

# Zeitschrift für angewandte Chemie

Seite 289—304

Aufsatzeil

23. Mai 1913

## Neuere Forschungen auf dem Gebiete der Radioaktivität in den Jahren 1911 und 1912.<sup>1)</sup>

Von Prof. Dr. F. HENRICH.

(Eingeg. 24.4. 1913.)

### Inhaltsübersicht :

Die Atomzerfallshypothese. — Messung der Radioaktivität; die zwei Hauptmethoden, Radiumstandards, Definition von 1 Curie, Einheiten für die Aktivität von Wässern und Gasen. —  $\alpha$ -Strahlen, Neubestimmung der Reichweite, Zerlegung des Urans, der Th.- und Akt.-Emanation. —  $\beta$ -Strahlen. —  $\gamma$ -Strahlen. —  $\delta$ -Strahlen. — Physikalische und chemische Wirkungen der Strahlen, Zerlegung des Wassers durch Radiumemanation. — Verhältnis von Uran zu Radium in Mineralien, Ausnahmestellung des Autunits. — Die Uran-Radiumreihe, UrY, ein Zweigprodukt von Ur II. — Die Aktiniumreihe. — Die Thoriumreihe. Analogien in den drei Zerfallsreihen. — Die Radioelemente im periodischen System. — Die Radioaktivität der Erde, Quellwässer und der Atmosphäre. —

Auch in den letzten zwei Jahren hat sich die Atomzerfallshypothese oder, wie sie auch heißt, die Transformations- oder Desintegrationstheorie als eine sehr brauchbare Arbeitshypothese bewährt. Sie sei kurz nach dem augenblicklichen Stande der Forschung wiedergegeben. Schon Becquerel und die Curies waren zu dem Resultat gekommen, daß die Radioaktivität eine Eigenschaft des Atoms sein müsse. Die Natur der chemischen Bindung, in der sich ein radioaktives Atom befindet, ist ebensowenig von Einfluß auf die Stärke der Radioaktivität, wie die physikalischen Verhältnisse. Das wurde durch die Isolierung des metallischen Radiums bestätigt. Es besaß wirklich die Eigenschaften, die es besitzen mußte, wenn die Radioaktivität eine Eigenschaft des Elementes war. Rutherford und Soddy hatten auf den Befund von Becquerel und Curie hin, im Jahre 1904 die schon erwähnte Atomzerfallshypothese aufgestellt: Die Atome der radioaktiven Elemente sind einem allmäßlichen Zerfall unterworfen. Je ein Atom zerfällt in einem bestimmten Zeitelement mit explosionsartiger Heftigkeit. Dabei treten je nach der Natur des Elementes  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -Strahlen auf, und es bilden sich aus je einem zerfallenden neuen Atome, die von den zuerst vorhandenen ganz verschieden sind. Diese neuen Atome sind nun ebenfalls unbeständig und zerfallen ihrerseits wieder explosionsartig unter Aussendung einer charakteristischen Strahlung und Bildung neuer instabiler Atome, die sich analog zersetzen. Diesen explosionsartigen Atomzerfall hat man mit dem Schuß einer Kugel aus einer Kanone verglichen. Wenn die Kugel (hier die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen) herausfliegt, erhält die Kanone (hier das neu gebildete Atom) einen Stoß, der nach der entgegengesetzten Seite gerichtet ist, wie das Geschoß. Man nennt diesen Stoß bei der Kanone Rückstoß, und diesen Rückstoß hat man auch bei den zerfallenden Radioelementen nachgewiesen. Sie werden dadurch an die Wände des Gefäßes geschleudert, in dem der Zerfall stattfindet, und haften darin als aktiver Niederschlag. Der Atomzerfall geht so durch eine Reihe von radioaktiven Zwischenatomen weiter und macht schließlich bei einem Atom halt, das wenigstens nach dem Bereich unserer Meßmethoden nicht mehr merklich zerfällt. Aus Uran soll so über die unten angegebenen radioaktiven Zwischenprodukte Blei entstehen. Es ist indessen

bisher trotz mehrfacher Versuche noch nicht gelungen, diesen Übergang experimentell sicher nachzuweisen. Das ist noch ein schwacher Punkt in der Atomzerfallshypothese. Freilich sind die Schwierigkeiten, diese Umwandlungen nachzuweisen, sehr groß.

Das Gesetz, nach dem sich der Atomzerfall vollzieht, sei durch folgendes Beispiel erläutert. Es seien in der Zeit 0  $N_0$  Atome vorhanden, und nun gehe der Zerfall vor sich, dann zeigt die folgende Tabelle die Abhängigkeit des Zerfalles von der Zeit:

| Zeit     | Zahl der vorhandenen Atome                        |
|----------|---|
| 0        | $N_0$   |
| 1        | $Z \cdot B \cdot \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{2^1}$ |
| 2        | $\frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$                 |
| 3        | $\frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3}$                 |
| $\vdots$ | $= \frac{N_0}{2^t} = N_t$                         |

Wenn also die Zeit in arithmetischer Reihe wächst, nimmt die Anzahl der Atome, also die Substanzmenge, in geometrischer Reihe ab. Das ist ein bekanntes Exponentialgesetz, das man allgemein folgendermaßen formuliert hat:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N_t$  = Zahl der Atome zur Zeit  $t$ ,

$N_0$  = Zahl der anfangs vorhandenen Atome,

$e$  = Basis der natürlichen Logarithmen = 2,71828....

$\lambda$  = Bruchteil der in 1 Sek. sich umwandeln den Atome.

Dies Gesetz gilt für alle einheitlichen Radioelemente.  $\lambda$  kann zur Charakterisierung der verschiedenen Radioelemente benutzt werden. Die Zahlenwerte von  $\lambda$  sind für die verschiedenen Radioelemente verschieden. Aber für ein und dasselbe Radioelement hat  $\lambda$  stets den gleichen Zahlenwert. Darum hat man  $\lambda$  als „Radioaktivitätskonstante“ bezeichnet. Manche nannten dann den Wert  $\frac{1}{\lambda}$  „durchschnittliche oder mittlere Lebensdauer eines Radioelementes.“

Es hat sich aber als zweckmäßiger und anschaulicher erwiesen, anstatt der Konstanten  $\lambda$  die sog. „Halbwertszeit“ oder „Halbwertsperiode“ HC einzuführen. Man versteht darunter die Zeit, in der die Hälfte der anfangs vorhandenen Atome (also Substanz) zerfallen sind. Die Halbwertszeit läßt sich aus  $\lambda$  leicht berechnen, und es ist allgemein:

$$HC = \frac{0,6932}{\lambda}$$

HC beträgt z. B. für Radiumemanation 3,85 Tage, für Radium selbst 2000 Jahre, für Thoriumemanation 54 Sekunden usw.

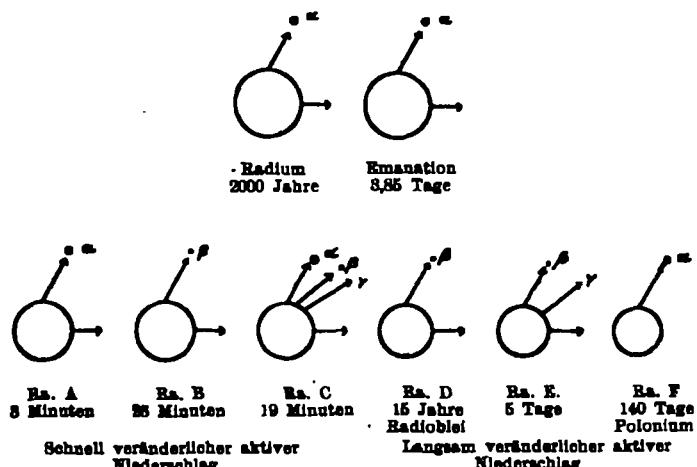
Der Atomzerfall verläuft also bei jedem Radioelement mit bestimmter Geschwindigkeit, und man kennt heute noch kein Mittel, ihn zu beschleunigen oder zu verzögern.

Für die schon oft diskutierte Ansicht, daß alle Elemente radioaktiv sind, daß die meisten aber eine so große Umwandlungsperiode haben, daß sie uns als nicht radioaktiv erscheinen, hat man bisher wesentliche Anhaltspunkte nicht finden können.

Nach wie vor leiten sich die wichtigsten radioaktiven Substanzen von zwei Elementen von hohem Atomgewicht ab, nämlich von Uran (238,5) und von Thorium (232,4), und der Anschaulichkeit wegen sei aus der Uranreihe der Atomzer-

<sup>1)</sup> Hier konnten nur die wichtigsten neueren Arbeiten berücksichtigt werden. Für eingehenderes Studium seien an neu erschienenen Werken empfohlen: Curie, „Die Radioaktivität“, übersetzt von B. Finkelstein. 2. Bd. 1912. — Ganz neu ist Rutherford, „Radioactive Substances and their Radiations“. Cambridge 1913. — F. Soddy, „Die Chemie der Radioelemente.“ Deutsch von Iklé. Leipzig, Barth. 1912.

fall des Radiums in einem von Rutherford benutzten Schema wiedergegeben.



Zwei andere Elemente, Kalium und Rubidium, besitzen ebenfalls sicher geringe Aktivität, doch hat hier die Forschung trotz mehrfacher Ansätze noch keine so ausgiebigen Resultate erzielt wie beim Uran und beim Thorium. Alle Radioelemente zerfallen nach dem oben mitgeteilten Gesetz aber mit verschiedener Geschwindigkeit und senden bei diesem Zerfall eine für sie charakteristische Strahlung aus. Die Beständigkeit der Radioelemente schwankt in überaus starker Weise zwischen Tausendsteln einer Sekunde und geologischen Zeiträumen.

Wenn nun die Zerfallsprodukte eines radioaktiven Atoms nicht fortgenommen werden können, wie es oft in einem radioaktiven Mineral der Fall ist, dann sammeln sie sich im Mineral an, und es bildet sich ein Gleichgewicht aus, bei dem in der Zeiteinheit ebenso viele radioaktive Atome zerfallen als sich neu bilden. Dabei gilt die Erfahrung, daß ein schnell sich umwandelndes Produkt von seinem Vaterelement mit entsprechender Schnelligkeit regeneriert wird, ein sich langsam zersetzendes mit entsprechender Langsamkeit.

**Messung der Stärke der Radioaktivität.** Da es sich bei den radioaktiven Substanzen um Körper von erheblichem praktischen und theoretischen Interesse handelt, so ist die Messung der Stärke ihrer Aktivität von großer Bedeutung. Das gilt besonders für das Radium. Das praktische Bedürfnis erstreckte sich bisher auf die Bestimmung von Aktivitäten, die einem Milliontelmilligramm entsprechen, bis zu solchen, die etwa einem Gramm Radium äquivalent sind. Dafür haben sich für den allgemeineren Gebrauch besonders zwei Methoden eingeführt, die man kurz als  $\gamma$ -Strahlen- und als Emanationsmethode bezeichnet hat. Erstere dient zur Messung relativ starker, letztere zur Bestimmung relativ schwacher Aktivitäten.

Nach der  $\gamma$ -Strahlenmethode mißt man Aktivitäten, die  $\frac{1}{10}$  bis 1 g Radium entsprechen. Manche  $\gamma$ -Strahlen, besonders die des RaC, durchdringen Bleiplatten von 5 mm Dicke ohne erhebliche Absorption. Die Intensität der  $\gamma$ -Strahlung des Radiums kann seiner Menge proportional gesetzt werden. Man benutzt zur Messung der Aktivität nach der  $\gamma$ -Strahlenmethode ein Elektroskop, das in einen Kasten aus ca. 3 mm dicken Bleiplatten eingebaut ist, der etwa 1 l Inhalt hat. Wenn möglich, verwendet man zur Herstellung dieses Kastens Bleiplatten, die schon längere Zeit anderweitig in Gebrauch waren, weil sich in frisch hergestellten Bleiplatten stets etwas Radioblei vorfindet, das die Luftzerstreuung erhöht.

Hat man ein Radiumpräparat von bekanntem Gehalt zur Verfügung, so kann man den Prozentgehalt irgendeines anderen Präparates an Radium rasch dadurch bestimmen, daß man seinen Spannungsabfall mit dem vergleicht, den das erste Präparat hervorruft. Voraussetzung ist es dabei, daß das zu untersuchende Material keine anderen radio-

aktiven Substanzen als Radium enthält. Soll die Messung exakt ausgeführt werden, so darf das radioaktive Präparat erst einen Monat nach seiner Herstellung untersucht werden und muß so lange hermetisch verschlossen, am besten in Glas eingeschmolzen liegen bleiben, bis sich das Gleichgewicht zwischen Ra und seinen Zerfallsprodukten hergestellt hat. Für eine annähernde Bestimmung kann diese Vorsicht unterbleiben. Ein Beispiel möge eine Bestimmung des Radiumgehaltes auf diesem Wege erläutern<sup>2)</sup>: Eine Vergleichs-Pechblende möge 80% Uran enthalten. In einer Menge von 25 g auf den Deckel des Elektroskops gebracht, verursache sie einen Spannungsabfall von 15 Skalenteilen pro Minute. Das Präparat, dessen Uran- und Radiumgehalt man bestimmen will, werde in einer Menge von 40 g auf das Elektroskop gebracht und verursache einen Abfall von 10,4 Skalenteilen pro Minute. Dann ist die Menge Uran in dem Präparat

$$= \frac{25}{40} \cdot \frac{10,4}{15} \cdot 60 = 26\% \text{ U.}$$

Da nun beim Gleichgewicht das Verhältnis von met. Radium zum met. Uran durch die konstante Zahl  $3,2 \times 10^{-7}$  ausgedrückt wird, so beträgt die Radiummenge pro Tonne des radioaktiven Materials  $0,28 \times 0,32 = 0,083 \text{ g}$ .

Bei relativ niedrig-prozentigen radioaktiven Substanzen nimmt man größere Mengen Substanz, bei sehr hochprozentigen legt man das Präparat in eine passende Entfernung vom Elektroskop.

Enthält ein Radiumpräparat Thorium, das ebenfalls  $\gamma$ -Strahlen aussendet, so kann man den Radiumgehalt aus einer solchen Messung ungefähr berechnen, wenn man gewisse Beiträge der Radio- und Mesothoriumstrahlung abzieht. Das Mesothorium vermehrt erfahrungsgemäß die  $\gamma$ -Strahlung um etwa ein Fünftel pro Einheit, das Radiothorium vermutlich um den gleichen Betrag. Da häufig Radiumpräparate durch Mesothoriumzusatz gefälscht werden, ist auf solche Verhältnisse Rücksicht zu nehmen. Nach Verlauf von mehreren Jahren, wenn die Mesothoriumaktivität so gut wie verschwunden ist, sinkt die Aktivität eines solchen Präparates auf den Wert der Aktivität des Radiums. Auf einen Gehalt eines Präparates an Mesothorium kann man so prüfen, daß man das Präparat in Wasser auflöst, eindampft und nach drei Stunden wieder mißt. Durch das Eindampfen ist die Radiumemanation entwichen, und nach der angegebenen Zeit hat das Mesothorium bereits seine  $\gamma$ -Aktivität entwickelt (s. später).

Die sog. Emanationsmethode dient zur Messung ganz schwacher und relativ schwacher Aktivitäten, wie sie in den meisten Quellwässern vorliegen. Man bringt die in dem Wasser gelöste Emanation in die Luft, die dann aktiviert und darauf hin elektroskopisch gemessen wird. Die Apparate, die dazu dienen, besonders Fontaktoskop und Fontaktometer, sind allgemein bekannt und darum braucht auf sie nicht näher eingegangen zu werden.

**Normalvergleichspräparat für radioaktive Messungen.** Sog. Radiumstandards. Einen Fortschritt von grundlegender Bedeutung haben wir auf dem Gebiete der Messung von Radiumpräparaten im letzten Jahre durch die Herstellung von Radiumnormalmassen, sog. Radiumstandards, zu verzeichnen. Früher nahm jeder Forscher bei der Ausführung von Messungen eine ihm passende radioactive Vergleichsubstanz. Welche Willkür in der Auswahl solcher Vergleichspräparate geherrscht hat, das zeigte eine Untersuchung von Rutherford. Er hatte vor etwa zwei Jahren die Normalpräparate, die in den verschiedenen europäischen Laboratorien in Gebrauch waren, verglichen und gefunden, daß sie bis zu 20% voneinander abweichen. Dadurch haben sich natürlich große Differenzen beim Vergleich der radioaktiven Messungen verschiedener Institute ergeben, und auch der Wert radioaktiver Konstanten war strittig. Schon lange war deshalb der Wunsch geäußert worden, daß alle Beobachter ihre Messungen auf eine und dieselbe Einheit beziehen möchten, und daß eine solche Einheit, ähnlich wie das Urmeter in Paris, etabliert werden möchte. Nachdem dann das metallische Radium durch Frau Curie isoliert worden war, wurde auf dem

<sup>2)</sup> Soddy, „Die Chemie der Radioelemente.“

Kongreß für Radiologie und Elektronik in Brüssel 1910 eine Kommission gewählt, die sich mit dieser Frage beschäftigen sollte. In ihr sind vertreten: Deutschland durch G. Eitel und Hahn, Frankreich durch Mad. Curie und Debierre, England durch Rutherford und Soddy, Österreich durch Meyer und v. Schweidler, die Vereinigten Staaten durch Boltwood und Canada durch Eve. Diese Kommission beauftragte Frau Curie damit, aus einer Menge Radiumsalz, die eine möglichst genaue Gewichtsbestimmung ermöglicht, eine Normalradiumeinheit herzustellen. Dieser Radiumstandard sollte in Paris aufbewahrt werden und nur zu vergleichenden Meßzwecken dienen. Von diesem Urmaß sollten dann Kopien und Unterkopien hergestellt werden, die den verschiedenen Ländern und Instituten zu Vergleichsmessungen dienen können.

Dies Programm des Brüsseler Kongresses ist jetzt verwirklicht. Wie wir ein Urmeter in Paris besitzen, so befindet sich dort jetzt auch ein von Frau Curie hergestellter Internationaler Radiumstandard. Er besteht aus 21,99 mg reinem Radiumchlorid (aus Joachimsthaler Pechblende), das in einem dünnen Glasgefäß versiegelt im „Bureau International des poids et mesures“ in Sèvres bei Paris aufbewahrt wird. Die Kosten des Radiums und der Herstellung des Standards trugen Herr und Frau Dr. G. T. Beilby. Im März 1912 verglich ein Internationales Komitee dieses Urmaß mit drei Präparaten von Radiumchlorid, die 10,11, 31,7 und 40,43 mg wogen. Dies Radiumchlorid war von Höning schmid aus Uraninit von Joachimsthal zum Zwecke der Atomgewichtsbestimmung hergestellt worden. Die Übereinstimmung zwischen allen Präparaten war eine gute, und die Abweichungen blieben in den Fehlergrenzen, jedenfalls innerhalb 1 : 300. Eines der Wiener Präparate wird als zweiter Standard in Wien etabliert.

Da die Radiumemanation bei vielen wissenschaftlichen Untersuchungen eine Rolle spielt, so wurde es für wünschenswert erachtet, auch eine Einheit für die Radiumemanationsmenge festzustellen. Man wählte in Brüssel die Menge Radiumemanation als Einheit, die mit 1 g Ra (als Element) im Gleichgewicht steht. und nannte sie den Curies zu Ehren 1 Curie. Der tausendste Teil dieser Einheit heißt 1 Millicurie und entspricht also der Menge, die mit 1 mg Ra im Gleichgewicht steht, der millionste Teil heißt 1 Mikrocurie.

Nach den neuesten Berechnungen von Rutherford ist das Volumen Radiumemanation, das mit 1 g met. Ra im Gleichgewicht steht gleich 0,59 cmm bei 0° und 760 mm. Nach Berechnungen von L. Flamm und H. Maché, die durch Versuche von St. Meyer und V. F. Heß<sup>3)</sup> bestätigt wurden, verursacht die mit 1 g Radium im Gleichgewicht befindliche Menge Emanation, also 1 Curie, einen Sättigungsstrom von  $2,7 \times 10^{-6}$  E. S. E.

Diese Einheit der Radiumemanation kann man auch benutzen, um den Emanationsgehalt der Quellwässer schärfer zu definieren als bisher. Die noch meist benutzten Mache-Einheiten sind sehr bequem, soweit balneologische Verhältnisse und angenehmere Werte in Betracht kommen, für scharf wissenschaftliche Angaben sind sie unzureichend. Hier erhält man genauere Werte, wenn man die Menge Radiumemanation in einem Wasser vergleicht mit der, die sich mit einer Radiumlösung von bekanntem Gehalt im Gleichgewicht befindet. Man kann dann auf eine bestimmte Radiummenge umrechnen. Schon auf dem Kongreß in Brüssel wollte man eine für solche Zwecke passende wässrige Radiumsalzlösung vorschlagen. Die Sache scheiterte aber daran, daß nach den damaligen Erfahrungen solche Lösungen sich nicht gut hielten. Eve hatte gefunden, daß solche Lösungen im Laufe einiger Jahre das Radium in nicht emanierender Form an den Wänden des Glasgefäßes ausschieden, wodurch der Gehalt an Emanation in der Lösung wesentlich geringer wurde. Es lag nahe, diese Ausscheidung dadurch zu verhindern, daß man das Radiumsalz in angesäuertem Wasser gelöst aufbewahrt. Das taten Rutherford und Boltwood, und diese Lösungen haben sich bis jetzt länger als

fünf Jahre unverändert gehalten. So empfiehlt denn Ruth erford<sup>4)</sup>, in folgender Weise mit der Vergleichslösung zu arbeiten.

Die Radiumlösung mit bekanntem Gehalt an Radiumsalz wird in einem Kolben aufbewahrt, in dem man sie immer zum Sieden erhitzen kann. Zunächst wird sie nach der Herstellung ausgekocht, noch heiß hermetisch verschlossen und so einen Monat lang stehen gelassen. Dann hat sich die Emanation bis zum Gleichgewicht mit der Radiumlösung entwickelt. Man verbindet nun zur Abtrennung der Emanation von der Lösung den Kolben mit einem teilweise evakuierten Gefäß, öffnet den Kolben und läßt den Überdruck sich nach den evakuierten Gefäßen hin ausgleichen. Nun erhitzt man die Radiumlösung zum Kochen und fängt (etwa in einem vorgelegten Azotometer) die Emanation der Lösung zusammen mit der im evakuierten Gefäß mit Luft gemischt über warmem Wasser auf, weil sich die Emanation darin nur in geringer Menge löst. Diese ausgekochte und emanationshaltige Luft führt man in ein teilweise evakuiertes Elektroskop über und mißt nach dem Ausgleich des Druckes den Abfall. Nach Rutherford ist diese Methode wesentlich genauer als die, nach der man die Emanation durch Durchquirlen von Luft aus der Lösung entfernt. Beim Auskochen verursacht die Menge Emanation, die sich im Gleichgewicht mit einem Milliontelmilligramm Radium entwickelt, eine relativ rasche Entladung, und noch ein Hundertstel dieser Menge kann mit vollkommener Sicherheit bestimmt werden. Die Methode ist also sehr empfindlich und sicher.

C. Engler und H. Sieveking hatten früher vorgeschlagen<sup>5)</sup> als Einheit das elektromagnetische Maß der Stromstärke zu wählen und dasselbe mit  $10^{18}$  oder einer Billion zu vergrößern, um keine zu unübersichtlichen kleinen Zahlen zu erhalten. Diese Einheit läßt sich leicht in „Curie“ umrechnen.

Um die Radioaktivität von Gasen einheitlich auszudrücken, machen Engler und Sieveking besondere Vorschläge<sup>6)</sup>. Sie verwerfen hier die oft angewandte Angabe in Mache-Einheiten und stellen folgende Vorschläge zur Wahl.

1. Den Voltabfall pro Stunde unter genauer Angabe des benutzten Apparates zu registrieren.

2. Die Sättigungsstromstärke elektrostatisch oder elektromagnetisch anzugeben.

3. Noch besser die Anzahl der Ionen anzugeben, die in einem Kubikzentimeter enthalten sind.

Zur Berechnung des letzteren Wertes braucht man nur die Sättigungsstromstärke zu dividieren durch die Einheit der elektrischen Ladung. Zur Berechnung dieses vorgeschlagenen Falles geben Engler und Sieveking<sup>7)</sup> folgendes Zahlenbeispiel: „Mit einem Elster-Geitelschen Elektroskop sei eine Ionisierungskammer von zwei Liter verbunden. Die Kapazität des Elektroskop bei aufgesetztem Zerstreuungszylinder, der in die Ionisierungskammer isoliert eingeführt ist, beträgt 12 cm. Beobachtet wurde ein Abfall von 20 Volt pro Stunde. Dann ist die Sättigungsstromstärke

$$= \frac{20}{300} \cdot \frac{12}{3600} = 2 \cdot 2 \times 10^{-4} \text{ elektrostat. E.} \\ = 0,75 \times 10^{-13} \text{ Ampère.}$$

Ist g die Anzahl Ionen im Kubikzentimeter und  $1,55 \times 10^{-19}$  Coulomb die Elektrizitätsmenge eines Ions, so folgt aus der Gleichung:  $0,75 \times 10^{-13} = g \times 2,000 \times 155 \times 10^{-19}$  für g der Wert 242. Im Kubikzentimeter sind also 242 Ionen enthalten.“

#### $\alpha$ -Strahlen.

Die  $\alpha$ -Strahlen, welche von einer Anzahl von Radioelementen ausgesendet werden, haben alle gewissermaßen die gleiche Grundmasse. Sie unterscheiden sich nur durch die verschiedene Geschwindigkeit, mit der diese Masse von den betreffenden Radioelementen abgeschleudert wird. Nach Rutherford ist die Grundmasse eines  $\alpha$ -Strahles ein Heliumatom, das eine doppelte positive elektrische Ladung

<sup>4)</sup> Rutherford, Radioactivity 1913, 661.

<sup>5)</sup> Z. anorg. Chem. 1907, 53.

<sup>6)</sup> Radium in Biologie und Heilkunde 1, 286 (1912).

<sup>7)</sup> Ibid. 288.

besitzt. Die Geschwindigkeit, mit der dieses positiv geladene Heliumatom abgeschleudert wird, ist für ein und dasselbe Radioelement innerhalb 0,5% konstant, für verschiedene Radioelemente aber verschieden. Sie schwankt zwischen 5—7,5% der Lichtgeschwindigkeit. Ersterer Wert kommt den  $\alpha$ -Strahlen des Urans, letzterer denen des ThC zu. Die Anfangsgeschwindigkeit eines  $\alpha$ -Strahles ist somit eine für ein Radioelement charakteristische Größe. Schon lange vermutete man eine Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und damit der Durchdringbarkeit der  $\alpha$ -Strahlen und der Lebensdauer der sie emittierenden Elemente. Man glaubt, daß die Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Teilchen desto größer ist, je rascher das Radioelement, das sie aussendet, zerfällt. Streng beweisen ließ sich diese Gesetzmäßigkeit aber bisher nicht.

Die Eigenschaften dieser  $\alpha$ -Strahlen hat man durch sehr interessante und geistvolle Hypothesen interpretieren können. Wie gesagt, verlassen alle von einem Radioelement ausgeschleuderten  $\alpha$ -Strahlen das Atom mit genau der gleichen Anfangsgeschwindigkeit und vermindern diese Geschwindigkeit auch nach dem gleichen Gesetze, wenn sie durch ein und dasselbe Medium gehen. Ist dieses Medium z. B. Luft, so wird die Luft ionisiert, und dabei zeigt es sich, daß diese Ionisierung nur bis zu einem gewissen Abstand von dem ausschleudernden Element vor sich geht, dann aber plötzlich abbriicht. Man nennt diesen Abstand die „Reichweite“ eines  $\alpha$ -Strahles, und auch hier hat man beobachtet, daß die  $\alpha$ -Teilchen eines und desselben Radioelementes stets die gleiche Reichweite haben. Die Reichweiten der  $\alpha$ -Teilchen bestimmt man durch Fluorescenz oder durch photographische Versuche. K. Prizibram<sup>8)</sup> hat nun auch ein Verfahren gefunden, die Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen einem größeren Auditorium sichtbar zu machen<sup>9)</sup>. Neuerdings haben H. Geiger und J. M. Nutall<sup>10)</sup> die Reichweiten der  $\alpha$ -Teilchen verschiedener Radioelemente neu bestimmt und folgende Werte gefunden<sup>11)</sup>, die für normalen Barometerstand gelten:

|                                  | Reichweite in cm bei 0° | Reichweite in cm bei 15° | Geschwindigkeit des $\alpha$ -Strahls in cm pro Sek. |
|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Uranium I . . . . .              | 2,37                    | 2,5                      | $1,45 \times 10^9$                                   |
| Uranium II . . . . .             | 2,75                    | 2,9                      | $1,53 \times 10^9$                                   |
| Ionium . . . . .                 | 2,84                    | 3,0                      | $1,56 \times 10^9$                                   |
| Radium . . . . .                 | 3,13                    | 3,30                     | $1,61 \times 10^9$                                   |
| Ra-Emanation . . . . .           | 3,94                    | 4,16                     | $1,73 \times 10^9$                                   |
| Radium A . . . . .               | 4,5                     | 4,75                     | $1,82 \times 10^9$                                   |
| Radium C . . . . .               | 6,57                    | 6,94                     | $2,06 \times 10^9$                                   |
| Radium F . . . . .               | 3,58                    | 3,77                     | $1,68 \times 10^9$                                   |
| Thorium . . . . .                | 2,58                    | 2,72                     | $1,5 \times 10^9$                                    |
| Radiothorium . . . . .           | 3,67                    | 3,87                     | $1,7 \times 10^9$                                    |
| Thorium X . . . . .              | 5,4                     | 5,7                      | $1,94 \times 10^9$                                   |
| Th-Emanation . . . . .           | 5,2                     | 5,5                      | $1,90 \times 10^9$                                   |
| Thorium A . . . . .              | 5,6                     | 5,9                      | $1,97 \times 10^9$                                   |
| Thorium C <sub>1</sub> . . . . . | 4,73                    | 5,0                      | $1,85 \times 10^9$                                   |
| Thorium C <sub>2</sub> . . . . . | 8,15                    | 8,6                      | $2,22 \times 10^9$                                   |
| Radioaktinium . . . . .          | 4,55                    | 4,80                     | $1,83 \times 10^9$                                   |
| Aktinium X . . . . .             | 4,17                    | 4,4                      | $1,76 \times 10^9$                                   |
| Akt.-Emanation . . . . .         | 5,4                     | 5,7                      | $1,94 \times 10^9$                                   |
| Aktinium A . . . . .             | 6,16                    | 6,5                      | $2,02 \times 10^9$                                   |
| Aktinium C . . . . .             | 5,12                    | 5,4                      | $1,89 \times 10^9$                                   |

<sup>8)</sup> Wiener Ber. II, 121, 221.

<sup>9)</sup> Sehr schöne Methoden, nach denen man die ionisierenden Strahlen radioaktiver Substanzen sichtbar machen kann, sind von mehreren Seiten ausgearbeitet worden. C. F. R. Wilson (Roy. Soc. Lond. 85, 285; Nature 86, 404) benutzt die längst bekannte Tatsache, daß Ionen auf Wasserdampf kondensierend wirken können. Es gelang ihm durch entsprechende Versuchsanordnung, die Wege der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen in feuchtem Gas direkt sichtbar zu machen und zu photographieren. Dabei erhielt er verschiedene Erscheinungen bei  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen. Längs dem Wege jedes  $\alpha$ -Strahls entstehen nämlich durch Kondensation an den erzeugten Ionen dichte, scharf abgegrenzte Nebellinien, die man photographieren kann. Die Nebellinien, welche durch  $\beta$ -Strahlen erzeugt werden, sind feiner, dünner und ließen sich bisher noch nicht photographisch festhalten. Auch die Ionisation durch  $\gamma$ -Strahlen konnte so sichtbar gemacht werden.

M. Reinganum (Physikal. Z. 12, 1076) gelang es, den Weg der  $\alpha$ -Strahlen auf einer photographischen Platte dadurch zu verfolgen, daß er die  $\alpha$ -Strahlen streifend auftreffen ließ.

<sup>10)</sup> Phil. Mag. 22, 613 (1911).

<sup>11)</sup> Rutherford, Radioactivity 1913, 164; Geiger und Nutall, Phil. Mag. 22, 613.

Früher glaubte man, daß alle  $\alpha$ -Strahlen bei ihrem Durchgang durch Luft so lange ionisierend und auch photographisch wirken können, als sie noch eine Geschwindigkeit besitzen, die größer als 3% der Lichtgeschwindigkeit ist. War beim Durchgang eines  $\alpha$ -Strahles durch Materie seine Geschwindigkeit auf diesen Wert gesunken, so sollte er sich zwar noch weiter bewegen können, aber dann nicht mehr ionisieren können. Nach neueren Untersuchungen von H. Geiger<sup>12)</sup> ist das indessen nicht der Fall. Dieser Forscher fand, daß die Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Strahlen gegen Ende ihrer von Ionisation begleiteten Bahn sehr rasch abnimmt und vermutlich am Schluß derselben den Wert Null erreicht. Nach Geiger besteht folgende Beziehung zwischen der Reichweite eines  $\alpha$ -Strahles und irgendeinem Punkt seiner Bahn: Die Geschwindigkeit des  $\alpha$ -Teilchens ist proportional der Kubikwurzel des noch zu durchlaufenen Weges. Nach Geiger und Nutall<sup>13)</sup> besteht eine einfache Beziehung zwischen der Lebensdauer eines radioaktiven Elements und der Reichweite seiner  $\alpha$ -Strahlen: Der Logarithmus der Reichweiten ist proportional dem Logarithmus der Halbwertszeiten. Danach kann man aus der Reichweite auf die Halbwertszeit schließen und umgekehrt.

Wie schon früher mitgeteilt wurde, ist es zuerst Ruthford und Geiger nach einer elektrischen Methode möglich geworden, die  $\alpha$ -Teilchen, die von einer radioaktiven Substanz in der Zeiteinheit ausgesendet werden, zu zählen. Bald darauf beschrieb Regener eine andere Methode zur Zählung von  $\alpha$ -Teilchen, die deshalb so bequem ist, weil sie die Lichtblitze zählt, die durch die  $\alpha$ -Teilchen auf einem Zinksulfidschirm hervorgebracht werden. Diese Methode ist inzwischen verfeinert und zur Entscheidung wichtiger Fragen herbeigezogen worden.

Man hatte früher angenommen, daß je ein zerfallendes Atom einer radioaktiven Substanz stets nur ein  $\alpha$ -Teilchen aussenden vermöge. Ein genaueres Studium zeigte nun, daß das nicht immer der Fall ist. Ausnahmen zeigten sich sowohl in der Uran- als auch in der Thorium- und Aktinium-Zerfallsreihe.

Wenn Uran mit seinen radioaktiven Zerfallsprodukten so im Gleichgewicht stehen soll, wie es die Atomzerfallshypothese erfordert, dann müssen die in der Zerfallsreihe stehenden  $\alpha$ -strahlenden Glieder in der Zeiteinheit gleich viele  $\alpha$ -Teilchen emittieren. Diesem Erfordernis fügen sich alle Glieder der Uran-Radiumreihe mit Ausnahme des Urans selbst. Schon früher hatte man gefunden, daß dies Element doppelt soviele Strahlen aussendet, als es den Gleichgewichtsverhältnissen entspricht. Um Sicherheit in diese Frage zu bringen, haben Ruthford und Geiger<sup>14)</sup> einmal Uran von seinen Zerfallsprodukten abgetrennt und nach der Zählmethode festgestellt, wie viele  $\alpha$ -Strahlen ein Gramm dieses Elementes in einer Sekunde aussendet. Das Gleiche bestimmten sie mit einem Gramm eines Uranminerals, daß mit seinen Zerfallsprodukten im Gleichgewicht ist. Es ergab sich so mit Sicherheit, daß Uran wirklich doppelt so viel  $\alpha$ -Teilchen emittiert, als den Gleichgewichtsverhältnissen entspricht. Das kann nun entweder daher kommen, daß ein Uranatom zwei  $\alpha$ -Teilchen aussendet, oder daß es keine einheitliche Substanz ist, sondern ein Gemisch von zwei  $\alpha$ -strahlenden Produkten darstellt, daß also das, was man bisher für das erste Glied der Uran-Radiumreihe hielt, in Wirklichkeit die zwei ersten Glieder sind. Erstere Annahme steht in Widerspruch mit den Annahmen der Atomzerfallshypothese. Die zweite Annahme dagegen entspricht den Forderungen der Atomzerfallshypothese. War sie richtig, dann müßten die beiden  $\alpha$ -Strahlen, die vom Uran abgegeben werden, verschiedener Art sein, also verschiedene Anfangsgeschwindigkeit, verschiedene Reichweite usw. haben. Das ist nach neueren Untersuchungen tatsächlich der Fall.

Schon A. Fock und F. Friedmann hatten gefunden, daß die Reichweiten beider  $\alpha$ -Teilchen verschieden sind. Genauere Untersuchungen von H. Geiger und J. M. Nutall<sup>15)</sup> haben das bestätigt und ergaben für die Reich-

<sup>12)</sup> Proc. Roy. Soc. London 83, 505.

<sup>13)</sup> Phil. Mag. 22, 613.

<sup>14)</sup> Phil. Mag. 20, 691 (1910).

<sup>15)</sup> Ibid. 23, 439 (1912).

weiten der  $\alpha$ -Strahlen des Urans Werte von 2,5 und 2,9 (15° — 760 mm). Seitdem beginnt die Uran-Radiumreihe mit Ur I (Reichweite 2,5), auf das Ur II (Reichweite 2,9) folgt. Diese Erkenntnis der zusammengesetzten Natur des Urans ist ein neuer Erfolg der Atomzerfallshypothese.

Analog war es bei Zerfallsprodukten von Aktinium und Thorium. Schon Brönson hatte gezeigt, daß die Emanationen dieser Körper doppelt und mehr als doppelt so viele  $\alpha$ -Strahlen aussenden, als die Theorie verlangt. Geiger und Marsden<sup>16)</sup> haben diese Frage experimentell geprüft und sicher gestellt, daß diese Emanationen doppelt so viele  $\alpha$ -Teilchen aussenden als die aktiven Niederschläge, die aus ihnen hervorgehen. Dabei zeigte sich bei der Zählmethode nach Regener, daß nicht ein Lichtblitz nach dem anderen auf dem Zinksulfidschirm erscheint, sondern das diese Szintillationen meist parallel weise auftreten. Beim Aktinium traten die zwei Lichtblitze stets gleichzeitig auf, beim Thorium verzögerte sich der zweite Lichtblitz gegen den ersten stets um ein Fünftel einer Sekunde. Das wies darauf hin, daß die Thoriumemanation sicher, die Aktiniumemanation vielleicht auch aus zwei sukzessiven Radioelementen besteht, von denen das zweite eine sehr kurze Lebensdauer haben müsse. Die weitere Untersuchung hat das denn auch bestätigt und zur Annahme zweier neuen  $\alpha$ -strahlenden Zwischenprodukte geführt, die ihren Platz zwischen Aktinium resp. Thoriumemanation und Aktinium A resp. Thorium A haben.

### $\beta$ - S t r a h l e n

Die  $\beta$ -Strahlen sieht man als negative Elektronen an, die mit verschiedener Geschwindigkeit von den radioaktiven Substanzen ausgeschleudert werden. Diese Geschwindigkeit bewegt sich in den Grenzen zwischen etlichen zwanzig und etwa hundert Prozent der Lichtgeschwindigkeit.  $\beta$ -Strahlen werden leicht und stark von magnetischen und elektrischen Feldern abgelenkt. Ihr Durchdringungsvermögen für Materie ist wesentlich größer als das der  $\alpha$ -Strahlen. Sie vermögen oft dünne Metallplatten ohne völlige Absorption zu durchsetzen.

Das Studium der  $\beta$ -Strahlen ist in den letzten Jahren wesentlich gefördert worden und hat ergeben, daß hier so komplizierte Verhältnisse vorliegen, daß noch viele weitere Arbeiten ausgeführt werden müssen, bis weitgehende Klärung eingetreten ist. Hier wird nur das von den  $\beta$ -Strahlen gebracht, was zurzeit von allgemeinerem Interesse ist und durch neuere Untersuchungen einigermaßen geklärt wurde.

Wie bei den  $\alpha$ -Strahlen, so nahm man auch bei den  $\beta$ -Strahlen zuerst an, daß einheitliche radioaktive Substanzen einheitliche  $\beta$ -Strahlen aussenden. Otto Hahn und Lise Meitner<sup>17)</sup> legten ihren ersten Untersuchungen die Arbeitshypothese zugrunde, daß homogene  $\beta$ -Strahlen dadurch charakterisiert sind, daß sie nach einem exponentiellen Gesetz absorbiert werden. Dabei mußten sie annehmen, daß die Geschwindigkeit beim Durchgang durch die Materie nicht geändert werde. W. Wilson<sup>18)</sup> kam bald darauf zu einem anderen Resultate. Er hatte sich  $\beta$ -Strahlen bestimmter Geschwindigkeit nach einer gewissen Methode ausgesondert und gefunden, daß sie beim Durchgang durch Materie nach einem linearen Gesetz absorbiert werden, und daß bei dieser Absorption eine beträchtliche Geschwindigkeitsabnahme stattfinde. Es wurden deshalb die  $\beta$ -Strahlen verschiedener radioaktiver Substanzen nach mehreren Methoden getrennt voneinander untersucht. Es zeigte sich, daß solche  $\beta$ -Strahlen im magnetischen Feld verschieden stark abgelenkt werden. Man konnte auf einer photographischen Platte aus ihnen einzelne homogene Streifen erhalten, so daß sog. magnetische Spektren reproduzierbar waren. Das wies darauf hin, daß keine einheitlichen  $\beta$ -Strahlen vorlagen, und die weitere Untersuchung ergab, daß einheitliche radioaktive Substanzen  $\beta$ -Strahlen von sehr verschiedener Geschwindigkeit aussenden können (zwischen 28% und 98% der Lichtgeschwindigkeit). Nach neueren Untersuchungen von Danysz<sup>19)</sup>

geben RaB + RaC ein magnetisches Spektrum, das auf 27 Strahlengruppen von verschiedener Geschwindigkeit hinweist. O. v. Baeyer, sowie Hahn und Meitner<sup>20)</sup> ergänzten diese Untersuchungen. Beim magnetischen Spektrum des Mesothoriums 2 konnten acht verschiedene Geschwindigkeiten von  $\beta$ -Strahlen bestimmt werden usw.

Der früher gültige Satz über die Absorption der  $\beta$ -Strahlen ist also dahin abzuändern, daß einheitliche radioaktive Substanzen komplexe  $\beta$ -Strahlen aussenden, freilich zeigt sich bei einer und derselben radioaktiven Substanz ceteris paribus stets derselbe Komplex von  $\beta$ -Strahlen.

Was die Zahl der von einer radioaktiven Substanz ausgeschleuderten  $\beta$ -Strahlen anbetrifft, so zeigte es sich, daß sie bei RaB + RaC ungefähr so groß ist wie die Zahl der zerfallenden Atome. Zur Erklärung aller dieser Beobachtungen von einem einheitlichen Standpunkte aus, hat Rutherafford<sup>21)</sup> interessante Betrachtungen über den Mechanismus bei der Aussendung von  $\beta$ -Strahlen aufgestellt, auf die verwiesen werden muß.

Auch über die Absorption und Reflexion von  $\beta$ -Strahlen in der Materie ist eine Reihe von Untersuchungen ausgeführt worden. Eine der wichtigsten ist die von W. H. Schmidt und ergab, daß der Durchgang der  $\beta$ -Strahlen durch Materie einmal vom Atomgewicht der Materie und noch von zwei anderen Konstanten abhängt, die für die betreffenden  $\beta$ -Strahlen charakteristisch sind. Da J. J. Thomson annimmt, daß die Atome aus Elektronen zusammengesetzt sind, so ist das Studium der  $\beta$ -Strahlen für diese wichtige Frage von ungeheurer Bedeutung. A. Crothorpe<sup>22)</sup> hat auf Grund seiner Versuche über die Streuung der  $\beta$ -Strahlen zu dieser Frage das Wort genommen und gefolgt, daß die Zahl der Elektronen im Atom dem Atomgewicht proportional ist.

Eine Methode, die  $\beta$ -Strahlen zu zählen, die vermutlich einmal von Bedeutung sein wird, hat E. Regener gefunden<sup>23)</sup>.

### $\gamma$ - S t r a h l e n

Die Natur der durch ein magnetisches oder elektrisches Feld nicht ablenkbaren und sehr durchdringungskräftigen  $\gamma$ -Strahlen ist immer noch nicht geklärt. Besonders zwei Hypothesen beherrschen dieses Gebiet. Nach der einen, von H. Bragg herrührenden, sind auch die  $\gamma$ -Strahlen korpuskulärer Art und bestehen aus einer neutralen Vereinigung von positiven und negativen Korpuskeln. Diese Hypothese steht zurzeit etwas im Hintergrund gegen eine andere, ältere: Da die  $\gamma$ -Strahlung gewöhnlich die  $\beta$ -Strahlung begleitet, vermutete man, daß sie in ähnlicher Weise aus der  $\beta$ -Strahlung entsteht, wie die Röntgenstrahlen aus den Kathodenstrahlen. Danach ist die  $\gamma$ -Strahlung keine korpuskulare Strahlung, sondern eine elektromagnetische Störung des Äthers. Die Frage, ob die  $\gamma$ -Strahlung elektromagnetischer oder korpuskularer Natur ist, hoffte man im Anschluß an Versuche entscheiden zu können, die T. H. Labey und P. Burbridge<sup>24)</sup> über Schwankungen von Ionisationsströmen, die durch  $\gamma$ -Strahlen hervorgerufen werden, ange stellt hatten. Die Versuchsanordnungen waren von N. Campbell, Edgard Meyer und E. v. Seeweidler weitergebildet worden, und man konnte die Schwankungen immer beobachten. Nach Labey und Burbridge's Ansicht sollten sich diese Schwankungen nur unter der Annahme erklären lassen, daß die  $\gamma$ -Strahlen korpuskulare Strahlen sind, und andere schlossen sich dieser Ansicht an, indessen hat es sich gezeigt, daß die Schwankungen auch durch die  $\beta$ -Strahlung hervorufen können, und daß auch bei Annahme von elektromagnetischer Natur der  $\gamma$ -Strahlung die Schwankungen erklärt sind.

Über die Absorption der  $\gamma$ -Strahlen sind bei einer Reihe von Radioelementen Untersuchungen angestellt worden. Beim Uran resp. Uran X werden die  $\gamma$ -Strahlen erst, wenn sie ca. einen Zentimeter Blei durchlaufen haben, nach einem exponentiellen Gesetz absorbiert<sup>25)</sup>. Wie sehr durchdringend

<sup>16)</sup> Physikal. Z. 11, 7 (1910).

<sup>17)</sup> Nature 88, 605.

<sup>18)</sup> Proc. Royal Soc. 84, 221 (1910).

<sup>19)</sup> Nature 87, 144 (1911).

<sup>20)</sup> Ber. d. deutsch. physikal. Ges. 14, 400.

<sup>21)</sup> Soddy u. Russell, Phil. Mag. 18, 620; 19, 725; 21, 130.

<sup>16)</sup> Physikal. Z. 11, 7 (1910).

<sup>17)</sup> Physikal. Z. 1907—1910.

<sup>18)</sup> Proc. Roy. Soc. London 83, 612; 84, 141.

<sup>19)</sup> Compt. rend. 153, 339, 1066 (1911).

$\gamma$ -Strahlen sein können, zeigt sich daraus, daß  $\gamma$ -Strahlung noch nachweisbarer ist, wenn 5 cm Blei durchsetzt sind. Die  $\gamma$ -Strahlung ist also auch nicht einfach, und die mittleren  $\gamma$ -Strahlen des Urans werden mehr als zweimal so stark absorbiert wie die des Radiums. Auch bei diesem Elemente verläuft die Absorption der  $\gamma$ -Strahlung erst nach einem ausgesprochen exponentiellen Gesetze, wenn sie 1 cm Blei durchsetzt hat. Beim Mesothor und Radiothor ist die durchdringende Kraft der  $\gamma$ -Strahlen ähnlich wie beim Radium. Nach Hahn und Meitner sind die  $\gamma$ -Strahlen des Mesothoriums durchdringender als die des Radiothors, und die des Radium C noch etwas weniger absorbierbar als die des Mesothoriums. Relativ leicht werden die  $\gamma$ -Strahlen des Aktiniums absorbiert. Vielfach erinnerte das Verhalten der  $\gamma$ -Strahlen an das harter Röntgenstrahlen.

Die Beziehungen der  $\gamma$ - zu den  $\beta$ -Strahlen sind vielfach Gegenstand von Untersuchungen gewesen, aber eine Klärung ist noch nicht eingetreten. Doch hat Gray<sup>26)</sup> sicher nachweisen können, daß sich aus den  $\beta$ -Strahlen, die Radium E aussendet, beim Auftreffen auf eine Bleiplatte  $\gamma$ -Strahlen bilden.

Als Begleiter von  $\alpha$ -Strahlen sind dann noch die  $\delta$ -Strahlen zu erwähnen, die nicht ionisierend wirken können. Sie entstehen vermutlich durch den Aufprall von  $\alpha$ -Strahlen gegen Materie und bestehen aus Elektronen von geringer Geschwindigkeit. F. Hauser hat nachgewiesen, daß die Durchdringungsfähigkeit von  $\delta$ -Strahlen aus Polonium nur ein Elftel bis ein Siebtel von der der  $\alpha$ -Teilchen beträgt. Neuerdings hat Campebell gezeigt, daß die Geschwindigkeit der  $\delta$ -Strahlen unabhängig von der Geschwindigkeit der sie erregenden  $\alpha$ -Strahlen ist und fast unabhängig von der Art der Materie, an der sie erzeugt werden.

Die Strahlungen der radioaktiven Substanzen bringen nun mannigfaltige Wirkungen, physikalischer und chemischer Art, hervor. Welche der Strahlen den Hauptanteil an diesen Effekten haben, das war bisher meist nicht der Hauptgegenstand der Untersuchungen. Neuere Untersuchungen rücken aber diese Frage immer mehr in den Vordergrund und haben bereits interessante Resultate gezeigt.

1 g Radium produziert in der Stunde bekanntlich rund 110 cal. Wenn man den calorimetrischen Effekt proportional der Gesamtionisation setzt, dann röhrt die Hauptwärmequelle von den  $\alpha$ -Strahlen her. Der Wirkung der  $\beta$ -Strahlen kommen nur 2–3 cal., den  $\gamma$ -Strahlen 4–5 cal. zu.

Eine sehr feine Untersuchungsmethode zum Nachweis der Wärmeproduktion radioaktiver Stoffe hat W. Duane ausgearbeitet. Man kann mit ihr noch sicher ein Tausendstel einer Grammcalorie pro Stunde nachweisen.

Schon früher ist über die Wirkungen berichtet worden, die Radiumstrahlen auf unorganische und organische Stoffe hervorbringen. Dabei waren besonders die Färbungen, die Gläser und Mineralien durch diese Strahlen erleiden, studiert worden. C. Döltel hat seine und anderer Untersuchungen darüber, sowie Studien über die Einwirkung von ultravioletten Strahlen auf die gleichen Körper in einem Buche: „Das Radium und die Farben. Einwirkung des Radiums und ultravioletter Strahlen auf organische und unorganische Stoffe, sowie auf Mineralien.“ (Dresden C. Steinkopff) niedergelegt, auf das verwiesen sei. Inzwischen sind weitere Untersuchungen über das Thema ausgeführt worden, und sie haben jetzt eine Erscheinung völlig geklärt, über deren Ursache die Mineralogen bisher noch im Unklaren waren. In gewissen Mineralien, besonders Biotit und Zinnwaldit, sind häufig mikroskopisch kleine Krytalle eingeschlossen, und um sie befinden sich zuweilen kleine dunkle scharf begrenzte, konzentrische Hüllen, die man pleochroitische Höfe nannte. Es zeigte sich nun, daß die eingeschlossenen Krystalle radioaktiven Mineralien entstammen, und daß diese pleochroitischen Höfe durch die  $\alpha$ -Strahlen, welche jene Mineralien aussenden, bewirkt werden. Längs ihrer Reichweite vermögen die  $\alpha$ -Strahlen bedeutende Wirkungen hervorzubringen, während am Ende derselben die Wirkung plötzlich abbricht. Bei den angeführten Mineralien besteht nun die Wirkung der  $\alpha$ -Strahlen in der Dunkelfärbung der Mineralsubstanz längs ihrer Reichweite und bricht mit dem Ende derselben

plötzlich ab. Daher die scharf abgegrenzten kugelförmigen Umhüllungen. War das richtig, dann mußte der Radius der pleochroitischen Höfe der Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen entsprechen, und das war wirklich der Fall. Ja, man fand pleochroitische Höfe von verschiedenem Durchmesser, je nachdem Uran- oder Thoriummineralien vorlagen, deren  $\alpha$ -Strahlen verschiedene Reichweiten besitzen. Übrigens ist es Ruthford gelungen, diese pleochroitischen Höfe in Glas künstlich herzustellen. Er schloß Radiumemanation in eine Glaskapillare ein und ließ sie längere Zeit einwirken. Dann wurden Längsschnitte durch das Glas gemacht, und es zeigte sich die Glasmasse bis zu einer Dicke von 0,04 mm dunkel gefärbt, so wie es der Reichweite des Radium C entsprach.

Die Wirkung von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen des Radiums auf Gläser und Mineralien studierten neuerdings Stefan Meyers und Karl Prizbram<sup>27)</sup>. Flußpat wird durch diese Strahlen blau, Kunzit grün gefärbt. Kühl man die so gefärbten Gläser ab, so zeigen sie die Erscheinung der Thermoluminescenz. Erhitzt man die Krystalle nun längere Zeit auf 100°, so verlieren sie die Farbe und die Fähigkeit, zu luminescieren. Als die gefärbten Krystalle mit ultraviolettem Lichte bestrahlt wurden, verlor sich die lichtelektrische Empfindlichkeit derselben völlig, kehrte aber nach der erneuten Einwirkung von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen in verstärktem Maße wieder.

Glas wird durch  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen braun gefärbt. Beim Erhitzen dieses Glases tritt grüne Luminescenz auf, und die Farbe geht in Violettt über. Beim längeren Erhitzen entfärbt sich das Glas völlig.

Eine Reihe weiterer Untersuchungen ist dann über die Zersetzung des Wassers durch Radiumemanation gemacht worden. Bekanntlich tritt dabei außer Knallgas stets überschüssiger Wasserstoff auf. Francis L. Sherr<sup>28)</sup> hat Beiträge zur Aufklärung dieser Reaktion gegeben. Er ließ einerseits die Gesamtstrahlung der Emanation, andererseits nur die  $\beta$ -Strahlung derselben auf Wasser einwirken und analysierte die entstehenden Gasgemenge. Unter gewissen Vorsichtsmaßregeln wurden 0,025 cmm Radiumemanation in gasfreiem Wasser gelöst und der Zersetzung mehrere Wochen lang überlassen: 0,025 cmm Emanation erzeugten in Wasser gelöst in vier Wochen 5,62 ccm Gas. Davon waren:

$$\begin{aligned} \text{Knallgas} &= 4,889 \text{ ccm}, \\ \text{Überschüssig. H} &= 0,634 \text{ ccm}, \\ \text{CO}_2 &= 0,162 \text{ ccm}, \\ \text{N} &= 0,007 \text{ ccm}. \end{aligned}$$

Hier hatten  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen zusammen auf das Wasser gewirkt. Bei einem anderen Versuche schloß Sherr die Radiumemanation in eine Glaskapillare von 0,17 mm Dicke ein und umgab sie mit Wasser. Dadurch wurden die  $\alpha$ -Strahlen alle, die  $\beta$ -Strahlen zum Teil absorbiert, und nun ergab sich, daß 0,067 cmm Emanation in vier Wochen nur 0,207 ccm Gas erzeugten (die Capillare war 7 cm lang und hatte einen Durchmesser von 0,5 mm). Von diesen 0,207 ccm waren

$$\begin{aligned} \text{Knallgas} &= 0,145 \text{ ccm}, \\ \text{überschüssig. H} &= 0,042 \text{ ccm}, \\ \text{CO}_2 &= 0,02 \text{ ccm}. \end{aligned}$$

Die Kohlensäure kam nach Sherr von Staubteilchen und Fettspuren, die nicht fernzuhalten waren, und durch ihre Bildung wurde natürlich anfangs vorhandenem Knallgas Sauerstoff entzogen. Danach war ein Teil des Sauerstoffes ozonisiert, wodurch Spuren von Quecksilberoxyd aus dem Sauerstoff erzeugt, und dieser so dem Gase entzogen wurde. Schon dadurch mußte überschüssiger Wasserstoff entstehen. Der Rest des überschüssigen Wasserstoffes erklärt sich wohl dadurch, daß bei der Einwirkung von Radiumemanation auf Wasser Wasserstoffsuperoxyd entsteht. Nach K. Bergwitz<sup>29)</sup> wird das Wasserstoffsuperoxyd nicht durch die  $\alpha$ -sonderu durch die  $\beta$ -Strahlen erzeugt. Nach Berechnungen von Sherr ist der Wirkungsgrad der Emanation bei der

<sup>27)</sup> Wiener Akad. Ber. 121, 1413.

<sup>28)</sup> Jahrb. d. Radioakt. u. Elektronik 8, 323 (1911).

<sup>29)</sup> Physikal. Z. 11, 273.

Zersetzung von Wasser nur ca. 2,7%. Früher<sup>30)</sup> hatte der gleiche Forscher gefunden, daß der Wirkungsgrad der Emanation bei der Zersetzung von Ammoniak nur 1% beträgt.

Nach Flaschner<sup>31)</sup> sind es auch die  $\beta$ -Strahlen, die aus Ederscher Lösung Kalomel ausscheiden und auch andere photochemische Prozesse einzuleiten resp. zu beschleunigen vermögen.

Weitere Arbeiten über chemische Wirkungen durch Radiumstrahlen wurden im Wiener Institut für Radiumforschung ausgeführt, und es seien davon erwähnt die von A. Kailan<sup>32)</sup> über die Einwirkung der  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen von 20–144 mg Radium, das in Glasröhren von 1 mm Wandstärke zur Wirkung kam auf die Zersetzungsgeschwindigkeit des Wasserstoffsuperoxyds. Je stärker das Radiumpräparat gewählt wurde, desto mehr wurde die Reaktion beschleunigt. Proportionalität fand aber nicht statt. Unter dem Einfluß der Bestrahlung wurde übrigens auch Wasserstoffsuperoxid neu gebildet, wie das zu erwarten war.

S. Colville Lind<sup>33)</sup> ließ die  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen von 200 mg Radiumchlorid einerseits auf gasförmigen Bromwasserstoff, anderenteils auf Mischungen von Brom und Wasserstoff einwirken. Nach 37 Tagen war eine Wirkung noch nicht zu konstatieren. Radiumemanation dagegen wirkte auf Bromwasserstoff in wässriger Lösung und als Gas merklich ein, indessen betrug der Bruchteil der Energie der zerfallenden Emanation, der zu der chemischen Wirkung nötig war, nur 3,5%.

Auf wässrige Jodkaliumlösung wirkten die  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen von 40 mg Radiumchlorid so ein, daß nach 25 Tagen eine Jodausscheidung deutlich zu erkennen war.

Bekanntlich hatten Ramsay und Usher bei Versuchen über die Einwirkung von Radiumemanation auf Lösungen von Kieselfluorwasserstoffsäure, Titansulfat, Zirkonitrat, Thoriumnitrat und Bleichlorat gefunden, daß stets geringe Mengen von Kohlensäure gebildet werden<sup>34)</sup>. Sie schlossen daraus, daß sich die Elemente der vierten Gruppe des periodischen Systems unter dem Einfluß der Radiumemanation zum Teil in Kohlenstoff verwandeln, also dazu abgebaut werden. Dieser Befund erregte schon gleich Widerspruch, da bekannt war, daß sich organische Substanzen bei Gegenwart von Radiumemanation leicht zu Kohlensäure oxydieren. Hirschfeld<sup>35)</sup> hat nun mit großen Mengen Radiumemanation und besonders sorgfältiger Versuchsanordnung die Versuche von Ramsay und Usher wiederholt, konnte aber die Befunde dieser Forscher nicht bestätigen. Er glaubt, daß den Präparaten von Ramsay und Usher geringe Verunreinigungen von Oxalsäure beigemengt waren. Dagegen aber verwahrt sich wieder Ramsay<sup>36)</sup>, so daß die Frage nicht geklärt ist.

Wie schon früher mitgeteilt, hatte Boltwood bei einer Reihe von Uranerzen gefunden, daß in denselben das Mengenverhältnis von Uran zu Radium konstant ist. Das war ein Erfordernis für die Atomzerfallshypothese und fand rasch Anerkennung und Zustimmung. Als nun aber Fräulein Geditsch<sup>37)</sup> im Laboratorium von Frau Curie nach einer anderen Methode als Boltwood den Radiumgehalt in Uranerzen bestimmte, fand sie Unstimmigkeiten. Im Thorianit, in der Joachimsthaler Pechblende und im Autunit (Urankupferphosphat) entsprach das Verhältnis von Radium zu Uran den Zahlen 100 : 85 : 68. Der Wert für Thorianit war zu hoch, der für Autunit viel zu niedrig im Vergleich zu dem von Boltwood festgestellten Verhältnis für Pechblende. Der Befund von Fräulein Geditsch fand beim Autunit mehrfach Bestätigung<sup>38)</sup>. Man erhielt hier stets zu niedrige und vor allem auch schwankende Werte für den Radiumgehalt des Minerals. In bezug auf den Thorianit aber zeigten Marckwald und Russell<sup>39)</sup>,

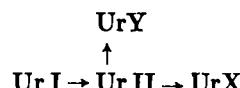
dass hier das Mengenverhältnis zwischen Uran und Radium mit dem bei der Joachimsthaler Pechblende übereinstimmt, also normal ist. Die beiden letztgenannten Forscher dehnten ihre Untersuchungen dann noch auf eine ganze Reihe von Mineralvorkommen aus. Sie untersuchten besonders krystallisierte Pechblende aus Deutech-Ostafrica, Thorianit aus Java, Rutherfordin (Uranylcarbonat) aus Deutsch-Ostafrika, Carnotite aus Florida und Colorado, sowie Autunite aus Portugal, Autun und von unbekannter Herkunft. Nach besonders ausgewählten Methoden untersucht, ergaben sie Werte für das Verhältnis von Uran zu Radium, das, wenn man es in der Pechblende mit 100 bezeichnet, bei den anderen Mineralien durch folgende Zahlen ausgedrückt wird: Ostafrkanische Pechblende 101,5, Thorianit 98,1, Autunit (Autun) 28, Autunit unbekannter Herkunft 61, verschiedene portugiesische Autunite gaben Werte von 21–68. Autunit zeigt also ein durchaus abnormales Verhalten.

Um dies zu erklären, haben schon F. Soddy und R. Pirret<sup>40)</sup> Ansichten geäußert. Nach diesen Forschern ist Autunit noch ein relativ ganz junges Mineral, das zudem bei seiner Krystallisation kein Ionium, sondern Radium eingeschlossen habe, das sich zersetze. Erst in älteren Mineralproben strebe das Verhältnis von Uran zu Radium dem normalen Wert wieder zu.

Im Gegensatz zu diesen Forschern suchen W. Marckwald und A. S. Russell<sup>41)</sup> das abweichende Verhalten des Autunits auf Grund der Zerfallshypothese durch ein viel höheres Alter als seinem Radiumgehalt entspricht, zu erklären. Autunit enthält nämlich im Gegensatz zu anderen Uranmineralien keine nachweisbaren Mengen von Blei und nur sehr wenig Helium. Da nun das Mineral ein sehr lockeres Gefüge hat, so konnte Helium entweichen, Blei und Radium könnten teilweise ausgelaugt sein. Das mußte sich entscheiden lassen, wenn man den Gehalt der Autunite an Ionium, das unter analogen Bedingungen nicht so stark reduziert sein konnte, untersuchte. War er relativ höher als der Radiumgehalt, so konnte obige Annahme richtig sein. Setzt man das Verhältnis von Ionium zu Uran in der Pechblende gleich 100, so ergaben sich für die verschiedenen Autunite Werte, die zwischen 76 und 93 lagen, also wesentlich höhere Werte als die beim Radiumgehalt gefundenen. Da die mittlere Lebensdauer des Ioniums mindestens 30 000 Jahre beträgt, so muß Autunit ein Alter von mindestens 100 000 Jahren haben<sup>41a)</sup>.

#### Die Uran-Radiumreihe.

Über die zusammengesetzte Natur des Elementes Uran, das man jetzt als aus Uran I und Uran II bestehend annimmt, ist schon bei den  $\alpha$ -Strahlen berichtet worden. Neuerdings hat G. N. Antonoff<sup>42)</sup> nachweisen können, daß sich auch vom Uran X ein neues radioaktives Produkt abtrennen läßt, das er Uran Y nannte. UrY emittiert sowohl  $\alpha$ - als auch sehr weiche  $\beta$ -Strahlen; erstere ließen sich auch durch Szintillation nachweisen. Es hat eine Halbwertszeit von 1–5 Tagen und ist kein Zersetzungsprodukt von UrX, sondern begleitet dies und ist schwer von ihm zu trennen, da es ihm chemisch sehr ähnlich ist. Antonoff nimmt an, daß Uran Y ein Zweigprodukt des Urans resp. Ur II ist:



Von UrX haben Soddy und Russell<sup>43)</sup> die Halbwertszeit neu bestimmt, wobei sie zu einer etwas größeren Zahl kamen, als die, welche bisher galt. Der neue Wert der Halbwertszeit für UrX beträgt 24,6 Tage. Aus Th-freien Uranlösungen kann man UrX sehr leicht dadurch abtrennen, daß man die Lösung mit Tierkohle schüttelt. Tierkohle adsorbiert UrX so leicht, daß die Uranlösung durch einmaliges Schütteln damit völlig von diesem Radioelement

<sup>30)</sup> Trans. Chem. Soc. 97, 403.

<sup>31)</sup> J. Chem. Soc. 95, 327.

<sup>32)</sup> Wiener Akad. Ber. 120, 1213 (1911).

<sup>33)</sup> Le Radium 8, 289 (1911).

<sup>34)</sup> Ber. 42, 2930.

<sup>35)</sup> Compt. rend. 153, 255 (1911).

<sup>36)</sup> Nature 87, 271 (1911).

<sup>37)</sup> Le Radium 8, 256.

<sup>38)</sup> Soddy-Pirret, Phil. Mag. 26, 345.

<sup>39)</sup> Ber. 44, 771.

<sup>40)</sup> Nature 84, 296.

<sup>41)</sup> Ber. 44, 771.

<sup>41a)</sup> Über die Bewertung und technische Verarbeitung von Uranglimmern vgl. F. Glaser Chem.-Ztg. 36, 1166 (1912).

<sup>42)</sup> Phil. Mag. 22, 419.

<sup>43)</sup> Ibid. 19, 847.

befreit wird. Enthält aber die Lösung auch Thorium, so findet die Adsorption des UrX durch die Tierkohle nicht statt. Soddy<sup>44)</sup> erklärt dies Verhalten aus der großen chemischen Ähnlichkeit aber der verschiedenen Lebensdauer der beiden Radioelemente Th und UrX. Die Intensität der  $\alpha$ -Strahlung des Urans bestimmten St. Meyer und Fritz Pante<sup>45)</sup>, doch muß darauf verwiesen werden<sup>46)</sup>.

**I o n i u m**, das nächste Zerfallsprodukt des UrX ist dem Th in chemischer Hinsicht so ähnlich, daß es sich trotz erneuter mehrfacher Versuche nicht von ihm trennen läßt. Man stellt deshalb Ionium aus möglichst thorium-armen Uranmineralien her. Die ioniumreichsten Präparate dürfte Auer von Welsbach erhalten haben, der 10 000 kg Rückstände von Uranpecherz auf Thorium, Ionium und Aktinium verarbeitete. F. Exner und E. Haschek<sup>46)</sup> untersuchten das Bogenspektrum eines Präparates das ca. 10% Ionium enthalten mußte. Es konnte aber nicht eine Linie entdeckt werden, die dem Ionium angehören könnte.

Daß Ionium allmählich Helium entwickelt, hat Boltwood<sup>47)</sup> nachgewiesen.

Die Halbwertszeit des Ioniums beträgt nach den neuesten Berechnungen rund 200 000 Jahre.

**Radium.** Hier sind zunächst neue Atomgewichtsbestimmungen des Radiums zu erwähnen. Bisher galt der von Frau Curie gefundene Wert von 226,4. Mit dem beträchtlichen Material des Wiener Radiuminstitutes nahm dann O. Höngschmidt<sup>48)</sup> neue Atomgewichtsbestimmungen vor, bei denen die Erfahrungen und Methoden von Richards berücksichtigt wurden. Er ging aus vom Radiumchlorid, das oft aus salzsaurer Lösung umkristallisiert und dann noch mit Alkohol gefällt wurde. Nach 50 Kristallisierungen und 13 Fällungen waren die Zahlen für das Atomgewicht konstant. Es wurde einmal auf rein gewichtsanalytischem Wege das Verhältnis von Radiumchlorid zu Silberchlorid ermittelt. Dann wurde das gleiche Verhältnis noch einmal titrimetrisch festgestellt. Aus neun definitiven Analysen ergab sich ein Atomgewicht von 225,95 für das Radium, mit einem mittleren Fehler von  $\pm 0,002$ . Dieser Wert weicht von dem Curieschen nicht unerheblich ab und stimmt auch nicht mit dem Werte, den man nach der Atomzerfallshypothese erwarten sollte, überein.

Eine andere Atomgewichtsbestimmung ist von R. W. Gray und W. Ramsay<sup>49)</sup> ausgeführt. Sie gingen aus von Radiumbariumbromid und reinigten es durch fraktionierte Krystallisation. Zu den Wägungen benutzten sie eine Mikrowage von Steele und Grant. Der Wert, den sie erhielten, im Mittel 226,36, steht dem von Frau Curie wieder näher. Die Differenz von Höngschmidt's Wert erklärt Ramsay durch die Annahme, daß dessen Radiumchlorid noch Barium enthielt, und daß durch Umkristallisieren von Radiumchlorid und Fällung mit Alkohol eine vollkommene Trennung des Radiums vom Barium nicht möglich wäre. W. Markwald<sup>50)</sup> ist der Ansicht, daß auch durch fraktionierte Krystallisation eine völlige Trennung von Radium und Barium nicht erreichbar ist, und daß deshalb die von Frau Curie und von Höngschmidt für rein gehaltenen Radiumpräparate noch 1% Barium enthielten. Um die Berechtigung der Einwände zu prüfen, hat inzwischen O. Höngschmidt<sup>51)</sup> eine neue Atomgewichtsbestimmung unter Verwendung des Bromids ausgeführt. Er ging aus von 800 mg RaCl<sub>2</sub>, vom Atomgewicht 225,95, fällte das Chlor mit Silbernitrat aus und dampfte die Radiumnitratlösung öfters mit Bromwasserstoff ab, wodurch das Bromid entstand. Nach sehr häufigem Umkristallisieren aus verd. Bromwasserstoffsäure führten vier Analysen zu den Atomgewichten 225,9, 225,97, 225,94, 225,98, ergaben also Übereinstimmung mit Höngschmidts

früherem Werte. Zur Klärung dieser wichtigen Frage wurden die Versuche fortgesetzt, und O. Höngschmidt hat mit besonders gereinigtem Radiumbromid eine neue Atomgewichtsbestimmung vorgenommen, die seinen früheren Wert von 225,95 bestätigten. Zugleich wies er durch genaue spektroskopische Untersuchung nach, daß sein früher verwendetes Radiumchlorid nicht mehr als 0,004% Ba enthalten haben konnte, daß sein Radiumbromid aber absolut bariumfrei war. Die internationale Atomgewichtskommission hat für 1913 einstweilen den früheren Wert beibehalten.

Bei seinen Untersuchungen über das Atomgewicht des Radiums hat Höngschmidt<sup>52)</sup> eine Reihe von Erfahrungen gemacht, die von Wert sind. Das Umkristallieren und Reinigen erfolgte in durchsichtigen Quarzschalen. Das Ra-Chlorid z. B. wurde stets in möglichst wenig Wasser gelöst, die Lösung so weit eingedampft, daß sie gerade heiß gesättigt war, und nun wurde zu der noch heißen Lösung frisch destillierter Äthylalkohol unter stetem Umrühren so lange zufüßen gelassen, als noch Fällung erfolgte. Durch siebenmalige Wiederholung dieses Prozesses geht etwa ein Viertel der Gesamtmenge des Ausgangsmaterials verloren.

Wird frisches Radiumchlorid im Chlorwasserstoffstrom erhitzt, so verliert es schon lange unter 250° sein Wasser. Bei Gelbgut schmilzt dann das Chlorid, ohne daß auch nur Spuren von Chlor auftreten, allmählich zu einer klaren Flüssigkeit. Beim Abkühlen erstarrt diese Schmelze (ähnlich wie andere Erdalkalichloride) zu einer glasartigen Masse, die im Tageslicht blauviolett erscheint und im Dunkeln ein intensives, blauviolettes Licht ausstrahlt. Dies geschmolzene Salz leuchtet viel stärker als Krystalle, die bloß bei 200° getrocknet sind.

Radiumbromid ist nach Höngschmidt's Erfahrungen kaum weniger beständig als das Chlorid. Er stellte es aus dem Chlorid oder Nitrat durch öfteres Abdampfen mit Bromwasserstoffsäure her. Werden Radiumchlorid oder -bromid bei 200° oder darunter getrocknet, so ändern sie ihre ursprünglich weiße Farbe nur wenig, so daß sie selbst nach jahrelanger Aufbewahrung schwach gelblich oder schwach grau gefärbt erscheinen. Trocknet man aber bei Rotglut, so tritt schon nach 24–48 Stunden direkte Schwarzfärbung auf.

Mit relativ bedeutenden Mengen Material konnten F. Exner und E. Haschek<sup>53)</sup> das Funken- und Bogenspektrum des Radiums mit Präparaten von verschiedenem Prozentgehalt untersuchen, wobei sie ein Rowlansches Konkavgitter verwendeten. Wie schon früher gefunden, haben die Hauptlinien Wellenlängen von 3814,6 und 4682,4, die auch bei sehr unreinen Präparaten sichtbar sind. Die besten Aufnahmen wurden mit einem Präparat von 70% Radium erzielt, so daß wir jetzt ein vollständiges und gut ausgeführtes Bild vom Spektrum des Radiums haben.

Mit den von Höngschmidt gereinigten Radiumpräparaten maßen St. Meyer und V. F. Heß<sup>54)</sup> nach der Stromkompensationsmethode die Wärmeentwicklung des Radiums bei einer Versuchsanordnung, bei welcher alle  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen, sowie 18% der  $\gamma$ -Strahlen absorbiert worden waren. Danach entwickelt 1 g Radium (als Element) in einer Stunde 132,3 Calorien.

V. F. Heß<sup>55)</sup> untersuchte die Wärmeentwicklung von Radium, das von seinen Zerfallsprodukten abgetrennt war. Nachdem die Emanation ausgetrieben war, wurde der Wärmeanstieg verfolgt und gefunden, daß 1 g Radium (als Metall) 25,2 Cal. pro Stunde entwickelt. Die Emanation samt RaA, RaB und RaC entwickelt also bei der entsprechenden Versuchsanordnung 107,1 Cal. pro Stunde. RaB entwickelt keine merkliche Wärmemenge.

**Radiumemanation.** Dieses Zerfallsprodukt des Radiums gehört zu den best und zuverlässigst untersuchten Elementen der Radiumgruppe. Der Name Niton, den Ramsay und Gray einführen wollten, hat keine Aufnahme bei den Radiumforschern gefunden. Es ist mit Sicher-

<sup>44)</sup> Transakt. 99, 72.

<sup>45)</sup> Sitzungsber. d. Wiener Akademie 121, 1403ff.

<sup>46)</sup> Sitzungsber. d. Wiener Akademie 121, 1075.

<sup>47)</sup> Proc. Royal Soc. London 75, 77.

<sup>48)</sup> Wiener Akadem. Ber. 120, 1618ff.; 121, 1973ff., 2119ff.

1912. <sup>49)</sup> Nature 88, 537 (1912); Jahrb. f. Radioakt. u. Elektronik

50) Physikal. Z. 13, 732.

<sup>51)</sup> Sitzungsber. d. Wiener Akademie 121, 1973.

<sup>52)</sup> Wiener Monatshefte 1912, 282.

<sup>53)</sup> Sitzungsber. d. Wiener Akademie 120, 967.

<sup>54)</sup> Ibid. 121, 603.

<sup>55)</sup> Ibid. 121, 625.

heit festgestellt, daß die Radiumemanation sich wie ein vollkommenes Gas verhält und dem Henry Dalton'schen Gesetze folgt. Dichte und Atomgewicht sind von verschiedenen Forschern übereinstimmend bestimmt worden. Jetzt ist auch die Halbwertszeit der Radiumemanation, die noch unsicher war, von Frau Curie<sup>56)</sup> und von Ruth erf ord<sup>57)</sup> unabhängig voneinander neu bestimmt und zu 3,85 Tagen festgestellt worden. — Interessant sind Untersuchungen über die Entwicklung der Emanation aus Radiumsalzen. Schon früh war beobachtet worden, daß man Radiumemanation am ausgiebigsten aus Lösungen von Radiumsalzen erhielt. Doch zeigte es sich öfters, daß Lösungen, die erst reichlich Emanation abgaben, später nachließen. Das kommt vermutlich daher, daß aus diesen Lösungen Radiumsulfat ausgeschieden wird, und dies Salz scheint die normale Abgabe von Emanation hintanzuhalten. Sowie das Sulfat wieder durch Erhitzen in Lösung gebracht war, wurde die Abgabe von Emanation wieder normal<sup>58)</sup>.

Die Abgabe von Radiumemanation durch ungelöste Radiumsalze ward von L. K o l o w r a t<sup>59)</sup> studiert. Dabei zeigte sich die überraschende Erscheinung, daß unreine Radiumsalze bei gleicher Temperatur mehr Emanation entweichen lassen als reine. Nach H. H e r s c h f i n k e l<sup>60)</sup> emaniert radiumhaltiges Eisenhydroxyd auch in trockenem Zustande sehr stark.

Radiumemanation wird von Kohle leicht absorbiert, und diese Eigenschaft hat J. S a t t e r l e y<sup>61)</sup> dazu benutzt, um den Gehalt von Radiumemanation in der Atmosphäre zu bestimmen. Er fand, daß Kohle, die auf  $-75^{\circ}$  abgekühlt war, alle Emanation adsorbiert, wenn sie mit Luft gemischt, darüber geleitet wird.

Bei gewissen Versuchen mit Radiumemanation, die Tuomikoski im Ruth erf ordschen Laboratorium anstelle, hatte es den Anschein, als ob gereinigte Radiumemanation etwas rascher zerfalle. Diese ungemein wichtige Frage wurde sofort studiert, und eine Versuchsanordnung mit einer Kompensationsmethode ausgearbeitet<sup>62)</sup>, nach der sich die geringste Änderung der Umwandlungsgeschwindigkeit durch eine Störung des Kompensationszustandes zeigen mußte. Es ergab sich aber, daß die verschiedenen Proben von Radiumemanation sich durchaus gleichartig zersetzen. Der Zerfall war von der Konzentration der Emanation unabhängig und hatte bei Zimmertemperatur denselben Wert wie bei der Temperatur der flüssigen Luft.

Von dem gleichen negativen Resultate waren Versuche begleitet, die rasch zerfallenden und stark aktiven Produkte Radium A, RaB und RaC durch sehr hohe Temperaturen zu rascherem Zerfall zu zwingen. W. H. Schmidt und P. C e r m a k<sup>63)</sup> konnten durch keine der zu Gebote stehenden Mittel den Zerfall beschleunigen. Die drei Produkte verdampfen zwischen 700 und  $1200^{\circ}$ .

Über das RaA haben E. M. Wellisch und H. L. Br onson<sup>64)</sup>, sowie besonders G. Eckmann<sup>65)</sup> Untersuchungen ausgeführt. RaA entsteht dadurch, daß je ein Atom Radiumemanation ein  $\alpha$ -Teilchen emittiert. Durch den Rückstoß beim Atomzerfall erhält das RaA eine ungeheure Geschwindigkeit und setzt sich an den Gefäßwänden oder an der Kathode ab, falls ein elektrisches Feld vorhanden ist. Daraus schloß man, daß das RaA-Atom positiv geladen ist, doch waren auch Anzeichen für eine negative Ladung dieses Atoms vorhanden. Eckmann hat nun in der zitierten Experimentaluntersuchung festgestellt, daß die RaA-Atome unmittelbar nach ihrer Entstehung positiv geladen sind. Sie empfangen ihre Ladung nicht durch positive Gasträger, sondern sie werden im Gegenteil durch negative Gasträger neutralisiert, und zwar desto schneller, je mehr dieser Träger vorhanden sind.

<sup>56)</sup> Le Radium 7, 33, 65.

<sup>57)</sup> Sitzungsber. d. Wiener Akademie 120, 303.

<sup>58)</sup> L. K o l o w r a t, Le Radium 7, 157.

<sup>59)</sup> Ibid. 7, 266.

<sup>60)</sup> Compt. rend. 149, 275.

<sup>61)</sup> Phil. Mag. 20, 778.

<sup>62)</sup> Sitzungsber. d. Wiener Akademie 120, 303.

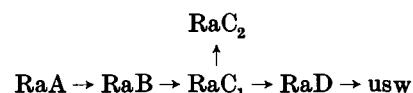
<sup>63)</sup> Physikal. Z. 11, 793.

<sup>64)</sup> Phil. Mag. 23, 714 (1912).

<sup>65)</sup> Jahrb. f. Radioakt. u. Elektronik. 9, 157 (1912).

De b i e r n e hatte beim RaA einen Diffusionskoeffizienten beobachtet, der relativ klein war im Vergleich zu dem der Radiumemanation. Er schloß daraus, daß RaA sich leicht zu Aggregaten vereinigt. E c k m a n n konnte das bestätigen und den Diffusionskoeffizienten der reinen, noch nicht aggregierten RaA-Atome zu 0,06 messen. An der Hand einer hier nicht gut wiedergiebenden theoretischen Betrachtung konnte er ein Gesamtbild der elektrischen Wanderung der RaA-Atome, ihrer Diffusion, Wanderung und Bildung der radioaktiven Aggregate gewinnen, auf das verwiesen sei<sup>66)</sup>.

Das Studium des radioaktiven Rückstoßes hatte O. H a h n und L. M e i t n e r bereits zu der Annahme geführt, daß das RaC aus mindestens zwei Radioelementen bestehen müsse, von denen eines eine sehr kurze Zerfallsperiode hat. K. F a j a n s<sup>67)</sup> nahm das Studium dieser Frage auf und fand, daß RaC in der Tat aus zwei Produkten besteht, von denen eines eine Halbwertszeit von nur 1,4 Minuten für  $\beta$ -Strahlen zeigte. Es ergab sich im Gegensatz zu früher, daß RaC<sub>1</sub>  $\alpha$ -Strahlen, RaC<sub>2</sub> nur  $\beta$ -Strahlen aussendet. Es kann danach nicht ein Folgeprodukt, sondern muß ein Zweigprodukt des radioaktiven Atomzerfalles von BaC<sub>1</sub> sein, und die Radium-Uranzerfallsreihe hat deshalb eine Umänderung in folgendem Sinne erfahren:



Auch bei den Gliedern des „aktiven Radiumniederschlages mit langsamer Umwandlung“ (RaD + RaE + RaF) sind neue Erkenntnisse zu verzeichnen. Beim RaD, dem Radioblei, fanden O. v. B a e y e r, O. H a h n und L. Meitner<sup>68)</sup> daß es durchaus nicht strahlenlos ist, wie früher angenommen wurde, sondern eine allerdings schwache  $\beta$ -Strahlung zeigt. Die Geschwindigkeit dieser  $\beta$ -Strahlung beträgt nur 31–37% der Lichtgeschwindigkeit. Sie ist so gering, daß sie sich elektroskopisch nicht nachweisen läßt.

Wie Ionium bis jetzt nicht von Thorium, so ist RaD von Blei nicht abtrennbar. Um RaD daher möglichst rein zu gewinnen, muß man von bleifreien Materialien ausgehen. Mit besonders gereinigtem RaD hat E. N. A n t o n o f f<sup>69)</sup> die Halbwertszeit von RaD neu bestimmt und aus mehreren Versuchen den Wert von 16,5 Jahren abgeleitet. Den gleichen Wert fand auch Frau Curie<sup>70)</sup>. Um nachzuweisen, daß RaD metallische Natur besitzt, füllte L. K o l o w r a t<sup>71)</sup> eine Glaskugel, die Elektroden enthielt, mit Radiumemanation und maß die Leitfähigkeit während der Zersetzung der Emanation. Es ergaben sich aber noch keine eindeutigen Resultate. In der oben zitierten Abhandlung wies Antonoff nach, daß das Radium E nicht komplex ist, wie man früher annahm, und aus einem RaE<sub>1</sub> und RaE<sub>2</sub> besteht, sondern daß es eine einheitliche Substanz darstellt, und das wurde von Lise Meitner bestätigt. Beide fanden die Halbwertszeit von RaE übereinstimmend zu 5 Tagen.

Um den Zerfall des RaF oder Poloniums in Blei nachzuweisen, haben Mad. Curie und De b i e r n e Polonium in größerer Menge zu gewinnen gesucht. Sie erhielten schließlich aus zwei Tonnen Pechblende 2 mg Substanz, die aber nur 0,1 mg Polonium enthielt. Das Spektrum dieser Substanz zeigte einige neue Linien und auch ganz schwach Bleilinien, doch ließ sich daraus der Übergang von RaF in Blei nicht einwandfrei folgern.

Besondere Schwierigkeiten machte es bisher, die Halbwertszeit des Poloniums zu bestimmen, und die erhaltenen Werte schwankten zwischen 134,5 und 143 Tagen. E. R e g e n e r hat sie neuerdings unter möglichster Vermeidung früherer Fehlerquellen zu 136 Tagen bestimmt.

Die Uran-Radiumreihe sieht danach zurzeit so aus:

<sup>66)</sup> Ibid. 9, 180, 183 u. 185.

<sup>67)</sup> Physikal. Z. 12, 369; 13, 699.

<sup>68)</sup> Ibid. 12, 378.

<sup>69)</sup> Phil. Mag. 19, 825.

<sup>70)</sup> Le Radium 8, 353.

<sup>71)</sup> Ibid. 8, 401.

|    | Halbwertszeit   | Strahlung   | Reichweite d.<br>$\alpha$ -Strahlen  |   |
|----|---|---|--|---|
| Ur | Uran I<br>↓<br>Uran II<br>↓<br>↓ Uran Y.<br>Uran X<br>↓<br>Ionium<br>↓<br>Radium<br>↓<br>Ra-Emanation<br>↓<br>Radium A<br>↓<br>Radium B<br>↓<br>Radium C <sub>1</sub><br>↓<br>Radium C <sub>2</sub><br>Radium D<br>↓ (Radioblei)<br>Radium E<br>↓<br>Radium F<br>(Polonium) | 5 $\times$ 10 <sup>9</sup> Jahre<br>10 <sup>6</sup> Jahre (?)<br>1,5 Tage<br>24,6 Tage<br>2 $\times$ 10 <sup>5</sup> Jahre (?)<br>2000 Jahre<br>3,85 Tage<br>3 Minuten<br>2,68 Minuten<br>19,5 Minuten<br>1,4 Minuten<br>16,5 Jahre<br>5 Tage<br>136 Tage | $\alpha$<br>$\alpha$<br>$\beta$<br>$\beta + \gamma$<br>$\alpha$<br>$\alpha + \beta$<br>$\alpha$<br>$\beta + \gamma$<br>$\alpha + \beta + \gamma$<br>$\beta$<br>$\beta$<br>$\beta + \gamma$<br>$\alpha$ | 2,5<br>2,9<br>—<br>—<br>3,0<br>3,3<br>4,16<br>4,74<br>6,94<br>—<br>—<br>—<br>3,77 |

UrY und RaC<sub>2</sub> werden jetzt nicht als Folge, sondern als Zweigprodukte von Ur II resp. RaC<sub>1</sub> aufgefaßt.

#### Die Aktiniumreihe.

Man ist sich heutzutage darüber einig, daß das Aktinium genetisch mit dem Uran zusammenhängen muß, und wie UrY sich von UrII und RaC<sub>2</sub> sich von RaC<sub>1</sub> außer der Reihe abzweigt, so vermutet man, daß das Aktinium sich in analoger Weise an einer Stelle, die vor dem Radium liegt, seitlich absondert. Daß das der Fall ist, ließ sich freilich noch ebenso wenig experimentell nachweisen, als man die Stelle vermuten kann, wo es abzweigt. Nach Neubestimmungen von Frau Curie<sup>72)</sup> hat das Aktinium eine Halbwertszeit von 30 Jahren. In chemischer Hinsicht steht Aktinium bekanntlich dem Lanthan am nächsten, ist aber basischer als dieses.

Die Reichweiten der  $\alpha$ -Strahlen von Aktinium X fand Geiger zu 4,4 cm.

Wie schon mitgeteilt, beobachteten Geiger und Marsden<sup>73)</sup>, daß die Aktiniumemanation zwei Arten von  $\alpha$ -Strahlen aussendet, und daß sie deshalb aus zwei Radioelementen bestehe. H. Geiger<sup>74)</sup> hat das dann sichergestellt und als Reichweiten für diese beiden  $\alpha$ -Strahlen 5,7 und 6,5 cm gefunden. Die  $\alpha$ -Strahlen der Emanation haben die Reichweite von 5,7 cm, die von der Reichweite 6,5 kommen einem festen Radioelement zu, das jetzt als Aktinium A bezeichnet wird, und das dem aktiven Niederschlag der Uran-Radiumreihe entspricht. Akt. A ist positiv geladen und sammelt sich deshalb an einer negativ geladenen Elektrode an. Die Halbwertszeit schätzt Geiger auf Grund gewisser Annahmen auf 1/500 Sekunde. Das Radioelement, das man bisher als Aktinium A bezeichnete, heißt jetzt Akt. B, und ebenso werden die früher als Akt. B und Akt. C bezeichneten Radioelemente jetzt als Akt. C und Akt. D aufgeführt. Die Halbwertszeit von Akt. D (des früheren Akt. C) hat A. F. Kovarik<sup>75)</sup> neu bestimmt und ist zu Werten gekommen, die zwischen 4,6 und 4,85 Minuten schwanken. Man nimmt deshalb als Halbwertszeit jetzt 4,71 Minuten an. Diese Zahl ist erheblich kleiner als die

von den Entdeckern O. Hahn und L. Meitner gefundene (5,1).

Die Aktiniumreihe hat jetzt folgendes Aussehen:

|                               | Halbwertszeit  | Strahlung                   | Reichweite d.<br>$\alpha$ -Strahlen |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Aktinium                      | unbekannt      | —                           | —                                   |
| ↓                             |                |                             |                                     |
| Radioaktinium                 | 19,5 Tage      | $\alpha + \beta$            | 4,6 cm                              |
| ↓                             |                |                             |                                     |
| Aktinium X                    | 10,2 Tage      | $\alpha$                    | 4,4 „                               |
| ↓                             |                |                             |                                     |
| Akt.-Emanation                | 3,9 Sekunden   | $\alpha$                    | 5,7 „                               |
| ↓                             |                |                             |                                     |
| Aktinium A                    | 0,002 Sekunden | $\alpha$                    | 6,5 „                               |
| ↓                             |                |                             |                                     |
| Aktinium B<br>(früher Akt. A) | 36 Minuten     | weiche<br>$\beta$ -Strahlg. | —                                   |
| ↓                             |                |                             |                                     |
| Aktinium C<br>(früher Akt. B) | 2,1 Minuten    | $\alpha$                    | 5,4 „                               |
| ↓                             |                |                             |                                     |
| Aktinium D<br>(früher Akt C)  | 4,71 Minuten   | $\beta + \gamma$            |                                     |

#### Die Thoriumreihe.

Die Aktivität des Elementes Thorium wurde bekanntlich unabhängig voneinander von C. G. Schmidt und von Frau Curie entdeckt. Dann hat Rutherford mit Mitarbeitern die Aktivität des Thoriums studiert und auf Grund dieser Studien, zusammen mit Soddy, die Atomzerfallshypothese aufgestellt. Von großer theoretischer und praktischer Bedeutung wurde dann die Entdeckung des Mesothoriums und Radiothoriums durch O. Hahn und der Ausbau der Thoriumreihe hauptsächlich durch diesen Forscher und seine Schüler.

Das komplexe Mesothorium, Radiothorium, ThX usw. wird seit einigen Jahren medizinisch verwendet und darum im Großen dargestellt. O. Hahn hat in Gemeinschaft mit der Firma O. Knöfler & Co. in Plötzensee bei Berlin erfolgreiche Versuche unternommen, die bisher wertlosen Rückstände von der Thoriumfabrikation aus Monazitsanden auf hochkonzentrierte Mesothoriumpräparate zu verarbeiten. Diese Präparate haben, frisch hergestellt, eine Aktivität, die zu 25% von Radium und zu 75% von Mesothorium herröhrt. „Durch die Nachbildung des Radiothoriums ergibt sich anfangs eine gewisse Zunahme der durchdringenden Strahlen, die in rund drei Jahren auf den eineinhalbfachen Wert ansteigen. Dann beginnt die Aktivität langsam zu sinken. Sie ist nach etwa zehn Jahren wieder so stark als zu Beginn und nach zwanzig Jahren knapp halb so stark. Allmählich, wenn alles Mesothor zerfallen ist, bleiben die 25% Aktivität des Radiums zurück. Die stärksten Präparate, die erhalten wurden, sind rund viermal so stark als eine gleiche Gewichtsmenge Radium; in diesem Falle besteht die Substanz augenscheinlich zu etwa 99 Gewichtsprozent aus Radium und zu 1 Gewichtsprozent aus dem dreihundertmal so starken Mesothor“<sup>76)</sup>.

Da Mesothorium dem Radium chemisch sehr nahe steht, so wird es oft zur Verfälschung von Radiumpräparaten benutzt. Es ist unter Umständen von Wichtigkeit, eine solche Verfälschung nachzuweisen. Die Methode von W. M.arek - wald ist schon früher<sup>77)</sup> mitgeteilt worden. F. Soddy<sup>78)</sup> benutzt zur Unterscheidung die Tatsache, daß Mesothorium im Gegensatz zum Radium eine etwas stärkere  $\gamma$ -Strahlung besitzt, die aber auch nicht leichter absorbierbar ist.

Das kurzlebige Zerfallsprodukt von Mesothorium 1, das Mesothorium 2, kann man elektrolytisch so abscheiden, daß es sehr stark auf einen Silberdraht angereichert wird. Auf die diesbezügliche Arbeit von Lise Meitner<sup>79)</sup>,

<sup>72)</sup> Ibid. 8, 353.

<sup>73)</sup> Physikal. Z. 11, 7.

<sup>74)</sup> Phil. Mag. 22, 201.

<sup>75)</sup> Physikal. Z. 12, 83.

<sup>76)</sup> O. Hahn, Z. f. Elektrochem. 18, 783 (1912).

<sup>77)</sup> Angew. Chem. 24, 1019 (1911).

<sup>78)</sup> J. Chem. Soc. 99, 72.

<sup>79)</sup> Physikal. Z. 12, 1094.

die auf analoge Art noch eine ganze Anzahl anderer Radioelemente anzureichern imstande war, sei verwiesen.

Für Radiothorium war von Leslie eine niedrigere Halbwertszeit, als bisher angenommen, angegeben worden. O. Hahn und L. Meitner<sup>80)</sup> fanden aber, daß die frühere Zahl von zwei Jahren die richtige ist.

Ganz neuerdings ist es F. Glaser gelungen, Thorium X nach einem besonderen Verfahren herzustellen (vgl. Chem.-Ztg. 37, 477 [1913]).

Mit der so leicht zerfallenden Thoriumemanation wurde von Leslie<sup>81)</sup> die Dichte nach der Methode von Debierne bestimmt. Die dabei erhaltenen Zahlen stimmten genügend mit den Annahmen über das Atomgewicht der Emanation überein.

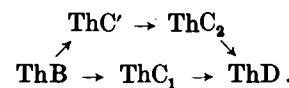
Wichtige neue Untersuchungen sind über den sog. aktiven Niederschlag des Thoriums ( $\text{ThA} + \text{ThB} + \text{ThC}_1 + \text{ThC}_2 + \text{ThD}$ ) gemacht worden. Wie schon bei den  $\alpha$ -Strahlen mitgeteilt wurde, fanden H. Geiger und E. Madelen<sup>82)</sup>, daß Thoriumemanation zwei  $\alpha$ -Teilchen ausschickt, die auf einem Zinksulfidschirm doppelte Szintillationen verursachen, und die verschiedene Reichweite haben. Sie schlossen daraus, daß das, was man bisher Thoriumemanation nannte, kein einfaches Radioelement ist. Es gelang ihnen dann auch, nachzuweisen, daß außer der gasförmigen Emanation ein festes, sehr kurzelbiges Zerfallsprodukt vorhanden ist, das sie ThA nannten. Sehr augenfällig wußten Ruth erforderlich und Geiger<sup>83)</sup> die Existenz dieses ersten Zerfallsproduktes der Thoriumemanation durch folgende Versuche sichtbar zu machen. Ein Messingstab wurde isoliert in einem kleinen zylindrischen Gefäß besetzt, in das Thorium emanation hineingegeben wurde. Das Ende des Stabes war zu ca. 1 cm Länge mit einer Zinksulfidschicht bedeckt. Dieser Teil des Stabes leuchtet im Dunkeln unter der Einwirkung der  $\alpha$ -Strahlen der Emanation nur wenig. Wird der Stab jetzt aber auf ca. 1000 Volt aufgeladen, so leuchtet das Zinksulfid sofort hell auf, und ebenso plötzlich erlischt diese Erscheinung, wenn man den Stab entlädt. Durch das Anlegen der hohen Spannung wird das ThA, das stets positive Ladung trägt, an der Elektrode konzentriert und ruft durch seinen raschen Zerfall diese Lichterscheinung hervor.

Die beiden Forscher konnten dies kurzelbiges Radioelement auch noch durch eine andere Versuchsanordnung sichtbar machen: Ein Messingzylinder von ca. 6 cm Länge steht mit einem Thoriumpräparat in Verbindung. Oben und

unten ist der Zylinder mit Ebonitstopfen verschlossen, durch die sich ein Draht ohne Ende, durch einen Motor getrieben, mit konstanter Geschwindigkeit hindurchbewegt. Der Draht wurde negativ, der Zylinder positiv geladen. Bei dem Versuche sammelt sich das ThA auf dem Draht an, und wenn man einen Zinksulfidschirm dem Drahte stark nähert, sieht man, wie die Helligkeit desto rascher abnimmt, je langsamer sich der Draht bewegt. So ließen sich sowohl beim ThA als auch beim Akt. A die Halbwertszeiten bestimmen.

Durch die Entdeckung dieser ersten raschen Zerfallsprodukte der Thoriumemanation ist hier wie beim Aktinium eine Änderung in der Nomenklatur eingetreten: Das Radioelement, das früher ThA hieß, heißt jetzt ThB, das frühere ThB ist jetzt ThC.

Dafür, daß ThC kein einfaches, sondern ein komplexes Radioelement ist, sprach schon länger eine Reihe von Beobachtungen. Zuerst nahm man an, daß es aus zwei in der Zerfallsreihe aufeinander folgenden  $\alpha$ -strahlenden Elementen besteht, von denen das erste sich mit einer Halbwertszeit von 60 Minuten in das zweite äußerst kurzelbig verwandelt. Das hat sich nach Marsden und Rutherford<sup>84)</sup> aber insofern nicht als richtig erwiesen, als  $\text{ThC}_1$  und  $\text{ThC}_2$  nicht Folgeprodukte sind, sondern daß beide gleichzeitig von ThB abgestoßen werden, wobei  $\text{ThC}_2$  in ähnlicher Weise ein Zweigprodukt von ThB ist, wie  $\text{RaC}_2$  von RaC und UrY von UrII. Um allen Verhältnissen Rechnung zu tragen, muß dann noch ein hypothetisches Zwischenprodukt ThC' angenommen werden, und Marsden und Rutherford geben ihre Ansicht über diese Verhältnisse durch folgendes Schema wieder:



Anzeichen für das hypothetische Zwischenprodukt ThC' erhielten vor kurzem O. Hahn und L. Meitner<sup>85)</sup>, doch ist seine Existenz noch nicht sichergestellt.

Durch die Untersuchungen über den aktiven Niederschlag von Thorium und Aktinium und die Entdeckung des ThA und Akt. A, ist eine vollständige Analogie zwischen diesen beiden Zerfallsreihen und der Radiumreihe hergestellt, die durch folgende Tabelle veranschaulicht sei:

|                        | Halbwertszeit       | Strahlung        |                         |  | Halbwertszeit              | Strahlung       |                |            | Halbwertszeit | Strahlung       |
|------------------------|---------------------|------------------|-------------------------|--|----------------------------|-----------------|----------------|------------|---------------|-----------------|
| Ra-Emanation           | 3,86 Tage           | $\alpha$         | Th-Emanation            |  | 54 Sek.                    | $\alpha$        | Akt.-Emanation |            | 3,9 Sek.      | $\alpha$        |
| ↓                      |                     |                  | ↓                       |  | 0,14 Sek.                  | $\alpha$        | ↓              | Aktinium A | 0,002 Sek.    | $\alpha$        |
| Radium A               | 3,0 Min.            | $\alpha$         | Thorium A               |  |                            |                 | ↓              | Aktinium B | 36 Min.       | $\beta$         |
| ↓                      |                     |                  | ↓                       |  | 10,6 Stund.                | $\beta$         | ↓              |            |               |                 |
| Radium B               | 26,8 Min.           | $\beta$          | Thorium B               |  |                            |                 | ↓              |            |               |                 |
| ↓                      |                     |                  | ↓                       |  | 60 Min. u. sehr kurze Zeit | $\alpha, \beta$ | ↓              | Aktinium C | 2,1 Min.      | $\alpha$        |
| Radium ( $C_1 + C_2$ ) | 19,6 resp. 1,4 Min. | $\alpha + \beta$ | Thorium ( $C_1 + C_2$ ) |  |                            |                 | ↓              |            |               |                 |
| ↓                      |                     |                  | ↓                       |  | 3,1 Min.                   | $\beta, \gamma$ | ↓              | Aktinium D | 4,71 Min.     | $\beta, \gamma$ |
| Radium D               | 16,5 Jahre          | $\beta$          | Thorium D               |  |                            |                 |                |            |               |                 |

Die Thoriumreihe hat in diesem Jahre das Aussehen S. 300 links oben.

Mehrfach wurden bereits Versuche gemacht, die Radioelemente in das periodische System einzurichten, besonders von Hevesy (Physikal. Z. 14, 49) und Busset (Chem. News 107, 49). Aber sie drangen nicht durch. In einer Abhandlung über die radioaktiven Umwandlungen und das periodische System der Elemente hat Kasimir Fajans<sup>86)</sup>

einen erfolgreicher Versuch gemacht, den Radioelementen eine Stellung im periodischen System anzugeben. Er tut das auf einer von ihm gefundenen Beziehung zwischen der Art einer radioaktiven Umwandlung und dem elektrochemischen Charakter der betreffenden Radioelemente. Man kann alle radioaktiven Umwandlungen in zwei Klassen einteilen: in  $\alpha$ -Strahlenumwandlungen, bei denen sich das Atomgewicht des entstehenden Elementes um rund vier gegen das seiner unmittelbaren Muttersubstanz vermindert, und in  $\beta$ -Strahlenumwandlungen, durch die das Atomgewicht so gut wie nicht geändert wird. Durch die  $\alpha$ -Strahlenumwandlung wird das neu entstehende Produkt elektrochemisch positiver, unedler, als seine Muttersubstanz, durch die  $\beta$ -Strahlenumwandlung wird es elektrochemisch negativer als seine Muttersubstanz. Da nun im periodischen System

<sup>80)</sup> Z. f. Elektrochem. 18, 784.

<sup>81)</sup> Compt. rend. 153, 328.

<sup>82)</sup> Loc. cit.

<sup>83)</sup> Phil. Mag. 22, 621.

<sup>84)</sup> Physikal. Z. 13, 193.

<sup>85)</sup> Ibid. 390.

<sup>86)</sup> Ber. 46, 422 (1913); Physikal. Z. 14, 131 (1913).

|                             | Halbwertszeit              | Strahlung        | Reichweite d.<br>$\alpha$ -Strahlen |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Thorium                     | $1,3 \times 10^{10}$ Jahre | $\alpha$         | 2,72                                |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Mesothorium 1               | 5,5 Jahre                  | strahlenlos      | —                                   |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Mesothorium 2               | 6,2 Stunden                | $\beta + \gamma$ | —                                   |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Radiothorium                | 2 Jahre                    | $\alpha$         | 3,87                                |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Thorium X                   | 3,65 Tage                  | $\alpha$         | 4,3                                 |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Thoriumemanation            | 54 Sek.                    | $\alpha$         | 5,0                                 |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Thorium A                   | 0,14 Sek.                  | $\alpha$         | 5,7                                 |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Thorium B<br>(bisher Th A)  | 10,6 Stunden               | $\beta$          | —                                   |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Thorium C<br>bisher Th B) { | 60 Minuten                 | $\alpha + \beta$ | 4,8                                 |
| $C_1$                       |                            |                  |                                     |
| $C_2$                       | sehr kurz                  | $\alpha$         | 8,6                                 |
| ↓                           |                            |                  |                                     |
| Thorium D                   | 3,1 Minute                 | $\beta + \gamma$ | —                                   |

der elektronegative Charakter der Elemente in einer Horizontalreihe von links nach rechts zunimmt, so entsteht bei der  $\alpha$ -Strahlenumwandlung ein Element, das einer niedrigeren Gruppe derselben Horizontalreihe angehört als seine Muttersubstanz, während bei der  $\beta$ -Strahlenumwandlung ein Element einer höheren Gruppe entsteht. Nun hat schon Sodd y<sup>87)</sup> bei einigen Fällen der  $\alpha$ -Strahlenumwandlung gezeigt, daß dabei ein Übergang in die zweitnächste Gruppe stattfindet, z. B. von der vierten in die zweite, der sechsten in die vierte usw. Für die  $\beta$ -Strahlenumwandlung zeigte Fajans, daß dabei ein Sprung nur um eine Gruppe anzunehmen ist. So konnte teils auf Grund von vorhandenen Untersuchungen, teils aus Analogien angegeben werden, in welche Gruppen des periodischen Systems die Radioelemente gehören. Es ergab sich die folgende Tabelle, die natürlich mehrfach nur hypothetischen Charakter hat.

<sup>87)</sup> Chemie der Radioelemente 1912, 81.

In dieser Tabelle sind Plätze, die sonst im periodischen System nur einem Element zukommen, durch mehrere Elemente besetzt. Diese Elemente gleichen sich in ihrem chemischen Charakter mehr als irgendwelche andere Elemente und lassen sich weder chemisch, noch durch Krystallisation voneinander trennen. Eine gewisse Ähnlichkeit haben diese Elemente mit den seltenen Erden, nur sind sie sich chemisch noch ähnlicher als diese. Einem solchen komplexen Element kommt nur eine Stelle im Mendeleeffschen System zu. Unter dieser Voraussetzung stellt sich die Tabelle unter Einreihung der Radioelemente wie auf S. 301 dar.

Der Ansicht von Fajans haben sich inzwischen F. Soddy (Chem. News 107, 97 [1913]) und W. Metzener (Ber. 46, 979 [1913]) im wesentlichen angeschlossen.

## Radioaktivität der Erde und der Atmosphäre.

Messungen über die Radioaktivität der Mineralien und Gesteine sind schon früh ausgeführt worden. Zusammenfassend hat sich darüber A. G o c k e l <sup>88)</sup> geäußert. Aus eigenen und Untersuchungen anderer stellte er fest, daß Plagioklasgesteine, Diabase, Andesite fast inaktiv, die Eruptivgesteine, Granite, Porphyre, Syenite, Pegmatite, relativ am stärksten aktiv waren, daß die übrigen Eruptivgesteine in ihrer Aktivität in der Mitte liegen. Aber auch in den relativ stark radioaktiven Gesteinsgruppen gibt es noch sehr erhebliche Schwankungen. Bei Granitgesteinen schwankt die Aktivität in Grenzen, die durch die Zahlen 1 und 280 ausgedrückt werden. Das kommt daher, daß die Aktivität durch diesen Gesteinen beigemengte Mineralien (meist Uranerze) bewirkt wird, die in den Gesteinen verschiedener Herkunft in verschiedener Menge verteilt sind. Sedimentgesteine sind durchschnittlich nur ein Zehntel so stark aktiv als Eruptivgesteine. Zu den am schwächsten aktiven Gesteinen gehören auch die Kalke, wenn keine besonderen Verhältnisse vorliegen. Als ganz inaktiv erwiesen sich die Quarze.

Früher untersuchte man die Gesteine auf Radium, indem man vorzugsweise die Wirkung seiner  $\alpha$ -Strahlen maß. Da sich so oft schwankende Zahlen ergaben, führte zuerst Boltwood eine andere Methode ein, die darauf hinausging, die in dem Mineral vorhandene Menge Emanation zu eliminieren und deren Aktivität zu messen. Er schloß das

<sup>88)</sup> Jahrb. f. Radioakt. u. Elektronik 7, 487ff.

Tabelle 1.

| 0   | I  | II  | III   | IV  | V   | VI   |
|---|--|---|---|---|---|--|
|   | Au 197,2   | Hg 200,6  | Tl 204,4<br>Akt D<br>206,5<br>Th D 208,4<br>RaC <sub>2</sub><br>210,5 | Pb 206,5<br>Th D <sub>2</sub><br>208,4<br>Ra D 210,5<br>At B<br>210,5<br>Th B<br>212,4<br>Ra B<br>214,5 | Bi 208,4<br>Ra E 210,5<br>Akt C<br>210,5<br>ThC <sub>2</sub> 212,4<br>RaC <sub>1</sub><br>214,5 |  |
| Akt Em<br>218,5<br>Th Em<br>220,4<br>Ra Em<br>222,5 | (Akt X <sub>2</sub> )<br>218,5<br>(ThX <sub>2</sub> )<br>220,4<br>(RaX)<br>222,5 | Akt X<br>222,5<br>Th X 224,4<br>Ra 226,5<br>Mcs Th I<br>228,4 | Akt 226,5<br>Mcs Th II<br>228,4                                       | Rad Akt<br>226,5<br>Rad Th<br>228,4<br>Io 230,5<br>Th 232,4<br>UrX 234,5                                | (UrX <sub>2</sub> )<br>234,5  | Akt A<br>214,5<br>Th A 216,4<br>Ra A 218,5 |

Gestein auf, brachte es in Lösung und bestimmte dann den Emanationsgehalt der Lösung. So konnte aber oft durch Kochen oder Durchquirlen von Luft die Emanation nicht völlig entfernt werden, und darum hat J. Joly<sup>89)</sup> versucht, die Emanation aus dem Schmelzfluß des Gesteines auszutreiben und die Auflösung zu vermeiden. In einem besonderen elektrischen Widerstandsofen wird das Gestein mit Natriumkaliumcarbonat geschmolzen und eine Stunde lang auf 1150° erhitzt. Die entweichenden Gase werden in einen vorher evakuierten Elektroskopraum eingelassen, und dann der Voltabfall gemessen. So ergab sich stets ein bedeutend höherer Radiumgehalt als nach der Lösungsmethode. Der Verlust an Emanation beim Pulvern des Gesteins beträgt weniger als 1%.

Als nach dieser Methode die Aktivität der Gesteine bestimmt wurde, ergab sich eine viel bessere Übereinstimmung als bisher. Der Radiumgehalt von Sedimentärgesteinen ergab sich so im Durchschnitt zu  $1 - 1,5 \times 10^{-12}$  Radium pro Gramm Mineral<sup>90)</sup>.

Nach seiner Schmelzmethode hat J. Joly<sup>91)</sup> von neuem den Radium- und Thoriumgehalt einer Reihe von Gesteinen des Gotthardtunnels untersucht und gefunden, daß ein Zusammenhang zwischen der Stärke der Aktivität der Gesteine und der Höhe der Temperatur an den entsprechenden Stellen des Tunnels existiert.

Nach T. H. Laby<sup>92)</sup> berechnet sich die Wärmeentwicklung der Radium- und Thoriumprodukte in den Gesteinen im Mittel zu  $4 \times 10^{-18}$  Calorien pro Sekunde für 1 g Gestein. Wären die radioaktiven Elemente gleichmäßig durch die ganze Erde verteilt, so müßte man eine viel höhere Temperaturzunahme nach der Tiefe zu erwarten, als er wirklich gemessen wurde. Daher nimmt man nach wie vor an, daß die oberflächlichen Erdschichten viel reicher an radioaktiven Substanzen sind als die tiefer gelegenen.

Da Helium sich bei radioaktiven Umwandlungen bildet und unter normalen Verhältnissen im Mineral bleibt, so hat man aus dem Heliumgehalt von Uranerzen auf die Dauer der im Mineral stattgefundenen radioaktiven Umwandlungen und damit auf das Alter des Uranerzes geschlossen. Voraussetzung war dabei natürlich, daß die radioaktiven Prozesse früher gerade so verlaufen sind wie jetzt, was uns nach dem augenblicklichen Stande der Forschung nicht zweifelhaft ist. Man bestimmte deshalb in den Mineralien die Menge Helium, die auf ein Gramm Uran im Mineral kommt, und dividierte sie durch die Jahresproduktion Helium, die sich aus dem Uran-, resp. Radiumgehalt des Minerals pro Gramm berechnet. Diese Zahl drückt das Alter des Minerals aus. Besonders R. J. Strutt<sup>93)</sup> hat hierüber umfassende Untersuchungen ausgeführt und die Methoden zur Bestimmung kleiner Mengen Helium sehr verfeinert. Dabei ging Strutt in zweierlei Weise vor.

<sup>89)</sup> Phil. Mag. 22, 134.

<sup>90)</sup> S. A. Fletcher, Phil. Mag. 23, 279.

<sup>91)</sup> Phil. Mag. 23, 201.

<sup>92)</sup> Le Radium 9, 21 (1912).

<sup>93)</sup> Nature 80, 308; 81, 158.

Einmal bestimmte er den Gesamtheliumgehalt eines Uranminerals und maß darauf direkt die Heliumproduktion dieses Minerals, um die Werte miteinander zu vergleichen. Die Übereinstimmung sei an einem Beispiel gegeben. Für 1 g  $\text{U}_3\text{O}_8$  berechnet sich die Heliumproduktion pro Jahr zu  $9,13 \times 10^{-8}$  ccm. Eine Pechblendeauflösung, die Strutt untersuchte, ergab eine Menge von  $10,4 \times 10^{-8}$  ccm. Eine Untersuchung über das Alter des Thorianits ergab z. B. folgendes. 1 g des untersuchten Minerals enthielt 9,3 ccm Helium. Dann wurde das Mineral völlig in Lösung gebracht, erst alles vorhandene Helium sorgfältig entfernt und dann die Lösung stehen gelassen, worauf sie wieder Helium produzierte. Von Zeit zu Zeit wurde das neu gebildete Helium gesammelt und gemessen. So ergab an sich z. B.  $3,7 \times 10^{-8}$  Kubikzentimeter Helium pro Gramm Thorianit im Jahre. Daraus berechnet sich das Alter des Minerals

$$= \frac{9,3}{3,7 \times 10^{-8}} = 250\,000\,000 \text{ Jahre.}$$

Eine andere Probe analog behandelt ergab ein Alter von 280 000 000 Jahren.

Als höchstes Alter für einen Bestandteil des Urgesteins fand Strutt auf diese Weise 700 Mill. Jahre.

Eine andere Methode zur Bestimmung des Alters von Mineralien, welche auf der Feststellung des Verhältnisses von Uran zu Blei beruht, wurde von A. Holmes<sup>94)</sup> ausgearbeitet. Auf sie sei verwiesen.

Was die Radioaktivität von Quellwässern anbetrifft, so sind in den letzten Jahren auch hier viele neue Untersuchungen ausgeführt worden. Zunächst sei über die Methodik einiges mitgeteilt. W. S. Tito<sup>95)</sup> hat die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Radioaktivität des Wassers und besonders die Schüttel- und Zirkulationsmethode von H. W. Schmidt, sowie die Zirkulationsmethode von Mache und Mayer miteinander verglichen. Er fand für die Schmidt'sche Methode stets höhere Werte wie für die Mache'sche, welch letztere er für genauer hält. Er untersuchte auch, inwieweit der Ionisationsstrom von der Stärke und der Dauer des Schüttelns und dem Zeitraum zwischen der Beendigung des Schüttelns abhängt. Wenn das Wasser Kohlensäure enthält, entsteht eine Ionisierung, die sich zu der durch die Emanationen bewirkten superponiert und so die höhere Aktivität bedingt.

Dann haben F. Henrich und F. Glasser<sup>96)</sup> die gebräuchlichsten Apparate zur Bestimmung der Aktivität von Wässern dadurch in ihrer Brauchbarkeit miteinander verglichen, daß sie gleichzeitig mit zur gleichen Zeit entnommenen Wasser Aktivitätsbestimmungen unabhängig voneinander ausführten und die Werte miteinander verglichen. Es ergab sich, daß mit dem Fontaktoskop von Engler und Siecking und mit dem Fontaktometer von Mache und Mayer bei vorgeschriebener Arbeitsweise durchaus übereinstimmende Werte erhalten wurden. Obwohl also

<sup>94)</sup> Physikal. Z. 12, 476 (1911).

<sup>95)</sup> Angew. Chem. 25, 16ff. (1912).

Tabelle 2.

|   | 0                           | I         | II             | III                    | IV                        | V        | VI        | VII      | VIII                          |
|---|-----------------------------|-----------|----------------|------------------------|---------------------------|----------|-----------|----------|-------------------------------|
| 1 | He 3,99                     | Li 6,94   | Be 9,1         | B 11,0                 | C. 12,00                  | N 14,01  | O 16,00   | F 19,0   |                               |
| 2 | Ne 20,2                     | Na 23,00  | Mg 24,32       | Al 27,1                | Si 28,3                   | P 31,04  | S. 32,07  | Cl 35,46 |                               |
| 3 | Ar 39,88                    | K 39,10   | Ca 40,07       | Sc 44,1                | Ti 48,1                   | V 51,0   | Cr 52,0   | Mn 54,93 | Fe 55,84 Co 58,97<br>Ni 58,68 |
| 4 |                             | Cu 63,57  | Zn 65,37       | Ga 69,9                | Ge 72,5                   | As 74,96 | Se 79,2   | Br 79,92 |                               |
| 5 | Kr 82,92                    | Rb 85,45  | Sr 87,63       | Y 89,0                 | Zr 90,6                   | Nb 93,5  | Mo 96,0   | —        | Ru 101,7 Rh 102,9<br>Pd 106,7 |
| 6 |                             | Ag 107,88 | Cd 112,40      | In 114,8               | Sn 119,0                  | Sb 120,2 | Te 127,5  | J 126,92 |                               |
| 7 | X 130,2                     | Cs 132,81 | Ba 137,37      | La 139,0<br>und andere | Ce 140,25<br>und andere   | Ta 181,5 | W 184,0   | —        | Os 190,9 Ir 193,1<br>Pt 195,2 |
| 8 |                             | Au 197,2  | Hg 200,6       | Tl 204,0               | Pb 207,10                 | Bi 208,0 | Pol 210,5 | —        |                               |
| 9 | Ra Em 222,5<br>(Ra X) 222,5 | Ra 226,5  | Mesth II 228,4 | Th 232,4               | (UrX <sub>2</sub> ) 234,5 | Ur 238,5 | —         |          |                               |

das Fontaktometer theoretisch einwandfreier konstruiert ist als das Fontaktoskop, bietet es diesem Instrument gegenüber bei vorschriftsmäßigem Arbeiten keine Vorteile, ja eher kleine Nachteile, weil das Fontaktoskop billiger, handlicher ist und einen regelmäßigeren Gang hat als das Fontaktometer.

Das Fontaktoskop von L o e w e n t h a l mit der kleinen parallelepipedischen, nur zwei Liter fassenden Kanne erwies sich aber nach diesen Untersuchungen als durchaus unbrauchbar für Wasseruntersuchungen. Es liefert im Vergleich zu den beiden anderen Apparaten viel zu niedrige Werte, auch dann, wenn man die in den Gebrauchsverordnungen angegebenen, durch Rechnung gefundenen Korrekturen anbringt<sup>96)</sup>.

Muß man wegen der Einheitlichkeit bei der Untersuchung von Quellwässern einstweilen Fontaktoskop oder Fontaktometer in der Anwendung wie die Gebrauchsanweisung es angibt, noch als die zweckmäßigsten Apparate zur Untersuchung von Wässern empfehlen, so seien doch auch andere Vorschläge zu Abänderungen hier mitgeteilt. H. G r e i n a c h e r<sup>97)</sup> empfiehlt es, das Wasser nicht auszuschöpfen, sondern es in evakuierte Glasgefäß einströmen zu lassen. Statt des Schüttelns empfiehlt er, die Emanation durch Auskochen zu entfernen und sie dann in die Fontaktometerkanne einzuführen.

Einen empfindlichen Universalapparat zur Messung des Gehaltes von Flüssigkeits- und Gasproben an Emanation hat J. v. W e s z e l s z k y<sup>98)</sup> angegeben. W. H a m m e r<sup>99)</sup> beschreibt eine neue Form des Fontaktoskops mit einem praktischen Schüttelgefäß, und G. B e r n d t<sup>100)</sup> bespricht die Korrekturen, die man bei den verschiedenen Methoden der Bestimmung der Aktivität von Quellwässern anbringen muß und berechnet Reduktionsfaktoren.

Über neuere Vorschläge, die Aktivität von Quellen in anderen Einheiten als bisher auszudrücken, ist schon berichtet worden. Es sei hierüber nochmals auf die Abhandlung von C. E n g l e r und H. S i e v e k i n g<sup>101)</sup> verwiesen, in der diese Vorschläge kritisch behandelt sind.

In den letzten zwei Jahren ist wieder eine Reihe von Quellen untersucht worden, die nicht alle von weitgehenderem Interesse sind. Einer Untersuchung sei aber besonders gedacht, weil sie jetzt zu einem vorläufigen Abschluß gelangt ist und nach Anlage, Durchführung und Resultaten zu den mustergültigen gezählt zu werden verdient. Das ist die Untersuchung der radioaktiven Wässer im Königreich Sachsen, die von dem Kgl. Sächsischen Finanzministerium veranlaßt und von C. S c h i f f n e r begonnen wurde. An der Fortsetzung beteiligten sich dann vor allem M. Weidig und eine Zeit lang auch R. Friedrich. In vier Abteilungen liegen nunmehr die Resultate vor, die künftigen Untersuchungen als Muster und Fingerzeig dienen können<sup>102)</sup>. Die Radioaktivität der Quellen wurde stets an Ort und Stelle nach der Schüttelmethode und meist mit dem Fontaktoskop von E n g l e r und S i e v e k i n g bestimmt. Auch S c h i f f n e r und Weidig verglichen die Resultate mit diesem Instrument mit denen, die das Fontaktometer von M a c h e und M a y e r lieferte. Auch sie fanden befriedigende Übereinstimmung.

Das wichtigste bei diesen Arbeiten ist das Streben, einen inneren Zusammenhang der geologischen und mineralogisch-chemischen Verhältnisse mit der Aktivität der Quellen zu erkennen. Zunächst untersuchte man die Gegenden, in denen Uranminerale vorkommen, und bald ergab es sich, daß im sächsischen Erzgebirge das Auftreten stark aktiver Wässer keineswegs lokal gebunden ist an das Vorhandensein bekannter Uranerzlagerstätten. Das gleiche hat man auch anderwärts gefunden. Neben stark aktiven kommen da viel-

<sup>96)</sup> Angew. Chem. 25, 1224 (1912). Nach einer privaten Mitteilung ist Herr Loeenthal von seinem (Angew. Chem. 25, 670) geäußerten Standpunkt abgekommen und hat den obigen Einwand von Glaser und Henrich als berechtigt anerkannt.

<sup>97)</sup> Physikal. Z. 13, 435 (1912).

<sup>98)</sup> Ibid. 240.

<sup>99)</sup> Ber. d. Deutsch. physik. Ges. 14, 670 (1912).

<sup>100)</sup> Ann. d. Phys. [4] 38, 958 (1912).

<sup>101)</sup> Radium in Biologie u. Heilkunde I, 277ff. (1912).

<sup>102)</sup> Weidig, Radioaktive Wässer in Sachsen, IV. Teil, S. 291.

fach ganz schwach aktive Wässer vor. Dann aber fanden die genannten Forscher, daß an vielen Orten, wo man die Uranerze gefunden hatte, Wässer mit recht bedeutenden Aktivitäten vorhanden sind.

Nun besteht ein tiefer innerer Zusammenhang zwischen der Entstehung der Erzgänge und der Tätigkeit der auf weitverzweigten Gebirgsspalten aufsteigenden Quellen, und diese Erkenntnis führte beim Studium des sog. Eibenstocker Granitgebietes, das sehr reich an Erzgängen ist, zu wertvollen Resultaten. In sehr eingehenden, planvollen Forschungen wurden die Quellspalten vom Granit nach den Kontaktzonen und den darüber liegenden reinen Schiefern verfolgt. Die höchsten Werte, zum Teil über 100 Macheeinheiten, gaben Quellen, die am westlichen Randgebiete des Granites lagen. Die Untersuchung von Gesteinsproben an diesem Randgebiete des Granitmassives ergab ebenfalls höhere Werte für die Radioaktivität, als sie an anderen Punkten beobachtet wurde. Man mußte annehmen, daß sich hier Tiefengesteine, die Uran in reichlicher Menge führen, befinden, und daß das in ihnen zirkulierende Wasser sich stärker mit Emanation beladen kann als an anderen Stellen. An geologisch ähnlichen Teilen des Granitgebietes zeigten sich nun ähnliche Verhältnisse, und Quellen von recht beträchtlicher Aktivität wurden nun in größerer Anzahl gefunden. Damit waren bereits wesentliche Fingerzeige gegeben, und man konnte auf Grund dieser und anderer Beobachtungen vorauszusagen versuchen, in welchen Gebieten sich stark aktive Quellen befinden müssen. Theoretische Erwägungen führten so zu einer Kontaktzone von Granit und Schiefer bei Brambach im Voigtlände, und hier wurden nun Quellwässer entdeckt, deren Radioaktivität alles bisher Dagewesene weit übertraf. Quellen von einer Aktivität über 100 waren hier relativ häufig, die „Neue Quelle“ oder „Radiumquelle“ auf der Gemeindeflur Brambach zeigte Aktivitäten, die Weidig<sup>102)</sup> zu 1964, 1954, 1948 Macheeinheiten bestimmte. H. Fresenius und Czapski<sup>103)</sup> haben sogar über 2000 (2270) Macheeinheiten gefunden, doch muß darauf hingewiesen werden, daß die verschiedenen übereinstimmenden Bestimmungen von Weidig im Zusammenhang mit sämtlichen anderen Wässern in Sachsen gemacht sind und darum mehr Wahrscheinlichkeit für sich haben. Auch sonst haben sich die Fingerzeige, die das systematische Einschließen geologischer Gesichtspunkte in diese Forschungen über Radioaktivität ergaben, als sehr wertvoll erwiesen. Und heute weiß man, daß als Ursprungsstätte der Emanationszufuhr im allgemeinen der Granit anzusprechen ist, „denn allenfalls zeigen die in ihm auftretenden Quellen eine wesentlich höhere Radioaktivität als diejenigen aus benachbarten geologischen Zonen. Inwieweit noch außerdem ein besonderes, stärker emanierendes Tiefenmaterial als Zubringer der aktiven Gase und Salze in Frage kommt, ist zurzeit noch nicht zu entscheiden, immerhin deutet aber die Steigerung der Aktivitätswerte in der Nähe der offenbar bis in weite Tiefen hinabreichenden Kontaktfläche eine solche Möglichkeit an.“

Über den „Ursprung der Aktivität“ äußern sich in einem anderen geologischen Gebiete im Zusammenhang C. E n g l e r und H. S i e v e k i n g<sup>104)</sup>. Die Quellen von Baden-Baden, die an verschiedenen Stellen des Ortes zutage treten, zeigen sehr ähnlichen Salzgehalt, was darauf schließen läßt, daß sie aus einer gemeinschaftlichen Urquelle stammen, die sich durch verschiedene Spalten und Risse der Gesteinsschichten in die einzelnen Quellen teilt. „Die Radioaktivität konnte dabei ebensowohl in der Tiefe der Urquelle aufgenommen werden, als auch, da die geteilten Quellarme im ganzen die gleichen Gesteinsschichten passieren, in höheren Regionen. Die verschiedene Temperatur der Quellen des gleichen Komplexes ist wohl nur die Folge des verschieden weiten bzw. raschen Laufes ihres Wassers in den oberen kälteren Schichten, wobei das auf Umwegen oder langsamer aufsteigende Wasser sich stärker abkühlt als das rasch laufende. Andererseits kann das heiße Wasser weniger Radiumemanation lösen halten. Zumal wenn auch nach obenzu der Druck abnimmt, wodurch es sich erklären dürfte, daß

<sup>103)</sup> Chem.-Ztg. v. 4/7. 1911.

<sup>104)</sup> Radium in Biologie u. Heilkunde I, 290.

die kühleren Quellen eines und desselben Thermalgebietes die radioaktivsten sind. Im ganzen halten wir es für wahrscheinlicher, daß die radioaktiven Stoffe der Badener Thermen nicht aus großen Tiefen der Erde heraufdringen, sondern den oberen Verwitterungsschichten entstammen. Die Ansicht, wonach der hohe Gehalt mancher Thermalwasser damit zusammenhängen soll, daß diese aus tieferen Schichten, gewissermaßen dem Erdinnern entstammen und aus diesen an Radium reicher Massen reichlicher Emanation aufnehmen, läßt sich auf Grund von Wahrnehmungen hoher Radioaktivitätswerte bei ganz kalten Mineralquellen des Schwarzwaldes nicht aufrecht erhalten. Viel wahrscheinlicher ist es, daß auch da die Aufnahme in weiter nach oben liegenden Verwitterungsschichten erfolgt, und daß diese Aufnahme durch die aufschließende Wirkung des warmen Wassers der Thermen nur begünstigt wird<sup>105)</sup>. Die beiden Forscher glauben, daß nicht nur bei Wässern aus geringer Tiefe, sondern auch bei solchen aus bedeutender Tiefe die Möglichkeit besteht, daß das Wasser erst in den letzten Schichten, durch die es langsam aufsteigt, den größten Teil der Emanation erhält.

Aus diesen Mitteilungen ersieht man, wie wichtig es ist, diese Verhältnisse von Fall zu Fall zu untersuchen. Sachsen, das in der Durchführung einer das ganze Land umfassenden Untersuchung bisher noch allein geblieben ist, hat dabei schon bedeutende praktische Erfolge zu verzeichnen, denn bisher fast ungenutzte Wässer, wie die von Brambach, haben einen bedeutenden Handelswert erhalten, und Orte, die bisher wenig besucht waren, haben Aussicht, namhafte Badeorte zu werden.

Von Arbeiten, die als Grundlagen für systematische Untersuchungen der Radioaktivität der Quellwässer gelten können, sei die von L. v. A m m o n<sup>106)</sup>: „Über radioaktive Substanzen in Bayern,“ erwähnt.

Über die Emanationen und Strahlungen, die durch radioaktive Körper der Erde in der Atmosphäre hervorgerufen werden, sind in den letzten Jahren interessante Untersuchungen veröffentlicht worden. A. G. E v e<sup>107)</sup> hat es versucht, die gesamte in der Luft beobachtete Ionisierung aus der gegenwärtig bekannten Verteilung der radioaktiven Elemente in der Erdkruste zu erklären. Danach würden durch die  $\alpha$ -Strahlen der Radiumemanation und ihrer Zerfallsprodukte etwa 1,63 Ionen pro Kubikmeter in einer Sekunde erzeugt werden. Die Thoriumemanation samt Zerfallsprodukten würde 1 Ion in einer Sekunde erzeugen. Weiter berechnet E v e aus dem Radium- und Thoriumgehalt der Erde den Anteil der  $\gamma$ -Strahlung des in der Erdrinde enthaltenen RaC und ThC und findet den Effekt dieser beiden Produkte zu 1,6 Ionen pro Kubikmeter und Sekunde.

Gegenstand besonderer Untersuchungen war dann die in der Atmosphäre vorhandene durchdringende Strahlung<sup>108)</sup>. Über ihren Ursprung gibt es verschiedene Ansichten. Nach W u l f<sup>108)</sup> wird die Strahlung fast ausschließlich von den in den obersten Bodenschichten enthaltenen radioaktiven Substanzen hervorgerufen. Da aber diese Strahlung stark von meteorologischen Faktoren beeinflußt wird, so glaubt M a c h e, daß der größere Teil der durchdringenden Strahlen von den in der Atmosphäre enthaltenen radioaktiven Induktionen herrührt. Die durchdringende Strahlung nimmt über dem Lande in der Höhe nicht ab. Nach Beobachtungen im Ballon, die A. G o c k e l anstellte, war eine wesentliche Abnahme selbst in 4000 m Höhe nicht festzustellen. Daß aber über Wasser die Strahlung eine bedeutende Abnahme erleidet, ist übereinstimmend von M c L e n n a n, W u l f und A. G o c k e l festgestellt, und darum ist die Strahlung in der freien Atmosphäre über der See geringer als über dem Lande. Die Strahlung ist sicher Schwankungen unterworfen. Im Frühjahr betragen die Schwankungen von einem Monat zum anderen im Maximum nur 3%, von Januar bis März, sowie im Juli oder August wurde dagegen ein Anstieg bis zu 10% beob-

achtet. Auch tägliche Schwankungen finden statt, die nach W u l f dadurch bewirkt werden, daß induzierte Körper aus dem Boden in die Höhe geführt werden.

Einen sicher nachweisbaren Einfluß auf die Strahlung üben auch meteorologische Faktoren aus. Taubildung vermindert, Gewitterregen erhöht die Strahlung, nach dem Regen tritt eine Verminderung ein. Die Unterschiede betragen im Mittel nicht mehr als 5%. Schneefall bringt nie eine Erhöhung, oft eine kleine Erniedrigung bis zu 2% her vor.

[A. 93.]

## Über Magnesiagerätschaften.

Von E. WEDEKIND.

(Eingeg. 9./4. 1918.)

Vor kurzem empfahl ich<sup>1)</sup> die Verwendung von Magnesiastäbchen an Stelle von Platindrähten bei analytischen Arbeiten, in erster Linie, um wenigstens bei qualitativen analytischen Arbeiten einen Ersatz für das teure Platinmetall zu haben.

Inzwischen habe ich auch andere Gerätschaften aus dieser sog. technischen Magnesiamasse<sup>2)</sup> herstellen lassen, die sich besonders für Arbeiten bei hohen Temperaturen bewährt haben und den Vorzug der Billigkeit haben.

Zur Demonstration von Flammenfärbungen, gefärbten Schmelzen usw. eignen sich M a g n e s i a s p a t e l, welche in der Vorlesung bequemer zu handhaben sind, als die dünnen Stäbchen. Der Stiel ist etwas stärker, als bei letzteren, so daß man die Proben ohne Bruchgefahr direkt aus den betreffenden Flaschen entnehmen kann.

Zur Herstellung von d a u e r n d e n Flammenfärbungen speziell von Natriumflammen bei optischen Arbeiten, haben sich flache R i n n e n aus sog. Magnesimasse sehr bewährt. Diese sind 9,5 cm lang und ca. 1 cm breit; sie werden in einer kleinen Klammer am Stativ befestigt, im vorderen Teil mit einer größeren Portion Kochsalz beschickt und zweckmäßig mit einem Méker-Brenner erhitzt. Hierdurch wird ein sehr intensives, langanhaltendes und zugleich ruhiges Licht erzeugt, da die Méker-Flamme, abgesehen von ihrer hohen Temperatur, den Vorzug hat, nicht zu flackern. Diese Rinnen sind außerordentlich haltbar, sie können wochenlang täglich benutzt werden, ohne zu zerbrechen. Hierdurch ergibt sich gegenüber den sonst vielfach in Gebrauch befindlichen Platinlöffeln und -ringen, die bekanntlich stark dem Verbrauch unterliegen, eine erhebliche Ersparnis, da eine Magnesiariinne 3 Pf. kostet.

Endlich habe ich T i e g e l und S c h i f f c h e n für Arbeiten bei hohen Temperaturen herstellen lassen. Die Tiegel eignen sich für präparative Arbeiten im kleinen Maßstabe, besonders zum Ausglühen von Oxyden und feuerbeständigen Salzen, wenn man Platintiegel vermeiden oder schonen will.

Die S c h i f f c h e n aus Magnesiamasse, die sich in den von mir zunächst gewählten Abmessungen auf 30 Pf. pro Stück stellen, sind mir bei allen Versuchen, bei denen es sich um Temperaturen handelt, bei welchen die Glasur von Porzellanschiffchen erreicht, unentbehrlich geworden. Ich habe bisher diese Magnesienschiffchen bis zu Temperaturen von 1300° in verschiedenen Gasatmosphären benutzt, ohne eine andere Veränderung, als eine Dunkelfärbung zu beobachten. Wenn man in Röhren aus Hartporzellan oder Marquardtmasse arbeitet, welche inwendig nicht glasiert sind, ist ein Festkleben der Schiffchen an den Rohrwandungen ausgeschlossen. Arbeitet man in mehreren Versuchen mit demselben Material, so können die Magnesienschiffchen

<sup>1)</sup> Ber. 45, 382 (1912). Inzwischen fand ich, daß W i s m u t - salze am Magnesiastäbchen gut zu erkennen durch die schöne gelbe bzw. braune Färbung, die beim Erhitzen für sich auftritt. Da die gefärbte Masse sich scharf von der weißen Unterlage abhebt, so eignet sich diese Reaktion zur Demonstration in der Vorlesung, besonders wenn Magnesia s p a t e l verwendet.

<sup>2)</sup> Diese Masse wurde zuerst aus reiner Magnesia hergestellt, erwies sich aber in der Praxis (Träger für Glühstrümpfe, Magnesiaringe usw.) als nicht genügend bruchfest. Später wurde der Masse immer weniger Magnesia zugesetzt, so daß die jetzt im Handel befindlichen Stifte, Ringe usw. der Hauptsache nach aus Kaolin bestehen. Die Bezeichnung Magnesiastifte ist dem Produkt aber geblieben.

<sup>105)</sup> Ibid. I, 291.

<sup>106)</sup> Geognostische Jahreshefte 23, 191ff.

<sup>107)</sup> Phil. Mag. 21, 26.

<sup>108)</sup> A. G o c k e l, Jahrb. d. Radioakt. u. Elektronik 1912, 1ff.