

2. Die anorganische Chemie ist der organischen, pharmazeutischen, technischen Chemie gleichwertig und muß, wie diese, durch Ordinate mit eigenen wohlausgestatteten Instituten vertreten werden.
3. Die Vertretung der anorganischen Chemie, welche als ein besonderes selbständiges Fach zu betrachten ist, durch außerordentliche Professuren oder gar durch außerordentliche Lehrkräfte und Privatdozenten, entspricht nicht der Stellung der anorganischen Chemie in Technik und Wissenschaft. Die Überführung solcher Lehrstühle in Ordinate, bzw. die Neueinrichtung solcher, wo etatsmäßige Lehrstühle noch nicht bestehen, wird als eine dringliche Forderung bezeichnet.
4. Die Nichterfüllung dieser Forderung würde die Gefahr bedingen, daß die deutsche anorganische Forschung noch mehr als bisher schon vom Auslande überflügelt wird."
9. Vorbereitung des VIII. internationalen Kongresses (Ref.: Prof. Dr. B. R a s s o w).
10. Berichte des Vorstandes:
  - a) Vereinszeitschrift.  
Abrechnung für 1910 (Ref.: Direktor F r i t z L ü t y).  
Bericht der Entwicklung der Zeitschrift (Ref.: Prof. Dr. B. R a s s o w).
  - b) Rechtsauskunftsstelle (Ref.: Prof. Dr. B. R a s s o w, in Vertretung von Prof. Dr. O s t e r r i e t h).
  - c) Stellenvermittlung (Ref.: Prof. Dr. B. R a s s o w).
  - d) Statistik der Chemiker und Chemiestudierenden für das Jahr 1910 (Ref.: Prof. Dr. B. R a s s o w).
  - e) Vermittlungsstelle für Vorträge (Ref.: Prof. Dr. B. R a s s o w).
  - f) Studium der Ausländer an deutschen Hochschulen (Ref.: Kommerzienrat Dr. K a r l G o l d - s c h m i d t).
11. Sozialer Ausschuß.
  - a) Bericht über seine Tätigkeit (Ref.: Dr. Q u i n c k e).
  - b) Neuwahl der ausscheidenden Ausschußmitglieder und deren Stellvertreter (es scheiden s a t z u n g s - gemäß aus von angestellten Chemikern Dr. E. H a a g n und J. P f l e g e r, von unabhängigen Chemikern Dr. F. R a s c h i g und Prof. Dr. M. B u s c h).
12. Hilfskasse (Ref.: Dr. F. R a s c h i g).
13. Tätigkeit des Ausschusses zur Wahrung der gemeinsamen Interessen des Chemikerstandes (Ref.: Direktor F r i t z L ü t y).
14. Tätigkeit des Deutschen Ausschusses für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht (Ref.: Prof. Dr. B. R a s s o w).
15. Tätigkeit des Vereins chemische Reichsanstalt (Ref.: Geheimrat Prof. Dr. M. D e i b r ü c k).
16. Verschiedenes.

Tagesordnung der Fachgruppen befindet sich auf S. 1038.

## Neuere Forschungen auf dem Gebiete der Radioaktivität<sup>1)</sup>.

Von Prof. Dr. F E R D. H E N R I C H.

(Eingeg. d. 3. 4. 1911.)

Der internationale Kongreß für Radiologie und Elektronik, der vom 13.—15./9. 1910 in Brüssel tagte, zeigte so recht, wie alle Kulturnationen bestrebt sind, das neue Gebiet auszubauen und zu erweitern. Über die wichtigsten experimentellen Entdeckungen der letzten Zeit, sowie über theoretische Fragen wurde vorgetragen und diskutiert. Frau C u r i e sprach über die Herstellung und die Eigenschaften des metallischen Radiums, das sie kurz vorher in Gemeinschaft mit D e b i e r n e isoliert hatte. O. H a h n demonstrierte äußerst wirksame Präparate von Mesothorium. R u t h e r f o r d referierte über wichtige Fragen seines Arbeitsgebietes usw. usw.<sup>2)</sup>

Auf dem sehr umfangreichen Arbeitsprogramm des Kongresses stand auch die Anbahnung internationaler Verständigungen über eine möglichst

einheitliche Gestaltung der wissenschaftlichen Methodik auf Grund der bisherigen Erfahrungen.

Wenn auch über vieles definitive Vereinbarungen nicht zu erzielen waren, so sind doch in einigen Fragen Erfolge zu verzeichnen<sup>3)</sup>, nämlich auf dem Gebiete der Radiometrie und der Terminologie.

Die bisherigen Messungen der Stärke der Radioaktivität sind meist nicht genau miteinander vergleichbar, weil oft mit den verschiedensten Apparaten in der verschiedensten Weise gemessen wurde, und weil dann die Messungen in den verschiedenen Ländern auf Radiumpräparate verschiedener Reinheit bezogen wurden. Darum war es von größter Wichtigkeit, eine gleichartige und richtige Messung der verschiedenen radioaktiven Substanzen auf Grund eines Urmaßes anzubahnen. Es ist dies aber zugleich auch eine der schwierigsten Fragen, denn alle Messungen stützen sich in letzter Linie auf eine Messung der Strahlen. Nun senden die verschiedenen radioaktiven Substanzen Strahlen aus, die zwar miteinander verwandt, aber keineswegs identisch sind (vgl. unten). Darum müßte eigentlich für jede radioaktive Substanz ein Urmaß aufgestellt werden. Das läßt sich indessen zurzeit noch nicht durchführen.

Bisher hat man die meisten Messungen auf Radium bezogen, und dabei dürfte es, wie wir sehen werden, zunächst auch bleiben. Starke Radium-

<sup>1)</sup> Es sei hier auf das neu erschienene Werk von Frau C u r i e: La Radioactivité, hingewiesen. — Eine kurze und übersichtliche Bearbeitung der praktisch wichtigen Verhältnisse bei den radioaktiven Substanzen hat E. E b l e r im Chemiker-Kalender 1910/11, S. 326—344 gegeben.

<sup>2)</sup> S. diese Z. 23 2430ff (1910); 24, 23 (1911).

Wissenschaftliche Bibliothek Physikal. Zeitschr. 12, 141f. (1911)

präparate mißt man am besten durch die Wirkung ihrer  $\gamma$ -Strahlen, schwache durch die Emanation, die sie entwickeln. Zur Messung der  $\gamma$ -Strahlen schaltet man nach *Ev e*<sup>4)</sup> zwischen Präparat und Elektrometer ein Bleifilter von  $\frac{1}{2}$ —1 cm Dicke, wodurch die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen absorbiert werden.

Bei der Messung der Emanationsmengen verfuhr man bisher nicht einheitlich. Besonders in Österreich und Deutschland hat man schon seit Jahren den Sättigungsstrom in absoluten elektrostatischen Einheiten angegeben, den 1 l emanationshaltige Flüssigkeit in 1 Stunde erzeugt (Macheeinh.), 1 Macheeinheit =  $\frac{1}{1000}$  absol. elektrost. Einh. =  $3 \times 10^{-13}$  Amp. So erhielt man leicht übersehbare Zahlen und besonders da, wo die Messungen mit Apparaten sehr naheliegender Kapazität (Fontaktoskop) sachgemäß ausgeführt wurden, sind die Werte recht gut miteinander vergleichbar. Durch diesen Gebrauch hat man eine hinreichende Übersicht über die Stärke der Radioaktivität der wichtigsten Quellen bereits erhalten.

Das Fontaktoskop von *Engler* und *Sieving* liefert in geübter Hand recht zuverlässige Resultate. Da aber immer neue Apparate dazukommen, und man sich über eine Normalgröße der Gefäße nicht geeinigt hat, ist es empfehlenswert, noch auf folgendes Rücksicht zu nehmen. Nach *Duane* wird das Meßresultat mit Kannen modifiziert durch die Absorption der Strahlung der Emanation von den Wänden der Ionisierungskammern. Um sich von diesen Einflüssen frei zu machen, dividiert man mit einem Faktor:  $(1 - 0,52 \frac{O}{R})$ , in dem *O* die Oberfläche des Zylinders in Quadratzentimetern, *R* den Rauminhalt in Kubikzentimetern bedeutet.

Durch den Gebrauch, die Aktivität der Quellwässer in Macheeinheiten auszudrücken, hat man, wie gesagt, bereits eine Übersicht über die ungefähre Stärke der Radioaktivität der wichtigsten Quellen erhalten. Für spätere exaktere Messungen bestimmt man besser die Menge Emanation in einem Quellwasser durch Vergleich mit der Menge Emanation, die eine bestimmte Menge Radium entwickelt. *Curie* und *Laborde*<sup>5)</sup> hatten bereits 1904 hier als Einheit die Menge Emanation angenommen, die von 1 mg Radiumbromid in 1 Sekunde entwickelt wird. — *Rutherford* empfahl, eine Einheit von  $10^{-12}$  g Radium zu wählen.

Nach einem einleitenden Vortrag *Rutherfords* über diese Fragen ward eine internationale Kommission von dem Kongreß gewählt, die über diese Fragen beraten solle, und die aus folgenden Mitgliedern besteht: Für Deutschland *O. Hahn* und *Geitel*, für Österreich *Meyer* und *v. Schweidler*, für England *Rutherford* und *Soddy*, für Frankreich *Frau Curie* und *Debiérne*, für die Vereinigten Staaten *Boltwood*, für Canada *Eve*. Die Kommission beriet noch während des Kongresses und kam einstweilen zu folgenden Vorschlägen, die vom Kongreß genehmigt wurden.

Frau *Curie* soll möglichst bald ein Radiumurmaß — einen Radiumstandard — herstellen, in

einer Menge, die eine genaue Gewichtsbestimmung ermöglicht (ca. 20 mg). Dies Präparat wird (wie das Urmeter) in Paris aufbewahrt und darf nur zum Vergleich mit sekundären Standards benutzt werden. Sowie dieses Urmaß hergestellt ist, soll die Kommission den verschiedenen staatlichen Laboratorien den Vorschlag machen, sich mit geringeren Radiummengen Vergleichsstandards (aus ca. 1—2 mg) herzustellen und sie mit dem Pariser Urmaß eichen zu lassen. Auf diese sekundären Standards sollen dann die zukünftigen Radioaktivitätsmessungen bezogen werden.

Über die Herstellung ganz kleiner Radiumstandards, wie man sie zu Aktivitätsbestimmungen bei Quellwässern, Quellgasen usw. gebraucht, konnte eine Einigung noch nicht erzielt werden. Vor allem weiß man noch nicht genau, wie lange sich sehr schwache Radiumlösungen halten, ohne auszufallen. Hierüber sollen erst Erfahrungen gesammelt werden. Nach einer Diskussion im Plenum war die Mehrheit der Ansicht, daß es am besten wäre, einstweilen bei den Macheeinheiten zu bleiben, wenn es sich um Messung der Quellwässer, -gase und der Luft handele.

Um den Namen der Entdecker des Radiums ehrend zu verewigen, soll der Name 1 Curie der Menge Radiumemanation gegeben werden, die sich mit 1 g metallischem Radium im Gleichgewicht befindet. Die Emanationsmenge, die mit 1 mg met. Radium im Gleichgewicht ist, heißt dann 1 Milli-curie.

Auch in der einheitlicheren Gestaltung der Terminologie sind Vereinbarungen erzielt worden. Man beschloß, die Zeit, in der die Aktivität einer einheitlichen Substanz um die Hälfte abnimmt, als Halbwertszeit (Halbierungszeit) zu bezeichnen, den Ausdruck halbe Lebensdauer aber in Zukunft zu vermeiden.

Als man zuerst beobachtet hatte, daß alle Stoffe, die mit radioaktiven Körpern in Berührung kommen, für eine Zeitlang ebenfalls radioaktiv werden, führte man für diese Erscheinung den Namen „induzierte Aktivität“ ein. Bald stellte es sich heraus, daß diese induzierte Aktivität ein Gemisch von Verwandlungsprodukten der radioaktiven Substanzen ist, bei Radium resp. Radiumemanation, ein Gemisch von *RaA*, *RaB* und *RaC*. Da es sich hier um Substanzen und nicht um Eigenschaften handelt, so ist nach Beschluß des Kongresses der veraltete Ausdruck „induzierte Aktivität“ auszumerzen und dafür „aktiver Niederschlag“ zu setzen.

Mehrfach haben sich schon radioaktive Zerfallsprodukte, die man zuerst für einheitlich hielt, beim näheren Studium als komplex erwiesen. Für die Bestandteile des Komplexes führte man dann mehrfach neue Namen ein, wodurch die Übersichtlichkeit vermindert wurde. Davon wird abgeraten und vorgeschlagen, die Anzahl der Teile eines Komplexes durch Indizes 1, 2 usw. anzugeben, z. B. *RaC*<sub>1</sub>, *RaC*<sub>2</sub>; Mesothorium 1, Mesothorium 2. Soll nur die zusammengehörige Gruppe bezeichnet werden, so genügen die Namen *RaC*, Mesothorium usw.

Auch in diesem Jahre hat sich die Atomzerfallshypothese als ein vorzügliches Förderungsmittel für den Ausbau des Gebiets der Radioaktivität erwiesen. Wir wollen kurz das Wesentlichste

<sup>4)</sup> Le Radium 3, 225 (1906).

<sup>5)</sup> Le Radium 1.

ihres Inhalts rekapitulieren. Die radioaktiven Atome sind in fortwährendem gesetzmäßigen Zerfall begriffen. Von der Gesamtzahl der Atome zerfällt nämlich in der Zeiteinheit ein ganz bestimmter konstanter Bruchteil. Der Zerfall geht explosionsartig vor sich, indem ein  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Teilchen herausfliegt.

Die  $\alpha$ -Teilchen sind nichts anderes als Heliumatome, die eine doppelte positive Ladung besitzen. Sie verlassen je nach dem zerfallenden Körper das Atom mit einer Geschwindigkeit von  $\frac{1}{12}$  bis  $\frac{1}{30}$  Lichtgeschwindigkeit, woraus man sich eine ungefähre Vorstellung von der Heftigkeit des Zerfalls machen kann. Wenn die  $\alpha$ -Strahlen die Atome verlassen haben, besitzen sie die Eigenschaft, die Luft für eine bestimmte Strecke zu ionisieren. Die Größe dieser Strecke hängt von der Eigenart des Atoms resp. von der Geschwindigkeit ab, mit der die  $\alpha$ -Teilchen die Atome verlassen. Nach einer bestimmten Strecke bricht das Ionisierungsvermögen dann plötzlich ab. Diese Strecke ionisierender Wirkung nennt man „Reichweite“. Sie schwankt für die verschiedenen radioaktiven Substanzen in Luft zwischen ca. 2,7—8,6 cm.

Die  $\beta$ -Teilchen sind negative Elektronen, deren scheinbare Masse  $\frac{1}{1700}$  von der eines Wasserstoffatoms beträgt. Je nach der Natur des radioaktiven Körpers schwankt die Geschwindigkeit, mit der die  $\beta$ -Teilchen das Atom verlassen, zwischen 30 und 90% der Lichtgeschwindigkeit.

Zurück bleibt nach der Ausschleuderung der  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Teilchen das Restatom von viel größerer Masse, das nun seinerseits entweder wieder weiter zerfällt oder ein gewöhnliches stabiles Atom ist.

Man hat den Vorgang der Abschleuderung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen aus einem radioaktiven Atom mit dem Schuß einer Kugel aus einer Kanone verglichen. Wenn die Kugel herausfliegt, erhält die Kanone einen Stoß, der nach der entgegengesetzten Seite gerichtet ist, wie das Geschöß, und den man Rückstoß nennt. Dieser Rückstoß bedingt unter Umständen eine Verschiebung der Kanone, und Größe und Geschwindigkeit dieser Verschiebung lassen sich nach dem Satz von der Erhaltung des Schwerpunktes berechnen.

Ähnlich wie bei der Kanone muß man auch bei dem explosionsartig verlaufenden Atomzerfall erwarten, daß im Moment, wo z. B. ein  $\alpha$ -Teilchen ein zerfallendes Atom verläßt, letzteres ebenfalls einen Rückstoß erhält, der entgegengesetzt gerichtet ist, wie das abgeschleuderte  $\alpha$ -Teilchen. In der Tat haben die Erscheinungen bei radioaktiven Zerfallsprozessen mit aller Deutlichkeit auf einen solchen Rückstoß der Restatome hingewiesen. Ja, das, was man früher als „induzierte Aktivität“, jetzt als „aktiven Niederschlag“ bezeichnet, wird direkt durch den Rückstoß hervorgerufen. Man stellt sich die Bildung des aktiven Niederschlages folgendermaßen vor. Radium, Thorium und Aktinium besitzen je ein gasförmiges Umwandlungsprodukt, nämlich eine Emanation. Die Atome der Emanation zersetzen sich explosionsartig weiter und schleudern dabei  $\alpha$ -Teilchen aus. Dadurch erhält das Restatom einen Rückstoß. Da es sich in einem gasförmigen Medium befindet, erfährt es keinen wesentlichen Widerstand in seiner Bewegung und

wird so an die Wände des Gefäßes geschleudert, wo es haften bleibt.

Außer  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen gehen von manchen radioaktiven Substanzen noch  $\gamma$ - und  $\delta$ -Strahlen aus, auf die wir weiter unten zu sprechen kommen.

Wie wir ausführten, sind für die einzelnen radioaktiven Körper die Strahlen charakteristisch, die sie aussenden. Zwar bestehen diese Strahlen nach der herrschenden Annahme aus derselben Masse, nämlich einerseits aus Heliumatomen mit doppelter positiver Ladung ( $\alpha$ -Strahlen), andererseits aus Elektronen ( $\beta$ -Strahlen). Die verschiedenen radioaktiven Substanzen unterscheiden sich nur dadurch, daß sie dieselben Massen mit verschiedener Geschwindigkeit ausschleudern. Eine und dieselbe radioaktive Substanz schleudert aber ihre Strahlen stets mit der gleichen Geschwindigkeit ab, wo und auf welchem Wege sie auch dargestellt ist. Das Studium der Eigenschaften der Strahlen ist dann auch für das Gebiet der Radioaktivität von großer Wichtigkeit.

Das Studium der  $\alpha$ -Strahlen ist in den letzten Jahren mit großem Erfolge betrieben worden. Vor allem fanden einerseits Rutherford und Geiger, andererseits Regener Methoden, diese  $\alpha$ -Teilchen zu zählen. So gingen denn verschiedene Untersuchungen darauf hinaus, die Zahl der  $\alpha$ -Teilchen zu bestimmen, die von radioaktiven Substanzen ausgeschleudert werden.

Zuerst nahm man an, daß ein zerfallendes radioaktives Atom stets nur ein  $\alpha$ -Teilchen auszuschleudern vermöge. Bronson hat dann schon vor längerer Zeit darauf hingewiesen, daß diese Annahme mit den Verhältnissen beim Aktinium und Thorium nicht im Einklang stehe. H. Geiger und E. Marsden<sup>6)</sup> zeigten nun neuerdings, daß die Beobachtungen Bronsons zutreffen. Ihre Untersuchungen machten es in hohem Maße wahrscheinlich, daß ein Atom Aktiniumemanation beim Zerfall zwei  $\alpha$ -Teilchen zu gleicher Zeit aussendet. Bei der Thoriumemanation kamen sogar vier  $\alpha$ -Teilchen in Betracht, eine vollkommene Klarstellung gelang hier nicht, doch konnte mit Sicherheit festgestellt werden, daß diese 4  $\alpha$ -Teilchen nicht gleichzeitig ausgeschleudert werden.

Über die Zahl der  $\alpha$ -Teilchen, die von Uran, Thorium und von Uranmineralien ausgesendet werden, haben Rutherford und Geiger<sup>7)</sup> Berechnungen und Zählungen angestellt. Bisher wußte man folgendes: 1 g Radium und jedes seiner Zerfallsprodukte, das mit 1 g Radium im Gleichgewicht steht, sendet  $3,4 \times 10^{10}$   $\alpha$ -Teilchen in 1 Sek. aus (Rutherford und Geiger). 1 g Uran steht mit  $3,4 \times 10^{-7}$  g Ra im Gleichgewicht. Wenn nun jedes Uranatom beim Zerfall ein  $\alpha$ -Teilchen اسپaltet, so muß 1 g Uran  $3,4 \times 10^{10} \times 3,4 \times 10^{-7} = 11\,600$   $\alpha$ -Teilchen pro Sekunde aussenden. Diese Zahl heiße N. Nun fand Boltwood, daß die  $\alpha$ -Aktivität des Urans doppelt so groß ist, als die der Menge Ra, die mit ihr im Gleichgewicht ist. Folglich muß man dem Uran die doppelte Zahl  $\alpha$ -Teilchen zuschreiben, also  $2N = 23\,200$  resp.  $2,32 \times 10^4$ . Ein Uranmineral, in dem das Uran im Gleich-

<sup>6)</sup> Physikal. Zeitschr. **11**, 7 (1910).

<sup>7)</sup> Phil. Magaz. **20**, 691 (1910).

gewicht mit der ganzen Reihe seiner Zerfallsprodukte ist, muß pro Gramm Uran in 1 Sekunde 8N  $\alpha$ -Teilchen aussenden, nämlich 2 N vom Uran und 6 N von seinen sechs Zerfallsprodukten bis zum Polonium. Die Zahl von 8 N erhöht sich aber noch, weil jedes Uranmineral Aktinium enthält, dessen  $\alpha$ -Aktivität 17% der des Urans beträgt. Demnach berechnet sich die Zahl der  $\alpha$ -Teilchen eines Uranminerals zu  $8,34 N = 9,7 \times 10^4$  pro 1 g und 1 Sekunde. Zählungen nach der Szintillationsmethode mit Joachimsthaler Pechblende ergaben statt  $9,7 \times 10^4$ ,  $9,6 \times 10^4$ , also eine treffliche Übereinstimmung von Berechnung und Versuch.

Die Zahl  $\alpha$ -Teilchen, die 1 g Thorium im Gleichgewicht mit seinen Zerfallsprodukten pro Sekunde von sich gibt, fanden beide Forscher zu  $2,7 \times 10^4$ . Danach erzeugt 1 g Thorium in 1 Jahre  $3,1 \times 10^{-5}$  Kubikmillimeter Helium.

In bezug auf die Reichweite ergaben neuere Bestimmungen von Hahn die Gesetzmäßigkeit, daß die Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen desto größer ist, je kürzere Lebensdauer das betreffende Produkt hat. Ferner bestätigt sich ein bereits im vorigen Jahre betonter Parallelismus der Aktinium- und Thoriumreihe. Ordnet man nämlich die Produkte jeder Reihe nach der Größe der Reichweite, so stehen korrespondierende Produkte der Aktinium- und der Thoriumreihe an gleicher Stelle<sup>8)</sup>.

Die Reichweiten wachsen umgekehrt proportional zum Gasdruck. Die Absorption beim Durchgang durch 1 Mol. Gas erwies sich als proportional der Summe der Quadratwurzeln aus den Gewichten der Atome, aus denen das Gasmolekül zusammengesetzt ist.

Eine merkwürdige Erscheinung, die man an braunem Glimmer zuerst beobachtete, wird durch die Wirkung der  $\alpha$ -Strahlen bedingt. Dies Mineral zeigt zuweilen kleine farbige Höfe, die sich um Kryställchen von Zirkon oder Apatit ziehen, Mineralien, die nach Strutt reich an Ra sind. Von diesen Einschlüssen gehen deshalb u. a.  $\alpha$ -Strahlen aus, von denen die durchdringendsten eine Reichweite von 7,06 cm in Luft haben, was ca. 0,4 mm in Glimmer entspricht. Als man den Radius der farbigen Höfe maß, fand man ihn im Durchschnitt zu 0,4 mm, womit die Erscheinung in obigem Sinne gut erklärt ist.

Nun wird Glas bekanntlich von radiumhaltigen Materialien gefärbt. Rutherford suchte auch hier mit Erfolg nach einer ähnlichen Erscheinung wie beim Glimmer. Er füllte eine Capillare aus Natronglas von 0,6 mm Gesamtdurchmesser mit Radiumemanation. Nachdem die Capillare etwa einen Monat der Einwirkung der Emanation ausgesetzt war, wurde sie mikroskopisch untersucht. Es zeigte sich eine rötlich gefärbte Zone um die Emanation, die 0,039 mm in das Glas hineinging. Die Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen in Glas berechnet sich zu 0,041 Millimeter.

Während das Studium der  $\alpha$ -Strahlen bündige Gesetzmäßigkeiten ergab, erwiesen sich die  $\beta$ -Strahlen als ein viel spröderes Material. Bei ihnen ließ sich bisher ein Absorptionsgesetz von der Einfachheit wie bei den  $\alpha$ -Strahlen noch nicht ableiten, ob-

wohl eingehende Untersuchungen von Meyer und von Schweidler, Godlewsky, Crowther, H. W. Schmidt u. a. vorliegen. H. W. Schmidt stellte für den Durchgang von  $\beta$ -Strahlen durch bestimmte Substanzen eine mathematische Formel auf. Diese enthält außer dem Atomgewicht der absorbierenden Substanz noch zwei charakteristische Konstanten, den „wahren Absorptionskoeffizienten“ und den „Reflexionskoeffizienten“. In vielen Fällen herrscht auch Übereinstimmung zwischen mathematischer Forderung und Experiment. Untersuchungen, die O. Hahn und Liese Meitner<sup>9)</sup> in den letzten Jahren ausführten, lassen die Sache in etwas anderem Lichte erscheinen.

Rekapitulieren wir zunächst:  $\beta$ -Strahlen sind Elektronen, die von radioaktiven Körpern abgeschleudert werden. Die gleichen radioaktiven Substanzen schleudern diese Elektronen stets mit gleicher Anfangsgeschwindigkeit ab, verschiedene radioaktive Körper aber mit verschiedener Anfangsgeschwindigkeit. Die  $\beta$ -Strahlen der verschiedenen radioaktiven Körper unterscheiden sich also durch die verschiedene Anfangsgeschwindigkeit, mit der die gleichen Massen (Elektronen) abgeschleudert werden. Man nimmt an, daß die Geschwindigkeit der  $\beta$ -Strahlen desto größer ist, je tiefer sie in die Materie eindringen.

Als nun O. Hahn und L. Meitner systematisch Absorptionsmessungen für die  $\beta$ -Strahlen sämtlicher radioaktiven Substanzen mit Aluminiumblättchen bekannter Dicke ausführten, fanden sie häufig in den ersten Schichten eine größere Absorption, als sie dem Exponentialgesetz entsprach; erst von größeren Schichtdicken an verlief die Absorption nach dem Exponentialgesetz. Sie kamen deshalb auf den Gedanken, daß diese Erscheinung dadurch bedingt sein könne, daß mehrere  $\beta$ -Strahlungen vorliegen, von denen jede nach einem Exponentialgesetz absorbiert wird, die eine aber leichter als die andere. Anfangs superponieren sich dann die Wirkungen beider, woraus sich natürlich kein exponentieller Verlauf ergeben kann, bis schließlich, bei entsprechender Schichtdicke, nur noch die eine Strahlung vorhanden ist, deren Absorptionskurve dem Exponentialgesetz folgt. Hahn und Meitner machten deshalb als Richtschnur für ihre Untersuchungen die Annahme, daß  $\beta$ -Strahlen, die von einer einheitlichen Substanz emittiert werden, ein exponentiales Absorptionsgesetz ergeben, und daß in den Fällen, wo die Absorption nicht nach diesem Gesetz stattfindet, keine einheitliche Substanz vorliegt. Ja, später gingen sie noch weiter und machten die Voraussetzung, „daß einheitliche radioaktive Substanzen nicht nur einheitliche  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Strahlen aussenden, sondern daß ein einheitliches Produkt überhaupt nur eine Art von Strahlen, also entweder nur einheitliche  $\alpha$ - oder nur einheitliche  $\beta$ -Strahlen emittiere“.

In der Tat hat diese Arbeitshypothese bereits zu Erfolgen geführt. Es gelang den beiden Forschern, das RaC, das für ein einheitliches Strahlungsprodukt galt, in mehrere Körper zu zerlegen, ferner

<sup>8)</sup> Physik. Zeitschr. 7, 563.

<sup>9)</sup> Physikal. Zeitschr. 1907—1910.

entdeckten sie ThD und Akt. C, sowie neue  $\beta$ -Strahlen beim Radioaktinium, Ra und ThX. Andererseits gelang es aber bisher nicht, das Mesothorium 2, das nach seiner Absorptionskurve komplex sein mußte, zu zerlegen.

Die Resultate von Hahn und Meitner blieben nicht unwidersprochen, und die Diskussion darüber führte zu wichtigen Untersuchungen.

Die Geschwindigkeit solcher  $\beta$ -Strahlen kann man durch die Größe der Ablenkung bestimmen, die sie im magnetischen Felde erfahren. Die Strahlen von größerer Geschwindigkeit werden weniger abgelenkt als die von geringerer Geschwindigkeit. Läßt man das Strahlenbündel einer strahlenden Materie durch einen schmalen Spalt auf einen Schirm oder eine photographische Platte fallen, so entsteht dort das Bild eines schmalen Streifens. Erregt man nun parallel zum Spalt und senkrecht zum Strahlenbündel ein magnetisches Feld, so erfahren die Strahlen eine Ablenkung, was zur Folge hat, daß das Spaltbild verschoben wird. Die Größe dieser Ablenkung resp. Verschiebung hängt unter sonst gleichen Umständen nur von der Geschwindigkeit der  $\beta$ -Strahlen ab.

Sind nun mehrere Arten von  $\beta$ -Strahlen vorhanden, von denen jede eine andere Geschwindigkeit hat, so müssen mehrere Spaltbilder im magnetischen Feld entstehen, und zwar so viele, als Arten von Strahlen vorhanden sind. Wie man Licht durch ein Prisma in seine Farben scheiden kann, so gelingt es also,  $\beta$ -Strahlen verschiedener Geschwindigkeit durch ein magnetisches Feld zu zerlegen. Aus dem Betrag der Verschiebung der einzelnen Spaltbilder läßt sich die Geschwindigkeit der zugehörigen  $\beta$ -Strahlen berechnen.

Solche Aufnahmen der magnetischen Spektren von radioaktiven Substanzen haben nun O. Hahn und O. v. Baeyer<sup>10)</sup> gemacht und in mehreren Fällen in der Tat die zu erwartenden Linienspektren erhalten. RaE<sub>2</sub> entsendet  $\beta$ -Strahlen, die nach einem Exponentialgesetz abklingen, also einheitlich sein müßten. Es liefert in der Tat auch nur ein Spaltbild im magnetischen Feld. Im Gemisch: ThA + ThB + ThC + ThD sind zwei Substanzen mit  $\beta$ -Strahlung, nämlich ThA und ThD, in der Tat ergab das magnetische Spektrum zwei Spaltbilder. Mesothorium 2 ergab sogar sechs Spaltbilder und muß deshalb komplex sein. Radium und seine Zerfallsprodukte liefern nun freilich kein Linienspektrum, sondern ein kontinuierliches Bandenspektrum. Da hier mindestens fünf Arten von  $\beta$ -Strahlen vorhanden sind, ist es nicht ausgeschlossen, daß deren Spaltbilder sich so übereinander legen, daß ein kontinuierliches Spektrum vorgetäuscht wird.

Jedenfalls ist durch die Untersuchung von Hahn und v. Baeyer gezeigt worden, daß Gruppen von  $\beta$ -Strahlen mit ganz bestimmter Geschwindigkeit vorhanden sind. Damit ist ein neuer Weg zur Untersuchung der  $\beta$ -Strahlen gegeben, von dem man wertvolle Ergebnisse für die Erforschung der Radioaktivität erwarten kann.

Die Natur der  $\gamma$ -Strahlen ist noch eine sehr strittige Sache unter den Physikern. Nach ihren Eigenschaften sind die  $\gamma$ -Strahlen den Röntgenstrahlen noch am ähnlichsten, und mehrere Hypo-

thesen suchen im Kampfe miteinander ihrer Natur am vollkommensten gerecht zu werden. Ein Teil der Physiker betrachtet sie, wie die Röntgenstrahlen, als elektromagnetische Vorgänge im Äther, die sich von den gewöhnlichen Lichtstrahlen durch den Mangel eines rein periodischen Charakters unterscheiden.

Im Gegensatz hierzu nimmt H. Bragg an, daß auch die  $\gamma$ -Strahlen körperlicher Art sind. Nach seiner Ansicht haben sie sich durch Vereinigung von positiven und negativen Teilchen gebildet und besitzen deshalb keine spezifische Ladung. Beim Auftreffen auf die Materie zersplittern sie und sind dadurch die Ursache der Entstehung der sekundären Strahlen.

Nach der Lichtquantenhypothese von Einstein und Starck endlich denkt man sich die elektromagnetische Energie eines  $\gamma$ -Quantums in einem kleinen Volumen konzentriert und nur nach einer bestimmten Richtung hin fortpflanzungsfähig.

Nach den beiden letzten Theorien ist die Strahlung nicht gleichmäßig über den Raumwinkel verteilt, sondern es gibt bestimmte Richtungen maximaler Energiedichte (sog. anisotrope Struktur der Strahlung). E. Meyer<sup>11)</sup> hat diese Frage beim Radium zu entscheiden versucht und kam zu dem Resultat, daß die Radiumstrahlung in der Tat Richtungen maximaler Energiedichte (also anisotrope Struktur) besitzt. Eine Entscheidung zwischen den beiden Theorien konnte er indessen nicht treffen.

Als Begleiter der  $\alpha$ -Strahlen treten stets langsam wandernde negativ geladene Teilchen auf, die man als  $\delta$ -Strahlen bezeichnet hat. Nach Geiger haben diese  $\delta$ -Strahlen geringe Geschwindigkeit, kein merkliches Ionisierungsvermögen und sind photographisch nicht wirksam.

Fast alle gegenwärtig bekannten radioaktiven Elemente leiten sich vom Thorium und Uran ab. Auch das Aktinium wird als ein Zerfallsprodukt des Urans angesehen, da es immer mit Uran vergesellschaftet vorkommt, und beide in Mineralien in konstantem Verhältnis zueinander stehen. Nur die radioaktiven Alkalimetalle haben bis jetzt einen isolierten Platz, und Untersuchungen von Elster und Geitel<sup>12)</sup> gaben wertvolle Beiträge zur Kenntnis der Radioaktivität dieser Körper. Keine dauernde Aktivität konnte beim Lithium, Natrium und Cesium festgestellt werden. Zweifelloso radioaktiv ist Kalium, das  $\beta$ -Strahlen aussendet, und auch Rubidium zeigt deutliche  $\beta$ -Strahlung.

Die Radioaktivität des Kaliums wurde von Campbell und Wood entdeckt und inzwischen von verschiedenen Forschern bestätigt. Elster und Geitel untersuchten nun, ob sich die Aktivität von Kalium auf elektrolytischem Wege, durch Umlösen, durch Ausfällen mit kolloidem Schwefel nach Zusatz von Natriumthiosulfat und Salzsäure usw. abtrennen lasse. Es gelang das in keinem Falle, so ist erneut der Beweis erbracht, daß das Kalium ein primär radioaktiver Körper ist, analog wie

<sup>11)</sup> Sitzungsber. der Berl. Akad. d. Wissensch. 1910, 647.

<sup>12)</sup> Jahresber. d. Vereins f. Naturwissensch. zu Braunschweig 1909.

<sup>13)</sup> E. H. Büchner, Proc. Ac. Amst. 1909, 154.

<sup>10)</sup> Physik. Zeitschr. (1910).

Thorium und Uran. Die Aktivität bleibt auch praktisch ebenso konstant, wie die der vorgenannten Elemente. Eine Emanation und andere Zerfallsprodukte des Kaliums ließen sich bisher nicht nachweisen.

Die  $\beta$ -Strahlung des Rubidiums erwies sich als leichter absorbierbar wie die des Kaliums.

Merkwürdig ist die erneute Feststellung, daß das Alkalimetall mit höchstem Atomgewicht, das Caesium, nicht radioaktiv ist.

Die Uran-Radiumreihe hat in diesem Jahre folgendes Aussehen:

	Halbwertszeit	Strahlung	Reichweite der $\alpha$ -Strahlen in Luft
Uran . . . . .	$5,8 \times 10^9$ Jahr.	$\alpha$ -	3,5 cm
↓			
Radiouran . . .	mehrere Jahre	—	—
↓			
Uran X . . . .	22 Tage	$\beta$ -, $\gamma$ -	—
↓			
Ionium . . . .	ca. $13,2 \times 10^4$ J.	$\alpha$ -	2,8 cm
↓			
Radium . . . .	1900 Jahre	$\alpha$ -	3,5 "
↓			
Radiumemanation	3,85 Tage	$\alpha$ -	4,23 "
↓			
Radium A . . .	3 Minuten	$\alpha$ -	4,83 "
↓			
Radium B . . .	26 Minuten	$\beta$ -	—
↓			
Radium C <sub>1</sub> . .	19 Minuten	$\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -	7,06 cm
↓			
(Radium C <sub>2</sub> ) . .	sehr rasch zerfallend	"	—
↓			
Radium D (Radioblei)	12 Jahre	strahlenlos	—
↓			
Radium E <sub>1</sub> . .	6,2 Tage	"	—
↓			
Radium E <sub>2</sub> . .	4,8 Tage	$\beta$ -	—
↓			
Radium F (Polonium)	140 Tage	$\alpha$ -	3,86 cm
↓			
Blei (?)			

Das Ereignis des verflossenen Jahres ist die Herstellung des metallischen Radiums. Das Problem war schon von verschiedenen Seiten in Angriff genommen, und seine Möglichkeit dargetan worden. E. Ebler<sup>14)</sup> hat einen besonders einfachen Weg versucht. Die Stickstoffwasserstoffsäure bildet mit Erdalkalien Salze von der Formel  $Me(N_3)_2$ , die beim Zersetzen glatt in Metall und Stickstoff zerfallen. Da Radium nach seinem chemischen Charakter zu den Erdalkalien gehört, konnte man von seinem stickstoffwasserstoffsäuren Salze dasselbe erwarten. Ebler verfügte nur über eine geringe Menge 9%iges Radium-Bariumbromid, das sich leicht in das stickstoffwasserstoffsäure Salz überführen ließ. Letzteres zersetzte sich in der Tat zwischen 180 und 250° im Vakuum der Quecksilberpumpe, und ein Gemisch der Metalle schied sich als glänzender Metallspiegel ab; wegen der geringen Menge konnte indessen reines metallisches Radium nicht isoliert werden.

<sup>14)</sup> Berl. Berichte **43**, 2613 (1910).

Inzwischen ist es indessen Frau Curie und Debiérne<sup>15)</sup> gelungen, das Ziel zu erreichen, und zwar durch Elektrolyse von reinem Radiumchlorid an einer Quecksilberkathode. Auch hier waren nicht unerhebliche Schwierigkeiten zu überwinden. Nach einem Vorversuch mit Bariumchlorid unterwarfen die französischen Forscher eine Lösung von 0,106 g absolut reinem  $RaCl_2$  der Elektrolyse an einer Kathode, die aus 10 g Quecksilber bestand. Das Radium ging ohne Schwierigkeit in das Quecksilber und bildete im Gegensatz zum analogen Versuch mit Barium ein flüssiges Amalgam. Dies Amalgam wurde sorgfältig getrocknet und in ein Eisenschälchen gebracht. Letzteres kam dann in ein Glasrohr, das evakuiert und dann mit besonders gereinigtem Wasserstoff gefüllt wurde. Als man nun durch Erhitzen das Quecksilber abdestillieren suchte, begann zuerst auch das Radiummetall sich zum Teil mit zu verflüchtigen. Erst als der Druck des Wasserstoffes höher gehalten wurde, als der des Quecksilberdampfes, wodurch ein Sieden des Amalgams nicht mehr stattfinden konnte, ließ sich die Trennung von Quecksilber und Radium befriedigend bewerkstelligen. Der größte Teil des Quecksilbers ging bei 270° fort, dann mußte die Temperatur allmählich erhöht werden. Bei 400° wurde das Amalgam fest, schmolz aber beim weiteren Erhitzen wieder unter Abgabe von Quecksilber. Bei 700° ging kein Quecksilber mehr über, dagegen begann das met. Radium sich zu verflüchtigen. Nun wurde unterbrochen. Im Schälchen befand sich ein weißglänzendes Metall vom Schmelzpunkt 700°, das sich nur schwer vom Eisen ablösen ließ. An der Luft wurde es sofort schwarz, vermutlich unter Bildung einer Stickstoffverbindung. Das met. Radium ist viel flüchtiger als Barium; es zersetzt Wasser energisch, wobei es sich auflöst. Eine vorläufige Prüfung seiner radioaktiven Eigenschaften ergab keinen Unterschied von denen seiner Salze.

Mit der Darstellung des met. Radiums ist seine Natur als Element sichergestellt. Nach seinen Eigenschaften gehört es zur Gruppe der Erdalkalimetalle.

Über die Bildung von Helium aus Radium liegt eine neuere Untersuchung von Rutherford und Boltwood<sup>16)</sup> vor. Nachdem festgestellt war, daß  $\alpha$ -Teilchen doppelt positiv geladene Heliumatome sind, ergab eine Zählung der  $\alpha$ -Teilchen, die von 1 g Radium pro Sekunde ausgesendet werden, daß 1 g Radium im Gleichgewicht mit seinen raschen Zerfallsprodukten in einem Jahre 158 cmm Helium erzeugen müsse. J. Dewar hatte früher experimentell hierfür 135 cmm gefunden. Rutherford und Boltwood fanden bei einer erneuten Bestimmung 163 cmm pro 1 g Radium und 1 Jahr, was mit dem obigen Wert (158 cmm) gut übereinstimmt.

Über das Atomgewicht der Radiumemanation hat zunächst A. Debiérne<sup>17)</sup> eine Untersuchung veröffentlicht. Er suchte die Dichte der

<sup>15)</sup> Compt. r. d. Acad. d. sciences **151**, 523 (1910).

<sup>16)</sup> Mem. and Proc. of the Manch. Lit. and Phil.-Soc. **54** (1909/10).

<sup>17)</sup> Compt. r. d. Acad. d. sciences **150**, 1740 (1910).

Radiumemanation nach der Diffusionsmethode zu bestimmen und schuf eine dazu passende Versuchsanordnung, da Radiumemanation nicht ganz frei von fremden Gasen zur Messung gebracht werden kann. Er brachte sie in ein kleineres Reservoir mit sehr geringem, aber meßbarem Druck und ließ sie daraus in ein großes Reservoir mit unmeßbar kleinem Druck strömen. Beide Reservoirs waren durch ein dünnes Platinblech mit sehr kleiner Öffnung voneinander getrennt.

Zuerst untersuchte Debiérne die Abhängigkeit der Druckänderung verschiedener Gase im ersten Reservoir von der Ausströmungsdauer, wobei sich ein einfaches Exponentialgesetz ergab. Die so erhaltenen Werte stimmten bei den verschiedenen Gasen bis auf 1% mit den bekannten Molekulargewichtszahlen überein. Für Gasgemische ergab sich, daß bei den angewandten Drucken und der kleinen Ausströmungsgeschwindigkeit jedes Gas sich so verhält, als ob es allein vorhanden wäre.

Nun wurde die Radiumemanation, von dem größten Teil fremder Gase befreit, in das kleinere Reservoir eingeführt und ihre durchdringende Strahlung gemessen, wodurch man ein Maß für die in ihr enthaltene Menge Emanation erhielt. Dann stellte Debiérne während einer bestimmten Zeit die Kommunikation mit dem großen Reservoir her und maß abermals die durchdringende Strahlung des kleinen Reservoirs. Auch hierbei ergab sich ein einfaches Exponentialgesetz. Aus den gefundenen Werten berechnete sich das Atomgewicht der Radiumemanation zu 220, was mit dem zu erwartenden Werte 222,5 gut übereinstimmt.

Zu fast derselben Zahl, nämlich 221, kamen Ramsay und Gray durch Wägen eines kleinen Volumens Emanation.

Über die Kondensation der Radiumemanation sind einige bemerkenswerte Untersuchungen ausgeführt worden. Wenn man einen Luftstrom, der Emanation enthält, mit konstanter Geschwindigkeit durch ein Rohr leitet, das in flüssigem Sauerstoff gekühlt wird<sup>18)</sup>, so hängt die Leichtigkeit der Kondensation der Emanation vom Material des Rohres ab. Besteht das Rohr aus Metallen, wie Zinn und Kupfer, von 0,22 cm Durchmesser und 18 cm Länge, so entweichen mit der Luft nur 2 bis 7 Tausendstel der eingeführten Emanation. Besteht das Rohr aber aus Glas, so werden unter sonst gleichen Bedingungen 60—70% der durchgeleiteten Emanation nicht kondensiert. Erst als von dem Glasrohr 1,6 m gekühlt wurden, war die Kondensation der Emanation ebenso vollständig, wie bei dem auf 18 cm Länge gekühlten Metallrohr. Gab man in das Glasrohr dünnen Kupferdraht, so ward wesentlich mehr Emanation niedergeschlagen.

Radiumemanation, die durch flüssige Luft kondensiert wurde, verdampfte unterhalb  $-160^{\circ}$  nur wenig, oberhalb dieser Temperatur aber erheblich<sup>19)</sup>.

Das erste radioaktive Element, das aus der Pechblende isoliert wurde, war das Polonium oder Radium F. Bisher konnte es nur in sehr geringen Mengen erhalten werden, weil es ein recht instabiles Element ist. In einer Tonne Pechblende kann nur ca. 0,04 mg Polonium vorhanden sein, da

sie durchschnittlich nicht mehr als 0,2 g Radium enthält.

Nach seiner Stellung in der Zerfallsreihe beansprucht das Polonium besonders deshalb hervorragendes Interesse, weil es allmählich in Blei übergehen müßte, während es gleichzeitig  $\alpha$ -Strahlen aussendet, aus denen die Bildung von Helium zu erwarten ist. Frau Curie und A. Debiérne<sup>20)</sup> haben mehrere Tonnen Pechblende fabrikatorisch bis auf 200 g verarbeiten lassen und daraus 2 mg eines Materials hergestellt, das 0,1 mg Polonium enthält. Der so wichtige Übergang von Polonium in Blei war zwar diesmal noch nicht zu konstatieren. Es glückte aber, nachzuweisen, daß die  $\alpha$ -Strahlen des Poloniums sich in Helium verwandeln. Die beiden Forscher ließen die Poloniumlösung 100 Tage verschlossen stehen. In den entwickelten Gasen wurden 1,3 cmm Helium gefunden, während nach der Berechnung 1,6 cmm daraus zu erwarten waren. Auch Rutherford und Boltwood<sup>21)</sup> haben die Bildung von Helium aus Polonium qualitativ festgestellt.

Weiter wurden Funkenspektren mit dem Poloniumpräparat hergestellt. Sie erwiesen sich wegen der Verunreinigungen als sehr kompliziert, indessen waren vier Linien vorhanden, von denen man annehmen konnte, daß sie dem Polonium zukommen, nämlich eine schwache von 4642  $\mu$ , eine ziemlich starke von 4170,5  $\mu$ , eine schwache von 3913,6  $\mu$  und eine sehr schwache von 3652,1  $\mu$ .

Von Interesse sind Versuche von C. Doelter<sup>22)</sup> über die Einwirkung von Radium- und Röntgenstrahlen auf die Farbe der Edelsteine. Doelter konnte sich dazu des fast 3 g betragenden Vorrates von Radiumchlorid der kaiserlichen Akademie in Wien bedienen. Dabei zeigte es sich, daß die Menge Radium keine so große Rolle spielt, wie man annehmen könnte, denn einige seiner Resultate sind identisch mit denen, die R. Brauns<sup>23)</sup> schon früher mit 10 mg angestellt hatte.

Röntgen- und Radiumstrahlen wirken gleichmäßig auf die Farbe der Mineralien. Unverändert blieb bei der Bestrahlung der Rosa-Lithionturmalin. Sehr wenig werden violetter Flußspat, gelber Diamant, künstlicher Rubin und Amethyst verändert. Dagegen werden blaue Saphire heller, blaugrüner Aquamarin wird reiner hellblau, Smaragd mehr rein grün, Hyazinth braunviolett, Apatit mehr lila. Sehr starke Veränderungen zeigen blauer Sapphir, der goldgelb, und farbloser Sapphir, der gelb wird. Citrin, Rauchtöpas und Rosenquarz werden braun bis braunschwarz. Farblose und gelbe Topase ändern ihre Farbe in intensives Orange, violetter Topas wird orange gelb usw. usw.

Dann hat Doelter<sup>24)</sup> auch die Wirkung der einzelnen Strahlenarten geprüft und folgendes gefunden. Aus einer Lösung von Radiumbleiacetat wurde Polonium auf Platin niedergeschlagen und so eine  $\alpha$ -strahlende Substanz erhalten. Ihrer Wirkung

<sup>20)</sup> Compt. r. d. Acad. d. sciences **150**, 386 (1910).

<sup>21)</sup> Manch. Lit. and Phil. Soc. **54** (1909/10).

<sup>22)</sup> Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wiss. Naturw.-Math. Kl. **117**, 819.

<sup>23)</sup> Neues Jahrbuch der Mineral. usw. **1**, 10 (1910).

<sup>24)</sup> Wiener Monatshefte 1910, 1057.

<sup>18)</sup> A. Laborde, Le Radium **7**, 294 (1910).

<sup>19)</sup> R. W. Boyle, Phil. Mag. **20**, 955.

wurden vier Monate lang Steinsalz, Flußspat, Schwefelspat und Quarz ausgesetzt. Nur das Steinsalz wurde da, wo es mit dem Polonium in Berührung war, bräunlich gefärbt. Daß diese Färbung von  $\alpha$ -Strahlen herrührte, ergab sich daraus, daß die gefärbte Schicht nur einige Hundertstel Millimeter dick war, wie es der Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen in festen Körpern entspricht.

Wenn die Färbung tiefer eindringt, sind die  $\alpha$ -Strahlen nicht die Ursache derselben. Ein Glaswürfel von 1 cm Seitenlänge, der von der Seite her von einem Radiumpräparat bestrahlt worden war, zeigte sich auf eine größere Strecke gefärbt, aber von 0,5 cm an nahm die Intensität der Färbung rasch ab. Diese Wirkung dürfte von den  $\beta$ -Strahlen herkommen. Über die Strecke von 0,5 cm hinaus zeigte sich eine gleichbleibende, aber schwächere Färbung. An ihr sind vermutlich die  $\gamma$ -Strahlen beteiligt.

Um zu sehen, ob Radiumstrahlen das optische Drehungsvermögen einer Substanz zu ändern vermögen, wurde eine senkrecht zur optischen Achse geschnittene, planparallele Platte mit Radium bestrahlt. Die Platte färbte sich braunviolett, eine Änderung ihres Drehungsvermögens war aber mit Sicherheit nicht zu konstatieren. Auch bei mit Radium bestrahltem Bergkrystall zeigte sich eine deutliche Grenze eines helleren und dunkleren Teiles der Färbung entsprechend der Weite der Wirkung der  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen.

Endlich setzte D<sup>o</sup> el t e r noch einige Metallsalzlösungen den Strahlen von 0,5 g  $\text{RaCl}_2$  aus. Einprozentige Lösungen von Barium- und Calciumchlorid blieben dabei unverändert. Chlorkaliumlösung wurde milchig-bläulich, Glaubersalzlösung gelblich. Diese und Quecksilberchloridlösungen färbten sich ähnlich wie die entsprechenden festen Körper, wenn sie von Radium bestrahlt wurden.

Über die Energie der Strahlen des Radiums hat W. D u a n e interessante Versuche gemacht. Als Quelle der Strahlung benutzte er Radiumemanation, die in eine kleine Metallbüchse eingeschlossen war. Diese Metallbüchse war mit einem Glimmerfenster versehen, durch das die  $\alpha$ -Strahlen noch hindurchgehen konnten, doch waren auch noch zwei Aluminiumfolien angebracht, durch die die  $\alpha$ -Strahlen eventuell vollständig absorbiert werden konnten. Wenn nun die Metallbüchse mit einem empfindlichen Calorimeter in Verbindung gebracht wurde, so ließ sich eine Wärmeentwicklung nachweisen, wenn keine Aluminiumfolien eingeschoben waren. Waren aber alle  $\alpha$ -Strahlen absorbiert und nur  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen wirksam, so war keine Wärmeentwicklung mehr zu bemerken. Weiter ergab sich, daß die durch die  $\alpha$ -Strahlen erzeugte Wärme nicht durch Leitung in das Calorimeter gelangt, sondern erst bemerkbar wird, wenn  $\alpha$ -Strahlen hineingelangen. Die  $\alpha$ -Strahlen besitzen auch gegen Ende ihrer Reichweite noch eine meßbare Energiemenge.

Ganz kurz sei einiges besonders Interessante über die physiologische Wirkung des Radiums und seiner Strahlungsprodukte mitgeteilt. Schon seit Jahren wurde behauptet, daß die Radiumemanation die Heilwirkung bei gichtigen Krankheiten ganz oder teilweise bedinge. Untersuchungen darüber wurden neuerdings von H i s in der Berliner Charitéklinik bestätigt und ergänzt. Das harn-

saure Natrium existiert in einer leichter und in einer schwerer löslichen Modifikation. Letztere kann sich bei Stoffwechselkrankheiten durch Enzyme aus dem Blute ausscheiden und setzt sich dann in den Gelenken ab. Dadurch entstehen die gichtigen Krankheiten. Nun hat nach den Untersuchungen in der H i s schen Klinik die Radiumemanation die Eigenschaft, die schwerlösliche Modifikation des harnsauren Natrons in die leichtlösliche zurückzuführen. Da die Emanation leichter durch die Luftwege per os usw. in den Organismus eingeführt werden kann, als durch Bäder, so ist es nicht ausgeschlossen, daß eine ganz neue Art der Behandlung dieser Krankheiten in die Wege geleitet wird. —

Merkwürdige Beobachtungen machte O. H e r t w i g<sup>25)</sup>, der Radiumstrahlen auf Amphibieneier und auf Geschlechtsprodukte von Seeigelarten einwirken ließ. Die befruchteten Amphibieneier wurden in charakteristischen Anfangsstadien der Entwicklung kurze und längere Zeit mit Radium bestrahlt. Während der Bestrahlung und noch geraume Zeit nachher war keine Reaktion der Eier wahrzunehmen. Erst nach längerer Latenzzeit machte sich die Einwirkung der Strahlung, und zwar immer in sehr nachteiliger Weise, bemerkbar. Sie fiel sehr verschieden aus, je nach dem Entwicklungsstadium des Eies, der Dauer der Bestrahlung und der Stärke des Präparates. Die geschädigten Zellen können sich nicht wieder erholen und in den Normalzustand zurückkehren, aber sie sterben auch nicht ab. Besonders leiden die embryonalen Zellen, die sich in die höheren animalen Gewebe, in Ganglienzellen und Muskelfasern, differenzieren. Das Vermögen, Nerven- und Muskelfibrillen abzusondern, wird vor allem geschädigt. Dagegen zeigen die Embryonalzellen, die sich in die sog. vegetativen Gewebe verwandeln (Darm, Drüsen usw. usw.), eine größere Widerstandsfähigkeit. So entstehen nach geeigneter Bestrahlung von Embryonalstadien von Amphibieneiern mit Radium, nerven- und muskellose Monstra, an denen die übrigen Organsysteme und Gewebe sich weiterentwickelt haben.

Die mikroskopische Untersuchung der bestrahlten Eier und Gewebe lehrte, daß die Kernsubstanzen durch die Radiumstrahlung mehr als das Protoplasma geschädigt werden.

Weiterhin bestrahlte H e r t w i g reife Samenfäden von Seeigelarten kürzere und längere Zeit mit Radium. Auch nach 23stündiger Einwirkung zeigten sie noch lebhaftere Beweglichkeit und konnten Seeigeleier befruchten. Aber die Entwicklung der Eier zeigte auffällige Unterschiede von dem normalen Verlauf, und die Störungen waren um so bedeutender, je länger der Samen den Strahlen ausgesetzt war. Die Keimblasen erscheinen dann pathologisch verändert, und die Gastrulation bleibt aus.

Aktinium erhielt C. A u e r von Welsbach<sup>26)</sup> aus den Rückständen, die bei der Verarbeitung von 10 t Uranpecherzrückständen abgefallen waren, neben Polonium und Ionium. In seinen Reaktionen steht Aktinium zwischen Lanthan und Calcium. Die naturgemäß sehr stark radioaktiven kurzlebigen Zerfallsprodukte des Aktiniums verhalten sich ähn-

<sup>25)</sup> Sitzungsber. der Berl. Akad. 1910, 221.

<sup>26)</sup> VI. Mitteilung der Radiumkommission der kaiserl. Akad. d. Wissensch. Monatshefte 31, 1159 (1910).



lich wie Calcium, geben aber keine schwer löslichen Sulfate.

Die Aktiniumreihe sieht in diesem Jahre folgendermaßen aus:

	Halbwertszeit	Strahlung	Reichweite der $\alpha$ -Strahlen in Luft
Aktinium . . .	—	strahlenlos	—
↓			
Radioaktinium . .	19,5 Tage	$\alpha$ -	4,8 cm
↓			
Aktinium X . . .	10,2 Tage	$\alpha$ -	6,55 "
↓			
Aktiniumemanat.	3,9 Sekunden	$\alpha$ -	5,8 "
↓			
Aktinium A . . .	36 Minuten	$\beta$ -	—
↓			
Aktinium B . . .	2,2 Minuten	$\alpha$ -	5,5 cm
↓			
Aktinium C . . .	4,71 Minuten	$\beta$ -, $\gamma$ -	—

Während in Deutschland aus Mangel an Material bisher eine Produktion von Radium in erheblicheren Mengen nicht aufkommen konnte, scheint es jetzt in der Fabrikation von Thoriumpräparaten eine führende Rolle spielen zu können. O. Hahn<sup>27)</sup> hat 1907 als erstes Zerfallsprodukt des Thoriums das Mesothorium entdeckt und später nachgewiesen, daß es aus zwei radioaktiven Körpern besteht. Der erste, Mesothorium I, besitzt eine Halbwertszeit von 5,5 Jahren, der zweite hat eine gleiche Konstante von nur 6,2 Stunden. Das Mesothorium I und II läßt sich nun nach einem von O. Hahn<sup>28)</sup> ausgearbeiteten Verfahren aus Rückständen der Thoriumfabrikation gewinnen. Diese Rückstände, bisher wertlos, können dauernd auf ein kostbares Material hin verarbeitet werden, zumal in Deutschland, wegen seiner bedeutenden Thoriumfabrikation, viele Abfälle entstehen. Seiner Eigenschaften wegen dürfte Mesothorium als Ersatz für Radium dienen können, zumal es viel stärkere Wirkungen zeigt als das gleiche Gewicht reinsten Radiums.

Die Aktivität frisch dargestellter Mesothoriumpräparate nimmt erst zu, erreicht nach 3,2 Jahren ein Maximum, um dann allmählich abzunehmen. Nach 10 Jahren ist die Intensität wieder dieselbe wie zur Zeit der Herstellung und nach 20 Jahren nur noch halb so stark.

Chemisch scheinen sich Mesothorium und Radium sehr ähnlich zu sein<sup>28)</sup>. Jedenfalls gelang es bisher noch nicht, beide durch chemische Reaktionen zu trennen.

Da nun Radium eine etwa 300mal größere Lebensdauer hat als Mesothorium, so ist es von Wichtigkeit mit Rücksicht auf Verfälschungen, die käuflichen Radiumpräparate auf einen Gehalt an Mesothorium zu prüfen. Nach W. Markwald besteht das einfachste Mittel zurzeit darin, das Präparat kurze Zeit zu erhitzen, um die Emanation auszutreiben. Nach wenigen Stunden, wenn das Radium C abgeklungen ist, darf dann im Präparat

keine  $\gamma$ -Strahlung mehr nachweisbar sein, und erst im Laufe mehrerer Wochen darf sie sich wieder finden. Ist indessen mehrere Stunden nach dem Erhitzen noch  $\gamma$ -Strahlung nachweisbar, so rührt diese von einer Beimengung von Mesothorium her.

Die Thoriumreihe hat in diesem Jahre folgendes Aussehen:

	Halbwertszeit	Strahlung	Reichweite der $\alpha$ -Strahlen in Luft
Thorium . . .	$3 \times 10^{10}$ Jahre	$\alpha$ -	3,5 cm
↓			
Mesothorium I . .	5,5 Jahre	keine Strahlen	—
↓			
Mesothorium II . .	6,2 Stunden	$\beta$ -, $\gamma$ -	—
↓			
Radiothorium . . .	ca. 2 Jahre	$\alpha$ -	3,9 cm
↓			
Thorium X . . .	3,6 Jahre	$\alpha$ -	5,7 "
↓			
Thoriumemanat.	54 Sekunden	$\alpha$ -	5,5 "
↓			
Thorium A . . .	16,6 Stunden	$\beta$ -	—
↓			
Thorium B . . .	55 Minuten	$\alpha$ -	5,0 cm
↓			
Thorium C . . .	wenige Sek.	$\alpha$ -	8,6 "
↓			
Thorium D . . .	3,1 Minuten	$\beta$ -, $\gamma$ -	—

Elster und Geitel haben vor 10 Jahren den Nachweis erbracht, daß die Leitfähigkeit der Luft für Elektrizität durch radioaktive Substanzen der Atmosphäre verursacht wird. Überall konnte man seitdem in der Luft Radium- und Thoriumemanation resp. deren Zerfallsprodukte nachweisen, und Eve und Satterley fanden, daß die in einem Quadratmeter vorkommende Menge Radiumemanation im Gleichgewicht mit  $60 \times 10^{-12}$  g Radium steht. Nach Wilsons Untersuchungen ist in der Nähe des Erdbodens etwa 4000mal mehr Radiumemanation als Thoriumemanation vorhanden. Nun zerfällt aber Thoriumemanation rund 5000mal rascher als Radiumemanation. Darum ist die von der Thoriumemanation erzeugte Ionenzahl pro Kubikmeter und Sekunde ungefähr so groß wie die von der Radiumemanation hervorgebrachte. Nach Untersuchungen von K. Kurrz<sup>29)</sup> läßt sich außer Thorium- und Radiumemanation auch Aktiniumemanation resp. deren Zerfallsprodukte in der Luft nachweisen.

Beim Zerfall dieser Emanation entstehen bes.  $\alpha$ -Strahlen, die die Luft ionisieren. Indessen ist die Luft auch bis in die höchsten Schichten hinauf ionisiert und zeigt darin einen stationären Zustand, der sich nicht allein durch die ionisierende Wirkung der  $\alpha$ -Strahlen erklären läßt. Außerdem kann durch die  $\alpha$ -Strahlung allein die Ionisierung der Luft in einem allseitig geschlossenen Gefäß nicht erklärt werden. Darum hat man schon längst die durchdringende  $\gamma$ -Strahlung zur Erklärung dieser Erscheinungen herbeigezogen. Nach übereinstimmenden Untersuchungen von McLennan, Wulf werden von der durchdringenden Strahlung in jeder Sekunde in

<sup>27)</sup> Berl. Berichte 40, 1462, 3304.

<sup>28)</sup> Siehe W. Markwald, Berl. Berichte 43, 3420 (1910).

<sup>29)</sup> Habilitationsschrift, München 1909. Siehe auch Ebert, Physikal. Zeitschr. 10, 346.

1 cbm Luft 9—10 Ionen neu erzeugt, und dadurch der stationäre Zustand in der Ionisierung der Luft bedingt.

Für die Quelle dieser durchdringenden Strahlung nahm man bisher verschiedene Ursachen an. Einige schreiben eine außerterrestrische Strahlung, etwa die Sonnenstrahlung zu. Andere meinen, daß sie doch aus den in der Atmosphäre vorhandenen radioaktiven Stoffen entsteht, und wieder andere glauben, daß sie von den radioaktiven Stoffen der obersten Schichten der Erdkruste ausgesendet wird. Nach K u r z kann ein außerterrestrischer Ursprung der  $\gamma$ -Strahlung für die untersten Schichten der Atmosphäre nicht in Betracht kommen. Hier sind die radioaktiven Stoffe in den oberen Schichten der Erdrinde eine notwendige und hinreichende Ursache der Strahlung, denn diese Schichten geben eine  $\gamma$ -Strahlung ab, die in den untersten Regionen der Atmosphäre wirklich 9—10 Ionen pro Kubikmeter Luft in einer Sekunde zu erzeugen vermag.

Auch T. h. W u l f <sup>30)</sup> sieht als Quelle für die durchdringende Strahlung die radioaktiven Substanzen an, die in den obersten Erdschichten bis ca. 1 m unter der Oberfläche gelegen sind.

Hingewiesen sei noch auf eine interessante Untersuchung von H e r m a n n S c h l u n d t und R. B. M o o r e <sup>31)</sup> über die Radioaktivität der Thermalwässer des berühmten Yellowstone Nationalparks. Vff. untersuchten Gase, Wässer und Absätze. Die Gase verdanken ihre Aktivität meist Radiumemanation, doch war öfters auch Thoriumemanation nachweisbar. Hier wurden mehrfach sehr bedeutende Aktivitäten (47; 600; 834; 254; 353; 598; 85; 13,3 Macheinheiten) gemessen. Die Aktivitäten des Wassers betrugen 26,3; 22,1; 7,4; 5,9; 4,4; 16,6; 4,1; 4,8 Macheinheiten. Sowohl in den kiesel-säurehaltigen wie in den kalkhaltigen Quellen wurde Radium nachgewiesen. [A. 71.]

## Das Wultzesche Bleiweißverfahren.

Zweite Erwiderung gegen das deutsche  
Bleiweißkartell.

Von Dr. KALKOW.

(Diese Z. 24, 782 [1911].)

(Eingeg. 8./5. 1911.)

Wenn das Kartell seinen ersten Artikel gegen das W u l t z e s c h e Verfahren auf eine wissenschaftliche Basis stellt, indem es behauptet, „es halte es für seine Pflicht“, sachliche Irrtümer nicht unwidersprochen in der chemischen Literatur zu belassen, so kann man im Interesse der Wissenschaft nur bedauern, daß sich das Kartell so spät auf diese Verpflichtung besonnen hat und nicht zur rechten Zeit Einspruch erhoben hat, als nämlich G e n t e l e, B u n t r o c k und Z e r r - R ü b e n c a m p ihre Hand- und Lehrbücher herausgaben, denn diese bringen ja nach dem Kartell — weil sie nicht selbst Bleiweiß-

fabrikanten sind — nur graue Theorie und verstehen nichts von der Praxis. Eine Berichtigung wäre hier viel mehr am Platze gewesen, denn die genannten Bücher haben doch eine ganz andere Bedeutung, als der W e n t z k i s c h e Artikel und könnten bei ihrer sonst anerkannten Autorität demnach einen großen Schaden unter Lernenden und Ratsuchenden anstiften. Einigermassen zur Beruhigung der Leser dieser Handbücher kann ich aber versichern, daß mir von einer Reihe von wirklichen, in der Praxis stehenden Bleiweißfachleuten, welche außerdem jahrelang in Kartellfabriken gearbeitet haben, in Sachsen, Thüringen, Harz und Rheinland und fernherin von Fabrikanten aus Holland und Frankreich (Logen- und Kammerbetriebe) die Richtigkeit der von mir aus den Lehrbüchern zitierten Daten bestätigt ist.

Das Kartell scheint auf Grund seiner wirtschaftlichen Machtstellung auch Autoritätsglauben in der Fachliteratur zu beanspruchen, es tut mir leid, daß ich im folgenden doch noch einmal widersprechen muß und mich zu dem nochmals auf ihm unbequeme Fachliteratur stützen muß, dieselbe ist aber nicht von grauen Theoretikern, sondern von Spezialisten in ihrem Fach geschrieben.

Die Statistik, aus der die Zahlen über den Arbeiterwechsel in den Bleiweißfabriken vom Kartell genommen sind, ist unhaltbar. Abgesehen davon, daß dem Kartell nicht das Material der sämtlichen Bleiweißfabriken, wie es anführt, in Deutschland zur Verfügung steht, da 14% außerhalb des Kartells stehen, so ist doch der Irrtum so leicht nachzuweisen, daß es erstaunlich ist, daß diese Zahlen überhaupt veröffentlicht wurden.

Die angeführten Düsseldorfer Zahlen, die dem Archiv für soziale Hygiene entnommen sind, werden vom Kartell nicht bestritten, wie ist aber dann der 2 1/2 %ige Durchschnitt des Arbeiterwechsels berechnet?

Die beiden Düsseldorfer Fabriken besaßen zusammen 56 Mann als Normalbelegschaft, das Kartell zählt 30 Fabriken für sich auf, wenn man im Durchschnitt die Belegschaft zu 30 Mann annimmt, so sind 900 Arbeiter in den Bleiweißfabriken beschäftigt und wechseln im Jahre, bei 2,5%, 22 Mann oder in 6 Jahren 132 Mann. — Auch wenn wir von einer höheren Belegschaftsziffer von 40 Mann ausgehen, sind 1200 Mann beschäftigt, entsprechend einem Wechsel von 28 Mann jährlich oder 168 Mann in 6 Jahren. Wie passen diese Zahlen zu den nicht bestrittenen 719 Mann der beiden Düsseldorfer Fabriken 1907/08? oder sind diese, weil unpassend, für diese Statistik ausgeschaltet?

1907/08 sollen nach dem Kartell Hochkonjunkturjahre („notorische Tatsache“ sagt es) gewesen sein. Eigentlich sollte jedem der starke Rückschlag jener Jahre noch frisch im Gedächtnis sein, ich möchte aber zur Erinnerung die Bleifarbenfabrikanten selbst sprechen lassen. Farbenzeitung 1908, 13. Jahrgang, S. 1086, Bericht der Handelskammer Koblenz: „Was über die ungünstige Lage der Bleiweißfabriken in unserem vorigen Jahresbericht gesagt worden ist, gilt leider auch für das J a h r 1907. Der Absatz von Bleiweiß erfuhr wieder eine Verminderung.“ Handelskammer Düsseldorf ebenda selbst. „Die Lage der Bleiweißfabriken hat sich verschlechtert.“ Farbenzeitung 1909, 1128. Han-

<sup>30)</sup> Physikal. Zeitschr. 10, 997.

<sup>31)</sup> Radioactivity of the Thermal Waters of Yellowstone National Park, Washington Government Printing Office 1909.