elektrostatischen Einheit erzeugt von einer Emanationsmenge, die sich im Gleichgewicht befindet mit $0,36 \cdot 10^{-5}$ g RaBr₂ = $0,21 \cdot 10^{-5}$ Ra; dieses Verhältnis ermöglicht uns die quantitative Bestimmung des Ra selbst.

Schon der Umstand, daß die Luft überall auf der ganzen Erde, wenn auch in verschiedenen starkem Grade leitend ist, berechtigt uns zu der Annahme, daß die Verbreitung der aktiven Körper eine ganz allgemeine sein muß. Dabei braucht allerdings nun nicht überall z. B. das feste Ra vorhanden zu sein, sondern dieses kann auch eine Fernwirkung ausüben insofern, als es die ebenfalls aktive gasförmige Emanation aussendet, welche sich z. B. durch Diffusion verbreiten kann. Indes ist der Wirkungskreis der Emanation doch ein beschränkter, da sie einmal ein sehr schweres Gas ist, und da sie andererseits selbst wieder ziemlich rasch zerfällt — in 3,75 Tagen zur Hälfte — und verschwindet. Allerdings werden bei diesem Zerfall wieder neue aktive Körper gebildet, aber auch deren Lebensdauer ist nur eine beschränkte, so daß wir zur Erklärung der dauernden Leitfähigkeit der Luft einen ständigen Nachschub von Emanation von in der Erde weit verbreitetem Ra selbst annehmen müssen. Wenn ich übrigens der Einfachheit halber nur Ra nenne, so gilt doch gleiches auch von den anderen aktiven Körpern Thor und Aktinium.

In der Tat hat denn auch die Untersuchung von Gesteinen der verschiedensten Herkunft deren Aktivität ergeben. Allerdings handelt es sich dabei um so minimale Mengen aktiver Körper, daß wir sie mit unseren rein chemischen Methoden — Gewichtsanalyse, Tritation oder Colorimetrie — nicht nachzuweisen imstande sind. Auch die Spektralanalyse versagt hier. Durch sie können wir z. B. noch $1/40\,000\,000$ g NaCl nachweisen, also Mengen etwa von der Größenordnung 10^{-7} g. In unserem Falle aber kommen Mengen in Frage von zum Teil weniger als 10^{-12} g, das ist der 100 000. Teil obiger Kochsalzmenge. Hier kann nur ein Elektroskop helfen, und zwar ein solches von größter Empfindlichkeit. Denn die Ströme, die durch solche Mengen

aktiver Körper erzeugt werden, messen zum Teil nur nach Millionstel Ampères. Gewöhnlich geben wir sie in elektrostatischen Einheiten an. Eine ESE ist $0,33 \cdot 10^{-9} = 0,000\,000\,000\,33$ Amp. 1 Macheinheit der tausendste Teil davon, also $0,33 \cdot 10^{-12} = 0,000\,000\,000\,000\,33$ Amp. Solche Ströme können wir noch mit größter Schärfe messen.

Von Gesteinen haben sich nach vielfältigen Beobachtungen am stärksten aktiv die Eruptivgesteine, insbesondere Granit, gezeigt, welche Gehalte bis zu 10 mg radioaktiver Substanz in 1000 t ergeben, während Basalte nur bis zu etwa 0,5 mg in 1000 t, andere Gesteine noch weniger aufweisen. Noch größere gewinnbare Mengen finden sich konzentriert aufgespeichert auf gewissen Erzlagerstätten, insbesondere das Ra immer vergesellschaftet mit Uranerzen. Und zwar hat sich die überraschende Tatsache ergeben, daß die Mengen beider Elemente immer in einem konstanten Verhältnis stehen, indem 1 T. Ra auf 2 600 000 T. U entfällt. Dies in Verbindung mit einigen noch anzustellenden Überlegungen zwingt uns zu der Annahme, daß das Ra erst aus dem U entstanden ist, mit anderen Worten, daß wir als primären radioaktiven Körper der Radiumreihe das U anzusehen haben.

Ist dies aber der Fall, so müssen wir auch annehmen, daß auch das Uran sich in weitester Verbreitung in Gesteinen findet oder gefunden hat. Wenn wir es in vielen aktiven Gesteinen noch nicht nachgewiesen haben, so kann dies entweder daran liegen, daß es sich schon vollständig in Ra umgewandelt hat, oder daran, daß seine Menge so gering ist, daß sie sich unseren Bestimmungsmethoden entzieht. Jedenfalls zeigen sich Gesteine, in denen ein Urangehalt erwiesen ist, auch noch stärker aktiv als vorher für die Granite angegeben. Speziell im Granit vom Karlsbad-Eibenstocker Typus, auf dessen Kluftflächen oft Uranglimmer schön auskristallisiert ist, konnte ich Radiumgehalte bis zu 28 g in 1000 T. nachweisen.

Die allgemeine Verbreitung aktiver Körper in der Erdkruste läßt es wahrscheinlich erscheinen, daß auch die Wässer der verschiedensten Gegenden aktive Eigenschaften besitzen werden, wenn diese vielleicht auch nur an verhältnismäßig wenig Orten eine solche Stärke erreichen, daß eine Verwendung der Wässer z. B. für therapeutische Zwecke aussichtsvoll erscheint, während sie bei vielen Wässern sogar so schwach sind, daß sie sich unseren Bestimmungen entziehen. Indes sind Spuren fast in jedem Wasser nachzuweisen. Die Aktivität der Wässer beruht in den meisten Fällen auf einem Gehalt an dem gasförmigen Zerfallsprodukt des Ra, der Emanation, welche einen Absorptionskoeffizient von 23 besitzt, d. h. bei gleichen Mengen Wasser und Emanation kann ersteres bei niedriger Temperatur 23% der vorhandenen Emanation aufnehmen. Jede Erhöhung der Temperatur, ein Salzgehalt des Wassers, vor allem aber mechanische Bewegung des Wassers verringert seinen Gehalt. Daraus erklärt sich, daß fließende Wässer, insbesondere solche mit starker Strömung meist keine nachweisbaren Mengen enthalten.

Das Verhalten der Emanation, durch mechanische Bewegung aus dem Wasser ausgetrieben zu werden, gibt uns ein bequemes Mittel an die Hand, die Stärke eines Wassers zu messen. Man treibt

die Emanation durch starkes Schütteln des Wassers oder durch Hindurchblasen von Luft aus und führt sie in ein Gefäß über, in welches man ein geeichtes mit bestimmter Spannung geladenes Elektroskop einhängt. Durch Beobachtung der Entladungsdauer läßt sich die Stärke des durch die Emanation hervorgebrachten Stromes bestimmen. Die namentlich für die Reise bequemste Apparatur ist das sog. Fontaktoskop nach Engler & Sieveking. Hat man unter Anbringung einiger Korrektionsfaktoren damit den Spannungsabfall v während einer Stunde beobachtet, und ist c die experimentell gemessene Kapazität des Elektroskops, i die Stromstärke, so ist bekanntlich

$$c = \frac{i}{v} \text{ und } i = c \cdot v.$$

Gewöhnlich gibt man für Wasser die Stromstärke in elektrostatischen Einheiten an. Die Einheit der Spannung in diesem Masse ist 300 Volt, außerdem muß v nicht wie oben auf eine Stunde, sondern auf eine Sekunde bezogen werden. Es ergibt sich demnach

$$i = \frac{c \cdot v}{300 \cdot 3600} \cdot E \cdot S \cdot E.$$

Da die meisten Wässer hierbei Zahlen kleiner als 1 liefern, gibt man nach Mache's Vorschlag meist das Tausendfache dieses Wertes als sog. Macheeinheit

$$c \cdot 10^3 = \frac{c \cdot v \cdot 10^3}{300 \cdot 3600}$$

an.

Die Emanation, welche im Wasser absorbiert ist, kann den Gesteinen entstammen, mit denen die Wässer in Berührung kommen, sie kann aber auch auf Kluftten von weither oder aus großer Tiefe emporsteigen und von Oberflächenwasser absorbiert, oder sie kann endlich von aus der Tiefe aufdringendem Wasser mitgebracht werden. Jedenfalls ist es nicht erforderlich, daß in den für unsere Untersuchungen erreichbaren Gebirgsteilen besonders starke Gehalte an Uran oder Radium vorhanden sein müssen, um recht erhebliche Aktivitäten zu standekommen zu lassen, wie dies die Beispiele von Gastein oder Baden-Baden zeigen. Zu den Wässern, deren Aktivität nur auf einem Gehalt von Emanation beruht, gehören nach einer freundlichen Privatmitteilung des Herrn Oberbergverwalters Step auch die stärksten bekannten natürlichen Wässer von St. Joachimsthal in Böhmen. Die Abwesenheit gelöster Radiumsalze in diesen Wässern wird damit erklärt, daß sie minimale Spuren von Schwefelsäure enthalten, welche etwa sich lösendes Ra sofort als unlösliches Sulfat ausfällen würde.

Dagegen gibt es allerdings auch Wässer, welche Spuren von Ra-Salz gelöst enthalten. Dies zeigt sich daran, daß solche Wässer nach wochenlangem Stehen oder nachdem man die Emanation durch anhaltendes Kochen ausgetrieben hat, doch nach einiger Zeit wieder eine gewisse Aktivität zeigen. Diese, wohl als Restaktivität bezeichnet, kann nur dadurch zu stande gekommen sein, daß das Wasser Radiumsalz gelöst enthält, welches von neuem Emanation gebildet hat. So enthalten nach Wellik Wässer aus der Umgebung von Graz bis 0,11 mg in 1000 cbm, nach meinen Untersuchungen Wässer aus dem Säch-

sischen Erzgebirge 1 mg in 1000 cbm, nach Dr. Aschoff Wasser oder Mutterlauge von Kreuznach 10—12 mg in 1000 cbm. Dieser letztere ungewöhnlich hohe Gehalt erklärt zur Genüge die abnorm hohe Aktivität der Kreuznacher Quellsedimente, die man zur Herstellung stark aktiver Heilpräparate verwendet.

Es sei übrigens darauf hingewiesen, daß nur beim Vorhandensein einer solchen Restaktivität auf einen Gehalt an gelöstem Radiumsalz geschlossen werden und nur aus dieser, nicht aber aus der Anfangs- oder Gesamtaktivität die Menge des gelösten Salzes berechnet werden darf. Wenn z. B. aus der Gesamtaktivität des Meerwassers nach einer auch durch die Tageszeitungen gegangenem Notiz ausgegerechnet worden ist, daß das Meerwasser 20 000 t Ra gelöst enthalte, so entspricht diese Zahl durchaus nicht den Tatsachen.

Von den verschiedenen radioaktiven Körpern, die wir zu unterscheiden pflegen, die aber vielleicht alle in einem gewissen genetischen Zusammenhange stehen, ist mit Sicherheit in größerer Menge bisher nur das Ra in Form einiger seiner Halogenverbindungen dargestellt worden. Die Isolierung dieser Salze gehört zu den zeitraubendsten und subtilsten Operationen des Chemikers, und die Auffindung eines geeigneten Ganges der Arbeiten von Seiten des Ehepaars Curie wird für alle Zeiten eine chemische Großtat ersten Ranges bleiben.

Als Ausgangsmaterial dienen bis heute immer noch fast ausschließlich Uranerze, wenn man auch bereits die Kreuznacher Quellsinter dafür ins Auge gefaßt hat oder neuerdings in Schweden große Hoffnungen setzt auf ein dortiges Mineral Kolm, eine anthracitähnliche Substanz aus den silurischen Alaunschiefern von Westgotland und Nerike, deren Asche einige Prozent Uran und dementsprechend geringe Mengen Ra enthält.

Eine erste Konzentration des Radiums gründet sich auf die Unlöslichkeit seines Sulfates. Bekanntlich werden Uranerze in der Weise auf Uransalze verarbeitet, daß man sie mit Soda röstet und dann mit Schwefelsäure laugt. Dabei bleibt das Radium zum größten Teil als Sulfat in den Rückständen, gleichzeitig mit dem Sulfat des Bariums, dem das Ra auch sonst chemisch nahe steht. Aus den Rückständen wird dann durch wiederholtes Kochen mit Natronlauge und dann mit Soda die Kieselsäure entfernt, die entstehenden Carbonate werden in Salzsäure gelöst und aus der Lösung nach Entfernung einiger Verunreinigungen durch Ammoniak und Schwefelwasserstoff das Ra mit den Erden mittels Schwefelsäure gefällt. Diese sog. Rohsulfate, durch Kochen mit Sodalösung wiederum in Carbonate und diese durch Behandlung mit Salzsäure in Chloride übergeführt, liefern das sog. Rohchlorid, welches nach Entfernung von Blei und der Hauptmenge etwa vorhandenen Kalkes dann ein Gemisch von Radium- und Bariumchlorid ergibt, aus denen durch vielfach systematisch wiederholte fraktionierte Krystallisation schließlich das Radiumchlorid fast rein erhalten werden kann. Statt der Chloride kann man auch die Bromide der fraktionierten Krystallisation unterwerfen.

Dies in groben Umrissen der Gang der Arbeiten, die in Wirklichkeit durch die Anwesenheit sehr vieler anderer Körper noch wesentlich verwickelter

und durch die Notwendigkeit, die Niederschläge aufs peinlichste, manchmal viele Wochen lang auswaschen zu müssen, ganz außerordentlich zeitraubend werden. Die in Wien durchgeföhrte Verarbeitung von 10 000 kg Uranrückständen (entspr. etwa 30 000 kg Uranerz) hat zwei Jahre in Anspruch genommen. Bei den Arbeiten müssen die einzelnen Zwischenprodukte natürlich durch Aktivitätsmessungen ständig auf ihren Radiumgehalt hin geprüft werden; die Prüfung der letzten Radiumsalze auf ihre Reinheit geschieht am besten durch Atomgewichtsbestimmungen.

Die Frage liegt nahe: Wieviel Radiumsalz läßt sich aus einer Tonne Uranerz gewinnen? Wenn wir uns erinnern, daß immer 1 T. Ra mit 2 600 000 T. U vergesellschaftet ist, so würde ein Uranerz mit 45% U etwa 0,000 017% Ra, und da 3 T. Uranerz etwa 1 T. Rückstände liefern, diese letzteren 0,000 05% Ra enthalten. 1000 kg Rückstände müßten also bei völliger Ausbeutung 0,5 g Ra ergeben. Indes wird in Wirklichkeit diese Ausbeute nicht erreicht. Insbesondere wird schließlich nur ein Bruchteil als nahezu reines Radiumchlorid erhalten, während eine große Menge auf zahlreiche Zwischenfraktionen verteilt bleibt. Bei der Verarbeitung von 10 000 kg Rückständen in Wien erhielt man (H a i t i n g e r und Ulrich, Bericht über die Verarbeitung von Uranpecherzrückständen. 1908) 1,05 g nahezu reines Radiumchlorid, sowie eine Menge Radiumbromid, die 0,236 g reinem Radiumchlorid entspricht, in Summa also 1,286 g RaCl, entsprechend etwa 1 g Ra, während etwa 3 g Radiumchlorid = 2,3 g Ra auf acht Fraktionen verschiedener immerhin noch erheblicher Stärke und der Rest in radiumarmen Nebenprodukten verteilt blieb oder verloren ging.

Wenn wir uns das Wesen der Radioaktivität klar machen wollen, gehen wir am besten aus von dem einen Grundgesetz der Elektrochemie, dem F a r a d a y schen Gesetz, welches aussagt, daß mit chemisch äquivalenten Stoffmengen immer die gleiche Elektrizitätsmenge verbunden ist, und zwar mit einem Grammäquivalent irgendeines Elementes oder Radikals $96\,540 \text{ Coulomb} = 9,65 \cdot 10^3$ elektromagnetische Einheiten. So enthält z. B. ein Grammäquivalent, d. i. 1 g H diese Elektrizitätsmenge. Nun wissen wir andererseits, daß 1 ccm H $0,9 \cdot 10^{20}$ Atome, oder da 1 ccm H $= 0,8961 \cdot 10^{-4} \text{ g}$ wiegt

$$1 \text{ g H} = \frac{0,9 \cdot 10^{20}}{0,8961 \cdot 10^{-4}} \approx 10^{24}$$

Atome enthält. Demnach ist ein Atom Wasserstoff (oder irgendeines anderen Elements) verbunden mit

$$\frac{9,65 \cdot 10^3}{10^{24}} \approx 10^{-20}$$

elektromagnetischen Einheiten.

Mit der kleinsten Stoffmasse, die wir uns nach der D a l t o n schen Atomhypothese unteilbar denken, mit einem Atom, ist also immer ein und dasselbe Quantum Elektrizität, nämlich 10^{-20} E. M. E. verbunden. Überall, wo Elektrizität erscheint, tritt sie mindestens in dieser Menge oder aber in ganzen Vielfachen dieser Menge auf, die wir nicht weiter teilen können, die wir also ansehen können als ein elektrisches Atom oder, wie wir es nennen, als ein Elektron. Da wir positive und negative Elektrizität unterscheiden, liegt es nahe, daran zu denken, daß

es ein positives und ein negatives Elektron geben muß, deren Vereinigung, wenn in gleicher Menge mit einem Atom verbunden, den elektrisch neutralen Zustand der Masse herbeiföhrt. Als nächste Aufgabe erschien es nun, zu versuchen, ob es nicht gelingt, die Elektronen in freiem Zustande, ohne Masse, zu isolieren. Um es vorweg zu nehmen, ist dies hinsichtlich des hypothetischen negativen Elektrons nahezu gelungen, während ein positives Elektron ohne Masse nicht bekannt ist. Dies hat dazu geführt, die Existenz eines positiven Elektrons überhaupt zu leugnen. Unter dem elektrisch neutralen Zustande eines Massenteilchens würden wir uns dann einen solchen vorzustellen haben, bei dem eine ganz bestimmte Anzahl negativer Elektronen mit der Masseneinheit verbunden ist. Tritt noch eins oder mehrere negative Elektronen hinzu, so erscheint der Körper negativ, fällt ein oder mehrere negative Elektronen weg, so erscheint er positiv geladen.

Die Mittel, freie negative Elektronen und den positiven Rest getrennt voneinander zu erhalten,

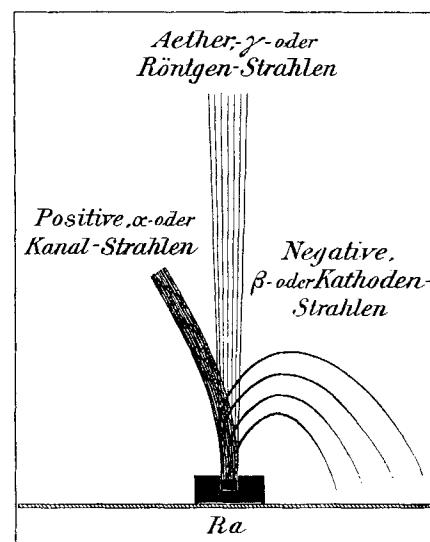


Fig. 1.

sind uns gegeben durch die teilweise erst der neuesten Zeit angehörigen Entdeckungen der Becquerelstrahlen, der Kathoden- und Kanalstrahlen und besonders der von den aktiven Körpern, z. B. dem Ra, ausgehenden Strahlen. Daß letztere Körper Strahlen verschiedener Art aussenden, ergibt sich, wenn man sie durch ein magnetisches Feld hindurchgehen läßt. Das Strahlenbündel wird dann zerlegt in drei Gruppen, von denen die eine nach der negativen Seite des Magnetfeldes hin abgelenkt wird, die wir also als positiver Natur ansehen müssen, und α -Strahlen nennen. Eine zweite Art, die β -Strahlen, wird nach der positiven Feldseite abgelenkt, muß also negativer Natur sein, während eine dritte Art, die γ -Strahlen ohne Ablenkung, geradeaus geht. Diese letztere Art kann demnach nur aus Wellenbewegungen des Äthers bestehen, während die Ablenkbarkeit der beiden anderen Strahlenarten zu der Annahme zwingt, daß in ihnen Massenteilchen bewegt werden. (Fig. 1)

Stellt man die Bahn dieser α - und β -Strahlen fest, indem man eine photographische Platte oder ein Elektroskop an verschiedene Stellen des Raumes bringt, so zeigt sich, daß die beiden Strahlenarten unter dem Einfluß ein und desselben Magnetfeldes verschieden stark abgelenkt werden. Sie müssen also hinsichtlich der Größe der in ihnen bewegten Massen, deren Ladung und Geschwindigkeit verschieden sein. Man kann die Ablenkung auch noch in einem elektrischen Felde hervorrufen und erhält dann daraus und aus der magnetischen Ablenkung zwei Gleichungen, aus denen man einerseits die Geschwindigkeit und andererseits zwar noch nicht Ladung und Masse der einzelnen Teilchen selbst, wohl aber das Verhältnis beider berechnen kann. Uns interessiert zunächst dieses letztere Verhältnis, welches sich ergeben hat zu

$$\frac{e}{m_\alpha} = 9,5 \cdot 10^3 \text{ und}$$

$$\frac{e}{m_\beta} = 1,86 \cdot 10^7 \text{ in elektromagnetischen Einheiten.}$$

Um die Massen m_α und m_β selbst zu finden, erinnern wir uns, daß 1 g H verbunden ist mit einer Ladung von $9,65 \cdot 10^3$ E. M. E.; das ist also das Verhältnis

$$\frac{e}{m_H} = 9,65 \cdot 10^3.$$

Vergleichen wir hiermit die Verhältnisse der Massen m_α und m_β zu ihren Ladungen, so finden wir:

$$\frac{e}{m_\alpha} : \frac{e}{m_H} = 9,5 \cdot 10^3 : 9,65 \cdot 10^3$$

und daraus

$$\frac{m_H}{m_\alpha} = \frac{9,5 \cdot 10^3}{9,65 \cdot 10^3} \sim \frac{1}{1};$$

$$\frac{e}{m_\beta} : \frac{e}{m_H} = 1,86 \cdot 10^7 : 9,65 \cdot 10^3$$

und daraus

$$\frac{m_H}{m_\beta} = \frac{1,86 \cdot 10^7}{9,65 \cdot 10^3} \sim \frac{2000}{1};$$

d. h. das im α -Strahl bewegte Massenteilchen hat annähernd die Masse eines Wasserstoffatoms, während dem β -Teilchen nur etwa der 2000. Teil der Masse eines Wasserstoffatoms zukommt, oder mit anderen Worten, der α -Strahl führt fast die ganze vom Radium abgeschleuderte Masse mit sich, der β -Strahl besteht nur aus dem negativen Elektron nahezu ohne Masse. Nach diesen Betrachtungen wiegt ein solches negatives Elektron $7,4 \cdot 10^{-28}$ g. Als Kugel gedacht, kommt ihm ein Radius zu von $1,5 \cdot 10^{-13}$ cm. Um uns eine Vorstellung von dieser Größe zu machen, denken wir uns ein solches negatives Elektron und gleichzeitig eine Kugel von 1 cm Radius, also etwa eine Kirsche, gleichmäßig aufgeblasen, bis die Kirsche die Größe unserer Erdkugel erreicht hat. Dann ist das negative Elektron gewachsen zu einer Kugel mit dem Radius von $1/1000$ mm.

Bis vor wenigen Jahren hat man sich hauptsächlich mit der Untersuchung der β -Strahlen, welche mit den Kathodenstrahlen identisch sind, beschäftigt und die α -Strahlen vernachlässigt. Es

hat sich indes gezeigt, daß letztere insbesondere für den Chemiker eigentlich viel interessanter sind. In erster Linie wichtig geworden ist die Beobachtung, daß die verschiedenen radioaktiven Körper Strahlen mit verschiedenen Eigenschaften aussenden. Bei allen wächst zunächst die ionisierende Wirkung der Strahlen auf die Luft mit zunehmendem Abstand von der Strahlungsquelle, um dann plötzlich in einer bestimmten, aber für die verschiedenen aktiven Körper verschiedenen großen Entfernung zu erlöschen, offenbar weil an dieser Stelle die Energie der Strahlen unter einen bestimmten Betrag gesunken ist. Wir haben also Strahlen mit verschiedenen großem Wirkungsbereich, verschieden großer Reichweite; diese schwankt zwischen 2,8 und 8,6 cm. Und zwar kommt nicht nur dem Radium, Thorium, Aktinium eine sich stets gleichbleibende Reichweite der α -Strahlen zu, sondern auch z. B. der vom Radium entwickelten Emanation oder der daraus entstehenden sog. induzierten Aktivität = RaA. Und zwar liegt die Sache so, daß z. B. die für die Emanation charakteristischen Strahlen mit bestimmter Reichweite stets nach einer gewissen Zeit verschwunden sind und nunmehr Strahlen mit anderer Reichweite auftreten, welche ihrerseits wiederum nach einer gewissen, bei Wiederholung des Versuches aber stets gleichen Zeit einer dritten Art Strahlen Platz machen. Wir müssen also schließen, daß die radioaktiven Körper einem stufenweisen, nach bestimmten Zeitgesetzen verlaufenden spontanen Zerfall unterliegen unter Bildung von Zwischenprodukten, von denen jedes einzelne charakterisiert ist einmal durch die Reichweite der von ihnen ausgesandten Strahlen und andererseits eben durch die Zeit, innerhalb deren es sich in das nächste umwandelt. Diese Zerfallszeiten sind bestimmt worden, und man gibt sie an entweder als sog. mittlere Lebensdauer oder als sog. Halbwertzeitkonstante, d. i. die Zeit, innerhalb deren sich die Menge des betreffenden radioaktiven Körpers auf die Hälfte seines Anfangsbetrages vermindert. Dabei folgen alle diese Umwandlungen einem Exponentialgesetz von der Form $J_t = J_0 e^{-\lambda t}$, worin J_t die Intensität zur Zeit t , J_0 die Anfangsintensität, e die Basis der natürlichen Logarithmen und λ eine für jeden radioaktiven Körper charakteristische Konstante ist. Durch Beobachtung der Intensität in verschiedenen Zeitintervallen läßt sich diese Konstante λ bestimmen und die Kurve, nach welcher ein aktiver Körper verschwindet, die sog. Abklingungskurve, konstruieren. Die beistehende Kurve ist die Abklingungskurve der induzierten Aktivität des Ra. (Fig. 2.)

Nicht immer ist allerdings der Zerfall von einer Aussendung von α -Strahlen begleitet. In manchen Fällen werden auch nur β -Strahlen ausgesendet, ja in einzelnen Fällen scheint die Umwandlung ohne jede Aussendung von Körperstrahlen, also lediglich durch innere Umlagerung kleinster Teilchen vor sich zu gehen. Sie macht sich in diesem Falle dadurch bemerkbar, daß zunächst die Strahlen verschwinden und eine bestimmte Zeitlang überhaupt keine Strahlung zu bemerken ist, worauf dann plötzlich Strahlen mit bestimmter Reichweite wieder einsetzen. Am besten studiert sind die Zerfallsreihen des Ra und Th. Wie aus der Tabelle (Fig. 3) hervorgeht, schwankt die mittlere Lebensdauer

der einzelnen Produkte zwischen 500 Mill. Jahren und wenigen Sekunden. Auch die Art der beim Zerfall der einzelnen Produkte ausgesendeten Strahlen ist in der Tabelle vermerkt.

Wenn nun, wie wir hiernach sehen, z. B. ständig aus dem U das Ra entsteht, so könnte es scheinen, als ob sich im Laufe geologischer Zeiten große Mengen Ra angehäuft haben müßten oder anhäufen würden. Daß dies nicht der Fall sein kann, hat Soddy sehr hübsch an einem handgreiflichen Beispiel klargemacht. Er sagt: wenn jemand täglich 10 Mineralien sammelt, so wird er am Jahresende 3650 Stück besitzen. Sammelt er aber täglich zehn Schmetterlingspuppen, so hat er am Jahresende nicht 3650, sondern weniger, da eine Anzahl Schmetterlinge ausgekrochen ist. Es wird sich nach einer bestimmten Zeit ein Beharrungszustand ausbilden, in welchem die Zahl der Schmetterlingspuppen konstant bleibt, da täglich ebensoviel hinzukommen, als auskriechen. Wie groß diese konstante Zahl ist, wird abhängig sein vom Verhältnis der Zahl der täglich neu hinzukommenden Puppen zu ihrer Lebensdauer. Genau so liegen die Verhältnisse bei der Umwandlung des Urans zu Radium. Auch hier

alle diese Fragen haben wir zum Teil recht befriedigende Antworten erhalten, welche geeignet erscheinen, der Erklärung des Wesens der Materie einen Schritt näher zu kommen.

Zunächst hat sich gezeigt, daß die von verschiedenen aktiven Körpern ausgehenden α -Strahlen zwar hinsichtlich ihrer Reichweiten verschieden, hinsichtlich der Art der transportierten Massenteilchen aber gleich sind. Darauf folgte die glänzende Entdeckung Ramsays, welcher nachwies, daß alle diese α -Strahlen als Endprodukt Helium liefern. Seine weiteren Angaben, daß unter geeigneten Bedingungen auch Argon, Neon und Lithium entstehen können, wurden von Frau Curie nicht bestätigt gefunden, von Ramsay zunächst selbst widerufen, neuerdings aber wieder aufrecht erhalten. Es ist nicht zu leugnen, daß, wenn sich diese Angaben tatsächlich bestätigen sollten, damit für die Erklärung der Erscheinungen neue Schwierigkeiten erwachsen würden. Da, wie wir noch sehen werden, zu einer Änderung der Art des Zerfalls radioaktiver Körper ganz ungeheure Energien gehören, muß es von vorn herein unmöglich erscheinen, daß z. B. nach Ramsays Behauptungen hierzu bereits die Gegenwart von Wasser und das Eintreten einer Wasserzerersetzung genügen könnte; insbesondere ist auch die Ursache nicht ersichtlich, welche zum Eintreten einer neuen Wirkung, d. h. zum Einsetzen eines andersartigen Verlaufs des Zerfalls führen könnte. Bis zur Erbringung strikter experimenteller Beweise wird man daher vorläufig diese Sache auf sich beruhen lassen müssen.

Wenn wir uns nun erinnern, daß alle α -Strahlen ihrer stofflichen Natur nach gleich sind, und daß alle als Endprodukt Helium liefern, so ist es ein zwar kühner, aber immerhin noch der nächstliegende Schluß anzunehmen, daß die in den α -Strahlen fortgeschleuderten Massenteilchen von vornherein Helium sind, daß die α -Strahlen einfach bestehen aus bewegten positiv geladenen Heliumatomen. Auf Grund experimenteller Ergebnisse hat man auch die in Frage kommenden Mengen berechnet. Es ergibt sich, daß 1 g Ra in einer Sekunde $3,4 \cdot 10^{10}$ α -Teilchen aussendet und dabei im Gleichgewicht steht mit 0,585 cbmm Emanation. In einem Jahre entstehen schließlich aus 1 g Ra 158 cmm Helium.

Nehmen wir diese Hypothese als richtig an, so ergibt sich auch die Möglichkeit, die Natur der beim Zerfall zurückbleibenden Restprodukte zu ergründen. Das Atomgewicht des Heliums ist nahezu gleich 4. Gehen wir vom Uran mit dem Atomgewicht 239 aus, so wird, wenn das erste Zerfallsprodukt entstanden ist durch Abschleuderung eines Heliumatoms, sein Atomgewicht um 4 Einheiten kleiner sein müssen und so fort jedes folgende. Nun hat sich gezeigt, daß bis zur Entstehung des Radiums drei Zerfallsstufen unter Aussendung von α -Strahlen vorhanden sind, so daß das Atomgewicht des Radiums gleich $239 - 3 \cdot 4 = 227$ sein müßte, eine Zahl, die mit direkten Atomgewichtsbestimmungen ausgezeichnet übereinstimmt. Und gehen wir weiter, so sind uns noch weitere 5 Zerfallsstufen des Radiums mit Aussendung von α -Strahlen bekannt. Der zuletzt zurückbleibende Körper, bei dem wir einen weiteren Zerfall bis jetzt nicht beob-

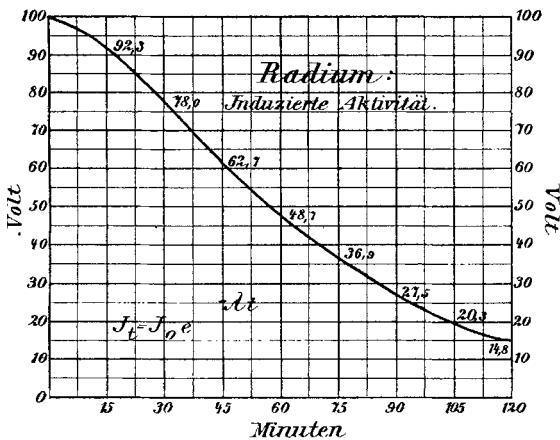


Fig. 2.

muß sich ein bestimmter Beharrungszustand herausgebildet haben, da ja das Radium seinerseits wieder in Emanation zerfällt. Unter Berücksichtigung der mittleren Lebensdauer der einzelnen Produkte hat man berechnet, daß immer nur 1 T. Ra auf 2 600 000 Teile Uran vorhanden sein kann. Vom Polonium, dessen Lebensdauer nur $1/2000$ von derjenigen des Radiums ist, wird natürlich noch viel weniger vorhanden sein und gewonnen werden können. Die Menge der einzelnen zu gleicher Zeit auf der Erde vorhandenen aktiven Körper kann hiernach ein bestimmtes Maximum nicht überschreiten.

Es entstehen nun weiter noch einige Fragen: Aus was besteht die Masse der α -Strahlen und was bleibt zurück? Geht der Zerfall in andere Produkte immer weiter, oder erreicht er mit Entstehung eines bestimmten stabilen Produktes ein Ende und was ist ev. dieses stabile Endprodukt? Endlich die Frage: Sind die Vorgänge des Zerfalls hinsichtlich Dauer und Stärke wirkliche unabhängige Konstanten, oder werden sie durch Druck, Temperatur oder andere Umstände beeinflußt und verändert? Auf

achten können, mußte also das Atomgewicht $227 - 5.4 = 207$ haben (vgl. Fig. 3). Von den uns bekannten Elementen weist das Blei dieses Atomgewicht auf. Es ist also die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß als letztes stabiles Umwandlungsprodukt der Zerfallsreihe des Urans das Blei anzuschen ist. Tatsächlich findet sich ja auf der ganzen Welt kein Uranerz, welches nicht Blei enthielte. Ein Bleigehalt gehört direkt zur chemischen Konstitution des Minerals Uranpecherz. Übrigens ist auch das Helium ein häufiger, wenn nicht ständiger Begleiter des Urans in den verschiedensten Mineralien.

Ähnlich bei Thorium mit dem Atomgewicht 232,5. Hier kennen wir 6 Zerfallsstufen, die von einer Aussendung von α -Strahlen begleitet sind. Das hypothetische stabile Endprodukt mußte demnach ein Atomgewicht von $232,5 - 6 \cdot 4 = 208,5$ aufweisen. Ein Element mit diesem Atomgewicht ist das Wismut. Tatsächlich ist auch hier ein Zusammenvorkommen von Thor und wismuthaltigen Mineralien keine Seltenheit. Nicht verschwiegen werden soll, daß in Wirklichkeit noch einige Schwierigkeiten der Erklärung dieser Verhältnisse vorliegen, besonders hinsichtlich der Größe der elektrischen Ladung der nach unserer Annahme abgeschleuderten Heliumteilchen, die indes nicht unüberwindlich erscheinen.

Für die Beantwortung der weiteren vorhin gestellten Fragen ist es von prinzipieller Wichtigkeit, zu wissen, ob in der Tat die Zerfallsgeschwindigkeit der einzelnen Zerfallsprodukte wirklich eine vollkommen unabhängige Konstante ist, oder ob sie abhängig ist von Faktoren, wie Druck und Temperatur. Denn wenn letzteres der Fall ist, so wird man annehmen müssen, daß diejenige Art des Zerfalls, wie wir sie jetzt beobachten, nur eine durch die gerade jetzt an der Erdoberfläche herrschenden Verhältnisse bedingte ist, daß der Zerfall aber auch in weit zurückliegenden Zeiten in anderer Weise vor sich gegangen sein kann, daß er in Zukunft ein anderer sein wird, daß er u. a. auch ganz zum Stillstand kommen kann. Bis vor kurzem nun glaubte man, die absolute Unveränderlichkeit der Zerfallskonstanten annehmen zu müssen, da sich z. B. die Abklingungskurve der Radiumemanation nicht änderte innerhalb des Temperaturintervalls von -150 bis $+150^\circ$ oder innerhalb des Druckintervalls von Bruchteilen einer Atmosphäre bis zu 2000 Atmosphären. Neuere Untersuchungen von Makower und Rupp haben es indes wahrscheinlich gemacht, daß die Temperatur einen Einfluß auf die Zerfallsgeschwindigkeit ausübt, wenn dieser innerhalb der Temperaturintervalle, die wir zu erzeugen vermögen, auch nur ein ganz minimaler ist, so daß es jedenfalls ganz anderer Temperaturen, Kräfte und vielleicht auch anderen Zeiträume, als sie uns zur Verfügung stehen, bedarf, um merkliche, wesentliche Änderungen herbeizuführen.

Wenn wir nun aber vorhin gesehen haben, daß unter den jetzt herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen aus gewissen — radioaktiven — Körpern mit hohem Atomgewicht durch Abscheidung von Heliumteilchen neue Produkte mit niedrigerem Atomgewicht entstehen können, daß sich aus dem Element Uran z. B. das Element Radium und weiterhin vielleicht Blei bilden kann, so scheint

die Möglichkeit, daß sich unter anderen Druck- und Temperaturbedingungen überhaupt allgemein Umwandlungen von Elementen in andere vollziehen können, nahegelegt, insbesondere auch die Entstehung von Elementen mit hohem Atomgewicht aus solchen mit niedrigem dadurch, daß Heliumatome angegliedert werden. Aus diesen Anschauungen heraus würde sich die, auch aus anderen Gründen schon längst vermutete Einheit und Kontinuität der Materie ergeben. Der Atombegriff, der sich für unsere chemischen Auffassungen als so hervorragend nützlich erwiesen hat, wäre damit keineswegs aufgehoben, sondern nur umgedeutet, indem wir uns die Atome der verschiedenen Elemente nicht mehr unteilbar und stofflich different denken, sondern bestehend aus einer unter gewissen Bedingungen stabilen Gruppierung einer verschiedenen Anzahl von Teilchen eines Urstoffes, wobei jeder solcher Gruppierung ein ganz bestimmter Komplex charakteristischer Eigenschaften kommt.

Wenn wir aber nun die beim Zerfall des Radiums

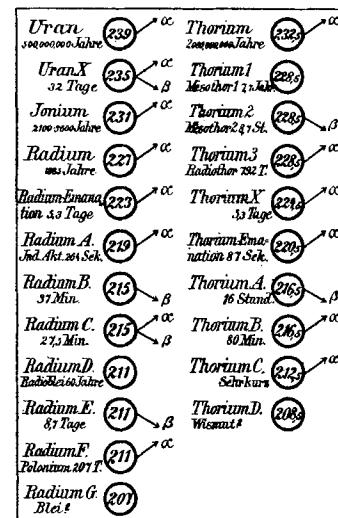


Fig. 3.

in die Erscheinung tretenden Energien in Rücksicht ziehen, so erscheint es zunächst für alle Zeit aussichtslos, derartige Umwandlungen von Elementen ineinander in merkbaren Mengen durch menschliche Hilfsmittel willkürlich herbeizuführen. Es wäre das, wie Soddy sehr treffend sagt, daselbe, als wenn wir versuchen wollten, ein Panzerschiff mittels eines Zündhütchens in die Luft zu sprengen. Und selbst den unwahrscheinlichen Fall angenommen, daß es gelingen sollte, z. B. Gold in dieser Weise herzustellen, so würde diese Herstellung nicht den Gewinn abwerfen, den die Alchymisten geträumt haben. Denn, um Gold aus einem Element mit niedrigerem Atomgewicht, z. B. Silber zu erzeugen, wären zur Beschaffung der erforderlichen Energie so ungeheure Kosten aufzuwenden, daß der Wert des hergestellten Goldes dazu in keinem Verhältnis stände. Wollte man es aber aus einem Element mit höherem Atomgewicht, z. B. Blei erzeugen, so würde die dabei freiwerdende Energie

das Wertvolle sein, dem gegenüber das erhaltene Gold dem Werte nach nur ein nicht in Betracht kommendes Abfallprodukt darstellen würde.

Schließlich können wir nun auch noch die Frage beantworten, ob die Aktivität, d. h. die Neigung, durch Zerfall neue Körper zu bilden, nur den jetzt als radioaktiv bekannten Elementen zukommt, oder ob sie eine allgemeine Eigenschaft aller Elemente ist. Das letztere ist nach den bisher entwickelten Anschauungen wahrscheinlich. Die uns jetzt inaktiv erscheinenden Elemente würden dann diese Wandlung bereits durchgemacht haben, in der sich die radioaktiven Elemente, welche auffallenderweise diejenigen mit dem höchstem Atomgewicht sind, noch befinden. Unsere stabilen Elemente sind durch Abbau aus diesen letzteren entstanden und erscheinen uns nur deshalb inaktiv und stabil, weil sie unter den gerade jetzt herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen nicht weiter zu zerfallen vermögen, oder weil ihr Zerfall unter diesen Bedingungen so langsam vor sich geht, daß er sich unserer Beobachtung entzieht. Wenn vielleicht in ferner Zukunft die Verhältnisse auf unserer Erde sich geändert haben, so könnte dann der Zerfall auch der jetzt inaktiv erscheinenden Elemente wieder einsetzen, und sie könnten dann bis auf Elemente mit immer niedrigerem Atomgewicht und schließlich bis zum gänzlichen Übergang in den einfachen Urstoff abgebaut werden.

Diese Überlegungen verhelfen uns endlich noch zu einem interessanten Schluß auf geologischem Gebiete. Die Tatsache, daß die Temperatur der Erdkruste nach dem Erdinnern ständig zunimmt — etwa 1° auf je 30 m Tiefe — hat man bislang immer mit dem Vorhandensein eines zentralen glutflüssigen Kernes zu erklären versucht. Jetzt können wir noch eine andere plausible Erklärung dafür geben. Wir wissen, daß ein Teil der von den radioaktiven Körpern bei ihrem Zerfall ausgesendeten Energie sich in Wärme umsetzt. 1 g Ra entwickelt in der Stunde etwa 113 cal. Nun enthalten, wie wir früher sahen, die Gesteine überall auf der Erde radioaktive Körper. Nach Berechnungen Rutherford's würde bereits ein durchschnittlicher Gehalt von $4,6 \cdot 10^{-14}$ g in 1 g Gestein genügen, um die vorhandene Temperatursteigerung hervorzubringen. Tatsächlich ist der nachgewiesene Gehalt der Gesteine aber noch wesentlich größer, etwa von der Größenordnung 10^{-12} g d. i. das Zwanzig- bis Dreißigfache des berechneten. In Wirklichkeit müßte also die Wärmeentwicklung auch vielmal größer sein, als sie der beobachteten Temperatursteigerung entspricht. Man hat zunächst diese Schwierigkeit zu erklären versucht durch die Annahme, daß nur eine verhältnismäßig dünne Kruste der Erde radioaktive Stoffe enthalte. Das ist aber gezwungen und unwahrscheinlich. Jetzt, nachdem wir es als möglich anzusehen haben, daß der Zerfall radioaktiver Stoffe abhängig ist von äußeren Einflüssen, haben wir eine viel einleuchtendere Erklärung, wenn wir annehmen, daß mit dem mit der Tiefe zunehmenden Druck der Zerfall verlangsamt wird, in gewisser Tiefe zum Stehen kommt und noch weiter unten die Vorgänge vielleicht sogar in umgekehrter Richtung unter Bildung von Elementen mit den höchsten Atomgewichten verlaufen, wobei natürlich sogar Wärme

gebunden wird. Diese Ansicht findet eine recht glückliche Stütze in der Tatsache, daß das durchschnittliche spez. Gew. unserer Erde etwa doppelt so groß ist, als dasjenige der Gesteine der Erdkruste, so daß sich also im Erdinnern notwendigerweise Elemente mit hohem spez. Gew. und damit zusammenhängend mit hohem Atomgewicht angereichert vorfinden müssen.

Auch würde sich mit dieser Annahme ungewöhnlich die Tatsache erklären, daß gerade Eruptivgesteine die Träger besonders stark aktiver Eigenschaften sind. Diese Gesteine, welche in glutflüssigem Zustand bis tief ins Erdinnere hinabreichen, tragen bei ihrem Emporsteigen die in der Tiefe befindlichen und dort noch stabilen Elemente mit hohem Atomgewicht empor und bringen sie damit in die höheren Zonen der Erdkruste, wo Verhältnisse herrschen, unter denen nunmehr ihr Zerfall einsetzen kann.

M. H.! Im vorstehenden habe ich einen kleinen Teil der neueren Ergebnisse der Radiumforschung in gedrängter Kürze zusammengestellt, ohne dabei auf irgendwelche Vollständigkeit oder auch nur einigermaßen Erschöpfung dieses Gebietes Anspruch zu machen, eines Gebietes, welches bereits eine ungeheure Ausdehnung erlangt hat und von Tag zu Tag noch mehr erlangt. Von zahllosen Händen wird jetzt an dem Weiterausbau dieses neuesten Zweiges experimenteller und spekulativer Wissenschaft gearbeitet, und jeder Tag kann uns neue und überraschende Aufschlüsse bringen. Es ist ja auch eine recht verlockende Arbeit. Denn mit den neuen, von den altgewohnten Theorien zum Teil so gänzlich abweichenden Auffassungen ist uns ein Rüstzeug gegeben, mit dem wir vielleicht hoffen dürfen, unter anderem einen Schritt vorwärts zu tun in der Erkenntnis des Wesens der Materie, dieses Problems, welches die Besten der Wissenschaft schon seit altersher beschäftigt hat. Freilich unendlich vieles ist noch dunkel, und es zeigt sich mehr und mehr, daß jede Auffindung neuer Tatsachen auf diesem Gebiete uns nicht nur vor eine, sondern meist vor eine ganze Anzahl neuer Fragen stellt, auf welche wir die Antwort erst noch suchen müssen. Wenn wir also in aller Bescheidenheit vielleicht auch annehmen dürfen, daß uns jetzt tatsächlich ein Schritt vorwärts gelungen ist, und wenn wir auch hoffen dürfen, auf dem eingeschlagenen Wege noch weiter vorwärts zu kommen, so wäre es doch vermessens, zu glauben, daß dieser eine Schritt nun schon ein erheblicher Teil derjenigen Strecke ist, die uns noch von der vollen Erkenntnis trennt, von der wir vielleicht sogar annehmen müssen, daß sie durch Menschenwissen und Menschenkönnen überhaupt niemals erreicht werden wird. Denn: Ins Innere der Natur dringt kein erschaffener Geist.

Über die Bestimmung des Zinks und die Analyse von Zinkerzen.

Von Dr. K. Voigt.

Mitteilung aus dem Laboratorium der Firma Paul Schmidt u. Desgraz, Techn. Bureau, G. m. b. H., Hannover.

(Eingeg. 11.9. 1909.)

Vor kurzem hat in dieser Z.¹⁾ V a u b e l eine neue Methode der Bestimmung von Zink, Kupfer

1) 22. Jahrg. (1909) Heft 35 (27./8.). S. 1716.