universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Radioaktive Umwandlungen

Rutherford, Ernest

Braunschweig, 1907

Elftes Kapitel. Radioaktive Prozesse im Lichte physikalischer Anschauungen

urn:nbn:at:at-ubi:2-5847

alle die gleiche Geschwindigkeit besitzen. Wegen der Verlangsamung, die die α-Partikeln auf ihrem Wege durch Materie erfahren, sind die α-Strahlen, die von einer dicken Schicht eines einfachen Produktes ausgesandt werden, komplex, d. h. sie bestehen aus α-Partikeln, die sehr verschiedene Geschwindigkeiten besitzen.

7. Die Anfangsgeschwindigkeiten der α-Partikeln des Radiums und seiner Umwandlungsprodukte liegen zwischen 10^9 und 2×10^9 cm per Sekunde.

8. Die Wärmeentwickelung des Radiums ist ein Resultat des Bombardements des Radiums durch seine eigenen α-Partikeln.

Elftes Kapitel.

Radioaktive Prozesse im Lichte physikalischer Anschauungen.

In dem Vorhergehenden sind die wichtigeren Eigenschaften radioaktiver Substanzen besprochen worden, und ist dargelegt worden, daß die beobachteten Erscheinungen sich in zufriedenstellender Weise durch die Annahme erklären lassen, daß alle radioaktiven Stoffe einem spontanen Zerfall unterliegen.

Wir wollen nun in gedrängter Form die Prozesse besprechen, die sich, wie man annimmt, in den Atomen radioaktiver Körper und in dem Medium ihrer Umgebung abspielen. Solche Vorstellungen von der Natur des Atoms und den in ihm stattfindenden Vorgängen sind zwar bei dem augenblicklichen Stande unseres Wissens einigermaßen spekulativ und unvollkommen, sie leisten jedoch dem Forscher die wertvollsten Dienste, weil sie ihn mit einer Arbeitshypothese über die Struktur des Atoms ausstatten. Die Eigenschaften solcher Atommodelle lassen sich mit denen der wirklichen Atome vergleichen, und auf diese Weise entsteht allmählich ein klareres und bestimmteres Bild von der Konstitution des Atoms.

Moderne physikalische und chemische Theorien beruhen alle auf der Vorstellung, daß die Materie sich aus einer Anzahl diskreter Atome aufbaut. Es wird angenommen, daß alle Atome eines Elementes die gleiche Masse und denselben Bau besitzen. Es ist von einigen Seiten unrichtigerweise angenommen worden, daß das Studium radioaktiver Phänomene Zweifel an der Richtigkeit atomistischer Theorien geschaffen hat. Dieses ist keineswegs der Fall; die radioaktive Forschung hat vielmehr die Theorie der atomistischen Struktur der Materie erheblich gestützt, wenn sie nicht sogar einen wirklichen Beweis für dieselbe erbracht hat.

Jeder, der die Schar der Szintillationen beobachtet hat, welche die α-Strahlen des Radiums auf einem Zinksulfidschirm hervorbringen, muß den Eindruck gewonnen haben, daß das Radium einen Schauer kleiner Teilchen aussendet. Diese Ansicht wird durch den Versuch bestätigt; wie wir wissen, werden die Szintillationen durch die α-Partikeln hervorgebracht; diese bestehen aus kleinen materiellen Körpern, welche alle die gleiche Masse besitzen und vom Radium mit ungeheurer Geschwindigkeit fortgeschleudert werden. Die kinetische Energie jeder α-Partikel ist so groß, daß in einigen Fällen das Aufprallen der α-Partikeln auf den Schirm von einem Lichtblitz begleitet wird. Die α-Partikeln sind, wie wir gesehen haben, nicht Bruchstücke des Radiums im mechanischen Sinne, sondern Heliumatome.

Während die radioaktive Forschung die Vorstellungen von der atomistischen Struktur der Materie gestützt hat, hat sie andererseits Anzeichen dafür erbracht, daß das Atom nicht eine unteilbare Einheit, sondern ein komplexes System kleinster Teilchen ist. Im Falle der radioaktiven Elemente werden die Atome teilweise unbeständig und zerfallen mit explosionsartiger Gewalt, indem sie zugleich einen Teil ihrer Masse fortschleudern. Die gewöhnliche chemische Theorie, welche annimmt, daß das chemische Atom der kleinste Teil der Materie ist, der eine chemische Verbindung eingehen kann, wird durch diese Anschauungen eher erweitert als widerlegt. Das Atom kann die kleinste chemische Einheit sein und doch aus einem komplexen System bestehen, welches durch die physikalischen und chemischen Hilfsmittel, die uns zur Verfügung stehen, nicht beeinflußt werden kann.

Die große Energieentwickelung, die bei radioaktiven Umwandlungen auftritt, zeigt in der Tat unzweideutig, warum es der

Chemie nicht gelungen ist, das Atom zu zerlegen. Die Kräfte, welche die einzelnen Teile des Atoms zusammenhalten, sind so groß, daß ein außerordentlicher Energieaufwand erforderlich wäre, um das Atom durch äußere Hilfsmittel zu zerlegen.

Daß das Atom eine komplexe Struktur besitzt, geht aus spektralanalytischen Untersuchungen hervor. Unter dem Einfluß der Wärme oder der elektrischen Entladung gerät das Atom in Vibrationen von bestimmter Periode, die für jedes einzelne Element charakteristisch sind. Selbst bei einem so leichten Atom, wie dem des Wasserstoffes, ist die Zahl der verschiedenen Vibrationsperioden, die sich weit in das Ultraviolette hinein erstrecken, so groß, daß das Atom eine komplexe Struktur besitzen und imstande sein muß, in mannigfacher Weise zu schwingen. Die Schwingungen des Wasserstoffatoms sind unter allen Umständen genau dieselben und sind z. B. die gleichen für den freien Wasserstoff der Sonne und den Wasserstoff, der auf der Erde auf chemischem Wege hergestellt wird.

Der unveränderliche Charakter der Spektren der Elemente ist von einigen Seiten als ein Einwand gegen die Anschauung angeführt, daß die Atome zerfallen. Dieser Einwand scheint jedoch nicht sehr gewichtig zu sein, denn die bisherige Theorie des Atomzerfalls nimmt an, daß nicht eine allmähliche Umwandlung aller Eigenschaften des ganzen Atoms stattfindet, sondern daß ein kleiner Bruchteil der gesamten vorhandenen Zahl der Atome einen plötzlichen Zerfall erfährt, daß aber der Rest ganz unverändert bleibt. Zum Beispiel ändert sich das Spektrum des Radiums nicht, so lange noch unverändertes Radium vorhanden ist. Wenn wir jedoch das Spektrum der mit dem Radium vermischten Umwandlungsprodukte entdecken könnten, so sollte sich ergeben, daß das Spektrum des im Gleichgewicht befindlichen Radiums außer dem normalen Spektrum des Radiums noch die Spektren der Umwandlungsprodukte enthielte. Jedes Produkt würde sein definiertes und charakteristisches Spektrum besitzen, das zu dem des Mutterelementes keinerlei Beziehung zu haben brauchte.

Die Elektronentheorie der Materie.

Aus den von Faraday entdeckten Gesetzen der Elektrolyse geht hervor, daß jedes Wasserstoffatom eine unveränderliche La-

dung e transportiert, deren Wert aus Berechnungen der Masse des Atoms angenähert ermittelt werden kann. Das Sauerstoffatom transportiert stets eine Ladung von $2e$, ein Goldatom die Ladung $3e$, und allgemein beträgt die Ladung der Ionen verschiedener Elemente in Lösungen ein ganzes Vielfaches der Ladung des Wasserstoffatoms. Ein Atom, das eine kleinere Ladung als e besäße, ist bisher nicht gefunden worden. Es entstand also die Anschauung, daß die Ladung des Wasserstoffatoms die kleinste Elektrizitätsmenge darstellte und keine weitere Teilung zuließe. Diese Auffassung ist praktisch einer atomistischen Theorie der Elektrizitätslehre äquivalent.

Es wurden Theorien der Atomstruktur aufgestellt, in denen angenommen wurde, daß das Atom sich aus einer Zahl in Bewegung befindlicher Ionen aufbaut. Diese Theorien, die wesentlich von Larmor und Lorentz aufgestellt sind, sollten ursprünglich zur Erklärung der Strahlung der Atome dienen. Sie erhielten eine bessere physikalische Begründung durch J. J. Thomsons Entdeckung, daß die Kathodenstrahlen aus einer Schar von Partikeln bestehen, deren scheinbare Masse nur etwa ein Tausendstel von der des Wasserstoffatoms beträgt. Diese Korpuskeln oder Elektronen werden unter den verschiedenartigsten Bedingungen von der Materie ausgesandt. Sie entstehen nicht nur beim Durchgange einer elektrischen Entladung durch eine Vakuumröhre, sondern sie werden z. B. auch von einem weißglühenden Kohlenfaden und von Metallplatten abgegeben, die der Wirkung ultravioletten Lichtes ausgesetzt sind. Sie werden spontan von radioaktiven Substanzen mit Geschwindigkeiten entsandt, die in manchen Fällen viel größer sind als diejenigen, die sich in einer Vakuumröhre erreichen lassen.

Aus der Zeemanschen Entdeckung des Einflusses, den ein magnetisches Feld auf die Periode der Lichtschwingungen ausübt, ergibt sich, daß das schwingende System aus negativ geladenen Teilchen besteht, deren Masse ungefähr ebenso groß ist wie die der in der Vakuumröhre in Freiheit gesetzten Elektronen. Diese Resultate führten zu der Vorstellung, daß das Elektron ein Bestandteil aller Materie ist und unter den verschiedensten Bedingungen aus ihr entweicht.

Die einfachste Hypothese, die zunächst zur Erklärung dieser Erscheinungen aufgestellt wurde, ist die, daß das Elektron ein

materielles Teilchen ist, dessen Masse ungefähr $^1/_{1800}$ der des Wasserstoffatoms beträgt und dessen Ladung die gleiche ist wie die des elektrolytischen Wasserstoffs. Lange ehe diese Hypothese aufgestellt wurde, war aus der Theorie gefolgert, daß eine bewegte Ladung vermöge ihrer Bewegung elektrische Masse besitzen müsse. Es läßt sich theoretisch nachweisen, daß die elektrische Masse für kleine Geschwindigkeiten konstant sein, aber schnell zunehmen muß, wenn die Geschwindigkeit sich der des Lichtes nähert. Um diese Ergebnisse der Theorie zu prüfen, war es erforderlich, den Wert e/m für Elektronen zu bestimmen, deren Geschwindigkeit der des Lichtes sehr nahe kommt.

Radium hat sich für diese Versuche als eine ideale Strahlenquelle erwiesen, da es β-Partikeln von sehr verschiedenen und zum Teil sehr großen Geschwindigkeiten aussendet. Kaufmann hat, wie wir gesehen haben, die Geschwindigkeit und den Wert e/m der Elektronen des Radiums gemessen und bewiesen, daß die scheinbare Masse der Elektronen mit ihrer Geschwindigkeit zunimmt. Aus dem Vergleich zwischen Theorie und Experiment folgt, daß die Masse des Elektrons lediglich elektrischer Natur ist, und daß nicht notwendig angenommen werden muß, daß sich die Ladung über einen materiellen Kern verteilt. Wir kommen also zu dem bemerkenswerten Schluß, daß die Korpuskeln des Kathodenstromes und die β-Partikeln des Radiums nicht Materie in gewöhnlichem Sinne sind, sondern körperlose elektrische Ladungen, denen ihre Bewegung die Eigenschaften gewöhnlicher Masse verleiht. Es ist bereits darauf hingewiesen (S. 11), daß gewöhnliche Materie sich vielleicht als ein Resultat bewegter Elektrizität erklären läßt. Um die Größe der Masse zu erklären, die das Elektron scheinbar bei verschiedenen Geschwindigkeiten besitzt, muß angenommen werden, daß seine Ladung sich über eine. verschwindend kleine Fläche oder einen verschwindend kleinen Raum verteilt.

Wenn wir die einfache Annahme machen, daß diese Fläche eine Kugeloberfläche ist, so muß der Radius der Kugel, auf der sich die Ladung verteilt, ungefähr 10^{-13} cm betragen. Nach verschiedenen Methoden läßt sich berechnen, daß der Radius eines Atoms ungefähr 10^{-8} cm beträgt, oder richtiger, daß die Wirkungssphäre der Atomkräfte eine Kugel von ungefähr diesem Radius bildet. Wenn also ein Atom so vergrößert würde, daß es eine

Kugel von 100 m Radius bildete, so würde der Radius eines seiner Elektronen nur 1 mm groß sein. Wenn wir annehmen, daß ein Wasserstoffatom aus 1000 Elektronen besteht, die sich frei innerhalb des Atoms bewegen, so würden also die Elektronen einen so kleinen Raum innerhalb des Atoms einnehmen, daß nur gelegentlich eines die Bewegungen des anderen störte.

Der größte Teil des magnetischen und elektrischen Feldes, das ein bewegtes Elektron umgibt, liegt nahe an seiner Oberfläche, da die magnetischen wie die elektrischen Kräfte dem Quadrat der Entfernung indirekt proportional sind und schon in der Entfernung von einigen Elektronradien verhältnismäßig klein sein müssen. Die Kräfte, die von einem in Bewegung befindlichen Elektron ausgeübt werden, liegen daher größtenteils innerhalb einer Kugel von ungefähr 10^{-12} cm Radius. Ein Elektron würde in seiner Bewegung durch ein anderes nicht merklich beeinflußt werden, wenn es sich ihm nicht auf diese geringe Entfernung näherte.

Experimentell ist nachgewiesen worden, daß ein durch X-Strahlen oder durch die Strahlen aktiver Substanzen erzeugtes Ion eine positive oder negative Ladung von $3{,}4 \times 10^{-10}$ elektrostatischen Einheiten besitzt. Die Ladung, die ein Gasion transportiert, ist scheinbar unabhängig von der Natur des Gases und ändert sich nicht, wie bei den Ionen der Elektrolyse, mit der Valenz des Atoms. Obwohl die Ladung eines Elektrons nicht direkt gemessen worden ist, so ist doch als sicher anzunehmen, daß sie mit der Ladung negativer Gasionen identisch ist. Die Ladung eines Elektrons wird als die kleinste Elektrizitätsmenge angesehen, die an einem Elektrizitätstransport in festen, flüssigen oder gasförmigen Körpern teilnehmen kann. Zwischen einem positiven Ion und einem Elektron besteht ein wesentlicher Unterschied. Das bewegte Elektron besitzt eine scheinbare Masse von ungefähr $^1/_{1800}$ der Masse des Wasserstoffatoms, während die entsprechende positive Ladung niemals in Verbindung mit einer Masse gefunden ist, die kleiner war als die des Wasserstoffatoms. Dieses hat zu der Anschauung geführt, daß nur eine Art der Elektrizität besteht, nämlich die negative, die mit dem Elektron verknüpft ist, und daß ein positiv geladener Körper oder ein positives Ion Materie ist, die ein Elektron oder mehrere verloren hat.

Die Strahlungen eines Elektrons.

Ein bewegtes Elektron erzeugt ein magnetisches Feld, dessen Intensität an irgend einem Punkte der Geschwindigkeit des Elektrons proportional ist, wenn diese klein neben der des Lichtes ist. Das magnetische Feld bewegt sich mit dem Elektron fort, und magnetische Energie wird in dem umgebenden Medium aufgespeichert. Die Größe dieser magnetischen Energie ist dem Quadrate der Geschwindigkeit des Elektrons proportional und kann daher in der Form $\frac{1}{2} m u^2$ ausgedrückt werden. In dieser Gleichung stellt m die scheinbare oder elektrische Masse des Elektrons dar und ist gleich $\frac{2 e^2}{3 a}$, wenn e die Ladung und a der Radius des Elektrons ist.

Ein Elektron, das sich gleichförmig in einer geraden Linie bewegt, strahlt keine Energie aus, aber bei jeder Änderung seiner Bewegung wird Energie in der Form elektromagnetischer Wellen ausgesandt, die von dem Elektron mit Lichtgeschwindigkeit ausgehen. Die ausgestrahlte Energie ist dem Quadrate der Beschleunigung proportional und wird daher sehr groß, wenn ein Elektron plötzlich in Bewegung versetzt oder zur Ruhe gebracht wird. Man nimmt an, daß die X-Strahlen aus den intensiven elektromagnetischen Impulsen bestehen, die bei dem Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Antikathode erzeugt werden.

Ein Elektron, das gezwungen wird, sich auf einem Kreise zu bewegen, strahlt intensiv Energie aus, da es dauernd eine Zentripetalbeschleunigung erfährt. Dieser Umstand, daß ein beschleunigtes Elektron notwendigerweise Energie verliert, bot eine der größten Schwierigkeiten, die man bei dem Versuche, die Struktur eines stabilen Atoms zu erklären, gefunden hat. Für den Fall, daß ein Atom aus einer Schar bewegter positiv und negativ geladener Teilchen besteht, hat Larmor[1]) gezeigt, daß die Bedingung dafür, daß kein Energieverlust durch Strahlung eintritt, die ist, daß die Vektorsumme der Beschleunigungen für alle geladenen Teilchen dauernd gleich Null ist. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, so findet eine dauernde Abnahme der

[1]) Larmor, Aether and Matter, p. 233.

inneren Energie des Atoms in der Form elektromagnetischer Strahlung statt, und wenn dieser nicht durch Energiezufuhr von außen das Gleichgewicht gehalten wird, so muß das Atom schließlich unbeständig werden und zerfallen.

Damit ein Atom beständig ist, müssen also zwei wesentliche Bedingungen erfüllt sein. Die positiv und negativ geladenen Teilchen, aus denen sich das Atom aufbaut, müssen so angeordnet sein, daß sie unter dem Einfluß wechselseitiger Anziehung und Abstoßung ein stabiles System bilden, und zu gleicher Zeit muß ihre Anordnung und Bewegung so beschaffen sein, daß von dem Atom keine Energie ausgestrahlt wird.

Da anzunehmen ist, daß die Atome vieler Elemente entweder permanent stabil sind, oder für Zeiträume stabil bleiben, die nach Millionen von Jahren zählen, so scheint es, als ob diese Bedingungen durch die Konstitution vieler Atome sehr angenähert erfüllt sind. Jedes Atom, das diesen Anforderungen nicht genügen würde, hätte schon vor langer Zeit verschwinden und in stabilere Atomsysteme übergehen müssen.

Daß einige Atome spontan zerfallen, ist also nicht so sehr überraschend wie die Tatsache, daß die Atome so stabile Systeme sind, wie sie zu sein scheinen. Die Möglichkeit des Atomzerfalls ist demnach eine notwendige Folgerung moderner Theorien der Atomstruktur.

Atommodelle.

Die neuere Entwickelung der Physik hat das Studium der Atomstruktur wesentlich gefördert und zu Versuchen geführt, mechanische, oder besser elektrische Darstellungen des Atoms zu schaffen, die so genau wie möglich das Verhalten des wirklichen Atoms wiedergeben.

In der Elektronentheorie der Materie wird angenommen, daß das Wasserstoffatom aus ungefähr 1000 Elektronen besteht, die durch die inneren Kräfte des Atoms im Gleichgewicht erhalten werden. Da ein Atom sich nach außen hin elektrisch neutral verhält, so muß angenommen werden, daß die negative Ladung der Elektronen durch das Vorhandensein einer gleich großen positiven Ladung ausgeglichen wird. Es wird vorausgesetzt, daß die Elektronen die beweglichen Teile des Atoms sind,

während die positive Elektrizität sich mehr oder weniger im Zustande der Ruhe befindet.

Die erste Hypothese über die Struktur des Atoms stammt von Lord Kelvin[1]). Lord Kelvin nahm an, daß eine Anzahl von Elektronen oder negativ geladenen Teilchen sich innerhalb einer gleichförmig positiv geladenen Kugel bewegen. Die Größe der positiven Ladung wurde gleich der Summe der negativen Ladungen der Elektronen gesetzt. Diese geistreiche Anordnung erfüllt nicht nur die Bedingung, daß das Atom elektrisch neutral ist, sondern liefert auch die Kräfte, die erforderlich sind, um die Elektronen im Gleichgewicht zu halten.

Ohne derartige Kräfte würden die Elektronen sich offenbar gegenseitig abstoßen und das Atom verlassen. Lord Kelvin wies nach, daß bei gewissen Anordnungen der Elektronen in der Kugel stabiles Gleichgewicht besteht, daß bei anderen jedoch das System labil ist und eine kleine Störung entweder dazu führen muß, daß die Elektronen das Atom verlassen, oder ein stabileres System zu bilden suchen. Lord Kelvin hat kürzlich bestimmte instabile Anordnungen der positiven und negativen Teilchen angegeben, die zur Ausschleuderung eines positiv oder negativ geladenen Teilchens mit großer Geschwindigkeit führen und so die Aussendung von α- und β-Strahlen durch ein Radiumatom wiedergeben.

Die von Lord Kelvin entwickelte Hypothese des Atoms wurde von J. J. Thomson[2]) weiter ausgebaut. Thomson nimmt an, daß eine Anzahl von Elektronen auf einem Kreise in bestimmten Winkelabständen angeordnet sind und sich innerhalb einer positiv geladenen Kugel mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen. Diese Konfiguration besitzt eine bemerkenswerte Eigenschaft. Ein einzelnes Elektron, das sich auf einer Kreisbahn bewegt, strahlt, wie wir gesehen haben, Energie aus, und diese Strahlung wird sehr groß, wenn das Atom einen Kreis von atomistischen Dimensionen beschreibt. Wenn jedoch eine Anzahl von Elektronen einander auf einem Kreise folgen, so nimmt der Bruchteil der kinetischen Energie, der von den Elektronen bei

---

[1]) Lord Kelvin, Phil. Mag., März 1903, Okt. 1904, Dez. 1905.
[2]) J. J. Thomson, Phil. Mag., Dez. 1903, März 1904.

einem Kreislaufe ausgestrahlt wird, sehr schnell ab, wenn die Zahl der Elektronen zunimmt.

Die Strahlung, die z. B. von einer Gruppe von sechs Elektronen ausgesandt wird, die sich mit $^1/_{10}$ der Lichtgeschwindigkeit bewegen, ist kleiner als ein Millionstel der eines einzelnen Elektrons. Beträgt die Geschwindigkeit ein Hundertstel von der des Lichtes, so sinkt die ausgestrahlte Energiemenge auf 10^{-16} derjenigen eines einzelnen Elektrons, das sich mit derselben Geschwindigkeit auf dem gleichen Kreise bewegt.

Ein Atom, das eine Zahl rotierender Elektronen enthält, kann also außerordentlich geringe Energiemengen ausstrahlen, schließlich führt aber der dauernde Energieabfluß zu einer Verminderung der Geschwindigkeit der Elektronen. Wenn die Geschwindigkeit der Elektronen unter einen gewissen kritischen Wert sinkt, so wird das Atom instabil und zerfällt entweder unter Fortschleuderung eines Teiles des Atoms oder bildet eine neue Anordnung der Elektronen.

J. J. Thomson nimmt an, daß die Ursache für den Zerfall der Atome radioaktiver Substanzen in dem Energieverluste durch Strahlung zu suchen ist. J. J. Thomson hat mathematisch untersucht, welche Anordnungen einer gegebenen Anzahl von Elektronen innerhalb einer gleichmäßig positiv geladenen Kugel vorübergehend stabil sind. Die Eigenschaften eines solchen Atoms sind sehr auffallend und weisen indirekt auf eine Erklärung des periodischen Systems der Elemente hin. Wenn die Elektronen in einer Ebene rotieren, so suchen sie sich in konzentrischen Ringen anzuordnen, wenn sie sich frei im Raume bewegen können, in einer Anzahl konzentrischer Kugelschalen, wie die Häute einer Zwiebel.

Auf die von J. J. Thomson besprochenen Anordnungen braucht hier nicht im einzelnen eingegangen zu werden, denn sie sind von ihm schon vor zwei Jahren in der Silliman-Vorlesung behandelt worden. Es genügt zu bemerken, daß ein solches Atommodell in bemerkenswerter Weise das Verhalten der Atome der Elemente wiedergibt und auch auf eine Erklärung der Valenz hindeutet.

Einige Anordnungen der Elektronen können z. B. ein Elektron verlieren, andere zwei oder mehrere, ohne instabil zu werden; andere können wiederum ein oder zwei Elektronen auf-

nehmen, ohne daß eine wesentliche Veränderung in der Anordnung der Elektronen auftritt. Diejenigen Atome, die leicht ihre Elektronen verlieren, würden elektropositiven Elementen entsprechen und umgekehrt.

Die Versuche, die Struktur des Atoms durch ein elektrisches Modell zu veranschaulichen, sind von großer Bedeutung, weil sie den Weg weisen, auf dem das größte Problem, dem der Physiker augenblicklich gegenübersteht, angegriffen werden kann. Da unsere Kenntnis der Eigenschaften des Atoms stetig zunimmt, so kann vielleicht für das Atom noch eine Struktur gefunden werden, die alle von den Ergebnissen der Experimente geforderten Bedingungen erfüllt. Ein verheißungsvoller Anfang ist bereits gemacht, und es besteht gute Aussicht, daß wir bald noch weiter in das Geheimnis der Atome eindringen werden.

In modernen Theorien spielt die positive Elektrizität eine etwas andere Rolle als die negative. Um die Elektronen zusammenzuhalten und das Atom elektrisch neutral zu machen, muß eine bestimmte Verteilung positiver Elektrizität zu Hilfe gezogen werden. Die beweglichen Elektronen stellen sozusagen die Bausteine des Atombaues dar, welche die positive Elektrizität wie ein Mörtel zusammenbindet. Dieses ist eine etwas willkürliche Vorstellung; im Augenblick scheint es jedoch nicht möglich, dieser Schwierigkeit, der Annahme eines fundamentalen Unterschiedes zwischen positiver und negativer Elektrizität, zu entgehen.

Die Ursachen des Atomzerfalls.

Wir sind nun in der Lage, zu untersuchen, welche Ursachen möglicherweise zu dem Zerfall der Atome der Radioelemente führen. Das Gesetz, welches den Zerfall jedes einzelnen radioaktiven Stoffes beherrscht, ist sehr einfach. Die Zahl der Atome, die in der Sekunde zerfallen, steht stets in einem konstanten Verhältnis zu der Gesamtzahl der vorhandenen Atome. Der Wert dieses Verhältnisses ist bei den einzelnen Produkten jedoch außerordentlich verschieden. Es ist bisher nicht möglich gewesen, die Zerfallsgeschwindigkeit irgend eines Produktes durch äußere Einwirkung zu beeinflussen. Veränderung der Temperatur, die auf die Geschwindigkeiten chemischer Reaktionen einen so großen

Einfluß hat, übt auf die Umwandlungsgeschwindigkeit radioaktiver Stoffe nicht die geringste Wirkung aus. Die Wärmeentwickelung des Radiums, die ein Maß für die kinetische Energie der α-Partikeln ist, bleibt vollständig unverändert, wenn das Radium in flüssige Luft getaucht wird. Ebensowenig üben chemische Agenzien irgend welchen Einfluß auf die Zerfallsgeschwindigkeit aus.

Es scheint also, daß der Zerfall der Atome der Radioelemente spontan erfolgt, oder durch Kräfte bewirkt wird, die außerhalb unseres Machtbereiches liegen. Es ist angenommen worden, daß die Atome radioaktiver Substanzen als Umformer einer Energie wirken, die sie auf irgend eine Weise aus den umgebenden Medien aufnehmen. Theorien dieser Art wurden aufgestellt, um speziell die Wärmeentwickelung des Radiums zu erklären, ohne auf die anderen radioaktiven Prozesse Rücksicht zu nehmen. Es ist einwandfrei bewiesen, daß die Wärmeentwickelung des Radiums eine notwendige Folge der Umwandlung der Radiumatome und zwar ein sekundärer Effekt ist, der durch die ausgesandten α-Partikeln hervorgebracht wird.

Die erwähnten Theorien vernachlässigen die Tatsache, daß Radioaktivität stets von dem Auftreten neuer Stoffarten begleitet wird. Es muß also eine chemische Umwandlung in der Materie stattfinden, und aus anderen Beobachtungen folgt, daß diese Umwandlung nicht in dem Molekül, sondern in dem Atom erfolgt. Die Vorgänge, welche den Zerfall des Atoms veranlassen, sind zur Zeit nur ein Gegenstand der Vermutung. Wir können noch nicht mit Sicherheit entscheiden, ob der Zerfall von einer äußeren Ursache herrührt, oder eine dem Atom eigentümliche Eigenschaft ist. Es ist z. B. denkbar, daß irgend eine unbekannte äußere Kraft die Störung hervorruft, die erforderlich ist, um den Zerfall herbeizuführen. In diesem Falle würde die äußere Kraft die Rolle eines Zündmittels spielen, das die Explosion des Atoms einleitet. Die Energie, die bei der Explosion frei wird, stammt wesentlich von dem Atom selbst her und nicht von dem Zündmittel. Das Gesetz, nach dem die Umwandlung radioaktiver Stoffe vor sich geht, wirft auf diese Frage kein Licht, denn dieses Gesetz würde aus jeder Hypothese folgen. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, daß der primäre Grund des Atomzerfalls in dem Atome selbst zu suchen ist, und zwar daß er in

dem Energieverlust durch elektromagnetische Strahlung besteht. Wenn nicht spezielle Bedingungen erfüllt sind, so wird ein aus negativ und positiv geladenen Teilchen bestehendes Atom durch Strahlung Energie verlieren und schließlich zerfallen.

J. J. Thomson hat, wie erwähnt, gewisse Atommodelle angegeben, die außerordentlich langsam Energie ausstrahlen, die jedoch schließlich infolge des Verlustes von Atomenergie instabil werden und entweder zerfallen oder ein neues Atomsystem bilden müssen. Die Atome der primär aktiven Elemente, wie Uranium und Thorium, sind verhältnismäßig stabil und haben im Durchschnitt eine Lebensdauer von tausend Millionen Jahren. Es erhebt sich die Frage, ob die Ausstrahlung von Energie dauernd in allen Atomen stattfindet oder zeitweise nur einen kleinen Bruchteil der Atome umfaßt. Nach der ersten Anschauung sollten alle Atome, die zu gleicher Zeit gebildet sind, eine bestimmte Zeit lang bestehen. Dieses widerspricht jedoch dem beobachteten Umwandlungsgesetze, nach dem die Atome theoretisch eine Lebensdauer besitzen, die alle Werte von Null bis Unendlich umfaßt.

Wir müssen also schließen, daß die Konfiguration des Atoms, die zu einer Ausstrahlung von Energie Anlaß gibt, nur in einem kleinen Bruchteile der Atome stattfindet, die zu irgend einer Zeit vorhanden sind, und wohl lediglich durch die Wahrscheinlichkeitsgesetze beherrscht wird.

Die Umwandlung der Produkte des Uraniums, Thoriums, Radiums und Aktiniums zeigt eine Eigentümlichkeit, die vielleicht in diesem Zusammenhange von einiger Bedeutung ist. Die β-Strahlen treten nur bei der letzten schnellen Umwandlung dieser Elemente auf und besitzen eine enorme Geschwindigkeit. Nach der Aussendung der β-Partikel ist das resultierende Produkt entweder dauernd stabil oder viel stabiler als sein Vorgänger. Es scheint mehr als ein Zufall zu sein, daß die Aussendung einer β-Partikel von großer Geschwindigkeit nur dann stattfindet, wenn die Umwandlung ihr Ende erreicht. Es ist möglich, daß die β-Partikel, welche schließlich ausgesandt wird, das treibende Agens der vorausgehenden Umwandlungen bildet, und daß, wenn einmal dieser störende Faktor entfernt ist, das resultierende Atom in einen Zustand viel stabileren Gleichgewichtes sinkt.

Eines der Elektronen, die das Atom aufbauen, kann z. B. in dem Atom eine Stellung einnehmen, die zur Ausstrahlung von Energie führt. Infolgedessen zerfällt das Atom unter Aussendung einer α-Partikel, und dieser Prozeß setzt sich in den folgenden Phasen fort, bis schließlich innerhalb des Atoms eine heftige Explosion stattfindet, bei der das störende Elektron mit außerordentlicher Geschwindigkeit fortgeschleudert wird.

Die Vorgänge im Radium.

Eine Radiummenge von ungefähr einem Millionstel Milligramm enthält etwa $3{,}6 \times 10^{12}$ Atome von dem Atomgewichte 225. Da in 1 g Radium $6{,}2 \times 10^{10}$ α-Partikeln in der Sekunde von dem Radium selbst ausgesandt werden, so beträgt die Zahl der Atome, die von einem Millionstel Milligramm in der Sekunde zerfallen, 62. Im Durchschnitt wird eine ebenso große Zahl von α-Partikeln von den Umwandlungsprodukten des Radiums, der Emanation, Radium-A und Radium-C ausgesandt werden.

Die Zahl der Atome der einzelnen Umwandlungsprodukte, die in der Radiummenge enthalten sind, wird sehr verschieden sein. Auf $3{,}6 \times 10^{12}$ Atome Radium kommen ungefähr 3×10^{7} Atome der Emanation, $1{,}6 \times 10^{4}$ Atome von Radium-A, $1{,}5 \times 10^{5}$ Atome von Radium-B und $1{,}15 \times 10^{5}$ Atome von Radium-C. Die Zahl der Radiumatome übertrifft also bei weitem die der Atome der Umwandlungsprodukte.

Wenn es möglich wäre, diese kleine Radiummenge so zu vergrößern, daß man die einzelnen Atome unterscheiden könnte, so würde man ein Gemisch von sehr vielen Radiumatomen und sehr wenigen Atomen seiner Umwandlungsprodukte beobachten. Wenn man dann die Aufmerksamkeit auf die Atome jeder einzelnen Gruppe richtete, so würde man finden, daß jede Gruppe die gleiche Anzahl von α-Partikeln in der Sekunde aussendet. Die Atomzahl bleibt für jedes Produkt im Durchschnitt konstant, denn die Nachlieferung neuer Atome schafft Ersatz für die, welche zerfallen.

Die Elektronentheorie der Materie nimmt an, daß ein Atom sich aus einer Schar bewegter Elektronen aufbaut, die durch die inneren Kräfte des Atoms im Gleichgewicht gehalten werden. Für schwere Atome, wie es die der Radioelemente sind, braucht

nicht angenommen zu werden, daß jedes Elektron völlige Bewegungsfreiheit besitzt. Die Erscheinungen, die bei der Umwandlung des Atoms auftreten, lassen vermuten, daß es sich zum Teil aus einer Zahl sekundärer Einheiten aufbaut, aus Gruppen von Elektronen, die in sich Gleichgewicht besitzen und sich in dem Atom mit großer Geschwindigkeit bewegen.

Es ist z. B. wahrscheinlich, daß die α-Partikel oder das Heliumatom wirklich als eine unabhängige Masseneinheit innerhalb des Radiumatoms besteht, und in dem Augenblicke, in dem das Radiumatom zerfällt, in Freiheit gesetzt wird. Diese α-Partikeln befinden sich in lebhafter Bewegung, und eine von ihnen wird, wenn das Atom instabil wird, mit der Geschwindigkeit fortgeschleudert, die sie auf ihrer Kreisbahn innerhalb des Atoms besaß. Wenn dieses der Fall ist, so müssen die α-Partikeln innerhalb des Atoms im Durchschnitt eine Geschwindigkeit von mehr als $^1/_{30}$ der Lichtgeschwindigkeit besitzen.

Möglicherweise gewinnen die α-Partikeln jedoch einen Teil ihrer kinetischen Energie erst bei dem Prozeß ihrer Aussendung, denn das Atom muß, wie wir gesehen haben, aus verschiedenen Gründen als der Sitz intensiver elektrischer Kräfte angesehen werden. Kurz vor der Ausschleuderung einer α-Partikel muß sich das Atom in einem Zustande großer Störung befinden. Infolge hiervon können die Kräfte, die eine der α-Partikeln im Atom festhalten, für einen Augenblick neutralisiert sein, und die α-Partikel verläßt das Atom mit ungeheurer Geschwindigkeit. Die inneren Kräfte sind noch stark genug, um die anderen Teile des Atoms zusammenzuhalten, und diese ordnen sich schnell zu einem neuen Systeme um, welches für kürzere oder längere Zeit stabil ist. Dieser Zustand wird wahrscheinlich nicht unmittelbar erreicht, da sich innerhalb des Atoms das Gleichgewicht nicht sofort nach der Fortschleuderung der α-Partikel herstellen wird. Das neugebildete Atom hat eine kleinere Masse als das Mutteratom, darum ordnen sich seine inneren Teile auch in ganz anderer Weise an. Das Atom, das aus dem Radiumatom entsteht, ist das Atom der Emanation und besitzt physikalische und chemische Eigenschaften, die völlig von denen des Mutteratoms verschieden sind.

Die Atome der Emanation sind nicht angenähert so stabil wie die des Radiums, denn ihre Lebensdauer beträgt im Durch-

schnitt nur sechs Tage. Das Emanationsatom zerfällt wie das des Radiums unter Aussendung einer α-Partikel und Bildung des Atoms von Radium-A, dessen Eigenschaften wiederum von denen der Emanation und des Radiums erheblich verschieden sind. Radium-A ist sehr instabil, seine Atome haben im Durchschnitt eine Lebensdauer von nur vier Minuten. Nachdem eine weitere α-Partikel ausgesandt ist, tritt das Atom von Radium-B auf. Die Umwandlung dieses Atoms trägt offenbar einen ganz anderen Charakter wie die voraufgehenden. Wenn Radium-B eine α-Partikel aussendet, so besitzt sie jedenfalls eine zu geringe Geschwindigkeit, als daß sie ein Gas ionisieren könnte. Das Atom sendet jedoch eine β-Partikel von geringer Geschwindigkeit aus und wandelt sich in das Atom von Radium-C um. Die Unbeständigkeit des letzteren gibt sich in einer Explosion von außerordentlicher Heftigkeit kund. Eine α-Partikel wird mit größerer Geschwindigkeit ausgeschleudert als bei den voraufgehenden Umwandlungen, während zu gleicher Zeit eine β-Partikel fast mit Lichtgeschwindigkeit ausgesandt wird. Hierauf erreicht das Atom einen viel stabileren Zustand; aber auch dieser ist nur für kurze Zeit beständig, die Umwandlung des Atoms durchläuft noch einige weitere Phasen. Das Atom, das schließlich von Radium-F unter Aussendung einer α-Partikel gebildet wird, ist wahrscheinlich identisch mit dem des Bleies.

Das Radium ist also der Schauplatz eines ungewöhnlichen Kräftespiels. In 1 g Radium werden 6×10^{10} α-Partikeln in der Sekunde von jedem der α-Strahlenprodukte ausgesandt, während außerdem noch Radium-B und -C je eine gleiche Zahl von β-Partikeln aussenden. Da die α-Partikeln eine materielle Schicht von nur sehr geringer Dicke durchdringen können, so wird der größte Teil der α-Partikeln in dem Radium selbst aufgehalten, welches also ein Bombardement von gewaltiger Stärke erfährt.

Wir wollen unsere Aufmerksamkeit für einen Augenblick auf ein Radiumatom richten, das im Begriff ist, eine α-Partikel auszusenden. Wenn das Prinzip der Aktion und Reaktion gilt, so muß das Restatom bei der Aussendung einen Rückstoß erfahren. Da die Masse der α-Partikel ungefähr $^1/_{50}$ von der des Radiumatoms und ihre Geschwindigkeit nahezu 2×10^9 cm per Sekunde beträgt, so muß die dem Radiumatom mitgeteilte Anfangsgeschwindigkeit ungefähr gleich 4×10^7 cm per Sekunde

oder ungefähr gleich 400 km in der Sekunde sein. Diese Geschwindigkeit wird infolge der Zusammenstöße mit anderen Atomen sehr schnell abnehmen und schon, nachdem das Atom nur eine sehr geringe Wegstrecke zurückgelegt hat, nahezu Null sein. Die kinetische Energie des Radiumatoms wird also in Wärme verwandelt werden. Die α-Partikel beginnt ihre Fahrt mit enormer Geschwindigkeit und muß sich ihren Weg durch die Radiumatome bahnen, denen sie begegnet, wobei sie aus ihnen eine Menge von Elektronen in Freiheit setzt. Ihre Energie wird allmählich durch die Ionenbildung verbraucht, ihre Geschwindigkeit nimmt daher ab. Schließlich verliert sie ihr Ionisierungsvermögen und kommt zur Ruhe. Die Ladung wird neutralisiert, die α-Partikel ist dann ein Heliumatom und wird mechanisch in die Masse der Radiumatome eingeschlossen. Die Energie, die zur Ionenbildung innerhalb des Radiums verbraucht wurde, erscheint schließlich in der Form von Wärme, denn die Ionen vereinigen sich wieder miteinander und setzen dabei Wärme in Freiheit.

Die α-Partikeln, die von der Oberflächenschicht einer Radiummenge ausgesandt werden, treten in die Luft oder ein anderes Gas ein, ohne durch das Radium eine Verringerung ihrer Geschwindigkeit erfahren zu haben. Diese α-Partikeln besitzen daher die charakteristischen Anfangsgeschwindigkeiten. Wir wollen uns vorstellen, daß wir dem Fluge einer α-Partikel mit dem Auge folgen könnten. Die Geschwindigkeit der α-Partikel ist im Vergleich zu der Geschwindigkeit der Gasmoleküle anfangs so groß, daß die letzteren, neben der α-Partikel gesehen, still zu stehen scheinen. Die Luftmoleküle haben keine Zeit, der α-Partikel aus dem Wege zu gehen, und die Geschwindigkeit wie die Energie der α-Partikel ist so groß, daß sie imstande ist, durch die Moleküle, auf die sie stößt, hindurchzufliegen. Die elektrische Störung, die die α-Partikel beim Durchdringen des Moleküls hervorruft, kann zur Aussendung eines Elektrons führen, oder vielleicht einen Zerfall des komplexen Moleküls in geladene Atome veranlassen.

Durch das Zusammentreffen einer α-Partikel mit einem Molekül werden also mindestens zwei Ionen gebildet. Dieser Prozeß wiederholt sich, bis die α-Partikel, nachdem sie ungefähr 3,5 cm Luft unter normalen Bedingungen passiert und ungefähr

100 000 Ionen gebildet hat, ihr Ionisierungsvermögen verliert. Was mit der α-Partikel am Ende ihrer Bahn geschieht, ist noch nicht genau bekannt. Die Versuche beweisen, wie erwähnt, daß einige α-Partikeln sich noch mit großer Geschwindigkeit bewegen, wenn ihr Ionisierungsvermögen sehr klein geworden ist. Da die schnelle Abnahme, die die Geschwindigkeit der α-Partikel anfangs erfährt, wesentlich daher zu rühren scheint, daß ihre Energie zur Ionisierung verbraucht wird, so ist es wahrscheinlich, daß die α-Partikel, nachdem sie ihr Ionisierungsvermögen größtenteils verloren hat, noch eine große Entfernung in der Luft zurücklegt, ehe sie durch die dauernden Zusammenstöße mit den Gasmolekülen zur Ruhe kommt. Wir können die Gegenwart einer solchen α-Partikel nicht entdecken, da sie alle die Eigenschaften verloren hat, die gewöhnlich zu ihrer Auffindung führen.

Es sprechen viele Gründe dafür, daß die Energie, welche die α-Partikel bei der Bildung eines Ionenpaares verliert, viel größer ist, als lediglich zur Trennung des positiven Ions von dem negativen erforderlich wäre. Es ist daher wahrscheinlich, daß die Ionen während des Ionisierungsprozesses eine beträchtliche Geschwindigkeit erlangen, und daß die Energie, die gebraucht wird, um ihnen Geschwindigkeit zu erteilen, groß im Vergleich zu derjenigen ist, die benötigt wird, um die Ionen aus dem Bereich ihrer gegenseitigen Einwirkung zu entfernen.

Obwohl die β-Partikel eine durchschnittlich zehnmal größere Geschwindigkeit besitzt als die α-Partikel, ist sie ein sehr viel schlechterer Ionisator. Sie bildet auf 1 cm ihres Weges im Vergleich zu der Zahl der von einer α-Partikel erzeugten nur sehr wenige Ionen, und legt ungefähr eine 100 mal größere Entfernung zurück, ehe sie ihr Ionisierungsvermögen verliert.

Wir haben bisher das Auftreten der γ-Strahlen bei radioaktiven Umwandlungen noch nicht besprochen. Diese Strahlen erscheinen stets als Begleiter der β-Strahlen und werden als elektromagnetische Impulse angesehen, die infolge der plötzlichen Ausschleuderung einer β-Partikel entstehen. Diese Impulse sind der Sitz sehr starker elektrischer und magnetischer Kräfte und gehen von dem Atom wie Kugelwellen mit Lichtgeschwindigkeit aus. Diese Impulse sind, verglichen mit den α-Partikeln, sehr

schlechte Ionisatoren und erzeugen im Durchschnitt auf 1 cm ihres Weges nur ein Ion, während die α-Partikel auf der gleichen Strecke fast 10 000 bildet. Das Durchdringungsvermögen der γ-Strahlen ist andererseits sehr groß und die γ-Strahlen besitzen noch ihr Ionisierungsvermögen, selbst wenn sie eine große Strecke in Luft zurückgelegt haben.

Die Energie der Strahlen, die ein Gas durchdringen, wird schließlich in Wärme verwandelt. Die anfänglich vorhandene kinetische Energie der Ionen geht schnell durch Zusammenstöße mit den Gasmolekülen verloren, während die Ionen sich schließlich unter Freiwerden von Wärme vereinigen.

Wenn die Strahlen auf Materie auftreffen, so treten außer den Ionisierungseffekten sehr deutliche sekundäre Effekte ein. Die α-Partikeln setzen aus der Materie, auf die sie fallen, eine Wolke von Elektronen in Freiheit. Diese Elektronen besitzen jedoch eine sehr kleine Geschwindigkeit. Die β- und γ-Strahlen machen andererseits Elektronen frei, die nahezu Lichtgeschwindigkeit besitzen. Diese sekundären Strahlungen treten am deutlichsten hervor, wenn die Strahlen auf Schwermetalle wie Blei fallen, entstehen jedoch zweifellos, wenngleich in viel geringerem Grade, auch beim Durchgange der Strahlen durch ein Gas.

Wegen der großen Geschwindigkeit der α-Partikel ist zu erwarten, daß sie die Atome der Materie auf ihrem Wege in Schwingungen versetzt und sie veranlaßt, Lichtwellen auszusenden. Diese Eigenschaft der α-Strahlen, Phosphoreszenz zu erregen, wurde zuerst von Sir William und Lady Huggins[1]) bemerkt, welche fanden, daß das schwache Phosphoreszenzlicht des Radiums das Bandenspektrum des Stickstoffs zeigt. Dieser Effekt ist auf die Wirkung der α-Strahlen auf freien Stickstoff zurückzuführen, der sich in der Nähe des Radiums befindet, oder auf Stickstoff, der in dem Radiumsalz eingeschlossen ist. Dieses Resultat ist von außerordentlichem Interesse, da hier das erste Beispiel dafür vorliegt, daß ein Gas im kalten Zustande ohne den Einfluß einer starken elektrischen Entladung ein Spektrum liefert.

[1]) Sir William und Lady Huggins, Proc. Roy. Soc. **72**, 196, 409 (1903); **77**, 130 (1906).

Walter und Pohl[1]) haben kürzlich gefunden, daß ein Gas, welches von den Strahlen des Radiotelluriums durchdrungen wird, Lichtwellen aussendet, die auf die photographische Platte wirken. Dieser Effekt ist für reinen Stickstoff am größten. Die Stickstoffatome scheinen leichter zu Schwingungen angeregt zu werden, als andere bisher untersuchte Gase. Es ist überraschend, daß bisher noch kein Anzeichen dafür gefunden ist, daß die α-Partikeln selbst ein Spektrum liefern. Die heftigen Zusammenstöße der α-Partikel mit den Molekülen müssen die α-Partikel zu Schwingungen anregen, sie sollte daher ein charakteristisches Spektrum liefern. Versuche in dieser Richtung sind zwar sehr schwierig auszuführen, besitzen aber außerordentliche Bedeutung, weil sie über die Natur der α-Partikel Aufklärung bringen können. In diesem Zusammenhange mag die interessante Beobachtung von Giesel mitgeteilt werden, daß ein Emaniumpräparat ein Phosphoreszenzspektrum aus hellen Linien gab. Die Linien rühren, wie gefunden wurde, von Didym her, das als Verunreinigung in der aktiven Substanz enthalten war.

Zweifellos sind die Strahlen, die von aktiven Substanzen ausgehen, sehr wirkungsvolle Mittel der Ionisation und Dissoziation der Materie. Bisher ist noch kein Beweis dafür erbracht, daß die α- oder β-Strahlen des Radiums imstande sind, seine Umwandlungsgeschwindigkeit zu beeinflussen. Man könnte erwarten, daß so starke Energiequellen, wie diese schnellen Partikeln, unter gewissen Bedingungen einen Zerfall der Materie herbeiführen könnten, die sie durchdringen. Eine Radiummenge, die dem intensiven Bombardement durch ihre eigenen α- und β-Partikeln unterliegt, könnte möglicherweise schneller zerfallen als eine gleiche Menge Radium, die in einem großen Volumen verteilt ist. Weitere Versuche hierüber werden vielleicht noch zeigen, daß ein solcher Effekt existiert, jedenfalls tritt er nicht sehr hervor. Die Frage, ob die X-Strahlen imstande sind, einen Zerfall der Materie herbeizuführen, ist von Bumstead[2]) auf direktem Wege untersucht worden.. Ein Bündel intensiver X-Strahlen fiel auf zwei Platten von Zink und Blei, deren Dicke so gewählt war, daß sie von der Energie der auffallenden Strahlen den

[1]) Walter und Pohl, Ann. der Physik **18**, 406 (1905).
[2]) Bumstead, Phil. Mag., Febr. 1906.

gleichen Bruchteil absorbierten. Das Blei erwärmte sich unter dem Einfluß der Strahlen auf eine viel höhere Temperatur als das Zink; obwohl die Platten die gleiche Energiemenge absorbiert hatten, war in dem Blei mehr Energie frei geworden als in dem Zink. Es ist daher anzunehmen, daß die X-Strahlen im Blei eine größere atomistische Umwandlung herbeiführen als im Zink, und daß ein großer Teil der im Blei erzeugten Wärme von der Energie herrührt, die bei der Zerlegung seiner Moleküle entsteht.

Weitere Versuche mit anderen Metallen und verschiedenen Strahlenquellen sind erforderlich, um einen so weitreichenden Schluß völlig sicher zu stellen, aber die Resultate, die bisher auf diesem schwierigen Gebiete erreicht sind, lassen jedenfalls hoffen, daß es noch gelingen wird, den Zerfall von Atomen durch Hilfsmittel des Laboratoriums herbeizuführen.

Wie wir früher gesehen haben, sprechen sehr viele Gründe für die Annahme, daß gewöhnliche Materie die Eigenschaft besitzt, charakteristische Strahlen auszusenden, die imstande sind, ein Gas zu ionisieren. Es ist daher anzunehmen, daß die gewöhnliche Materie eine außerordentlich langsame Umwandlung erfährt, die derjenigen der radioaktiven Substanzen ähnlich ist; hierbei braucht nicht angenommen zu werden, daß die α-Partikeln aller Atome der Materie die gleiche Masse besitzen. Zum Beispiel könnten einige Substanzen statt des Heliums Wasserstoffatome fortschleudern. Die experimentelle Beobachtung, daß die α-Partikel ihre Wirkung auf die photographische Platte verliert und aufhört, ein Gas zu ionisieren, wenn ihre Geschwindigkeit auf ungefähr 8×10^8 cm per Sekunde gefallen ist, ist in diesem Zusammenhange von großer Bedeutung. Zweifellos würden α-Partikeln, die von der Materie mit kleinerer als dieser Geschwindigkeit ausgesandt werden, wenn überhaupt, so eine sehr geringe elektrische Wirkung hervorbringen. Es ist sicherlich bemerkenswert, daß die Anfangsgeschwindigkeiten der von radioaktiven Substanzen ausgesandten α-Partikeln im Durchschnitt kleiner sind als der doppelte Wert dieser Minimalgeschwindigkeit. Daher ist es keineswegs unwahrscheinlich, daß die sogenannten radioaktiven Substanzen sich von der gewöhnlichen Materie wesentlich nur durch die Fähigkeit unterscheiden, α-Partikeln mit einer größeren Geschwindigkeit als der kritischen

Geschwindigkeit auszusenden. Gewöhnliche Materie, die außerordentlich schwache Ionisationswirkungen hervorbringt, könnte in dem Maße, wie das Uranium, α-Partikeln aussenden, und doch würde es schwierig sein, das Vorhandensein dieser α-Partikeln zu entdecken, wenn ihre Anfangsgeschwindigkeit unterhalb des kritischen Wertes läge.

Es braucht nach diesen Überlegungen nicht notwendigerweise angenommen zu werden, daß bei der Umwandlung der Materie stets die intensiven elektrischen Effekte auftreten, die den eigentlichen radioaktiven Substanzen eigentümlich sind. Die gewöhnliche Materie könnte eine langsame atomistische Umwandlung ähnlich der des Radiums erfahren, ohne daß unsere gegenwärtigen Hilfsmittel uns erlauben würden, die Existenz eines solchen Prozesses nachzuweisen.