Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 91 (1908)

Artikel: Die neueren Fortschritte auf dem Gebiete der Radioaktivität

Autor: Greinacher, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90164

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die neueren Fortschritte auf dem Gebiete der Radioaktivität.

(Von Anfang 1906 bis Mitte 1908.)

Von

Dr. *H. Greinacher*,

Privatdozent an der Universität Zürich.

Hochgeehrte Versammlung!

Das Gebiet der Radioaktivität gehört zweifellos zu denen, die gegenwärtig im Vordergrunde des Interesses stehen. Welch raschen Aufschwung diese junge Wissenschaft bereits genommen hat und die Bedeutung, die man ihr beimisst, beweisen am deutlichsten die zahlreichen Publikationen, die Jahr für Jahr in physikalischen, chemischen und Spezialzeitschriften erscheinen. Dass der Gegenstand schon längst auch in weiteren Kreisen Interesse gefunden hat, bekunden die schnelle Verbreitung einschlägiger Bücher, dann auch die allenthalben stattfindenden Vorträge.

Nun haben solch zusammenfassende Berichte zwar den Vorteil, dass sie leicht die allerneuesten Ergebnisse berücksichtigen können, während Bücher dem rasch sich ändernden Bild der Entwicklung kaum zu folgen vermögen. Allein, es wird bei der wachsenden Ausdehnung des Gebiets auch immer schwieriger, in einem kurzen Referat sämtliche wichtigeren Ergebnisse nach Gebühr würdigen zu können. Nun darf man aber wohl ohne Zweifel annehmen, dass die Ergebnisse der früheren Jahre heute ziemlich allgemein bekannt sind. Ich glaubte daher der freundlichen Aufforderung des geehrten Jahrespräsidenten in der

Weise gerecht werden zu können, dass ich mein Referat auf die neueren Forschungsergebnisse beschränkte. Im speziellen betreffen meine Ausführungen die Arbeiten vom Jahre 1906 an bis zur Gegenwart.

Den Stoff habe ich in vier Kapitel eingeteilt. Das erste davon soll das Studium der Becquerelstrahlen als solche behandeln. Das zweite betrifft die Umwandlungsreihen, das dritte die Radioaktivität in ihrer Abhängigkeit von äusseren Einflüssen und das letzte endlich soll die Frage nach der Verbreitung der Radioaktivität etwas näher beleuchten.

I. Die Becquerelstrahlen.

1. Die α-Strahlen.

Zunächst wollen wir uns den neuen Ergebnissen zuwenden, soweit sie die Eigenschaften und die Natur der Becquerelstrahlen betreffen, und zwar wollen wir der Reihe nach die α-, β- und γ-Strahlen besprechen.

Davon sind die α-Strahlen diejenigen, denen man seinerzeit die geringste Aufmerksamkeit geschenkt hat.

Da sie schon durch ganz dünne Schichten absorbiert werden, so schienen sie gegenüber den β- und γ-Strahlen bei weitem nicht dasselbe Interesse zu verdienen; indessen hat sich allmählich herausgestellt — dieser Zeitpunkt datiert etwa vom Jahre 1903 — dass die α-Strahlen weitaus die interessantesten Eigenschaften besitzen und nach unserer heutigen Kenntnis geradezu die Hauptrolle beim Atomzerfall spielen. So kommt es, dass man sich gerade in neuerer Zeit einem eingehenden Studium dieser Strahlen zugewendet hat. Über die α-Strahlen ist daher auch am meisten zu berichten.

Zunächst zeigten sich in der Ionisierung von Gasen durch α-Strahlen bemerkenswerte Ergebnisse. Man hat die ionisierende Wirkung der α-Strahlen in verschiedenem Abstand von der Strahlungsquelle untersucht und hat ge-

funden, dass sie um so grösser ist, je weitere Strecken die α-Teilchen schon zurückgelegt haben. Bei einer bestimmten Distanz erlischt das Ionisierungsvermögen jedoch fast plötzlich. Die α-Teilchen haben daher im Gegensatz zu den β- und γ-Strahlen einen ganz bestimmt umgrenzten Wirkungsbereich (range, parcours). Diese Reichweite schwankt für die verschiedenen radioaktiven Elemente zwischen 2,8 und 8,6 cm. Sie hat für jede Substanz einen ganz bestimmten Wert, da alle α-Teilchen derselben Substanz dieselbe Anfangsgeschwindigkeit besitzen. Die Strahlen sind mit andern Worten homogen. Solche homogenen Strahlen erhält man aber nur, wenn die Substanz sehr dünn ausgebreitet ist, da sonst auch Strahlen aus der Tiefe kommen, welche nun an Geschwindigkeit eingebüsst haben. Der Umstand, dass man zu den früheren Versuchen inhomogene Strahlen verwendete, war die Ursache von manchen ungenauen und sich widersprechenden Resultaten. *Bragg* war es, der zuerst am Radium nachwies, dass dasselbe α-Strahlen von verschiedener, aber ganz bestimmter Reichweite aussendet und es demzufolge aus mehreren Strahlenprodukten bestehen müsse. Diese *Braggsche* Methode, die Ionisierungskurve zu bestimmen, ist nachträglich geradezu klassisch geworden. Sie bot direkt ein neues Hilfsmittel, um verschiedene α-Strahlenprodukte von einander zu unterscheiden. Auf diese Weise hat z. B. *Hahn* gefunden, dass das Thorium B kein einheitlicher Körper sein kann, sondern aus zweien: Thorium B und C bestehen muss.

Es ist im übrigen leicht einzusehen, dass die Reichweite je nach dem Gasdruck variiert. Sie ist demselben umgekehrt proportional. So wie der ionisierende Effekt der Strahlen, so hört auch ihre photographische und fluoroskopische Wirkung nach Durchlaufen einer gewissen Luftstrecke plötzlich auf. Diese Distanz ist in allen drei Fällen dieselbe, weshalb *Rutherford* es auch als wahrscheinlich hinstellt, dass alle drei Wirkungen dieselbe Ursache haben.

Die Szintillation, die man unter dem Bombardement der α-Strahlen, an einem Zinksulfidschirm beobachtet, hätte danach ihre Ursache in der Ionisation der Krystalle. Das Aufblitzen der einzelnen Lichtpunkte käme durch die Wiedervereinigung der durch die α-Teilchen gebildeten Ionen zustande. Neuerdings hat *Regener* gezeigt, dass in der Tat jedem Teilchen ein Lichtblitz entspricht. Unter geeigneten Bedingungen lässt sich die Anzahl der Lichtpunkte pro Sekunde zählen. Solche Messungen haben neuerdings zu interessanten Resultaten geführt. So zeigte es sich, dass die Anzahl Lichtblitze dieselbe bleibt, wenn man zwischen Leuchtschirm und Strahlenquelle eine absorbierende Schicht zwischenbringt. Die α-Teilchen gehen also vollzählig durch Materie hindurch. Nur wenn sie am Ende ihrer Reichweite angekommen sind, werden sie alle miteinander absorbiert.

Dieses Resultat hatte sich schon früher aus dem Studium der Ionisationskurven ergeben. Das Maximum der Ionisierungsintensität kurz vor dem Ende der Flugbahn wird nämlich nicht verkleinert, wenn die Strahlen eine absorbierende Schicht durchlaufen, wohl aber ist der aufsteigende Ast der Kurve kürzer. Die Reichweite wird verkürzt.

Man hat die Ionisierung durch α-Strahlen unter den verschiedensten Bedingungen untersucht. So hat man festgestellt, dass die Ionisierungskurve in verschiedenen Gasen merklich dieselbe Form hat. Die Ionisierung ändert sich ferner proportional dem Gasdruck. Vergleicht man etwa verschiedene Gase untereinander, so besteht Proportionalität mit der Quadratwurzel aus dem Atomgewicht. Sorgt man jedoch dafür, dass die α-Teilchen im Gase vollständig absorbiert werden, so ist die Ionisierung stets ungefähr dieselbe, unabhängig vom Gasdruck und der Natur des Gases. Es werden stets gleichviel Ionen gebildet, sodass man zum Schluss kommt, dass zur Erzeugung eines Ions stets dieselbe Energie erforderlich ist.

Die Anzahl der von den α-Teilchen gebildeten Ionen wird in bekannter Weise durch den Sättigungsstrom in einem Plattenkondensator gemessen. Bei dem heute überaus ausgedehnten Gebrauch dieser Messungen ist es nicht zu verwundern, wenn die Messmethoden mannigfach abgeändert worden sind. Ich erinnere nur an die *Bronson*'sche Methode der konstanten Ausschläge, welche die Ströme direkt am Elektrometer abzulesen gestattet. Eine neuere Nullmethode zur Radioaktivitätsmessung, welche direkt Aktivitäten mit einem Normalpräparat vergleicht, ist von *Allen* angegeben worden.

Es ist zu bemerken, dass die Messung der Ionisierung gerade bei den α-Strahlen einige Schwierigkeit bereitet, insofern, als der Sättigungsstrom selbst bei hohen angelegten Spannungen nur schwer erreicht wird. Die Ionen werden durch die α-Teilchen z. T. nur unvollständig getrennt. Es findet eine sofortige Wiedervereinigung statt, die um so stärker ist, je kleiner die Geschwindigkeit der ionisierenden α-Strahlen ist. Nach neueren Vorstellungen hat dies darin seinen Grund, dass die 200,000 Ionen, welche ein α-Teilchen auf seiner ganzen Bahn von etwa 4 cm erzeugt, ausserordentlich nahe hintereinander gereiht liegen. Sorgt man dafür, dass durch ein zur Strahlung quer gerichtetes elektrisches Feld die Ionenkette auseinander gerissen wird, so wird die anfängliche Wiedervereinigung unterdrückt und man erhält bei viel kleinerer Potenzialdifferenz schon Sättigung.

Die zum Ionisieren erforderliche Energie wird durch die lebendige Kraft der α-Partikel geliefert. Diese verlieren dabei fortwährend an Geschwindigkeit. *Rutherford* hat dies durch die magnetische Ablenkung der α-Strahlen nachgewiesen. Diese war grösser für α-Strahlen in Luft als im Vakuum. In gleicher Weise liess sich zeigen, dass auch beim Durchgang durch feste Körper die Teilchen eine Geschwindigkeitseinbusse erleiden. Die Absorption der α-Strahlen besteht also in einem Geschwindigkeitsver-

lust, während nach dem bereits Gesagten ihre Anzahl nicht reduziert wird. Die Geschwindigkeit der α-Teilchen nimmt zwar mit zunehmender Wegstrecke fortwährend ab, sinkt jedoch am Ende der Reichweite keineswegs auf 0. Sie besitzt daselbst noch einen erheblichen Betrag, der nur verhältnismässig wenig unter dem Anfangswert liegt. Diese Endgeschwindigkeit ist im übrigen für alle α-Partikel dieselbe $\left(1{,}5 \cdot 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}\right)$. α-Teilchen unter dieser Geschwindigkeit haben somit kein Ionisierungsvermögen mehr.

Die Geschwindigkeit der α-Strahlen ist durch die magnetische und elektrische Ablenkung, welche letztere für die α-Strahlen besondere Schwierigkeiten bereitet, bestimmt worden. Aus den beiden Messungen wurde in der gewöhnlichen Weise auch das wichtige Verhältnis von Ladung und Masse bestimmt. Es ergab sich für eine Reihe von α-Strahlenprodukten von der gleichen Grösse und zwar $^1/_2$ so gross als für die H-Ionen in Elektrolyten. Es zeigte sich ferner, dass dieser Quotient $\left(\frac{e}{m}\right)$ beim Durchgang durch Materie ungeändert bleibt. Wie gross im einzelnen e und m anzugeben sind, ist, wie wir noch sehen werden, erst auf Grund allerneuester Versuche möglich geworden.

Eine grosse Anzahl von Arbeiten beschäftigt sich mit der Absorption der α-Strahlen. Während in den meisten anderen Fällen von Strahlenabsorption ein Exponentialgesetz gilt, ist dies für die α-Strahlen nicht der Fall. Die Absorption ist vielmehr eine Funktion der Schichtdicke. Dies rührt daher, dass die Strahlen allmählich verlangsamt werden, die Absorption aber eine Funktion der Geschwindigkeit ist. Schnellere Strahlen werden stärker absorbiert als langsamere. Die Absorption ist direkt umgekehrt proportional der Geschwindigkeit.

Vergleicht man etwa die Atomabsorption verschiedener Substanzen, d. h. die Absorption bei gleicher Anzahl von

Atomen, so findet man sie der Quadratwurzel aus dem Atomgewicht proportional. Die molekulare Absorption berechnet sich ferner aus der atomistischen, da die Absorption eine additive Eigenschaft ist. Dabei spielt der Aggregatzustand des absorbierenden Körpers keine Rolle.

Die Ungültigkeit des Exponentialgesetzes ist seinerzeit schon von Frau *Curie* nachgewiesen worden. Sie fand nämlich, dass die Absorption durch zwei verschiedene Metallfolien verschieden ausfällt, je nach der Reihenfolge, in welcher die Teilchen die beiden Schichten durchlaufen. Frau *Curie* suchte diese Eigentümlichkeit ursprünglich durch die Annahme von Sekundärstrahlen zu erklären, welche an der Austrittseite der α-Strahlen noch hinzukommen, und welche ja je nach dem Metall verschieden sein konnten.

Solche Sekundärstrahlen durch α-Strahlen nachzuweisen ist inzwischen vielfach versucht worden, doch ohne entscheidenden Erfolg. Immerhin war das Vorhandensein einer solchen aus langsamen Elektronen bestehenden Sekundärstrahlung nicht ausgeschlossen. Denkt man sich doch die sogenannten δ-Strahlen, die stets mit den α-Strahlen zusammen ausgesandt werden, nicht als selbständige Strahlen. Vielmehr scheinen sie durch die an der radioaktiven Substanz abprallenden α-Strahlen erzeugt zu sein. Doch da die Versuche eine Sekundärstrahlung nicht bestätigt haben, so konnte auch die Erscheinung der vertauschten Schichten durch sie nicht erklärt werden. Neuerdings versuchten *Kučera* und *Mašek* die Erscheinung auf eine Streuung der α-Strahlen zurückzuführen. Ein Teil der α-Teilchen konnte im Metall eine Richtungsänderung erfahren, die je nach der Natur des Metalles verschieden gross war. Danach müsste ein vorerst paralleles Strahlenbündel mehr oder weniger diffus austreten. Die Möglichkeit einer solchen Streuung ist nun in der Tat nicht von der Hand zu weisen, doch kann der Effekt nach allem nur sehr gering sein. *E. Meyer* hat kürzlich gezeigt, dass sie für die Erscheinung

der vertauschten Schichten gar nicht einmal in Betracht zu ziehen ist. Die Erscheinung lässt sich vielmehr vollständig durch das eigenartige Gesetz, welches die Absorption als Funktion der Geschwindigkeit der α-Teilchen gibt, erklären. Dabei ist nur die plausible Annahme gemacht, dass das Absorptionsgesetz in festen Körpern dasselbe wie in Gasen sei. Die Absorption zweier Metallfolien lässt sich dann berechnen, wenn man die Absorption der einzelnen Folien als Funktion des Abstandes von der Strahlungsquelle und überdies die Absorptionskurve der Luft kennt.

Auch die charakteristischen Versuche von *Bragg*, wonach die Reichweite durch Metallschichten je nach der Geschwindigkeit der α-Teilchen verschieden stark erniedrigt wird, bestätigen vollauf die erwähnte Interpretation der fraglichen Erscheinung.

Eine der wichtigsten Fragen, die gerade in letzter Zeit besonders aktuell geworden ist, betraf die Natur der α-Teilchen. Aus den Bestimmungen von $\frac{e}{m}$ liessen sich zunächst nur unter bestimmten Annahmen über die Grösse der Ladung e Schlüsse auf die Masse m ziehen. Dass überhaupt eine Ladung vorhanden ist, war erstens durch die magnetische und elektrische Ablenkung dargetan. Neuerdings hat *Aschkinass* auch direkt die positive Aufladung eines von Polonium-Strahlen getroffenen Metallbleches im Vakuum nachgewiesen. Das gleiche zeigen die neueren Versuche von *Eve*, der die Geschwindigkeit der α-Strahlen durch ein elektrisches Feld variierte. Die einfachste Annahme war nun die, dass e dasselbe sei, wie für die H-Ionen in Elektrolyten, also gleich dem elektrischen Elementarquantum. In diesem Fall gelangte man zum Resultat, dass m doppelt so gross als ein H-Atom sei. Nun war dies aber aus verschiedenen Gründen sehr unwahrscheinlich. Besonders widersprach dies andern Resultaten, wonach die α-Partikel nichts anderes als He-Atome sind, also das Atomgewicht 4 besitzen. Dies ging mit besonderer

Deutlichkeit aus der unumstösslich festgestellten Tatsache hervor, dass sowohl das Radium, als das Actinium Helium bilden.

Wollte man mit diesem Resultat im Einklang bleiben, dann musste man jedem α-Partikel *zwei* Elementarladungen zuschreiben. Dieser Annahme stand zunächst prinzipiell nichts im Wege, wenn zunächst auch keine experimentelle Bestätigung dafür vorhanden war. Es sei bemerkt, dass es unter den Anodenstrahlen auch welche gibt (Sr), die aus Teilchen von zweifacher Ladung bestehen. Immerhin liess sich über die Entstehung einer zweiten Ladung im Fall der α-Strahlen nichts sicheres aussagen, wenn auch der Verlust mehrerer negativer Elektronen durch das Vorhandensein der δ-Strahlen sich deuten liess. Dabei ist immerhin zu berücksichtigen, dass die Ansichten darüber, ob das α-Teilchen von Anfang an schon eine Ladung besitzt, oder ob es erst beim Zusammenprall mit Gasmolekülen eine solche erlangt, noch geteilt sind.

Erst ganz kürzlich hat sich nun ein Weg eröffnet, die brennende Frage nach der Ladung der α-Teilchen zu lösen. Die Methode basiert auf der zuerst von *Schweidler* gegebenen Theorie der radioaktiven Schwankungen.

Da der Zerfall der radioaktiven Atome ganz unregelmässig erfolgt, so lassen sich darauf die Gesetze der Wahrscheinlichkeit anwenden. Bisher war nun immer der Fall betrachtet worden, wo sehr viele Atome vorhanden sind, wo also das Gesetz der grossen Zahlen gilt. In diesem Fall beträgt die Menge der zerfallenden Atome stets einen konstanten Bruchteil der noch unverwandelten Atome. Anders, wenn die Substanzmenge gering ist, dann macht sich die Unregelmässigkeit des Vorganges durch fortwährende, momentane Schwankungen geltend. *v. Schweidler* hat gezeigt, dass die mittlere prozentische Schwankung gegeben ist durch $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{\sqrt{Z}}$ (1), wo Z die mittlere Anzahl der in der Sekunde zerfallenden Atome bedeutet. Diese momen-

tanen Schwankungen sind von *K. W. F. Kohlrausch* und *Geiger* an Polonium-Präparaten tatsächlich beobachtet worden. Genauere Messungen verdanken wir *E. Meyer* und *Regener*, welch letztere auch den Weg zur Entscheidung der oben erörterten Frage angegeben haben.

Dazu bedarf es noch einer weiteren Messung. Man misst die gesamte von allen Teilchen transportierte elektrische Ladung. Dies geschieht durch Messung des Sättigungsstroms, den das Polonium-Präparat im Vakuum hervorruft.

Dieser Strom ist

$$i_0 = Z\,ke,$$

wo k die Anzahl der Elementarladungen bedeutet, die ein α-Teilchen trägt.

Dies in (1) eingesetzt, gibt

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{ke}{i_0}}$$

Sofern nun e bekannt ist, lässt sich daraus k bestimmen. Nun schwanken leider die Angaben über das Elementarquantum noch innerhalb weiter Grenzen, sodass die daraus hervorgehenden Schlüsse noch nicht die wünschenswerte Sicherheit haben. Neuere Versuche sind ausgeführt worden, um zunächst die mittleren Schwankungen mit grösserer Genauigkeit zu bestimmen. *Regener* hat dieselben durch Zählen der Lichtblitze am Sidotblendenschirm ermittelt. Nach diesen Messungen darf man mit Wahrscheinlichkeit annehmen, dass, wie zu erwarten, die Teilchen *zwei* Ladungen besitzen.

Interessante Resultate verspricht die neueste Methode von *Rutherford* und *Geiger*. Hier werden die zu zählenden α-Teilchen in einen Zylinderkondensator, der mit einem Elektrometer verbunden ist, eingelassen. Jedes α-Teilchen erzeugt beim Eintreten eine momentane Ionisation. Das Bemerkenswerte an der Methode besteht nun darin, dass der fast unmessbar kleine Effekt durch eine sinnreiche Anordnung vergrössert wird. Zu diesem Zweck ist der Zylinderkon-

densator mässig evakuiert und ist mit einer in der Nähe des Entladungspotentials liegenden Spannung verbunden. Jedes durch ein α-Partikel erzeugte Ion bildet nun durch Stoss weitere Ionen. Dadurch erlangen die momentanen Ionisierungsströme eine solche Intensität, dass sie bequem an einem mässig empfindlichen Elektrometer beobachtet werden können. Auf diese geniale Weise ist es in der Tat gelungen, die Anwesenheit eines einzigen α-Teilchens zu erkennen und damit überhaupt die Wirkung eines einzelnen Atoms zu verfolgen.

Bemerkt sei, dass man auch auf optischem Wege über die Natur der Teilchen Aufschluss zu bekommen hoffte. Die Teilchen erregen nämlich die Gase, namentlich Stickstoff, innerhalb ihrer Reichweite zur Fluoreszenz. Das Licht ist spektrographisch untersucht worden. Es enthält keine He-Linien, wie man vielleicht hätte erwarten können. Es zeigt aber denselben Charakter, wie das Spektrum der Kanalstrahlen, ein deutlicher Beweis dafür, dass die beiden Strahlenarten verwandter Natur sind.

2. *Die β-Strahlen.*

Damit wollen wir nun zu den neueren Arbeiten über β-Strahlen übergehen. Ein grosser Teil derselben beschäftigt sich im speziellen mit der Absorption der β-Strahlen in festen Körpern. Schon *Godlewski* hat gezeigt, dass für die Strahlen des Actiniums ein einfaches Exponentialgesetz gilt. Dasselbe fand *Crowther* für die als homogen bekannten Uranstrahlen (U X). *H. W. Schmidt* wies jedoch nach, dass dies Gesetz erst von einer gewissen Schichtdicke an gilt, indem für dünne Schichten eine stärkere Absorption stattfindet. *Schmidt* findet ferner, dass die Strahlen von Radium B inhomogen sind, dass sie aber aus drei bestimmten Geschwindigkeitsgruppen bestehen. Die Absorption lässt sich nämlich durch die Summe dreier Exponentialkurven dar-

stellen. Nach *Hahn* und *Meitner*, welche die Strahlen sämtlicher bekannten Radioelemente untersucht haben, scheinen aber einem radioaktiven Körper nur Strahlen *einer* Geschwindigkeit zuzukommen. Sowohl α- als β-Strahlen eines einheitlichen Körpers sind danach als homogen zu betrachten.

Lässt man ein β-Strahlenbündel durch Materie durchgehen, so wird seine Homogenität nicht beeinflusst. Die Geschwindigkeit der Elektronen bleibt unvermindert, wohl aber wird, was schon frühere Versuche zeigten, ein gewisser Bruchteil der Elektronen absorbiert.

Der Absorptionskoeffizient hängt von der Geschwindigkeit der β-Strahlen ab und zwar nimmt die Absorption bedeutend ab, wenn selbst die Geschwindigkeit nur wenig wächst. Neben einer Absorption findet ferner stets auch eine diffuse Zerstreuung der β-Strahlen statt. *Mc. Clelland* und *Crowther* haben nachgewiesen, dass schon durch dünne Schichten (0,015 cm Al) ein paralleles Strahlenbündel vollständig diffus zerstreut wird. Diese Streuung ist ungefähr proportional der Absorption. Als eine nach rückwärts gerichtete zerstreute Strahlung fasst *Schmidt* die reflektierten β-Strahlen auf.

Alle Erscheinungen, die man gewöhnlich der Erzeugung von sekundären β-Strahlen zuschrieb, erklärt *Schmidt* durch eine diffuse Zerstreuung der primären Strahlen. Die Versuche am Actinium B ergeben, dass der Reflexions- (β) und Absorptionskoeffizient (α) in einfacher Weise vom Atomgewicht a und der Dichte s des betreffenden Körpers abhängen. Nach *Schmidt* sind die Ausdrücke $\frac{\beta}{a\,s}$ und $\frac{\alpha}{s}\sqrt{a^3}$ zwei für jede Substanz gültige, also universelle Konstanten. Diese Ausdrücke besagen nichts anderes, als dass die Absorption pro Volumeneinheit proportional der Schnittfläche aller Atome ist, während der Reflexionskoeffizient dem Atomgewicht und dem spezifischen Gewicht proportional geht.

Die Frage nach den durch β-Strahlen erzeugten Sekundärstrahlen betreffen neuere Versuche von *Starke*. Dieser fand, dass die sekundären Strahlen heterogen und stets leichter absorbierbar sind als die primären. Ihre Durchdringungsfähigkeit hängt, wie schon *Bragg* und *Madsen* feststellten, von der Natur der verwendeten Radiatoren ab. Je grösser das Atomgewicht derselben ist, um so durchdringender sind die sekundären Strahlen. Fasst man letztere als zerstreute primäre Strahlen auf, so muss man dies dahin präzisieren, dass bei höherem Atomgewicht vornehmlich die harten Strahlen eines heterogenen β-Strahlenbündels zurückgeworfen werden. Die Frage, ob auch eigentliche sekundäre Strahlen gebildet werden, oder ob nur eine Streuung der primären Strahlen stattfindet, scheint jedoch nach allem noch nicht völlig entschieden.

Was die Natur der β-Strahlen anbetrifft, so geht man in der Ansicht schon längst einig, dass sie aus Elektronen bestehen. Immerhin ist es erwähnenswert, dass *Regener* auf direkte Weise den korpuskularen Charakter dieser Strahlen dargetan hat. *Regener* fand nämlich, dass auch die β-Teilchen Szintillation und zwar am Bariumplatincyanür hervorrufen. Die Helligkeit ist jedoch bedeutend geringer, als bei der gewöhnlichen Szintillation durch α-Strahlen, ein Unterschied, der parallel mit der grossen Differenz im Ionisierungsvermögen dieser Strahlen geht.

3. Die γ-Strahlen.

Noch viel geringeres Ionisierungsvermögen besitzen die γ-Strahlen. Immerhin erweisen sich dieselben zu Aktivitätsmessungen unter gewissen Bedingungen sehr geeignet. Da sie nämlich äusserst durchdringend sind, kann das Präparat ohne Strahlenverlust in dickere Gefässe eingeschlossen werden.

Für die Absorption der γ-Strahlen gilt im übrigen ein einfaches Exponentialgesetz. Gleichzeitig mit einer Absorption

findet ferner in festen und flüssigen Nichtleitern eine Erhöhung der Leitfähigkeit statt. *Jaffé* hat neuerdings diese Erscheinung in flüssigen Substanzen eingehend studiert. Die Ionisation verhält sich demnach in Flüssigkeiten analog wie in Gasen. Letztere ist ihrerseits wieder denselben Gesetzen unterworfen für α-, β- und γ-Strahlen. Die Abhängigkeit der Ionisation vom Atomgewicht ist in allen drei Fällen eine ähnliche.

In engem Zusammenhang mit dem Ionisierungsvorgang steht die Erzeugung von Sekundärstrahlen. Einerseits entstehen beim Aufprallen sekundäre β-Strahlen, deren Geschwindigkeit je nach der Art der γ-Strahlen eine verschiedene ist; andererseits werden auch sekundäre γ-Strahlen erzeugt. *Kleeman* hat gefunden, dass sich die sekundären γ-Strahlen des Radiums in drei Gruppen scheiden lassen. Es gibt Substanzen, welche die erste Gruppe am stärksten absorbieren und ebenso Substanzen, welche für die zweite und dritte Gruppe am undurchlässigsten sind. Den dreierlei Arten von sekundären γ-Strahlen entsprechen nach *Kleeman* drei Arten primärer γ-Strahlen. Die primären sind durchwegs durchdringender als die erzeugten sekundären Strahlen.

Die Frage nach der Richtung der Sekundärstrahlen hat neuerdings besonderes Interesse gewonnen, weil *Bragg* und *Madsen* daraus wichtigen Aufschluss über die Natur der γ-Strahlen erhofften. *Bragg* hat unlängst sehr entschieden die Ansicht ausgesprochen, dass die γ-Strahlen nicht, wie man bisher bereits allgemein annahm, Ätherimpulse sind, die beim Aufprallen der β-Strahlen am radioaktiven Körper entstehen. Vielmehr sollen dieselben korpuskularer Natur sein und dadurch zustande kommen, dass ein Teil der aufprallenden β-Teilchen reflektiert und zugleich durch positive Teilchen neutralisiert wird. Die Eigenschaften der γ-Strahlen lassen sich auf Grund dieser Anschauung und unter der heute geläufigen Annahme, dass die Molekularkräfte elektromagnetischer Natur sind, ebenso

gut erklären, als nach der Äthertheorie. Dazu kommt noch, dass die wesentlichste Stütze für die Äthertheorie der Röntgenstrahlen, welch letztere allgemein als besonders weiche γ-Strahlen angesehen werden, ins Wanken geraten ist. *Frank* und *Pohl* haben die Versuche von *E. Marx* über die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen einer experimentellen Prüfung unterzogen und kommen zum Ergebnis, dass die Lichtgeschwindigkeit der Röntgenstrahlen keineswegs erwiesen sei. *Bragg* sucht nun seine Anschauung durch Versuche über die Sekundärstrahlen zu stützen, welch letztere nach der Äthertheorie in Richtung des primären Strahls und ihm entgegengesetzt gleiche Intensität haben müssen. *Bragg* kommt zum Schluss, dass eine solche symmetrische Verteilung nach vorwärts und rückwärts nicht vorhanden ist. Da somit auch diese Ansicht mit Erfolg vertreten wird, so wird man die Frage nach der Natur der γ-Strahlen noch offen lassen müssen.

Zugleich sei bemerkt, dass *Starke* kürzlich Versuche über die Sekundärstrahlen der β-Strahlen unternommen hat, die einen wichtigen Einwand gegen die Identifizierung der Röntgen- und γ-Strahlen enthalten. *Starke* findet nämlich, dass die β-Strahlen keineswegs γ-Strahlen erzeugen. Nun ist man aber bisher der Überzeugung gewesen, dass die β- und γ-Strahlen in einem durchaus ähnlichen Verhältnis zu einander stehen, wie die Röntgen- und Kathodenstrahlen. Es bedarf daher noch der Aufklärung, auf welche Weise sich das Ergebnis der *Starke*schen Versuche damit in Einklang bringen lässt.

Unsere Kenntnis von den γ-Strahlen weist somit noch grosse Lücken auf. Die γ-Strahlen sind diejenigen Radiumstrahlen, über deren Natur wir noch am wenigsten wissen.

II. Die Umwandlungsreihen.

1. Die Uran-Radiumreihe.

Sehen wir nun zu, welche Entwicklung das Studium der Zerfallsreihen in den letzten Jahren genommen hat.

Am wenigsten ist vom Uran, dem erstbekannten radioaktiven Elemente zu berichten. Neue Glieder sind zum U und UX nicht mehr hinzugekommen. Einige Arbeiten betreffen jedoch neue Methoden zur Uran X-Abscheidung.

Levin empfiehlt die Verwendung von organischen Basen, welche das Uran aus seiner Lösung mitreissen. *Moore* und *Schlundt* scheiden das UX dadurch ab, dass sie Uran in Aceton auflösen und das Uran X durch frischgefälltes Ferrihydroxyd abscheiden.

In diesen und ähnlichen Fällen von Isolierung radioaktiver Stoffe ist zu bemerken, dass es sich zum wenigsten um eigentliche chemische Reaktionen handelt. Man kommt der Sache wohl näher, wenn man eine Reihe solcher Verfahren als physikalisch auffasst. Es ist vor allem zu bedenken, dass es sich zumeist um ausserordentlich verdünnte Lösungen handelt. Da ist es noch sehr die Frage, inwieweit unsere gewohnten chemischen und physikalischen Vorgänge statthaben. Bei der Menge der uns heute bekannten Radioelemente, die zumeist nur in verschwindend kleinen Mengen vorkommen, wäre es von höchstem Interesse, die Methoden zur Abtrennung infinitesimaler Mengen genauer zu studieren, also gewissermassen Infinitesimalchemie zu treiben. Wohl kennt man bereits eine Menge solcher Methoden, die mehr oder minder vollkommen arbeiten, die betreffenden Verfahren sind jedoch vielfach rein empirisch, da wir das Wesen des Vorganges nicht näher kennen.

Was die Strahlung der Uranpräparate anbetrifft, so stammen die α-Strahlen vom eigentlichen Uran, während das Uran X β- und γ-Strahlen aussendet. *Hess* glaubte allerdings auch an Uran X α-Strahlen von kleiner Reichweite nachgewiesen zu haben, *Levin* sieht dagegen die weichen Strahlen als δ-Strahlen an.

Lange Zeit war man über das Zerfallsprodukt des Uran X vollständig im Ungewissen. Wohl schien es nach allem erwiesen, dass das Radium ein Abkömmling

des Urans sein müsste. Doch schien eine direkte Umwandlung des UX in Radium nicht wahrscheinlich. Gegenwärtig scheint nun die Brücke zwischen den beiden Elementen durch Auffindung des von *Boltwood* als Ionium bezeichneten Körpers geschlagen zu sein. Lange Zeit suchte man direkt die Bildung des Radiums aus Uran nachzuweisen. Doch war das Resultat ein negatives, obschon bei der Annahme einer direkten Umwandlung von Uran X in Radium eine solche Bildung sich hätte beobachten lassen müssen. Man kam daher auf die Vermutung, dass noch ein sich langsam umwandelndes Zwischenprodukt existieren müsse. Dieses schien zunächst das Actinium zu sein. Denn *Boltwood* und *Rutherford* konnten beide die Entstehung von Radium in Actiniumlösungen konstatieren. Hingegen zeigte sich bald, dass die erzeugte Radiummenge in keinem bestimmten Verhältnis zur Actiniummenge stand. Die Radiumerzeugung wurde auch durch die Abscheidung von Actinium-Zwischenprodukten nicht beeinflusst. Ferner zeigte *Hahn* das Vorhandensein des neuen Körpers in Thoriumsalzen und wies nach, dass diese selbst kein Radium erzeugten. Das Ionium lässt sich jedoch gewinnen, wenn man die Mineralien auf Thorium verarbeitet, weil jenes vollständig den Reaktionen des Thoriums folgt. Die endgültige Trennung geschieht mit $Na_2S_2O_3$.

Das Ionium sendet α-Strahlen von einer Reichweite von 2,8 cm aus. Die Schnelligkeit, mit der das Radium aus ihm entsteht, hat zu einer direkten Bestimmung der Halbierungskonstanten des Radiums geführt. *Boltwood* und *Hahn* finden dafür ca. 2000 Jahre in Übereinstimmung mit dem von *Rutherford* auf indirekte Weise gefundenen Werte von 2600 Jahren. Über die Zerfallskonstante des Ioniums selbst ist noch nichts bekannt, auch ist es noch nicht erwiesen, ob damit alle Zwischenprodukte zwischen dem Uran und Radium festgestellt sind. Einen ausführlichen Bericht über die Entdeckung und Erforschung des Ioniums gibt *Rutherford* im Jahrb. d. Radioakt. (5.*153*.08).

Um die Stellung des Ioniums in der Zerfallsreihe sicher zu stellen, wird noch der Nachweis zu erbringen sein, dass es sich tatsächlich aus Uran bildet. Dass es in die Reihe gehört, dafür spricht allerdings schon die Erzeugung des Radiums aus Ionium. Denn andrerseits steht der genetische Zusammenhang zwischen Radium und Uran ausser Zweifel. Haben doch eingehende Untersuchungen ergeben, dass in Mineralien der Gehalt an Radium stets der Uranmenge proportional ist, und zwar ist mit 1 g Uran stets $3{,}8 \cdot 10^{-7}$ g Radium vergesellschaftet. Im Falle der radiumhaltigen Mineralien von *Issy-l'Evêque*, die ausnahmsweise kein Uran enthalten, finden *Mc-Coy* und *Ross*, dass das Radium nur an der Oberfläche sitzt. Dies entspricht durchaus der Meinung, dass das Radium nicht am Ort selbst entstanden, sondern durch irgend einen physikalischen Vorgang dorthin transportiert worden ist.

Während nun die Abkunft des Radiums erst durch die neuesten Versuche näher beleuchtet worden ist, haben wir über seine Zerfallsprodukte schon längst genauere Kenntnis. Zum Teil beschäftigen sich neuere Arbeiten nur mit der Charakterisierung der einzelnen Elemente. So sind die Wärmeproduktion des Radiums, ferner sein Atomgewicht neu bestimmt worden. Auch die H C der Emanation hat eine Neubestimmung erfahren (3,75 Tage). Ferner wurde die Absorption der Radium-Emanation in verschiedenen Substanzen (namentlich Kohle, die bei Zimmertemperatur schon alle Emanation absorbiert) untersucht. Dann wurde die Abhängigkeit der Aktivierung durch Radium-Emanation vom Gasdruck und vom elektrischen Feld festgestellt. Hier sei nur das von praktischer Wichtigkeit erscheinende Resultat erwähnt, dass man das Maximum der Aktivierung bei Anwendung des Sättigungsstromes erhält. Eine noch der Lösung harrende Frage, die hier nicht näher besprochen sei, betrifft den Ursprung der positiven Ladung des aktiven Beschlages.

Letzterer besteht seinerseits aus einer ganzen Reihe von Körpern. Zunächst kommen drei kurzlebige Produkte, das Radium A, B und C. Diese Anfangsglieder der Radium-Zerfallsreihe sind von *H. W. Schmidt* in einer zusammenfassenden Arbeit eingehend gewürdigt worden.

Hier sei mitgeteilt, dass *v. Lerch* eine elektrochemische Methode zur Trennung von Radium B und C angegeben hat. Er bedient sich der Elektrolyse. Will man Radium C aus einer sog. Induktionslösung abscheiden, so genügt auch schon das Eintauchen eines Kupfer- oder Nickelbleches. Diese Abscheidungsmethoden beruhen in letzter Linie auf der zuerst von *Lucas* erkannten Gesetzmässigkeit, dass die Glieder der Radiumreihe bei fortschreitender Umwandlung immer edler werden. Die radioaktiven Atome wandeln sich daher in immer stabilere Typen um, und zwar geschieht dies etappenmässig. Es wird, wie es das Gesetz der Umwandlungsstufen voraussieht, stets die nächstfolgende stabilere Form eingenommen. *G. C. Schmidt* weist darauf hin, dass in der Gültigkeit dieses Gesetzes für radioaktive Vorgänge eine wichtige Bestätigung der Annahme liege, dass beim Zerfall nie mehr als *ein* α-Partikel ausgesandt wird.

Dabei ist zu beachten, dass, wie beim Radium B, auch Umwandlungen ohne Emission von α-Partikeln stattfinden können. Hier geht gleichsam nur eine Umlagerung in der Atomstruktur event. unter Aussendung von Elektronen vor sich. Die Umwandlung des Radium B, das schon bei gewöhnlicher Temperatur flüchtig ist, findet nach neueren Untersuchungen langsamer statt als die von Radium C. Letzteres besitzt β-Strahlen von zwei verschiedenen Durchdringungsvermögen, das Radium B jedoch, wie oben schon erwähnt, hat β-Strahlen von dreierlei Geschwindigkeit.

Das Radium C nun zerfällt in einen Körper, der sich ausserordentlich langsam umwandelt und der, wie jetzt unzweifelhaft feststeht, mit dem Radioblei identisch ist. Die Untersuchungen von *Rutherford* haben gelehrt, dass dieser

langsam abklingende Beschlag schliesslich in das Polonium übergeht. Der Beschlag besteht erstens aus Radium D, das strahlenlos ist und äusserst langsam zerfällt, ferner aus dem Radium E und dem Radium F, welches eben mit dem Polonium identisch ist. Die Existenz des Radium D ist, da es selbst keine Strahlen aussendet, nur durch die Theorie erwiesen; doch müsste es sich, da es so langlebig ist, wohl in messbaren Mengen gewinnen lassen. Das Radium E ist, wie *S. Meyer* und *v. Schweidler* seinerzeit nachgewiesen haben, komplexer Natur. Es besteht aus Radium E_1, welches keine Strahlen aussendet und in 6,2 Tagen zur Hälfte sinkt und aus Radium E_2, das β-Strahlen und eine H C von 4,8 Tagen hat. Um Indices zu vermeiden, benützt *Rutherford* neuerdings für Radium E_1, E_2 und F die Bezeichnungen Radium E, F und G. Es ist leider unvermeidlich, dass durch eine solche Vertauschung der Benennung lästigen Verwechslungen Vorschub geleistet wird. So hat das Polonium ja ausser diesem Namen in der Literatur bereits die Benennung Radiotellur, ferner ursprünglich Radium E, lange Zeit Radium F gehabt und nun soll es Radium G heissen. Es dürfte daher wohl zeitgemäss sein, wenn man auch der Frage nach einheitlichen Bezeichnungen näher treten wollte, um sich so späteren Schwierigkeiten zu entheben.

Um nun die Radiumreihe zu beschliessen, müssen wir noch nach dem Endprodukt fragen. Das Polonium zerfällt offenbar in einen inaktiven Körper, der sich im Lauf der Jahrtausende in den Mineralien in beträchtlichen Mengen ansammeln konnte. Da nun Blei fast immer mit radioaktiven Mineralien vergesellschaftet ist, ja, für Mineralien derselben Provenienz auch einen konstanten Bruchteil des vorhandenen Urans ausmacht, so hat man dieses als Zerfallsprodukt des Poloniums angesehen. Dazu kommt noch der Umstand, dass das Atomgewicht des Bleis (207) sehr gut mit dem nach der Zerfallstheorie zu erwartenden übereinstimmt. Vom Radium herunter bis zum Polonium

werden nämlich 5 α-Teilchen, also 5 He-Atome ausgesandt. Das Atomgewicht des Radiums (227) wird daher um 20 Einheiten vermindert. Man gelangt dabei ganz genau auf das Atomgewicht des Bleis.

2. *Die Thoriumreihe.*

Nachdem wir damit am Ende der Radiumreihe angelangt sind, wenden wir uns zunächst dem Thorium zu. Hier sind gerade in den letzten Jahren einige interessante Entdeckungen gemacht worden. Die eigentliche Ursache zum genaueren Studium der Thoriumreihe gaben die anfänglich widersprechenden Versuchsergebnisse über die Thoriumaktivität. Es war schon lange bekannt, dass Thoriumpräparate ganz verschiedene Aktivität aufweisen. Ja, *Hofmann, Baskerville* und *Zerban* berichteten seinerzeit geradezu von der Auffindung inaktiven Thoriums, sodass die Ansicht bestärkt wurde, als ob das Thorium selbst inaktiv wäre und die Aktivität der Thoriumsalze nur der Beimengung einer fremden Substanz entspringe. Schliesslich kam man jedoch zum Resultat, dass die Schwankungen in der Thoriumaktivität dem teilweisen oder gänzlichen Fehlen eines noch unbekannten Zwischenproduktes zuzuschreiben seien. Wurde etwa bei der Thoriumgewinnung ein langsam sich umwandelndes Zwischenprodukt ausgeschieden, dann konnten frisch bereitete Präparate relativ inaktiv sein. Die Aktivität dieser Präparate konnte ferner bis zur endlichen Erreichung des radioaktiven Gleichgewichtes alle möglichen Werte annehmen. In der Tat gelang es nun *Hahn*, im Radiothorium ein solches Zwischenprodukt aufzufinden. Kurz darauf berichteten auch *Blanc*, sowie *Elster* und *Geitel* über die Gewinnung eines stark aktiven Präparates aus Thoriummineralien.

Besondere Untersuchungen wurden angestellt, um nachzuweisen, dass das Radiothorium tatsächlich vom Thor abstammt und nicht etwa als radioaktive Beimengung zu in-

aktivem Thor aufzufassen ist. Durch den Nachweis, dass Radiothorium und Thorium in den Mineralien stets in einem konstanten Mengenverhältnis zu einander vorkommen, wurde der genetische Zusammenhang der beiden Substanzen ausser allen Zweifel gesetzt. Seinen Platz hat das Radiothorium im Speziellen zwischen dem Thor und dem Thor X. Wie *Hahn* gezeigt hat, besitzt das Radiothorium nur α-Strahlen. Die Halbierungskonstante ist von *Blanc* bestimmt worden. Sie beträgt 736 Tage.

Unter Berücksichtigung des nun wohlbekannten Radiothors konnte man jetzt die Aktivität verschieden alter Thoriumsalze mit dem theoretisch zu erwartenden Wert vergleichen. Da zeigte es sich, dass die Präparate sich langsamer dem radioaktiven Gleichgewicht näherten, als der Zerfallsperiode des Radiothors entsprach. Auch ergaben die Versuche, dass das Radiothorium durchaus nicht bei der Thoriumgewinnung gänzlich abgeschieden wird. Es musste also noch ein weiterer Zwischenkörper vorhanden sein. Diesen fand denn auch *Hahn* in seinem Mesothorium, das noch zwischen Thor und Radiothor liegt. Bald wurde die Existenz dieses Körpers auch durch die Versuche von *Boltwood* und *Mc. Coy* bestätigt. Letzterer fand zugleich in Übereinstimmung mit *Hahn*, dass das eigentliche Thorium nicht inaktiv sein könne, vielmehr α-Strahlen aussende. Damit war endlich die Frage über die Inaktivität des Thoriums entschieden.

Es sei nun gleich erwähnt, dass man auch mit dem Mesothorium noch nicht am Ende der Entwicklung war. Besteht doch dieses, wie *Hahn* zeigte, wiederum aus zwei Teilen: dem Thorium 1 und Thorium 2. Ersteres ist strahlenlos und besitzt nach den Bestimmungen von *Mc. Coy* die HC 5,5 Jahre. Letzteres sendet β-Strahlen aus und zerfällt in 6,20 Stunden zur Hälfte. *Hahn* und *Boltwood* geben nähere Methoden zur Trennung des Mesothoriums (also des Thorium 1 + 2) an. Danach lässt sich dieses leicht mit dem Thor X abscheiden, während das

Radiothor beim Thor bleibt. Die Trennung vom Thor X geschieht nach *Boltwood* durch Niederreissen mit $BaSO_4$. Die Reindarstellung des aktiven Mesothors, also des Thorium 2 gelang *Hahn* durch Zirconiumchlorür.

Hahn schlägt noch vor, im Anschluss an diese Bezeichnungen dem Radiothorium den Namen Thorium 3 zu geben. Es ist klar, dass wir auch hier wieder im selben, oben schon erörterten Fall sind, dass ein und dieselbe Substanz der Reihe nach zu verschiedenen Namen kommt und dass, wenn dies so weiter geht, ein Literaturstudium schliesslich ausserordentlich erschwert wird.

Wenn wir nun vom Thorium ausgehend, über das Thorium 1, 2, 3 und Thorium X hinwegschreiten, so gelangen wir endlich zur Thorium-Emanation und zum aktiven Beschlag. Letzterer besteht aus dem Thorium A, B und C. Ein elektrolytisches Verfahren zur Abscheidung des ersteren hat u. a. *Angelucci* angegeben. *v. Lerch* hatte schon früher nachgewiesen, dass Thorium B edler ist als Thorium A und sich auf einem in Induktionslösung eingetauchten Nickelblech abscheidet. Die Existenz eines Thorium C, welches ausserordentlich rasch zerfällt, ist durch *Hahn* nach der oben schon erwähnten *Bragg*'schen Methode der Ionisierungskurve nachgewiesen worden. Da diese nämlich zwei verschiedene Sorten α-Strahlen anzeigte und das Thorium A selbst nur langsame β-Strahlen aussendet, also nicht in Betracht kam, so musste noch ein Thorium B und C vorhanden sein.

Letzteres zerfällt nun in das inaktive, bis jetzt noch unbekannte Endprodukt. Da es nach allem scheint, dass die Thoriumprodukte und ebenso die Actiniumprodukte keine Zwischenglieder in der Reihe Uran-Polonium sind, so ist es auch nicht wahrscheinlich, dass das Endprodukt in all diesen Fällen das gleiche sei. Da gerade jetzt die Thoriumreihe genauer bekannt ist und namentlich die Anzahl der α-Strahlenprodukte festgestellt zu sein scheint, so gewinnt die Frage nach dem Endprodukt konkretere Gestalt.

Da das Atomgewicht des Thoriums bekannt ist (232,5), so kann man sich, ähnlich wie in der Radiumreihe, ausrechnen, welches Atomgewicht vermutlich das Endprodukt hat. Wie wir jetzt wissen, sendet ein Thoriumatom im Laufe seiner Umwandlung 6 α-Partikel aus. Ferner kann man annehmen, dass, wie bei der Radiumreihe, jedes α-Partikel ein He-Atom sei. Hat doch *Strutt* nachgewiesen, dass das Helium auch in uranfreien Thormineralien vorkommt, was für die Bildung von Helium aus Thorium spricht. Unter dieser Annahme wäre nun das Atomgewicht des Endproduktes in der Thoriumreihe $232{,}5 - 6 \cdot 4 = 208{,}5$.

Diese Zahl stimmt überraschend genau mit dem Atomgewicht des Wismuts überein. Nun findet sich dies Metall in der Tat in radioaktiven Mineralien, weshalb es seinerzeit nebst dem Blei auch als Endprodukt in Frage kam. In der früheren Annahme, dass nur *ein* Endprodukt vorhanden sei, hat man sich dann für Blei entschieden. Nach dem heutigen Stand unserer Kenntnis, wonach das Thorium eine selbständige Umwandlungsreihe darstellt, gewinnt auch die Ansicht, dass Wismut ein Endprodukt sei, wieder an Boden. Es wäre von Interesse, wenn man diese Frage einer experimentellen Prüfung unterziehen würde. Wenn auch nicht gerade eine direkte Umwandlung sich nachweisen liesse, so könnte man doch eine genauere Bestimmung des Wismutgehaltes in Thoriummineralien vornehmen. Dieser müsste, wie im Fall des Bleis und Urans, ein konstanter sein.

Falls das Wismut tatsächlich die Rolle des Thoriumendproduktes spielte, so liesse sich dann umgekehrt darauf schliessen, dass uns die Anzahl der α-Strahlenprodukte in der Thoriumreihe vollzählig bekannt ist, dass also keine neuen α-Zwischenprodukte mehr gefunden werden können.

3. Die Actiniumreihe.

Betrachten wir nun zum Schluss die Actiniumreihe, so fällt uns zunächst auf, dass diese eine weitgehende

Verwandtschaft mit der Thoriumreihe aufweist. Ganz entsprechend dem Radiothor hat sich auch hier ein Zwischenprodukt zwischen der Muttersubstanz Actinium und dem Actinium X ergeben. Dieser von *Hahn* als Radioactinium bezeichnete Körper sendet α-Strahlen aus, während das eigentliche Actinium strahlenlos zu sein scheint. Die HC des Radioactiniums beträgt 19,5 Tage. Zur Abscheidung desselben gibt *Hahn* 2 Methoden an, welche beide jedoch noch an Präzision zu wünschen übrig lassen. Bei der einen wird das Radioactinium durch $Na_2S_2O_3$ abgetrennt, da es sich mit dem Schwefel zugleich ausscheidet.

Neuere Arbeiten betreffen die Actiniumemanation, ein Gas, das wegen seines äusserst raschen Zerfalls nicht so leicht zu untersuchen ist, als die beiden andern uns bekannten Emanationen. *Henriot* findet, dass kondensierte Actiniumemanation sich über -143^0 wieder verflüchtigt. Nach *Kinoshita* beginnt sie sich schon bei -120^0 zu verflüssigen, die vollständige Kondensation erfolgt aber erst bei -150^0, nur $2-3^0$ tiefer als die der Thoriumemanation. Auch das Molekulargewicht der Actiniumemanation ist neuerdings von *Debierne* durch Messung des Diffusionskoeffizienten bestimmt worden. Danach ist das Molekulargewicht 70, somit noch kleiner als das der beiden andern Emanationen.

Ich möchte darauf hinweisen, dass in diesen Resultaten, wonach das Molekulargewicht aller drei Emanationen um 100 herumliegt, ein Widerspruch mit den Resultaten der Umwandlungsreihen liegt. Nach letzteren müssten die Emanationen ja Atome von über 200 sein. Nun ist zu beachten, dass man es bei diesen Diffusionsversuchen mit ausserordentlich geringen Substanzmengen zu tun hatte, wo es noch fraglich erscheinen musste, ob dieselben Gesetze wie für grössere Konzentrationen gelten. Jedenfalls harren diese Unstimmigkeiten noch der Aufklärung.

Der aktive Beschlag, der sich aus der Emanation bildet, besteht aus Actinium A und B. Letzteres zerfällt

in das inaktive Endprodukt. *Meyer* und *Schweidler* haben allerdings eine Restaktivität gefunden, sodass möglicherweise noch ein langsam abklingender aktiver Beschlag wie beim Radium vorhanden ist.

Wie in der Thoriumreihe verflüchtigt sich A leichter als B. Das Actinium A, das nach *Hess* die HC 36,07 Minuten besitzt, weist, wie das Thorium A, keine α-Strahlen auf. Ein Gegensatz zur Thoriumreihe liegt hauptsächlich nur in der Anzahl der Glieder. So hat man bis jetzt kein Actinium C, ferner auch kein Mesoactinium nachweisen können. Auf eine Analogie, welche die tiefgehende Verwandtschaft der beiden Reihen offenbart, hat *Hahn* hingewiesen. Ordnet man nämlich die Glieder der beiden Reihen nach der Reichweite ihrer α-Partikel, so bekommt man dieselbe Reihenfolge. Es folgen dann nämlich Thorium, Radiothor, Thorium X, Emanation, Thorium B und C und analog Radioactinium, Actinium X, Emanation und Actinium B. Da sich somit die Geschwindigkeit der ausgesandten α-Partikel in beiden Reihen in derselben Weise ändert, so scheint auch der Mechanismus der Umwandlung in beiden Fällen ein analoger zu sein.

Wie *Rutherford* zuerst betont hat, besteht ja ein offenbarer Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der α-Teilchen und der Umwandlungsperiode. Je kürzer dieselbe ist, um so raschere α-Partikel werden ausgesandt. Ausnahmen machen nur Radium C, Thorium X und Actinium X. Allein dieser Umstand spricht noch nicht gegen die allgemeine Gültigkeit dieser Regel. Es wäre ja denkbar, dass letztere Körper etwa aus je 2 bestehen, wovon dann der eine die entsprechend kürzere Zerfallsperiode besitzt. Das Ergebnis, dass ein bisher als einheitlich betrachteter Körper komplex ist, hat sich ja zu wiederholten Malen gezeigt.

Nun noch die Stellung des Actiniums zu den übrigen Reihen. Einen Moment schien es, dass es sich als Erzeuger des Radiums in die Uranreihe einfügen liess. Doch nicht

lange, so musste es wieder ausgeschieden werden. Dass es so wenig, wie das Thorium in die Reihe Uran-Polonium gehört, liess schon der Umstand vermuten, dass das Actinium mehr α-Strahlenprodukte aufweist, als man in der Radiumreihe noch gebrauchen konnte. Die grosse Schwierigkeit besteht nun darin, dass das Actinium trotzdem eine offenkundige Verwandtschaft zum Radium besitzt. Die Actiniummenge in Mineralien steht nämlich so gut, wie die Radiummenge in einem konstanten Verhältnis zum jeweils vorhandenen Uran. *Boltwood* hat den Anteil, welchen die einzelnen Radioelemente an der Aktivität der Mineralien nehmen, bestimmt und findet folgende Zahlen:

Uran	1,00
Ionium	0,34
Radium mit Zerfallsprodukten	3,02
Actinium	0,28

Da nun das Actinium, wie das Radium einen konstanten Bruchteil der Gesamtaktivität ausmachen, so scheinen beide in gleicher Weise vom Uran abzustammen. *Rutherford* vermutet, dass die Actiniumreihe vielleicht eine Zweiglinie zur Radiumlinie sei, indem ein Zwischenprodukt der letzteren in zwei verschiedene Radioelemente zerfalle. Ein gewisser Bruchteil zerfalle in das eine, der Radiumlinie angehörige Element, ein anderer in das Actinium.

Es ist klar, dass durch eine solche Auffassung ein ganz neues Moment in die Umwandlungstheorie hineingetragen wird. Wenn aus uns noch unbekannten Gründen ein und dasselbe chemische Atom in zwei verschiedene Typen zerfallen kann, dann taucht auch unwillkürlich die Vermutung auf, dass durch irgendwelche Umstände der Atomzerfall beeinflusst werden könne.

III. Die Abhängigkeit der Radioaktivität von den äussern Umständen.

Nun ist aber das Gesetz von der Konstanz der Aktivität ursprünglich als Grundpfeiler der Theorie hingestellt worden, und hat es sich auch in den verschiedensten Fällen behauptet. Doch, wie schon oft, hat man auch hier die Erfahrung machen müssen, dass das, was wir zunächst als Konstanten angesehen haben, bei genauerem Zusehen doch veränderliche Grössen sind. Die Frage, ob die Radioaktivität von irgend welchen äusseren Umständen abhängig ist, wurde von Anfang an als von eminenter Wichtigkeit erkannt. Die früheren Versuche schienen für die völlige Konstanz der Aktivität zu sprechen. Und wenn einmal irgendwelche Veränderungen bemerkt wurden, so liessen sich dieselben auf physikalische Umstände zurückführen. So fanden *Schuster*, ferner *Eve* und *Adams*, dass die γ-Strahlung des Radiums, selbst wenn dasselbe unter einem Druck von 2000 Atmosphären stand, nicht geändert wurde. *Guye*, *Kernbaum* und *Schidlof* haben neuerdings den Einfluss der Röntgenstrahlen auf radioaktive Körper studiert und finden keine merkliche Beeinflussung des Atomzerfalls. Auch die Idee, dass durch Röntgenstrahlen etwa gewöhnliche Atome gleichsam aufgebrochen werden und sich so ein künstlicher Zerfall herbeiführen lasse, hat sich nicht bestätigt. Die Röntgenstrahlen erzeugen nämlich dieselbe Wärmemenge, ob sie etwa in Blei oder Zink absorbiert werden. Würde etwa in dem einen Metall ein Atomzerfall ausgelöst, so würde innere Atomenergie frei, was sich durch eine grössere Erwärmung anzeigen müsste.

Erwähnt seien ferner einige scheinbare Unregelmässigkeiten, welche Uranverbindungen unter Umständen zeigen. Die Aktivitätsänderungen erklären sich jedoch durch die Aufnahme von Wasser aus der Luft, ferner durch eine teilweise Trennung des Uran X infolge von Diffusion. Seinerzeit schien es ferner, als ob das

Uranmolybdat eine abnorme Aktivität besässe. *Szilard* zeigte jedoch, dass sich das reine Salz durchaus normal verhält.

Eine zunächst auffällige Erscheinung bei der Aktivierung durch Radiumemanation beobachteten *Sarasin* und *Tommasina*. Wurde der zu aktivierende Körper mit einem Dielektricum überzogen, dann liessen sich je nach den elektrischen Bedingungen ganz verschiedene Abklingungskurven erhalten. Nach *Danne* ist dies keine reale Beeinflussung der Aktivitätsabnahme, sie erklärt sich vielmehr ungezwungen durch die Ionenanlagerung am Dielektricum und die damit zusammenhängenden Vorgänge.

Interessante Versuche sind über den Einfluss der Temperatur auf den radioaktiven Vorgang gemacht worden. Die Abklingung des aktiven Beschlages von Radium bei höheren Temperaturen wurde von verschiedenen Beobachtern bestimmt. Die älteren Versuche von *Curie* und *Danne*, welche einen starken Unterschied gegen Zimmertemperatur fanden, liessen sich jedoch auf die Verflüchtigung des Radium B zurückführen. *Bronson* zeigte, dass bei eingeschlossenem Radiumpräparat keine merkliche Änderung nach Erhitzen auf 1500° statt hat. Auch *H. W. Schmidt* findet innerhalb der Grenzen der Messgenauigkeit keinen Einfluss der Temperatur. Jedenfalls zeigten die Versuche, dass ein solcher Effekt nicht gross sein konnte. Sichere Anzeichen dafür, dass er aber doch existiert, fanden zuerst *Makower* und *Russ*. Diese fanden nämlich die Aktivität der Radiumemanation während der Erhitzung etwas geringer, während die Anklingungskurve dieselbe blieb. Zu bemerken ist, dass bei diesen Versuchen vornehmlich nur die Strahlen des Radium C, welche allein durchdringend genug waren, um aus dem Röhrchen herauszugelangen, zur Messung kamen. Die einfachste Deutung der Versuche war nun die, dass das Radium C in der Hitze rascher zerfällt, während die vorhergehenden Produkte keine nennenswerte Änderung erfahren. In diesem

Fall musste dann die Abklingungskurve ungeändert erscheinen, während die dem radioaktiven Gleichgewicht entsprechende Radium C-Menge kleiner war. Nach dem Abkühlen wird der frühere Wert wieder erreicht. Zu ähnlichen Ergebnissen ist *Engler* auf Grund seiner umfassenden Versuche über die Radiumemanation und den aktiven Beschlag derselben gekommen. *Engler* findet für die Radiumemanation während der Erhitzung eine Aktivitätszunahme und für den aktiven Beschlag (Radium B + C), eine Abnahme der Aktivität. Der Temperatureinfluss macht sich nur während der Erhitzung geltend.

Es scheint demnach die HC einer Substanz in Wahrheit keine Konstante zu sein. Die radioaktive Umwandlung besitzt einen, wenn auch sehr kleinen Temperaturkoeffizienten. Wenn nun eine Abhängigkeit von der Temperatur besteht, so wird man mit Recht auch annehmen dürfen, dass andere Kräfte ebenfalls einen Einfluss haben können. Gleichwohl darf man kaum erwarten, den radioaktiven Vorgang etwa beliebig beeinflussen zu können. Denn es steht ausser allem Zweifel, dass selbst die stärksten Kräfte nur einen untergeordneten Einfluss auf den Atomzerfall haben. Dies entspricht nach wie vor den Anschauungen, welche der *Rutherford*'schen Theorie der radioaktiven Umwandlungen zu Grunde liegen.

Eine Entdeckung von grösster Tragweite publizierten neuerdings *Ramsay* und *Cameron*, wonach auch die Art der radioaktiven Umwandlung von den Umständen abhängen soll. Bisher war bekannt, dass das Radium und auch das Actinium Helium bilden, und schien es bisher als feststehend, dass ganz unabhängig von allen äusseren Umständen diese Heliumbildung stattfinde. Nun haben aber *Ramsay* und *Cameron* gefunden, dass diese Verwandlung nur in Gegenwart von Gasen (Luft, H_2) eintritt. Ist die Emanation aber mit Wasser in Berührung, so liefert sie Neon, im Kontakt mit Kupfersulfatlösung hinwiederum Argon. Auch das Kupfer soll durch die Gegenwart der

Emanation aufgespalten werden und in Li zerfallen. Nach Mc. *Coy* und *Gleditsch* kommt zwar tatsächlich Li in Gemeinschaft mit Kupfer in radioaktiven Mineralien vor, doch in ganz unregelmässigen Quantitäten.

Die Resultate *Ramsays* stehen offenbar in einem schroffen Gegensatz zu den bestehenden Anschauungen. Auch die Erklärung, die für die verschiedenen Umwandlungsarten gegeben wird, steht namentlich im Gegensatz zu unsern heutigen Anschauungen über die α-Partikel. Nach *Ramsay* sind dies keine Heliumatome. Vielmehr wird die Emanation selbst durch den Anprall der von ihr ausgesandten α-Partikel in Helium zerlegt. In Gegenwart von Wasser wird sie in Neon, bei Kupfersulfatlösung in Argon gespalten.

Es wäre von grösstem Interesse, wenn man eine solche Veränderlichkeit des Umwandlungsprodukts auch in anderen Fällen feststellen könnte. In dieser Hinsicht sei etwa noch darauf hingewiesen, dass die beiderseitige Verwandtschaft des Radiums und Actiniums zum Uran für eine solche Mehrdeutigkeit der radioaktiven Umwandlung spricht. Doch lässt sich nichts Bestimmteres aussagen, solange nicht weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand vorliegen.

IV. Die Verbreitung der Radioaktivität.

Damit kommen wir zum letzten Kapitel, welches die Verbreitung der Radioaktivität betrifft. Über die Verbreitung der radioaktiven Stoffe, sowie der Radioaktivität im allgemeinen, hat man Aufschluss bekommen aus der Untersuchung der Materialien der Erdrinde und aus der Erforschung der elektrischen Leitfähigkeit unserer Atmosphäre.

Von besonderem Interesse war es, die Verbreitung des Radiums kennen zu lernen. Dies allerdings weniger

aus praktischen Gründen. Denn nach unserer gegenwärtigen Kenntnis kann ja der Radiumgehalt einen gewissen Betrag nicht überschreiten. Es waren jedoch verschiedene andere Fragen von Wichtigkeit, so vor allem die, inwiefern das Radium am Wärmehaushalt der Erde beteiligt sein könne. An verschiedenen Orten der Erde ist daher der Radiumgehalt bestimmt worden. So neuerdings von *Eve* und *Intosh* für die Felsgesteine in Canada, welche in 1 g Substanz 10^{-12} g Radium enthalten. Nun hat *Rutherford* andererseits berechnet, dass die Erdwärme konstant gehalten würde, sofern nur $4{,}6 \cdot 10^{-14}$ g Radium sich in 1 g Erde befinden. Die wirklich vorhandene Menge ist demnach etwa 15mal grösser. Dies legte den Schluss nahe, dass das Radium nicht überall in gleicher Verteilung vorhanden sein könne, sondern wahrscheinlich nur in der Erdkruste vorkomme.

Nun sind bei dieser Überlegung die übrigen radioaktiven Substanzen noch gar nicht berücksichtigt. Wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, spielen dieselben in der Tat auch keine nebensächliche Rolle. Enthält doch nach *Blanc* 1 g Ackererde in der Nähe von Rom nicht weniger als 0,0000145 g Thorium, eine Menge, welche eine etwa 20mal grössere Wärme produziert, als das gleichzeitig vorhandene Radium. Falls sich daher das Thorium überall in annähernd gleichen Mengen, wie bei Rom vorfinden würde, so könnte die Dicke der Erdkruste, in der sich die radioaktiven Stoffe befinden, nur äusserst gering sein. Man ist daher von dieser Erklärungsweise abgekommen und hat die Vermutung ausgesprochen, dass die radioaktiven Substanzen wohl überall in der Erde vorkommen, aber im Innern infolge des ungeheuren Drucks eine langsamere Umwandlung erleiden. Ja, es liesse sich sogar denken, dass in einer gewissen Tiefe die Vorgänge ganz unterdrückt werden, ja sogar in umgekehrter Richtung stattfinden, wobei natürlich ein Wärmeverbrauch eintreten würde. Diese Erklärungsweise entbehrt nach dem, was

wir über die Beeinflussbarkeit des radioaktiven Vorgangs gesagt haben, durchaus nicht der Berechtigung. Doch harrt sie natürlich noch der direkten Prüfung.

Eine Reihe von Arbeiten sind ferner zu nennen, welche sich mit der Radioaktivität der atmosphärischen Luft befassen. Da das Radium und das Thorium eine Emanation besitzen, so ist das Vorhandensein von Radium- bezw. Thorium-Abkömmlingen in der Atmosphäre zu erwarten. Nach *Eve* befindet sich in 1 m^3 Luft so viel Radiumemanation, als $8 \cdot 10^{-11}$ g Radium entsprechen würde. Die Menge Thoriumemanation ist, obschon das Thorium in grösserer Menge vorkommt, geringer. Denn die Thoriumemanation zerfällt so rasch, dass keine merklichen Mengen aus der Erde in die freie Luft diffundieren können.

Nach *Dadourian* ist in *New Haven* das Verhältnis

$$\frac{\text{Radiumemanation}}{\text{Thoriumemanation}} = 30 \text{ bis } 50{,}000,$$

nach *Blanc* in *Rom* = 20 bis 30,000.

Bei dem geringen Gehalt an Thoriumemanation ist auch zu verstehen, dass der Barometerstand einen viel geringeren Einfluss auf die Luftradioaktivität hat, soweit sie von Thoriumprodukten herrührt.

Man würde nun zum vorneherein erwarten, dass überhaupt die Thoriumprodukte an der Luftaktivität einen geringen Anteil nehmen. Dies ist nach *Blanc* nicht der Fall, danach ist letztere zu einem grossen Teil sogar durch die Thoriumzerfallsprodukte bestimmt. Denn, wenn die Thoriumemanation auch nicht in die Atmosphäre gelangt, so setzen sich doch ihre Umwandlungsprodukte an Staubteilchen fest, welche nun die Luft radioaktiv machen. Auch die induzierte Aktivität, die wir an der Oberfläche aller Körper finden, besteht zum grössten Teil aus dem aktiven Beschlag des Thoriums. Ferner stammt die Strahlung der Erdrinde, die ja einen grossen Anteil an der Luftionisierung nimmt, zum grössten Teil von den Thoriumprodukten

und rührt im speziellen wahrscheinlich von der Umwandlung des Thorium B in Thorium C her.

Diese Erdstrahlung, sowie die Radioaktivität der Luft sind natürlich von grossem Einfluss bei radioaktiven Messungen. Sie können namentlich bei sehr schwachen Effekten derart mitspielen, dass die Deutung der Messresultate schwierig, ja oft fast unmöglich wird. So kommt es, dass die Frage, inwiefern auch gewöhnliche Substanzen radioaktiv sind, noch nicht definitiv entschieden ist.

Seinerzeit schien es, dass das gewöhnliche Blei eine eigene Aktivität besitze, indem dasselbe eine über allem Zweifel stehende Ionisierung hervorruft. Der Umstand jedoch, dass die Aktivität des Bleis je nach seiner Provenienz eine verschiedene ist, musste aber den Gedanken nahe legen, dass das Blei selbst inaktiv sei und seine Aktivität einer winzigen Beimengung einer andern radioaktiven Substanz verdanke. *Elster* und *Geitel* gelang es in der Tat, die Aktivität aus dem Blei abzuscheiden. In der Folge konnten sie dann feststellen, dass der radioaktive Körper nichts anderes als Polonium war. Die Substanz sandte nämlich α-Strahlen aus, deren Reichweite mit der des Poloniums übereinstimmte. Damit war erwiesen, dass das Blei keine grössere natürliche Aktivität aufweist, als die übrigen Substanzen.

Eine merkwürdige Ausnahme scheinen Kaliumsalze zu machen. Diese senden Strahlen aus, die durch undurchsichtige Körper hindurchdringen. Ihre photographische Wirkung beträgt etwa $\frac{1}{1000}$ von der des Urans. Die Kaliumstrahlen erweisen sich als β-Strahlen, deren Durchdringungsvermögen etwas geringer als das der Uranstrahlen ist. Während *Campbell* und *A. Wood* glauben, dass diese Aktivität dem Kalium selbst zukomme, schreibt *Mc. Lennan* den Effekt einer radioaktiven Beimengung zu. Wenn man alle äusseren Einflüsse auf das sorgfältigste ausschliesst, so erweisen sich nach *Mc. Lennan* wahrscheinlich alle Materialien als inaktiv. Nun ist die Frage, ob die Radio-

aktivität nur einigen privilegierten Elementen zukomme, oder eine allgemeine Eigenschaft sei, von prinzipieller Wichtigkeit. Das Thema ist daher von den verschiedensten Seiten bearbeitet worden. Da es sehr wohl möglich ist, dass ein radioaktiver Zerfall gewöhnlicher Elemente ohne merkliche Strahlung stattfindet, so suchte man eine solche Umwandlung auf andere Weise darzutun. *Thwing, Serviss* und *Greinacher* haben versucht, eine Wärmeentwicklung gewöhnlicher Materialien nachzuweisen. Diese ist, wenn überhaupt vorhanden, ausserordentlich gering, sodass also von keiner Seite ein Zerfall gewöhnlicher Elemente als experimentell erwiesen gelten kann.

Die Menge Arbeiten, welche sich mit der Aktivität der gewöhnlichen Materie beschäftigen, beweist aber immerhin, wie verbreitet und eingewurzelt die Idee ist, dass die Radioaktivität eine allgemeine Eigenschaft der Materie sei. Dafür spricht schon die Analogie mit andern Eigenschaften der Materie, welche derselben auch allgemein aber in äusserst verschiedenem Grade zukommen, so etwa die elektrische Leitfähigkeit und der Magnetismus. Dann sind auch eine Reihe von Tatsachen zu nennen, unter denen ich besonders das Zusammenvorkommen vieler Elemente erwähnen möchte. Dazu kommt jetzt noch die Erkenntnis, dass die Radioaktivität keineswegs von äusseren Umständen unabhängig ist. Es wäre daher denkbar, dass die uns jetzt inaktiv erscheinende Materie dies nur unter den gegenwärtigen Umständen ist, dass sie aber zu anderen Zeiten einmal eine innere Wandlung durchgemacht hat und dass, wenn der Zeitpunkt gekommen ist, sie sich auch wieder weiter verwandeln wird.

Andererseits sind allerdings die Kräfte, die uns zu Gebote stehen, zu gering, um einen nennenswerten Einfluss auf den radioaktiven Vorgang auszuüben. Insofern können wir auch fernerhin praktisch von einer Konstanz der Aktivität sprechen. Es ist jedoch von prinzipieller Wichtigkeit, dass

man überhaupt eine Beeinflussbarkeit des radioaktiven Vorganges erkannt hat.

Es sei hier nicht auf die mannigfachen Ausblicke eingegangen, welche die neueren Ergebnisse auf dem Gebiete der Radioaktivität bieten. So viel ist gewiss, dass uns das Studium der Radioaktivität bereits wichtigen Aufschluss über Fragen von fundamentaler Bedeutung gegeben hat. Vor allem verdanken wir ihm eine wesentliche Erweiterung und Vertiefung unserer Anschauungen über die Struktur und die Entwicklung der Materie.