

# **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

## **Radioaktive Umwandlungen**

**Rutherford, Ernest**

**Braunschweig, 1907**

Fünftes Kapitel. Der langsam sich umwandelnde aktive Niederschlag des  
Radiums

gleichfalls unter Ausschleuderung negativ geladener Elektronen vor sich geht.

Die Aussendung dieser Elektronen ist wahrscheinlich keine eigentliche Strahlung der aktiven Substanz selbst, sondern ist zum größten Teil ein sekundärer Effekt des Auftreffens der  $\alpha$ -Partikeln auf Materie. Aus diesem Grunde ist es nicht zweckmäßig, sie  $\beta$ -Strahlen zu nennen, denn dieser Name wird besser auf die primären  $\beta$ -Strahlen beschränkt, die von radioaktiven Substanzen beinahe mit der Geschwindigkeit des Lichtes ausgesandt werden. J. J. Thomson hat vorgeschlagen, die Elektronen von geringer Geschwindigkeit mit dem Namen  $\delta$ -Strahlen zu bezeichnen.

In dem nächsten Kapitel werden wir sehen, daß die Umwandlungen des Radiums nicht mit Radium-C enden, sondern noch drei weitere Produkte umfassen. Die zur Analyse des aktiven Niederschlages verwandten Rechnungen werden jedoch nicht in merklicher Weise durch die Anwesenheit dieser späteren Produkte beeinflußt, denn ihre Aktivität beträgt in den meisten Fällen weniger als ein Millionstel der Aktivität, die unmittelbar nach Beendigung der Exposition vorhanden ist.

---

## Fünftes Kapitel.

### Der langsam sich umwandelnde aktive Niederschlag des Radiums.

---

Ein Gegenstand, der der Radiumemanation exponiert gewesen ist, verliert seine Aktivität nicht vollständig. Es läßt sich stets eine kleine Restaktivität beobachten, deren Größe nicht nur von der Menge der Emanation, sondern auch von der Dauer der Exposition abhängt. Diese kleine Restaktivität ist zuerst von Mme. Curie beobachtet und ist von dem Verfasser eingehend untersucht worden.

Nach Beendigung der Exposition fällt die Aktivität zunächst nach den im letzten Kapitel besprochenen Gesetzen ab. Der

Abfall erfolgt schließlich exponential mit einer Periode von 26 Minuten. 24 Stunden nach Beendigung der Exposition ist der schnell sich umwandelnde aktive Niederschlag fast völlig verschwunden und die noch vorhandene Aktivität beträgt gewöhnlich weniger als ein Millionstel der anfänglichen Aktivität.

In diesem Kapitel werden wir die Änderung untersuchen, die diese Aktivität mit der Zeit erfährt, und hieraus ableiten, welche Umwandlungen die aktive Materie erleidet. Wir werden sehen, daß der langsam sich umwandelnde Niederschlag aus drei Produkten besteht, die Radium-D, -E und -F genannt worden sind. Die Untersuchung dieser scheinbar unbedeutenden Restaktivität hat sehr bemerkenswerte Ergebnisse zutage gefördert. Sie hat es möglich gemacht, den Ursprung des Radiobleies von Hoffmann, des Radiotelluriums von Marckwald und des Poloniums von Mme. Curie festzustellen; wir werden sehen, daß diese Substanzen Umwandlungsprodukte des Radiums sind.

Man könnte zunächst denken, daß die kleine Restaktivität nicht von einem aktiven Niederschlage herrührte, sondern möglicherweise durch die intensive Strahlung der Emanation hervorgerufen würde, der die exponierten Körper ausgesetzt sind.

Diese Frage wurde von dem Verfasser<sup>1)</sup> in der folgenden Weise untersucht. Die Innenseite eines Glasrohres wurde mit gleich großen dünnen Platten von Platin, Aluminium, Eisen, Kupfer, Silber und Blei bedeckt. Eine große Menge von Emanation wurde in das Rohr eingeführt und sieben Tage lang in ihm belassen. Als die Aktivität der Platten zwei Tage nach Beendigung der Exposition gemessen wurde, fand sich die größte Aktivität auf Kupfer und Silber, die kleinste auf Aluminium.

Nachdem die Exposition während einer weiteren Woche fortgesetzt worden war, waren diese Unterschiede zum größten Teil verschwunden. Diese Differenzen rühren daher, daß kleine Unterschiede in der Geschwindigkeit bestehen, mit der die verschiedenen Metalle anfangs die Emanation absorbieren. Später erreichten die Aktivitäten der Platten gleiche Werte. Die Strahlen aller Platten bestanden aus  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen und besaßen gleiches Durchdringungsvermögen. Hieraus geht hervor, daß die Restaktivität nicht einer direkten Wirkung der Strahlen der Emanation zu-

---

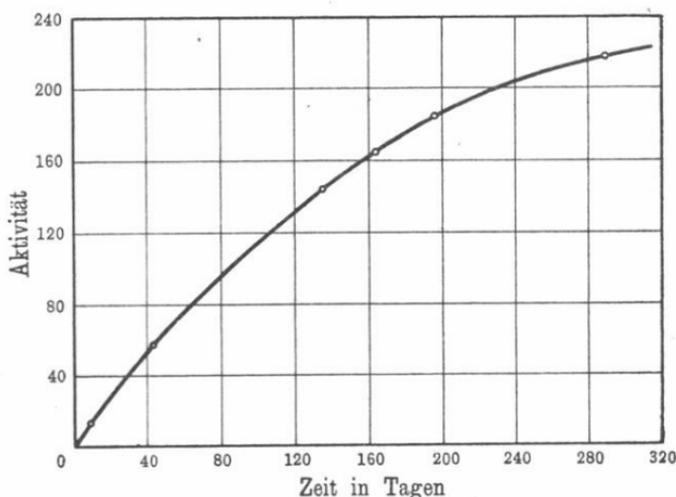
<sup>1)</sup> Rutherford, Phil. Mag., Nov. 1904.

zuschreiben ist, denn in diesem Falle müßte man erwarten, daß die Aktivität der verschiedenen Metalle nicht nur nach Quantität, sondern auch nach Qualität verschieden wäre. Wir können also annehmen, daß die Aktivität von einer aktiven Substanz herührt, die sich auf den Metallen niederschlägt. Diese Ansicht ist durch spätere Versuche vollauf bestätigt worden; der aktive Niederschlag läßt sich von einer Platinplatte durch Säuren lösen und kann auch bei hohen Temperaturen verflüchtigt werden.

### Die Änderung der $\alpha$ -Strahlenaktivität.

Die  $\alpha$ -Strahlenaktivität des aktiven Niederschlages wächst, nachdem sie in den ersten Tagen ein Minimum passiert hat, mehrere Jahre lang stetig an. Die Aktivität nimmt während der

Fig. 33.



Anstieg, den die  $\alpha$ -Strahlenaktivität eines Gegenstandes erfährt, der der Radiumemanation exponiert war. Die Aktivität ist ein Maß für die Menge des vorhandenen Radium-F.

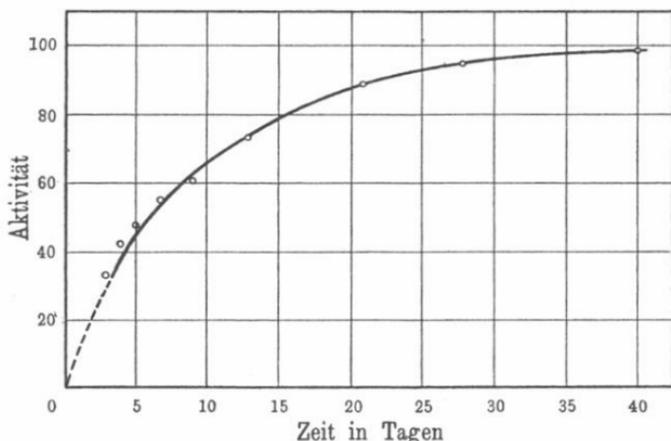
ersten Monate angenähert proportional der Zeit zu. Die Kurve (Fig. 33) beginnt sich dann mehr der Abszissenachse zuzuneigen und wird nach 240 Tagen — nur über dieses Intervall ist sie bisher verfolgt — sehr viel flacher und strebt offenbar einem

Maximum zu. Die Erklärung dieses Anstieges wird später gegeben werden.

### Die Änderung der $\beta$ -Strahlenaktivität.

Die Restaktivität rührt anfangs sowohl von  $\alpha$ - wie von  $\beta$ -Strahlen her; die letzteren sind in relativ viel größerer Menge vorhanden, als beim Radium oder Uranium. Die  $\beta$ -Strahlenaktivität ist anfangs klein, wächst dann an und erreicht nach ungefähr 50 Tagen ein Maximum (Fig. 34). Bei diesem Versuche

Fig. 34.



Anstieg, den die  $\beta$ -Strahlenaktivität eines Gegenstandes erfährt, der der Radiumemanation exponiert war. Die Aktivität ist ein Maß für die Menge des vorhandenen Radium-E.

wurde eine Platte 3,75 Tage lang der Emanation exponiert und die Messungen der  $\beta$ -Strahlenaktivität, die mit Hilfe eines Elektroskops ausgeführt wurden, wurden 24 Stunden nach Beendigung der Exposition begonnen. Die Zeit ist von der Mitte der Expositionszeit an gemessen. Die Kurve besitzt eine ähnliche Form, wie die Erholungskurve der Emanation oder des Thorium-X. Die  $\beta$ -Strahlenaktivität  $J_t$  ist zu einer Zeit  $t$  durch die Gleichung gegeben:

$$\frac{J_t}{J_0} = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Die Aktivität erreicht in ungefähr sechs Tagen die Hälfte des Maximalwertes.

Die Beobachtungen der  $\beta$ -Strahlenaktivität wurden 18 Monate lang fortgesetzt, ergaben jedoch, daß die Aktivität nach 50 Tagen praktisch konstant blieb.

Eine Kurve dieser Art läßt darauf schließen, daß das  $\beta$ -Strahlenprodukt mit konstanter Geschwindigkeit von einem Stoff gebildet wird, dessen Umwandlungsgeschwindigkeit so gering ist, daß sie während des Beobachtungsintervalles nahezu konstant erscheint. Aus der Kurve geht ferner hervor, daß das  $\beta$ -Strahlenprodukt eine Periode von sechs Tagen besitzt.

Der Umstand, daß die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlenaktivitäten anfangs fast gleich Null sind, läßt erkennen, daß ihre Muttersubstanz, Radium-D, strahlenlos ist. Wir werden später sehen, daß Radium-D sich mit einer Periode von ungefähr 40 Jahren in das  $\beta$ -Strahlenprodukt Radium-E umwandelt, welches seinerseits in ungefähr sechs Tagen zur Hälfte zerfällt.

### Einfluß der Temperatur auf die Aktivität.

Eine Platinplatte wurde mehrere Monate nach ihrer Entfernung aus der Emanation in einen elektrischen Ofen gebracht und je wenige Minuten lang auf verschiedene Temperaturen erhitzt. Vier Minuten langes Erhitzen auf  $430^{\circ}$  und dann auf  $800^{\circ}$  hatte einen geringen, wenn überhaupt irgend welchen Einfluß auf die  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Strahlenaktivität. Durch eine Erhitzung auf  $1050^{\circ}$  wurde jedoch die  $\alpha$ -Strahlenaktivität fast völlig entfernt, während die  $\beta$ -Strahlenaktivität keine Änderung erkennen ließ. Hieraus geht hervor, daß das Produkt, welches  $\alpha$ -Strahlen aussendet, flüchtiger ist als das, welches  $\beta$ -Strahlen aussendet.

Dieser Versuch ist ein neues Beispiel für die Methode, die verschiedenartige Flüchtigkeit zweier Produkte zu ihrer Trennung zu benutzen.

Wir wenden uns nun zu einer anderen auffallenden Beobachtung. Die  $\beta$ -Strahlenaktivität der Platinplatte begann, obwohl sie unmittelbar nach dem Erhitzen unverändert schien, langsam abzunehmen und sank schließlich auf ein Viertel ihres früheren Wertes. Bei Subtraktion dieser Restaktivität ging die

Abfallskurve der  $\beta$ -Strahlenaktivität in eine Exponentialkurve mit einer Periode von 4,5 Tagen über.

Die Erhitzung des aktiven Niederschlages hatte also eine doppelte Wirkung; nicht nur wurde das  $\alpha$ -Strahlenprodukt — welches, wie wir sehen werden, aus dem  $\beta$ -Strahlenprodukt Radium-E entsteht — verjagt, sondern es wurden auch ungefähr drei Viertel von Radium-D verflüchtigt.

Wir haben also das auffallende Resultat, daß in einem Gemisch von drei aufeinander folgenden Produkten das erste und dritte bei einer Temperatur von ungefähr 1000<sup>o</sup> größtenteils flüchtig ist, während das mittlere unbeeinflußt bleibt. Die Periode, mit der das  $\beta$ -Strahlenprodukt nach der Erhitzung zerfällt (4,5 Tage), stimmt nicht mit der Periode überein, die für dasselbe Produkt aus der Erholungskurve von Fig. 33 abgeleitet ist. Diese Abweichung erfordert eine weitere Untersuchung. Die Periode von sechs Tagen ist wahrscheinlich unter normalen Bedingungen der richtigere Wert.

### Die Abscheidung des $\alpha$ -Strahlenproduktes durch Wismut.

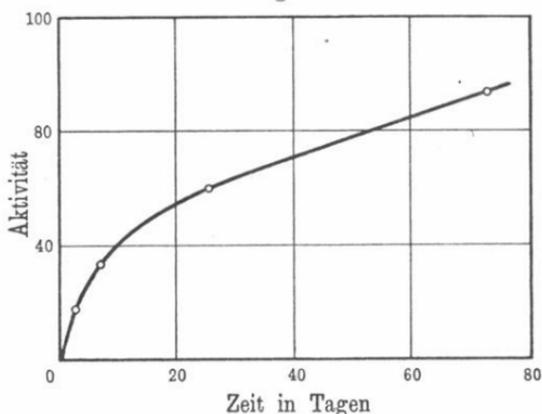
Die Emanation von 30 mg Radiumbromid wurde in einer Glasröhre kondensiert und in ihr einen Monat lang belassen. Der auf der Innenseite des Glases zurückgebliebene aktive Niederschlag wurde dann in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst und die Lösung ungefähr ein Jahr lang stehen gelassen. Während dieser Zeit nahm die  $\alpha$ -Strahlenaktivität stetig zu. Durch Eintauchen einer polierten Wismutplatte in die Lösung kann das  $\alpha$ -Strahlenprodukt elektrochemisch auf dem Wismut abgeschieden werden. Durch Einführung mehrerer Wismutplatten nacheinander, die je mehrere Stunden in der Lösung verblieben, wurde das  $\alpha$ -Strahlenprodukt zum größten Teil entfernt. Nach Eindampfen zur Trockene fand sich, daß nur 10 Proz. der ursprünglichen  $\alpha$ -Strahlenaktivität zurückgeblieben waren.

Die  $\beta$ -Strahlenaktivität der Lösung wurde durch diesen Prozeß nicht geändert. Die Wismutplatten sandten nur  $\alpha$ -Strahlen aus und keine Spur von  $\beta$ -Strahlen. Es war also nur das  $\alpha$ -Strahlenprodukt entfernt worden. Sowohl Radium-D wie Radium-E waren zurückgeblieben, denn wenn etwas Radium-D auf dem Wismut niedergeschlagen worden wäre, so würden in-

folge der Bildung von Radium-E von der Wismutplatte nach einigen Wochen  $\beta$ -Strahlen ausgesandt worden sein.

Dieses wurde jedoch nicht beobachtet. Die Aktivität der Wismutplatten wurde mit Hilfe eines  $\alpha$ -Strahlenelektroskops mehr als 200 Tage lang beobachtet. Die Aktivität aller Platten fiel nahezu exponential mit einer Periode von ungefähr 143 Tagen ab. Die Substanz, welche  $\alpha$ -Strahlen aussendet, ist also ein einfaches Produkt, welches in 143 Tagen zur Hälfte umgewandelt wird. Dieses  $\alpha$ -Strahlenprodukt wird Radium-F genannt, denn es ist, wie wir sehen werden, ein Umwandlungsprodukt von Radium-E.

Fig. 35.



Anstieg der  $\alpha$ -Strahlenaktivität einer Platinplatte, die so hoch erhitzt war, daß der größte Teil von Radium-D und -F verjagt ist. Radium-E bleibt zurück und wandelt sich in -F um.

Die Tatsache, daß Radium-E die Muttersubstanz von Radium-F ist, geht klar aus dem folgenden Versuche hervor. Eine Platinplatte, die mit dem langsam sich umwandelnden aktiven Niederschlage bedeckt war, wurde einige Minuten lang einer Temperatur über  $1000^{\circ}$  ausgesetzt. Der größte Teil von Radium-F verdampfte. Die  $\alpha$ -Strahlenaktivität dieser Platinplatte wurde dann mehrere Wochen lang sorgfältig gemessen. Die kleine  $\alpha$ -Strahlenaktivität, die unmittelbar nach Beendigung des Erhitzens vorhanden war, nahm während der ersten beiden Wochen schnell und dann langsamer zu. Das Anwachsen der Aktivität ist in Fig. 35 wiedergegeben.

Eine Kurve dieses Charakters ist zu erwarten, wenn Radium-F aus Radium-E entsteht. Bei der hohen Temperatur verflüchtigen sich Radium-D und -F zum größten Teil, während Radium-E zurückbleibt. Radium-E wandelt sich dann mit einer Periode von 4,5 Tagen um und bildet Radium-F. Die  $\alpha$ -Strahlenaktivität wächst also anfangs wegen der Neubildung von Radium-F schnell an. Der langsamere Anstieg, der nach einigen Wochen eintritt, wenn der größte Teil von Radium-E zerfallen ist, rührt daher, daß aus dem unverdampften Rest von Radium-D neues Radium-E und -F gebildet wird.

Es ist früher gezeigt, daß Radium-E aus Radium-D entsteht, welches selbst keine  $\beta$ -Strahlen aussendet. Da im Anfange, wenn Radium-D in maximaler Menge vorhanden ist, nur eine sehr kleine  $\alpha$ -Strahlenaktivität vorhanden ist, so besitzt Radium-D auch keine  $\alpha$ -Strahlung; Radium-D ist also strahlenlos.

### Übersicht über die Umwandlungsprodukte des Radiums.

Die Perioden der drei langsam sich umwandelnden Bestandteile des aktiven Niederschlages und einige ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften sind in der untenstehenden Tabelle zusammengestellt.

Produkt	Periode	Strahlen	Eigenschaften
Radium-D	etwa 40 Jahre	keine	löslich in starken Säuren; flüchtig bei etwa 1000°
Radium-E*)	6 Tage	$\beta$ und ( $\gamma$ ?)	nicht flüchtig bei 1000°
Radium-F	143 Tage	"	flüchtig bei etwa 1000°; aus Lösungen durch Wismut abgeschieden.

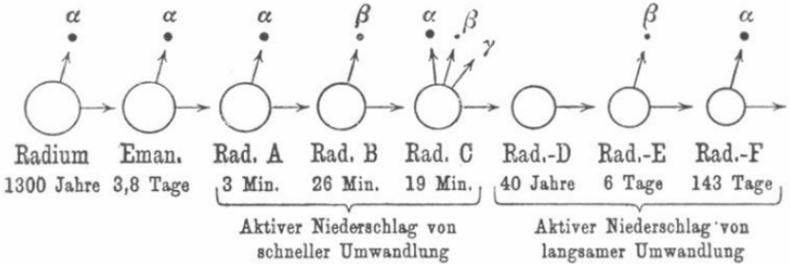
Die Ableitung der Periode von Radium-D werden wir später besprechen. Radium-E ist bisher nicht in genügender Menge

\*) Nach St. Meyer und E. v. Schweidler [vgl. Jahrb. d. Radioaktivität III, 381 (1907)] besteht Ra-E aus zwei Substanzen. Ra-E<sub>1</sub>, Periode etwa 6 Tage, ist strahlenlos und bei Rotglut flüchtig. Ra-E<sub>2</sub>, Periode 4,8 Tage, durch Elektrolyse von Ra-E<sub>1</sub> trennbar, sendet  $\beta$ -Strahlen aus und ist bei 1000° noch nicht flüchtig. Hierdurch finden die oben erwähnten Beobachtungen Rutherfords eine Erklärung.

erhalten worden, um zu untersuchen, ob es neben den  $\beta$ - auch  $\gamma$ -Strahlen aussendet. Da jedoch nach den bisherigen Untersuchungen die beiden Strahlenarten stets zusammen auftreten, so ist es sehr wahrscheinlich, daß Radium-E  $\gamma$ -Strahlen aussendet.

In dem vorhergehenden Kapitel wurde nachgewiesen, daß der schnell sich umwandelnde aktive Niederschlag des Radiums aus drei nacheinander entstehenden Produkten, Radium-A, -B und -C besteht. Es ist daher naturgemäß, anzunehmen, daß Radium-D direkt durch die Umwandlung von Radium-C gebildet wird; dieses einwandfrei zu beweisen, ist jedoch schwierig. Wir wissen, daß Radium-D entweder aus der Emanation oder einem ihrer Umwandlungsprodukte entsteht und da A, B und C sich in linearer

Fig. 36.



Radium und die Familie seiner Umwandlungsprodukte.

Abstammung von der Emanation ableiten, so ist die plausibelste Annahme die, daß auch D, E und F in gerader Linie von Radium-C abstammen.

Die Familie des Radiums, wie sie sich nach dieser Annahme ergeben würde, ist in dem Diagramm von Fig. 36 dargestellt.

Es ist instruktiv, die Umwandlungsreihe des Radiums noch einmal kurz zu überblicken. Das Radiumatom ist verhältnismäßig stabil. Die  $\alpha$ -Partikeln, die während der Umwandlung des Radiums ausgeschleudert werden, haben eine geringere Geschwindigkeit als die der Radiumprodukte, sie können nur eine Luftschicht von 3,5 cm durchdringen, ehe sie völlig absorbiert werden. Das Radium erfährt durch den Verlust der  $\alpha$ -Partikel eine radikale Veränderung, es wandelt sich in ein Gas, die Radiumemanation um, das sehr viel unbeständiger ist, als das Radium selbst, da es in 3,8 Tagen

zur Hälfte zerfällt. Nach Abgabe einer  $\alpha$ -Partikel entsteht aus dem Atom der Emanation das Produkt Radium-A. Dieses ist das unbeständigste aller Radiumprodukte, denn es zerfällt in drei Minuten zur Hälfte.

Das nächste Produkt ist Radium-B, das eine Periode von 26 Minuten besitzt. Es hat die Eigenschaft, sich ohne die Aussendung irgendwelcher Strahlen umzuwandeln. Diese Erscheinung deutet entweder auf eine Umwandlung hin, die nur in einer Neuordnung der Komponenten besteht und ohne Massenverlust vor sich geht, oder, was wahrscheinlicher ist, auf die Aussendung einer  $\alpha$ -Partikel, deren Geschwindigkeit nicht zur Ionisation eines Gases ausreicht. Wir werden später sehen, daß die  $\alpha$ -Partikel ihr Ionisierungsvermögen verliert, wenn ihre Geschwindigkeit auf etwa  $\frac{1}{40}$  der Lichtgeschwindigkeit gesunken ist; es kann also eine  $\alpha$ -Partikel mit beträchtlicher Geschwindigkeit ausgesandt werden und doch keine Ionisationswirkung zeigen. Die nächste Substanz ist Radium-C, welche von allen Radiumprodukten am bemerkenswertesten ist, denn Radium-C sendet bei seinem Zerfall alle drei Strahlenarten aus. Es hat den Anschein, als ob die Umwandlung von C durch eine sehr heftige Explosion in dem Atom begleitet ist, denn nicht nur werden die  $\alpha$ -Partikeln von Radium-C mit einer größeren Geschwindigkeit ausgeschleudert, als von irgend einem anderen Radiumprodukt, sondern zu gleicher Zeit besitzen die ausgesandten  $\beta$ -Partikeln nahezu die Geschwindigkeit des Lichtes. Neben diesen findet noch die Aussendung sehr durchdringender  $\gamma$ -Strahlen statt.

Die von Radium-C ausgesandten  $\alpha$ -Partikeln können eine Luftschicht von 7 cm durchdringen, ehe sie völlig absorbiert werden, während der Ionisationsabstand der anderen Produkte nicht mehr als 4,8 cm beträgt. Das Atom von Radium-D, das nach dieser lebhaften Reaktion verbleibt, ist sehr viel beständiger und zerfällt ohne Aussendung von Strahlen.

Radium-E, welches nur  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen aussendet, hat ein verhältnismäßig kurzes Dasein. Aus ihm entsteht Radium-F, das eine langsame Umwandlung erfährt. Weitere Umwandlungsprodukte sind bisher nicht entdeckt. Die interessante Frage nach dem Endprodukt der Radiumumwandlung wird erst im Kapitel 8 besprochen werden.

### Die Umwandlungsperiode von Radium-D.

Radium-D sendet keine Strahlen aus, weder seine Eigenschaften, noch seine Umwandlungsgeschwindigkeit lassen sich daher auf direktem Wege bestimmen. Das folgende Produkt, Radium-E, sendet jedoch  $\beta$ -Strahlen aus und wir sollten daher aus den Veränderungen, die seine Aktivität erfährt, nachdem das Gleichgewicht mit Radium-D hergestellt ist, jede Veränderung in der Muttersubstanz feststellen können.

Die Zahl der in der Sekunde zerfallenden Atome von E wird nämlich nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes stets der Zahl der in der Sekunde zerfallenden Atome von D proportional sein. Die Umwandlungsgeschwindigkeit von Radium-D ist jedoch so gering, daß innerhalb eines Jahres eine Veränderung in der Aktivität von E sich nicht mit Sicherheit hat feststellen lassen und es wird wahrscheinlich ein langer Zeitraum erforderlich sein, um die Periode von D durch direkte Messung zu bestimmen.

Es ist zweckmäßig, die Periode angenähert abzuschätzen. Dieses läßt sich auf Grund gewisser Annahmen ausführen, die wahrscheinlich in der Wirklichkeit angenähert zutreffen. Wir wollen annehmen, daß eine gewisse Emanationsmenge in ein geschlossenes Gefäß eingeführt und dort sich selbst überlassen wird. Die Menge von Radium-C erreicht einige Stunden nach der Einführung der Emanation ein Maximum und nimmt in demselben Maße ab, wie die Emanation. Wenn  $q_1$  die Zahl der  $\beta$ -Partikeln ist, die Radium-C zur Zeit seiner Maximalaktivität in der Sekunde aussendet, so beträgt die Gesamtzahl  $N_1$  der  $\beta$ -Partikeln, die während des ganzen Lebens der Emanation ausgesandt werden, sehr angenähert  $N_1 = \frac{q_1}{\lambda_1}$ , worin  $\lambda_1$  die radioaktive Konstante der Emanation ist. Wir wollen annehmen, daß der langsam sich umwandelnde aktive Niederschlag ungefähr noch 50 Tage, nachdem die Emanation praktisch verschwunden ist, ungestört bleibt. Dann werden Radium-D und -E miteinander im Gleichgewicht sein; die Anzahl der von D und E ausgesandten  $\beta$ -Partikeln betrage  $q_2$ . Die Zahl  $N_2$  der während des ganzen Lebens von D ausgesandten  $\beta$ -Partikeln ist dann wieder durch  $N_2 = \frac{q_2}{\lambda_2}$  gegeben,

wenn die Umwandlung von D nach einem gewöhnlichen Exponentialgesetz mit der Konstante  $\lambda_2$  erfolgt. Wenn nun jedes Atom von C bei seinem Zerfall eine  $\beta$ -Partikel aussendet, so muß die während der Lebensdauer der Emanation ausgesandte Zahl gleich der Zahl der anfangs vorhandenen Emanationsatome sein. Ebensoviele wird die Zahl der gebildeten Atome von D sein und wenn jedes Atom von D ein Atom von E bildet, welches unter Aussendung einer  $\beta$ -Partikel zerfällt, so muß die Zahl der von Radium-C während des ganzen Lebens der Emanation ausgesandten  $\beta$ -Partikeln gleich der Gesamtzahl der von Radium-E ausgesandten Partikeln sein. Es ist also  $N_1 = N_2$ , also ist

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{q_2}{q_1}.$$

Es ist nicht leicht, direkt die Zahl der von Radium-C oder -E ausgesandten Partikeln zu messen; nimmt man jedoch an, daß im Durchschnitt eine  $\beta$ -Partikel von Radium-C ein Gas ebenso stark ionisiert, wie eine  $\beta$ -Partikel von Radium-E, so wird

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{i_2}{i_1},$$

hierin sind  $i_1$  und  $i_2$  die entsprechenden Sättigungsströme, die unter gleichen Bedingungen in demselben Versuchsgefäße zu messen sind. Das Verhältnis  $\frac{i_2}{i_1}$  und damit auch  $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$  läßt sich leicht bestimmen. Durch Einsetzung des bekannten Wertes von  $\lambda_1$  ergibt sich  $\lambda_2$ .

Nach dieser Methode berechnete der Verfasser<sup>1)</sup>, daß Radium-D in ungefähr 40 Jahren zur Hälfte zerfallen sollte. Dieser Wert hat sicherlich die richtige Größenordnung, kann jedoch mit Rücksicht auf die gemachten Annahmen nicht mehr als ein erster Näherungswert sein. Die Hauptfehlerquelle liegt vermutlich in der Voraussetzung, daß Radium-C und -E das Gas gleich stark ionisieren.

Als ein Kriterium für den Genauigkeitsgrad, der sich bei der Voraussage von Perioden auf diesem Wege erzielen läßt, mag erwähnt werden, daß ich nach ähnlicher Methode die Periode von Radium-F zu ungefähr einem Jahre berechnet habe. Die

<sup>1)</sup> Rutherford, Phil. Mag., Nov. 1904.

Ausführung von Messungen hat inzwischen gelehrt, daß diese Periode 143 Tage beträgt. Ich denke, daß für die Periode von Radium-D sicher ein Wert zwischen 20 und 80 Jahren gefunden werden wird \*).

### Die Änderung der Aktivität des aktiven Niederschlages innerhalb langer Zeiten.

Wir sind jetzt in der Lage, zu berechnen, wie sich die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlenaktivität des aktiven Niederschlages innerhalb großer Zeiträume verändern wird. Da die Umwandlungsgeschwindigkeit von E, verglichen mit der von F, sehr groß ist, so können wir in erster Annäherung annehmen, daß D sich direkt in F umwandelt. Das Problem vereinfacht sich also zu dem folgenden: die Perioden zweier Produkte, von denen das zweite sich aus dem ersten bildet, betragen 40 Jahre und 143 Tage, es ist zu berechnen, wieviel Atome von jedem Produkt zu irgend einer Zeit vorhanden sind. Dieser Fall deckt sich völlig mit dem des aktiven Niederschlages des Thoriums, wo die beiden Produkte Perioden von 11 Stunden und 55 Minuten haben.

Die  $\beta$ -Strahlenaktivität von D und E wird nach Erreichung des Maximums exponential mit einer Periode von 40 Jahren abfallen. Aus der auf S. 53 behandelten Gleichung kann sofort berechnet werden, daß die Zahl der Atome von F in ungefähr 2,6 Jahren ein Maximum erreicht und daß Radium-F schließlich im gleichen Tempo mit der Muttersubstanz D zerfallen wird, d. h. Radium-F wird ungefähr 40 Jahre später zur Hälfte umgewandelt sein. Die Kurven der Fig. 37 geben die relative Zahl der Atome von E und F, die zu irgend einer Zeit nach Bildung des aktiven Niederschlages per Sekunde zerfallen. Da die Aktivität von F der Zahl der in der Sekunde zerfallenden Atome von F proportional ist, so ergibt sich, daß die Aktivität von Null ansteigend nach 2,6 Jahren ein Maximum erreichen und dann mit einer Periode von 40 Jahren abfallen wird.

---

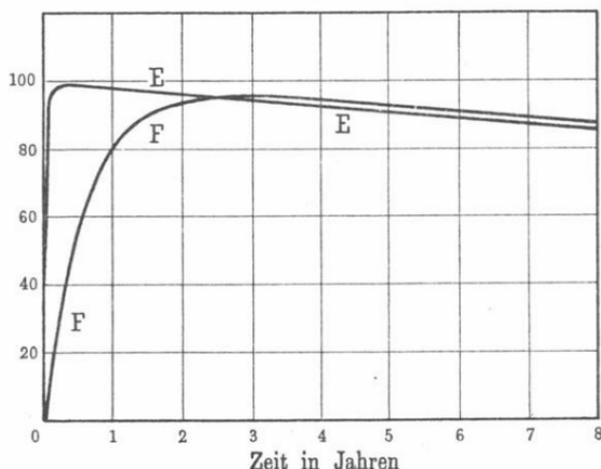
\*) Aus einem Vergleich der  $\alpha$ -Aktivitäten von Ra-C und Ra-F berechneten Meyer und Schweidler (l. c.) für die Periode von Ra-D 24 Jahre. Trägt man dem Umstande Rechnung, daß Ra-B  $\beta$ -Strahlen aussendet, so wird sich auch nach der Berechnungsweise Rutherfords ein kleinerer Wert als 40 Jahre ergeben.

Innerhalb des bis jetzt untersuchten Bereiches ist die Veränderung der  $\alpha$ -Aktivität in guter Übereinstimmung mit der theoretischen Kurve (vgl. Fig. 33).

Es ist interessant, daß der Wert, den die  $\alpha$ -Strahlenaktivität neun Tage nach Bildung des aktiven Niederschlages besitzt, erst nach einem Intervall von ungefähr 180 Jahren wieder erreicht wird.

Die Bildung des langsam sich umwandelnden aktiven Niederschlages aus dem Radium erklärt ohne weiteres die starke Aktivität, die in Räumen, in denen große Radiummengen gebraucht

Fig. 37.



EE und FF stellen die Zahl der Atome von Radium-D bzw. Radium-F dar, die in der Sekunde zerfallen.

worden sind, vorhanden ist, selbst nachdem das Radium seit einiger Zeit aus ihnen entfernt war. Diese Beobachtung ist von verschiedenen Forschern gemacht und besonders von denen, die sich mit der Trennung und Konzentrierung großer Radiummengen beschäftigt haben.

Die von dem Radium in Freiheit gesetzte Emanation verteilt sich durch Diffusion und Konvektion in dem ganzen Laboratorium, so daß abgelegene Räume, in denen niemals Radiumpräparate aufbewahrt gewesen sind, dauernd radioaktiv werden. Die Emanation wandelt sich in Radium-A, -B und -C um und bildet

schließlich den langsam sich umwandelnden aktiven Niederschlag. Diese Substanz schlägt sich auf den Wänden und auf jedem in dem Gebäude befindlichen Gegenstand nieder. Bei einer gegebenen Emanationsmenge wird die  $\alpha$ -Strahlenaktivität anfangs klein sein, aber ungefähr drei Jahre lang stetig zunehmen.

Diese auf Gegenständen vorhandene Aktivität ist eine Quelle erheblicher Störungen bei radioaktiven Untersuchungen. Eve<sup>1)</sup> fand zum Beispiel, daß jeder Gegenstand aus dem Mac Donald Physics Building der McGill-Universität in Montreal, der untersucht wurde, eine anormal große natürliche Aktivität besaß. Zur Zeit, als die Versuche ausgeführt wurden, war diese Aktivität ungefähr sechszigmal größer als in demselben Laboratorium vor der Einführung großer Radiummengen. Alle in dem Gebäude hergestellten Elektroskope hatten einen großen natürlichen Abfall, der von dem aktiven Niederschlage herrührt. Dieser läßt sich teilweise durch Abreiben mit Sandpapier oder durch Auflösen in Säuren entfernen. Wenn nicht alle Elektroskope oder Versuchsgefäße außerhalb des Laboratoriums angefertigt werden, so ist die Messung schwacher Aktivitäten, wozu es erforderlich ist, daß der natürliche Abfall klein ist, fast unmöglich. Wenn einmal ein Gebäude infiziert ist, so hat es keinen unmittelbaren Zweck, das Radium zu entfernen, denn die  $\alpha$ -Strahlenaktivität wird ungefähr drei Jahre lang beständig anwachsen und Hunderte von Jahren anhalten.

Aus diesen Gründen ist es sehr ratsam, das Entweichen der Emanation möglichst weitgehend zu verhindern und alle Radiumsalze in zugesiegelten Gefäßen aufzubewahren.

### Die zeitliche Änderung der Aktivität des Radiums.

Wir werden später sehen, daß Radium selbst sich wahrscheinlich in 1300 Jahren zur Hälfte umwandelt, es nimmt also die Zahl der in der Sekunde sich umwandelnden Atome exponential mit dieser Periode ab. Die Zunahme der Aktivität, die von der Bildung des langsam sich umwandelnden aktiven Niederschlages herrührt, wird die Abnahme der Aktivität des Radiums selbst zunächst kompensieren. Die Aktivität eines Radium-

---

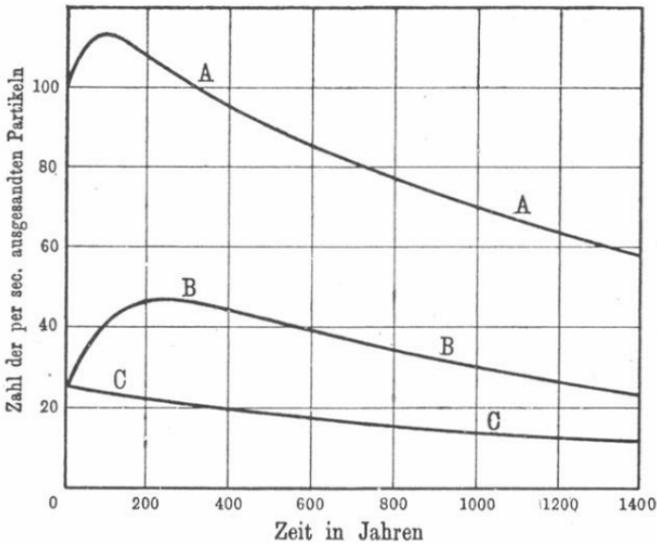
<sup>1)</sup> Eve, Nature, 16. März 1905.

präparates wird mehrere hundert Jahre lang anwachsen, aber schließlich exponential mit der Periode des Radiums abfallen.

Wenn sich angenähert das Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Produkten eingestellt hat, so wird die Zahl der von altem Radium ausgesandten  $\beta$ -Partikeln doppelt so groß sein, wie die von Radium-C allein, denn Radium-E wird unter diesen Umständen ebensoviel  $\beta$ -Partikeln in der Sekunde aussenden, wie Radium-C\*).

Es läßt sich leicht berechnen, daß die Zahl der von Radium und seinen Produkten ausgesandten  $\beta$ -Partikeln stetig zunehmen

Fig. 38.



AA und BB stellen die Zahl von  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Partikeln dar, die in der Sekunde von Radium ausgesandt werden, CC die Zahl der in der Sekunde zerfallenden Atome.

wird, bis nach 226 Jahren ein Maximum erreicht ist. Später wird diese Zahl exponential mit einer Periode von 1300 Jahren abnehmen. Die Veränderung, die die Zahl der von Radium ausgesandten  $\beta$ -Partikeln mit der Zeit erfährt, ist in der Kurve BB der Fig. 38 wiedergegeben.

\*) Vgl. S. 116.

Radium und seine schnell sich umwandelnden Produkte senden zusammen vier  $\alpha$ -Partikeln aus. Es läßt sich leicht durch Rechnung zeigen, daß die Zahl der von Radium in der Sekunde ausgesandten  $\alpha$ -Partikeln nach ungefähr 111 Jahren ein Maximum erreicht und dann ungefähr 1,19 mal so groß sein wird, wie die Zahl, die von einem einen Monat alten Radiumpräparat ausgesandt wird. Die Zahl wird dann wie in dem Falle der  $\beta$ -Partikeln mit einer Periode von 1300 Jahren abfallen.

Die Kurve *AA* stellt die Veränderung dar, die die Zahl der von Radium und seinen Produkten ausgesandten  $\alpha$ -Partikeln mit der Zeit erfährt und Kurve *CC* die Zahl der in der Sekunde zerfallenden Radiumatome.

Die Berechnungen der Veränderung der Aktivität des Radiums hängen von der Genauigkeit ab, mit der die Perioden von Radium-D und Radium selbst bestimmt sind. Jede Abänderung dieser Werte wird auch in gewissem Grade die Kurven ändern.

### Die Identität von Radium-F und Radiotellurium.

Da Radium-D, -E und -F fortwährend aus dem Radium entstehen, so sollten sie sich in allen Mineralien vorfinden, die Radium enthalten und ihrer Menge nach proportional der Menge des vorhandenen Radiums sein. Wir wollen nun untersuchen, ob diese Produkte früher aus radioaktiven Mineralien abgetrennt und unter anderen Namen bekannt geworden sind.

Wir werden zunächst zeigen, daß Radium-F mit dem sehr aktiven Radiotellurium identisch ist, das von Marckwald aus Rückständen der Pechblende gewonnen ist. Die wesentlichen Kriterien, die für die Identität zweier Produkte sprechen, sind die folgenden:

1. Die Identität der Strahlen oder der charakteristischen Emanationen.
2. Die Identität der Umwandlungsperioden.
3. Die Übereinstimmung des chemischen und physikalischen Verhaltens.

Das dritte Kriterium ist von geringerer Bedeutung als die beiden anderen, da die aktiven Produkte in den meisten Fällen in sehr unreinem Zustande erhalten werden, und das chemische

Verhalten durch das Vorhandensein der Verunreinigungen wesentlich beeinflußt werden kann.

Radium-F sendet nur  $\alpha$ -Strahlen aus, hat eine Periode von ungefähr 143 Tagen und wird durch Wismut aus seinen Lösungen abgeschieden. Radiotellurium besitzt genau die gleichen Eigenschaften. Ferner sind von dem Verfasser<sup>1)</sup> die Abfallskurven von Radiotellurium und Radium-F direkt miteinander verglichen und innerhalb der Versuchsfehler identisch gefunden worden. Beide verlieren in ungefähr 143 Tagen ihre Aktivität zur Hälfte. Die Zerfallsperiode von Radiotellurium ist noch von Meyer, Schweidler und Marckwald experimentell untersucht. Meyer und Schweidler fanden für die Periode 135 Tage, Marckwald 139 Tage. Mit Rücksicht darauf, daß es sehr schwierig ist, genaue vergleichende Messungen über so große Zeiträume zu machen, befinden sich die von den verschiedenen Beobachtern erhaltenen Werte in ausgezeichnete Übereinstimmung. Der Verfasser fand auch, daß die Strahlen von Radium-F dasselbe Durchdringungsvermögen besitzen, wie die von einer mit Radiotellurium überzogenen Wismutplatte. Aus den Arbeiten von Bragg und anderen ist bekannt, daß die  $\alpha$ -Strahlen der Radiumprodukte ein Durchdringungsvermögen besitzen, welches für jedes einzelne Produkt wohl definiert ist, sich aber beträchtlich von einem Produkt zum anderen ändert. Die Gleichheit des Durchdringungsvermögens spricht also sehr für die Identität der beiden Produkte. Wir können daher schließen, daß das Radiotellurium von Marckwald als aktiven Konstituenten Radium-F enthält; mit anderen Worten, Radiotellurium ist ein Umwandlungsprodukt des Radiums.

Die von Marckwald angewandte Methode der Trennung und Konzentration des Radiotelluriums ist von besonderem Interesse. Die von Mme. Curie ausgeführte Abscheidung des Radiums aus der Pechblende, in welcher es im Verhältnis von weniger als einem Teil in einer Million vorhanden ist, war eine bemerkenswerte Leistung, aber Marckwalds Absonderung des Radiotelluriums liefert eine noch viel auffallendere Illustration dafür, daß es möglich ist, eine radioaktive Substanz, die in fast verschwindendem Betrage vorhanden ist, chemisch zu konzentrieren.

---

<sup>1)</sup> Rutherford, Phil. Mag., Sept. 1905.

Marckwald beobachtete anfangs, daß ein Wismutstab, der in eine Lösung von Pechblenderückständen getaucht war, sich mit einem Niederschlag überzog, der nur  $\alpha$ -Strahlen aussandte. Nach einigen Tagen war auf diese Weise die aktive Substanz fast völlig aus der Lösung entfernt. Der Niederschlag auf dem Wismut bestand zum größten Teil aus Tellurium und aus diesem Grunde nannte Marckwald den aktiven Stoff Radiotellurium. Später fand Marckwald sehr einfache und wirksame Mittel, um die aktive Substanz von dem Tellurium zu trennen, und erhielt schließlich ein Präparat, das Gewicht für Gewicht viel stärker aktiv war, als Radium.

Fünf Tonnen von Uraniumrückständen, die 15 Tonnen des Joachimstaler Minerals entsprechen, wurden auf Radiotellurium verarbeitet und aus ihnen erhielt Marckwald schließlich nur 3 mg der aktiven Substanz. Wenn Zinn-, Kupfer- oder Wismutplatten in eine salzsaure Lösung dieser Substanz getaucht wurden, so fanden sie sich mit einem fein verteilten Niederschlage bedeckt. Diese Platten waren außerordentlich aktiv und gaben deutliche Ionisations-, photographische und Phosphoreszenzeffekte. Als eine Illustration der enormen Aktivität dieser Substanz gibt Marckwald an, daß  $\frac{1}{100}$  mg auf einer Kupferplatte von 4 qcm Fläche einen genäherten Zinksulfidschirm zu so hellem Leuchten brachte, daß es von einem Auditorium von mehreren hundert Personen gesehen werden konnte.

Infolge der geringen Materialmenge ist es Marckwald noch nicht gelungen, die Substanz hinreichend zu reinigen, um ihr Spektrum zu bestimmen.

Mit Hilfe einer einfachen Rechnung läßt sich die Aktivität von Radium-F, d. h. von Radiotellurium, im Zustande der Reinheit leicht bestimmen. Es sei  $N_1$  die Zahl der von Radium-F in 1 g des radioaktiven Minerals enthaltenen Atome und  $N_2$  die Zahl der Radiumatome. Radium und Radium-F sind im radioaktiven Gleichgewicht, und die Zahl der in der Sekunde zerfallenden Atome ist daher bei beiden die gleiche. Es ist also  $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$ , worin  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  die radioaktiven Konstanten von Radium-F und Radium sind. Da Radium-F in 0,38 und Radium in 1300 Jahren sich umwandelt, so ist

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{0,38}{1300} = 0,000\ 29.$$

Es ist nun wahrscheinlich, daß die Atomgewichte von Radium und Radium-F nicht sehr verschieden sind. Folglich kommen in dem Mineral auf jedes Gramm Radium nur 0,29 mg Radium-F. Für gleiche Gewichtsmengen ist die Zahl der von Radium-F ausgesandten  $\alpha$ -Partikeln 3400 mal größer, als die von Radium selbst, oder 850 mal größer als die Zahl derjenigen, die von Radium ausgesandt werden, wenn es mit seinen drei schnell sich umwandelnden  $\alpha$ -Strahlenprodukten im Gleichgewicht ist.

Wenn man annimmt, daß die  $\alpha$ -Partikel von Radium-F ungefähr dieselbe Ionisation hervorruft, wie im Durchschnitt die  $\alpha$ -Partikel des Radiums, so sollte die Aktivität von Radium-F 850 mal größer sein als die des Radiums.

Es ist experimentell gefunden, daß in radioaktiven Mineralien der Betrag des Radiums stets dem Gehalt an Uranium proportional ist und zwar, daß auf jedes Gramm Uranium  $3,8 \cdot 10^{-7}$  g Radium kommen.

Es kommen also auf je 1 g Uranium  $1,1 \cdot 10^{-10}$  g Radium-F und auf die Tonne 0,1 mg. Aus 15 Tonnen der Joachimstaler Pechblende, die ungefähr 50 Proz. Uranium enthält, würden sich also 0,75 mg Radium-F gewinnen lassen. Aus dieser Menge von Pechblende hat Marckwald ungefähr 3 mg erhalten. Es ist unwahrscheinlich, daß die ganze Menge von Radium-F abgeschieden war, und die 3 mg enthielten wahrscheinlich einige Verunreinigungen. Man sieht jedoch, daß das Verhältnis, in dem nach der theoretischen Berechnung Radium-F in dem Mineral vorhanden sein muß, in guter Übereinstimmung mit dem experimentellen Ergebnis ist.

Obwohl der Gehalt der Mineralien an Radium-F außerordentlich klein erscheinen mag, so sind doch die schnell sich umwandelnden Produkte in noch geringeren Mengen vorhanden. Das Gewicht, das von jedem Produkt in einer Tonne Uran enthalten ist, ist direkt seiner Periode proportional, da das am schnellsten sich umwandelnde Produkt in der kleinsten Menge vorhanden ist. In der umstehenden Tabelle ist die Gewichtsmenge angegeben, die von jedem Radiumprodukt per Tonne Uran vorhanden ist.

Radium-A, -B, -C und -E sind hiernach in viel zu kleinen Mengen vorhanden, als daß sie sich auf chemischem Wege ansammeln ließen, selbst wenn dieses ihre kurze Lebensdauer erlaubte. Radium-D kommt jedoch verglichen mit Radium-F in

beträchtlicher Menge vor und es sollte möglich sein, von ihm eine zur chemischen Untersuchung ausreichende Menge zu erhalten.

Produkt	Periode	Gewicht per Tonne Uranium mg
Radium . . . . .	1300 Jahre	340
Emanation . . . . .	3,8 Tage	$2,6 \times 10^{-3}$
Radium-A . . . . .	3 Minuten	$1,4 \times 10^{-6}$
Radium-B . . . . .	26 "	$1,2 \times 10^{-5}$
Radium-C . . . . .	19 "	$9 \times 10^{-6}$
Radium-D . . . . .	40 Jahre	10
Radium-E . . . . .	6 Tage	$4,2 \times 10^{-3}$
Radium-F . . . . .	143 "	0,1

### Polonium und Radiotellurium.

Die erste aktive Substanz, die aus der Pechblende gewonnen wurde, fand sich mit dem Wismut zusammen und wurde von Mme. Curie, die sie entdeckt hatte, Polonium genannt.

Nachdem verschiedene Methoden zur Konzentrierung dieser Substanz versucht waren, gelang es Mme. Curie schließlich, eine aktive Substanz zu erhalten, deren Aktivität von der Größenordnung der Aktivität des Radiums war. Das Polonium sandte nur  $\alpha$ -Strahlen aus, seine Aktivität war jedoch nicht beständig, sondern fiel allmählich ab.

Sowohl hinsichtlich der Natur seiner Strahlen, wie auch seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften ist Polonium dem Radium-F und dem Radiotellurium sehr ähnlich. Die Frage, ob der aktive Bestandteil des Radiotelluriums identisch mit dem des Poloniums ist, ist oft diskutiert worden. Zuerst wurde mitgeteilt, daß die Aktivität des Radiotelluriums nicht merkbar abfiel, daß es sich also in dieser Hinsicht ganz anders verhielte wie das Polonium; wir wissen jedoch jetzt, daß Radiotellurium seine Aktivität ziemlich schnell verliert.

Wenn die beiden Stoffe denselben aktiven Bestandteil enthielten, so sollten ihre Aktivitäten nach derselben Periode abfallen. Mme. Curie hat jedoch gefunden, daß einige ihrer Poloniumpräparate ihre Aktivität nicht nach einem Exponentialgesetz verloren.

Ein Präparat von Poloniumnitrat verlor zum Beispiel seine Aktivität zur Hälfte in 11 Monaten und zu 95 Proz. in 33 Monaten. Eine Probe metallischen Poloniums verlor 67 Proz. ihrer Aktivität in sechs Monaten. Diese Resultate befinden sich keineswegs in Übereinstimmung miteinander. Das Metallpräparat verlor seine Aktivität ein wenig schneller als Radium-F, während das Nitrat sie anfangs viel langsamer verlor. Die Abweichung der Abfallskurven von dem Exponentialgesetz zeigt, daß in dem Polonium, das Mme. Curie für ihre Versuche verwandte, mehr als eine aktive Substanz vorhanden war. Wahrscheinlich war dieser zweite Bestandteil Radium-D. Das Vorhandensein dieses Elements, welches Radium-F bildet, würde bewirken, daß die  $\alpha$ -Strahlenaktivität anfangs langsamer abnimmt, als wenn nur Radium-F zugegen wäre.

Mit Rücksicht auf die Ähnlichkeit, die zwischen Polonium und Radiotellurium hinsichtlich ihrer physikalischen, chemischen und radioaktiven Eigenschaften besteht, und weil beide wahrscheinlich dieselbe Zerfallsperiode besitzen, kann meiner Ansicht nach kein Zweifel obwalten, daß der  $\alpha$ -Strahlen aussendende Bestandteil im Polonium mit dem Radiotellurium von Marckwald identisch ist. Wir können schließen, daß sowohl Radiotellurium wie Polonium aus der Umwandlung des Radiumatoms entsteht <sup>1)</sup>.

### **Der Zusammenhang zwischen Radioblei und dem aktiven Niederschlag.**

Wir werden jetzt einige Versuche besprechen, aus denen klar hervorgeht, daß Radium-D der primäre Bestandteil des zuerst von Hofmann aus der Pechblende gewonnenen Radiobleies ist. Die ersten Versuche Hofmanns über die Abscheidung und die Eigenschaften von Radioblei wurden zunächst etwas kritisch beurteilt, jetzt kann jedoch kein Zweifel mehr darüber bestehen,

---

<sup>1)</sup> Die Identität der aktiven Bestandteile im Radiotellurium und Polonium ist jetzt einwandfrei bewiesen worden. Mme. Curie (Compt. rend., 29. Jan. 1906) hat die Aktivitätsabnahme des Poloniums genau gemessen und gefunden, daß sie nach einem Exponentialgesetz mit einer Periode von 140 Tagen erfolgt. Diese Periode ist praktisch mit der identisch, die für Radiotellurium und Radium-F gefunden ist.

daß ihm der Kredit für die Gewinnung einer neuen Substanz aus der Pechblende zugeschrieben werden muß, aus der, wie wir sehen werden, Radiotellurium und Polonium entsteht.

Meine Aufmerksamkeit wurde auf die Beziehung zwischen Radioblei und dem aktiven Niederschlag durch die Untersuchung einer Probe von Radioblei gelenkt, die Dr. Boltwood aus Newhaven liebenswürdigerweise für mich hergestellt hatte. Dieses Präparat besaß anfangs eine, verglichen mit der  $\alpha$ -Strahlenaktivität, ungewöhnlich große  $\beta$ -Strahlenaktivität, die  $\alpha$ -Strahlenaktivität nahm jedoch mit der Zeit stetig zu; das Radioblei verhielt sich also ganz so, als ob es Radium-D und -E enthielte und Radium-F allmählich bildete.

Der Zusammenhang zwischen Radioblei und Radium-D, -E und -F ist durch die chemische Untersuchung der Bestandteile des Radiobleies und die Bestimmung ihrer Zerfallsperioden völlig geklärt worden. Die Substanz hatte den Namen Radioblei erhalten, weil sie zuerst mit dem Blei zusammen abgeschieden war, wir wissen jedoch jetzt, daß die in ihr enthaltenen Produkte ebensowenig etwas mit Blei zu tun haben, wie das Radium mit dem Baryum.

Hofmann, Gonders und Wölfl<sup>1)</sup> erhielten im Verlaufe einer chemischen Untersuchung des Radiobleies die folgenden Resultate. Geringe Mengen der Platinmetalle in Gestalt von Chloriden wurden zu einer Lösung von Radioblei hinzugesetzt und nach mehreren Wochen mit Formalin oder Hydroxylamin gefällt. Alle diese Substanzen geben nach der Fällung  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen ab.

Der größte Teil der  $\beta$ -Strahlenaktivität verschwand in ungefähr sechs Wochen und die  $\alpha$ -Strahlenaktivität in ungefähr einem Jahre. Wir werden sehen, daß die  $\beta$ -Strahlenaktivität von Radium-E und die  $\alpha$ -Strahlenaktivität von Radium-F herrührt. Dieser Schluß ist ferner durch Versuche über den Einfluß hoher Temperaturen auf diese Substanzen bestätigt worden. Bei heller Rotglut verlor sich die  $\alpha$ -Strahlenaktivität in wenigen Sekunden. Dieses stimmt mit den früher erwähnten Versuchen überein, bei denen Radium-F bei ungefähr 1000° verflüchtigt wurde.

Gold-, Silber- und Quecksilbersalze, die zu der Radiobleilösung hinzugesetzt werden, besitzen nur  $\alpha$ -Strahlenaktivität.

---

<sup>1)</sup> Hofmann, Gonders und Wölfl, Ann. d. Phys. 1904, S. 615.

Dieses ist so zu erklären, daß nur Radium-F mitgerissen wurde. Wismutsalze besitzen andererseits  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlenaktivität, aber die letztere nimmt schnell ab. Hieraus geht hervor, daß mit dem Wismut sowohl Radium-E wie -F ausgefällt wird.

Die  $\alpha$  Strahlenaktivität des Radiobleies wird durch die Wismutfällung sehr verringert, nimmt jedoch allmählich wieder zu. Dieses Resultat ist zu erwarten, wenn Radioblei Radium-D, -E und -F enthält. Radium-E und -F werden durch das Wismut entfernt, während -D zurückbleibt und von neuem -E und -F bildet.

Die radioaktiven Messungen von Hofmann, Gonders und Wöfl waren leider nicht sehr genau; diesem Mangel ist durch einige sorgfältige Messungen von Meyer und Schweidler abgeholfen worden<sup>1)</sup>. Wenn Radioblei Radium-D, -E und -F enthält, so sollte die  $\beta$ -Strahlenaktivität, die von -E herrührt, in ungefähr sechs Tagen, und die von -F herrührende  $\alpha$ -Strahlenaktivität in ungefähr 140 Tagen zur Hälfte zerfallen.

Diese Schlüsse sind durch die Versuche von Meyer und Schweidler völlig bestätigt worden. Eine Anzahl von Palladiumblechen, die in eine Radiobleilösung getaucht waren, besaßen sowohl  $\alpha$ - wie  $\beta$ -Strahlenaktivität. Die  $\beta$ -Strahlenaktivität nahm exponential mit einer Periode von 6,2 Tagen ab; das  $\beta$ -Strahlenprodukt ist also identisch mit Radium-E. Die  $\alpha$ -Strahlenaktivität fiel nach einigen Monaten exponential mit einer Periode von 135 Tagen ab. Das  $\alpha$ -Strahlenprodukt ist also identisch mit Radium-F.

Es kann demnach nicht zweifelhaft sein, daß Radioblei einige Zeit nach seiner Herstellung Radium-D, -E und -F enthält. Bisher ist nicht festgestellt worden, ob Radium-D, -E und -F zusammen mit dem Blei ausgefällt werden, oder nur Radium-D, und so die Gegenwart von Radium-E und -F nach einiger Zeit von ihrer Neubildung aus Radium-D herrührt. Wenn bei dem Abscheidungsprozeß Wismut von dem Blei getrennt wird, so werden wahrscheinlich Radium-E und -F bei dem ersteren verbleiben, und nur Radium-D wird das Blei begleiten.

Der Zusammenhang zwischen den Radiumprodukten und dem Radioblei ist in der folgenden Tabelle zur Anschauung gebracht:

<sup>1)</sup> Meyer und Schweidler, Wien. Ber., Juli 1905.

Radium-D: enthalten in neuem Radioblei; strahlenlos; Periode 40 Jahre.

Radium-E: sendet  $\beta$ -Strahlen aus; wird durch Wismut-, Iridium- und Palladiumsalze gefällt; Periode 6 Tage.

Radium-F: enthalten im Polonium und Radiotellurium; sendet nur  $\alpha$ -Strahlen aus; flüchtig bei  $1000^{\circ}$ ; wird auf Wismut und Palladium niedergeschlagen; Periode 143 Tage.

Wir haben gesehen, daß ungefähr 10 mg Radium-D sich aus einer Tonne Uranium gewinnen lassen sollten. Wenige Wochen nach der Abscheidung von Radium-D sollte seine  $\beta$ -Strahlenaktivität ungefähr 30 mal so groß sein wie die des Radiums. Eine kleine Menge dieser Substanz würde als eine wertvolle Quelle von  $\beta$ -Strahlen dienen und als ein geeignetes Mittel, um Radium-F zu gewinnen, da man jederzeit einen sehr starken Niederschlag von Radium-F, durch Eintauchen einer Wismut- oder Palladiumplatte in die Lösung, erhalten könnte. Es ist zu hoffen, daß Radium-D aus den Pechblenderückständen zugleich mit dem Radium gewonnen werden wird, es würde für viele Versuche ebenso wertvoll sein wie das Radium selbst.

---

## Sechstes Kapitel.

### Ursprung und Lebensdauer des Radiums.

---

Da Radium dauernd  $\alpha$ -Partikeln aussendet und ein radioaktives Gas erzeugt, so muß seine Menge fortwährend abnehmen. Radium muß daher als eine radioaktive Substanz von der Art der Emanation angesehen werden, von der es sich vom Gesichtspunkte der Radioaktivität aus nur durch seine relativ geringe Umwandlungsgeschwindigkeit unterscheidet. Eine gegebene Menge von Radium muß schließlich verschwinden, es werden nach einer Reihe von Umwandlungen nur die inaktiven Substanzen zurückbleiben, die aus dem Zerfall des Radiums entstehen.