

### Die Weiterentwicklung der Atomistik in der neuesten Zeit.

Von A. Linsmeier S. J. in Innsbruck.

Die grosse Menge von Tatsachen, welche man seit Entdeckung der Radioaktivität (1896) kennen gelernt hat, wird durchwegs mittelst der Atomistik dargelegt. Es ist auch gar nicht einzusehen, wie ohne Atomistik in dieses Gewirre von Tatsachen Ordnung und Zusammenhang gebracht werden könnte. Die Atomistik ist durch die experimentellen und theoretischen Arbeiten in diesem Gebiete selbst auch weiter entwickelt worden.

Für Freunde der Naturphilosophie dürfte es von Interesse sein, wenn hier eine Auswahl von Tatsachen dieses neuen und benachbarter älterer Gebiete zusammengestellt wird, von Tatsachen und Folgerungen, welche eine Weiterentwicklung der Atomistik bedeuten.

Eine erste Neuerung ist die atomistische Auffassung der Elektrizität. Der Gedanke ist zwar schon von H. v. Helmholtz deutlich ausgesprochen worden, aber doch erst jetzt recht gang und gäbe geworden. Der neuesten Zeit gehört der Nachweis an, dass es in der Natur Teilchen gibt, welche noch viel kleiner sind als das Wasserstoffatom, das bisher als kleinstes Körperteilchen galt. Damit hängt die weitere Erkenntnis zusammen, dass das chemische Atom nicht unteilbar ist, sondern aus getrennten Teilchen besteht. Weiterhin hat man gefunden und experimentell sichergestellt, dass ein chemisches Element (Helium) Bestandteil des Atoms einiger anderer Elemente (Radium, Thorium und Aktinium) ist. Neuestens ist es auch gelungen, Atome einzeln zu zählen.

Mit diesen Andeutungen ist der Inhalt der folgenden Ausführungen angegeben.

#### I. Begründung der Annahme von Elektrizitätsatomen.

Faradays elektrolytisches Gesetz lautet: „Die vom selben Strom an den Kathoden abgeschiedenen Gewichtsmengen chemischer Elemente verhalten sich wie ihre Äquivalentgewichte“. Das Äquivalentgewicht ist gleich dem Atomgewicht, dividiert durch die Wertigkeit. Das Gesetz ist experimentell sichergestellt.

Denken wir uns 4 elektrolytische Zersetzungszellen so hintereinander verbunden, dass ein Strom, von einer Batterie oder einer

Gleichstrom-Dynamomaschine kommend, sie alle der Reihe nach durchfliesst. Ueberall im Stromkreis fliesst die gleiche Elektrizitätsmenge, d. h. die Stromstärke ist an allen Stellen gleich gross. Das ist nicht etwa eine Annahme, sondern experimentell bewiesen. An den Kathoden der einzelnen Zellen werden beispielsweise abgeschieden Wasserstoff (H), Silber (Ag), Kupfer (Cu), Gold (Au). Nach Faradays Gesetz verhalten sich die an den Kathoden abgeschiedenen Stoffmengen  $H : Ag : Cu : Au = 1 : 107.9 : \frac{63.6}{2} : \frac{197.2}{3}$ . Ein Gramm H enthalte  $n$  Atome. Jedes Atom Ag ist 107.9 mal schwerer als ein Atom H, daher müssen 107.9 Gramm Ag gerade so viele Atome enthalten als ein Gramm H. Ebenso enthalten 63.6 Gramm Kupfer und 197.2 Gramm Gold gleich viel Atome wie ein Gramm Wasserstoff. Wenn also ein Gramm H, wie angenommen,  $n$  Atome enthält, dann enthalten die oben angeführten Aequivalent-Gewichte von Ag, Cu, Au

$$n, \frac{n}{2}, \frac{n}{3} \text{ Atome.}$$

Nehmen wir an, es sei  $\varepsilon$  die Elektrizitätsmenge, welche ein Atom H überführt, dann ist die ganze von den  $n$  Atomen H übergeführte Elektrizitätsmenge  $n\varepsilon$ ; dieser Wert ist ein Ausdruck für die Stromstärke. Da diese in jeder Zersetzungszelle gleich gross ist, so wird in jeder Zelle die Elektrizitätsmenge  $n\varepsilon$  übergeführt, aber nicht in jeder gleich viel Atome. Schreiben wir das der Uebersichtlichkeit wegen wie folgt:

H, Ag, Cu, Au;  
Uebergeführte Elektrizitätsmenge  $n\varepsilon, n\varepsilon, n\varepsilon, n\varepsilon,$

oder auch  $\frac{n}{1} \cdot \varepsilon, \frac{n}{1} \cdot \varepsilon, \frac{n}{2} \cdot 2\varepsilon, \frac{n}{3} \cdot 3\varepsilon.$  Auf je ein Atom entfällt also  $\varepsilon, \varepsilon, 2\varepsilon, 3\varepsilon.$  Es führt also jedes Atom Ag je ein  $\varepsilon$ , jedes Atom Cu je  $2\varepsilon$ , jedes Atom Au je  $3\varepsilon$ , d. h. so viele mal  $\varepsilon$  als seine Wertigkeit (eine ganze Zahl) angibt.

Der Gedankengang lässt sich für jedes chemische Element wiederholen, das elektrolytisch an der Kathode ausgeschieden wird; daher ist der Schluss berechtigt: Jedes Atom eines chemischen Elementes führt bei der Elektrolyse so viele  $\varepsilon$  zur Kathode über, als seine Wertigkeit angibt, d. h. ganzzahlige Vielfache der Elektrizitätsmenge  $\varepsilon$ , die vom H-Atom übergeführt wird.

Diese Aenderungen der von einem Atom übergeführten Elektrizitätsmengen nach ganzzahligen Vielfachen ist sehr auffällig; diese Gesetzmässigkeit muss in der Naturanlage ihren bestimmten Grund haben. Worin kann dieser bestehen? — Wie man in der Chemie aus den ganzzahligen Vielfachen der Verbindungsgewichte auf die Atome geschlossen hat (Wahrscheinlichkeitsschluss), ebenso schliesst man hier aus den ganzzahligen Vielfachen der Elektrizitätsmenge  $\varepsilon$  auf Elektrizitätsatome.

In der Chemie wurde jener erste Wahrscheinlichkeitsschluss durch später bekannt gewordene Tatsachen und ihre ungezwungene Erklärung durch die Atomistik fortschreitend verstärkt. Aehnliches

findet auch bezüglich der Elektrizitätsatome statt; die Elektronen, mittelst welcher schon so viele Erscheinungen der Elektrizitätslehre und Optik klargelegt wurden, sind ja nichts anderes als Elektrizitätsatome.

Das Wort „Elektrizitätsatom“ wird nicht gar oft gebraucht, häufiger ist die Bezeichnung „Elementarquantum der Elektrizität“, auch „Ladungseinheit“ liest man, am häufigsten jedoch „Elektron“.

## II. Die Masse eines Kathodenstrahlteilchens.

Bezüglich der Kathodenstrahlen und ihrer Eigenschaften muss ich auf ein grösseres Lehrbuch der Physik aus unserer Zeit verweisen, z. B. auf das von L. Dressel, 3. Aufl., S. 749 ff. Hier sei nur erwähnt, dass die Kathodenstrahlen nicht aus Aetherwellen, sondern aus negativ elektrischen Teilchen bestehen<sup>1)</sup>. Zum klareren Verständnis der späteren Ausführungen muss aber doch ein Apparat einfachster Art, wie er zur Erzeugung von Kathodenstrahlen benutzt wird, kurz beschrieben werden. Derselbe ist eine allseitig geschlossene Glasröhre, an einem Ende ist die Kathode eingebaut in Gestalt eines kleinen Metallscheibchens; die Anode befindet sich am anderen Röhrendende, aber nicht gerade der Kathode gegenüber, sondern ein wenig seitwärts. Die Luft muss darin auf einen hohen Grad verdünnt sein, wie in den Röntgenröhren. Wird die Röhre durch Drähte mit einem Funkeninduktor verbunden, und dieser in Betrieb gesetzt, dann gehen von der Kathode, und senkrecht zu ihr, die sogenannten Kathodenstrahlen aus, treffen am anderen Ende das Glas und bringen dieses zu lebhaftem Fluoreszieren. An der Stelle, welche der Kathode gerade gegenüber liegt, entsteht ein gut begrenzter Fluoreszenzfleck.

Bringt man die Röhre in ein magnetisches Feld, d. h. zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnetes, dann verschiebt sich der Fluoreszenzfleck; die Strahlen werden also durch das magnetische Feld abgelenkt. Theoretisch wurde eine Gleichung abgeleitet, in welcher die gemessenen Grössen „Stärke“ und „Länge“ des magnetischen Feldes, dessen „Abstand“ vom Fluoreszenzfleck und endlich die „Verschiebung“ des letzteren als Bekannte vorkommen; als Unbekannte (das  $x$  und  $y$  der gewöhnlichen Gleichungen) stehen noch darin die Geschwindigkeit  $v$  der Strahlteilchen und der Quotient  $\frac{e}{\mu}$ ,  $e$  ist die elektrische Ladung und  $\mu$  die Masse eines Strahlteilchens.

In einem zweiten Versuch werden die Kathodenstrahlen durch ein elektrisches Feld, d. h. zwischen zwei Metallplatten, hindurchgeschickt, die von einer Influenzmaschine her entgegengesetzt geladen sind. Auch jetzt werden die Strahlen abgelenkt, und zwar gegen die positive Platte hin. Daraus folgt, dass die Kathodenstrahlen

<sup>1)</sup> Die in weiteren Kreisen bekannten Röntgenstrahlen werden beim Aufschlagen von Kathodenstrahlen auf einen festen Körper erzeugt.

negative Elektrizität führen. Theoretisch wird auch für diesen Fall eine Gleichung abgeleitet, in welcher als Bekannte sich Grössen befinden, die ähnlich wie im vorigen Falle durch Messungen gefunden werden; als Unbekannte kommen wieder wie früher  $v$  und  $\frac{\epsilon}{\mu}$  vor. Aus diesem System von zwei Gleichungen werden die zwei Unbekannten  $v$  und  $\frac{\epsilon}{\mu}$  einzeln abgeleitet. Man hat übrigens auch noch andere Wege gefunden,  $v$  und  $\frac{\epsilon}{\mu}$  zu berechnen.

In elektromagnetischem Masse hat man gefunden  $\frac{\epsilon}{\mu} = 1.76 \times 10^7$  (jetzt wahrscheinlichster Wert)<sup>1)</sup>.

Um nun die Masse  $\mu$  mit der Masse  $m$  eines H-atoms vergleichen zu können, ist der analoge Quotient  $\frac{e}{m}$  für das H-atom herzustellen ( $e$  ist dessen Ladung bei der Elektrolyse). Der Wert des Quotienten oder Bruches  $\frac{e}{m}$  bleibt unverändert, wenn man Zähler und Nenner mit derselben Zahl  $n$  multipliziert. Bedeutet  $n$  die Zahl der Atome in einem Gramm H, dann ist der Nenner = 1 gr; der Zähler  $ne$  ist die Elektrizitätsmenge, welche bei der elektrolytischen Entwicklung von 1 gr H zur Kathode übergeführt wird. Diese Zahl ist mit bedeutender Genauigkeit gleich 9654 elektromagnetischen Einheiten (e. m. e) gefunden worden. Es ist also  $\frac{e}{m} = 9654$ ; für ein

<sup>1)</sup> Man kann in verschiedenen Werken abweichende Werte für  $\epsilon/\mu$  finden, deshalb werden einige Bemerkungen zur Orientierung nicht überflüssig sein. Physiker und Astronomen haben für Grössen, welche in der Natur vorkommen, nicht gleich immer richtige Werte gefunden, sie wichen anfangs und oft längere Zeit hindurch meistens recht bedeutend von einander ab. Erst nach und nach lernte man die möglichen Fehlerquellen besser kennen und vermeiden. Es sei nur erinnert an die Ermittlung der Schallgeschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit, der mittleren Entfernung von Sonne und Erde. Auch heute noch weichen die Einzelbestimmungen dieser Naturgrössen von einander ab. Die Zahlen, welche hierfür in den Schulbüchern angegeben werden, sind Mittelwerte aus den vertrauenswürdigeren Einzelbestimmungen. In grösseren Werken werden diese auch einzeln angeführt, bisweilen auch die älteren und ersten. Wenn man auch nicht den vollkommen genauen Wert kennt, so weiss man doch ziemlich genau, in welcher Gegend der Zahlenreihe der wahre Wert liegt.

Gleiches gilt nun auch für den  $\epsilon/\mu$ -Wert der Kathodenstrahlen. In den „Annalen der Physik“, Jahrg. 1809 Bd. 30 S. 274 f., sind die bis 1909 durchgeführten Bestimmungen nach ihrer Zeitfolge zusammengestellt worden, die erste fand 1890 statt. Bis 1900 (einschl.) sind 14 Bestimmungen durchgeführt worden, die äussersten Werte sind  $0.1 \times 10^7$  und  $2 \times 10^7$ , der Mittelwert aller  $1.09 \times 10^7$ . Dem laufenden Jahrhundert gehören die übrigen 17 Werte an, die äussersten sind  $1.4 \times 10^7$  und  $1.88 \times 10^7$ , der Mittelwert aller  $1.77 \times 10^7$ . Die äussersten Grenzen sind also schon sehr nahe einander gerückt. Seither sind schon wieder mehrere Neubestimmungen gemacht worden, sie liegen sehr nahe um den im Text angeführten Wert  $1.76 \times 10^7$  herum. Als wichtiger Umstand muss noch erwähnt werden, dass die Werte auf verschiedenen und voneinander ganz unabhängigen Wegen gefunden worden sind. — Von einer tatsächlichen Verminderung der  $\epsilon/\mu$  Werte, welche stattfindet, wenn Elektrizität von aussergewöhnlich hoher Spannung durch die Kathodenröhre geschickt wird, wird später zu sprechen sein.

Kathodenstrahlteilchen ist  $\frac{e}{\mu} = 1.76 \times 10^7$ . Dividieren wir die gleichen Werte durcheinander, so erhalten wir wieder Gleiches:

$$\frac{e}{m} : \frac{e}{\mu} = 9654 : 1.76 \times 10^7.$$

Führen wir hier die früher begründete Annahme von Elektrizitätsatomen ein, dann ist  $e = \epsilon$  zu setzen. Dem Kathodenstrahlteilchen muss nämlich wenigstens der Wert von einem Elektrizitätsatom zuerkannt werden; dass es mehr enthalte als das weit grössere H-atom, ist ganz unwahrscheinlich. Wird nach dieser Gleichsetzung in obiger Gleichung abgekürzt, so findet man schliesslich  $\mu = \frac{1}{1800} \cdot m$  beiläufig. Es wäre nutzlose Arbeit, den Nenner genauer zu berechnen, weil ja in 1.76 die zweite Dezimale unsicher ist. Das Resultat besagt, dass die Masse eines Kathodenstrahlteilchens beiläufig der 1800. Teil von der Masse eines H-atoms ist<sup>1)</sup>.

### III. Berechnung des Elementarquantums der Elektrizität ( $e$ resp. $\epsilon$ ).

1. Wie schon angegeben wurde, ist  $ne = 9654$  e. m. e. Die Zahl  $n$  der Atome in einem Gramm Wasserstoff ist schon öfter und auf verschiedenen Wegen berechnet worden. In der Ranggrösse  $10^{23}$  stimmen alle überein, in den Zifferwerten gibt es noch Abweichungen, die aber doch auch schon auf die Dezimalen eingengt sind. Nach Planck und Rutherford ist  $n = 6.2 \times 10^{23}$ .  $e$  wird gewöhnlich in elektrostatischen Einheiten (e. st. e) angegeben<sup>2)</sup>. Werden diese und der angegebene Wert von  $n$  oben eingeführt, dann ist  $6.2 \times 10^{23} \times e = 9654 \times 3 \times 10^{10}$ . Daraus folgt  $e = 4.67 \times 10^{-10}$  e. st. e<sup>3)</sup>.

2. Das Elementarquantum der Elektrizität ist auch noch auf mehreren anderen Wegen abgeleitet worden. Die ersten Werte schwankten hier zwischen  $10^{-10}$  und  $6 \times 10^{-10}$ , also zwischen recht weiten Grenzen. Später drängten sich die vertrauenswürdigeren zwischen  $3 \times 10^{-10}$  und  $5 \times 10^{-10}$  zusammen. Prof. Rob. Pohl gibt im „Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik“<sup>4)</sup> eine Ueber-

<sup>1)</sup> Der Logiker wird einwenden, dass hier bereits vorausgesetzt worden ist, was bewiesen werden soll. Gut, er setze statt  $\epsilon$  ein  $2\epsilon$ ,  $3\epsilon$ ,  $10\epsilon$  und  $100\epsilon$ , immer wird noch folgen  $\mu < m$ . — Die Naturforschung macht grundsätzlich zuerst immer die einfachste Annahme; ist diese falsch, dann stellt sich erfahrungsgemäss über kurz oder lang ein Widerspruch ein; dann wird die erste Annahme aufgegeben und der Versuch mit einer zweiten, dritten usw. gemacht, gerade so wie bei der Entzifferung von Geheimschriften. Gegen die Annahme, dass das Kathodenstrahlteilchen nur ein Elektrizitätsatom besitze und eine kleinere Masse habe als ein H-atom, ist noch kein Widerspruch zum Vorschein gekommen; die fortschreitende Forschung hat im Gegenteil die Physiker in dieser ersten Annahme nur noch bestärkt.

<sup>2)</sup> Die e. m. e werden mit dem Ampèremeter, die e. st. e mit dem Elektrometer gemessen. Durch sorgfältige Versuche wurde gefunden:

1 e. m. e =  $3 \times 10^{10}$  e. st. e (ein Mittelwert).

<sup>3)</sup> Ein Durchschnittswert aus einigen anderen Einzelbestimmungen ist  $n = 6.84 \times 10^{23}$ , daraus folgt  $e = 4.23 \times 10^{-10}$ .

<sup>4)</sup> 1911 Bd. 8 S. 406—439.

sicht über alle bisher eingeschlagenen Wege, es sind deren etwa 14, und beleuchtet kritisch die bezüglichen Fehlerquellen und Unsicherheiten. Zum Schluss „werden noch einmal die Resultate derjenigen Methoden zusammengestellt, die heute am besten durchgearbeitet sind“. Davon liegen sieben zwischen 4·64 und 4·89, ein achter Wert 4·24 weicht stärker ab. Der Mittelwert aller acht ist  $4·68 \times 10^{-10}$ , nach Ausschluss des genannten achten  $4·73 \times 10^{-10}$ .

Für die Ladung des H-atoms wurde vorhin  $e = 4·67 \times 10^{-10}$  gefunden; diese Zahl weicht erst in der zweiten Dezimale von dem Mittelwert aller acht um eine Einheit ab. Darin liegt eine neue Rechtfertigung für die Gleichsetzung  $e = \epsilon$ , die im Abschnitt II benützt worden ist<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Hier mag erwähnt werden, dass der Physiker Ehrenhaft sich gegen die Existenz von Elektrizitätsatomen ausgesprochen hat, weil viele seiner Einzelbeobachtungen mit dieser Annahme nicht vereinbar sind. Prof. Pohl schliesst dessen Diskussionen ausdrücklich von seiner Zusammenstellung aus. — Wie könnte wohl umgekehrt Ehrenhaft die stetig fortschreitende Einengung der Werte von  $\epsilon$  in engere Grenzen und besonders das im Abschnitt I behandelte Faradaysche Gesetz ohne Elektrizitätsatome erklären? Es kommen zwar auch bei anderen Bearbeitern dieser Frage einzelne Beobachtungen vor, welche vom einzelnen  $\epsilon$ -werte oder einem ganzzahligen Vielfachen desselben unerklärlich stark abweichen, aber die weitaus grössere Mehrzahl ihrer Beobachtungen liegt zwischen den schon sehr eingeengten Grenzen. — Am umfassendsten hat wohl Millikan diese Frage experimentell bearbeitet, er verbesserte fortschreitend seine Methode immer mehr. Die Einzelwerte seiner letzten Abhandlung weichen nur wenig von einander ab. Es ist merkwürdig, dass Ehrenhaft, der zuletzt wie Millikan die „Ein-Tropfen-Methode“ verwendet hat, zu so abweichenden Resultaten kommen konnte. Prof. Pohl schreibt (S. 431) hierüber: „Während Ehrenhaft sein Augenmerk nur darauf richtete, die Existenz eines einheitlichen, in der Natur konstanten Wertes des Elementarquantums zu widerlegen und damit jene Diskussion ins Leben rief, die wir mit Absicht von dem vorliegenden Bericht ausgeschlossen haben, hat Millikan das Verfahren zu einer Präzisionsmethode ausgebildet, die ausserordentlich interessante Ergebnisse geliefert hat“. — Die rätselhaften Abweichungen der Ehrenhaftschen Resultate sind vor kurzem durch Prof. Edm. Weiss aufgeklärt worden. Er änderte Ehrenhaft's Versuche so ab, dass es ihm möglich wurde, die Fallzeit ein und desselben Teilchens durch dieselbe Wegstrecke öfters (meistens 20 bis 40 mal) zu beobachten. Dabei stellte sich heraus, dass die einzelnen Fallzeiten desselben Teilchens sehr stark von einander abwichen, und zwar um so mehr, je kleiner die Teilchen waren. Die daraufhin berechneten Einzelwerte von  $\epsilon$  mussten dann notwendig ebenfalls stark voneinander abweichen. Ehrenhaft hat bei jedem Teilchen meistens nur einmal die Fallzeit beobachtet; es hing daher vom Zufall ab, ob er die wahre oder eine gestörte Fallzeit beobachtete. Deshalb sind seine Resultate bezüglich  $\epsilon$  belanglos. — Millikan experimentierte mit bedeutend grösseren Teilchen, diese waren den störenden Einflüssen nicht merklich unterworfen; er beobachtete die Fallzeit eines Teilchens mehrmals, dabei zeigten sich keine oder nur sehr geringe Verschiedenheiten. — Wie wurde die Wiederholung des Niederfallens ermöglicht? Das Teilchen war ja elektrisch geladen und wurde durch elektrische Abstossung wieder emporgehoben. — Eine genauere Beschreibung der Versuche und der störenden Einflüsse, wie sie zu einem volleren Verständnis wohl erwünscht wäre, müsste weitläufiger werden, als es hier zulässig ist; interessierte Leser finden die Originalabhandlung von Prof. Weiss in den „Sitzungsberichten der k. k. Akademie der Wissenschaften“ in Wien, Abteilung II a (1911) S. 1021—1073.

## IV. Aus Radium entsteht Helium.

Das Element Helium (ein Gas) wird von den Chemikern aus verschiedenen Mineralien gewonnen, in denen es absorbiert vorkommt und durch längeres Erhitzen ausgetrieben wird. Es wurde nun bemerkt, dass in den betreffenden Mineralien immer auch Radium (oder Thorium oder Aktinium, ebenfalls primär radioaktive Elemente) vorzufinden ist. Man fragte sich, warum kommt Helium nur in solchen Mineralien vor, welche gleichzeitig ein radioaktives Element enthalten, warum nicht auch in anderen? Beim Ueberdenken verschiedener Möglichkeiten tauchte auch der Gedanke auf, dass Helium aus dem zugleich vorfindlichen Radium entstanden sein könnte. Dieser Gedanke wurde experimentell weiter verfolgt, schliesslich bewies ihn Rutherford durch einen unanfechtbaren Versuch als richtig. Zum besseren Verständnis dieses Schlussergebnisses muss einiges über die Radioaktivität eingeschaltet werden.

Die Strahlung radioaktiver Körper ist nicht einheitlich, sondern aus drei Strahlenarten zusammengesetzt. Wird nämlich ein solches Strahlenbündel durch ein magnetisches Feld hindurchgeschickt, dann löst es sich in drei Teile auf. Ein Teil wird von der ursprünglichen Richtung gar nicht abgelenkt, das sind die „ $\gamma$ -Strahlen“; sie zeigen Eigenschaften, welche gleich sind denen der Röntgenstrahlen. Ein anderer Teil wird relativ (zum dritten Teil) stark abgelenkt, das sind die „ $\beta$ -Strahlen“; sie sind ähnlich den Kathodenstrahlen, haben jedoch im allgemeinen eine bedeutend grössere Geschwindigkeit als diese<sup>1)</sup>. Der dritte Teil endlich wird schwächer und nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, das sind die „ $\alpha$ -Strahlen“.

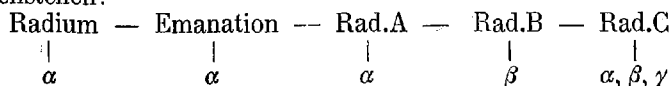
Noch ein zweites Resultat der bisherigen Forschungen über Radioaktivität muss eingeschaltet werden. Ich lege es ohne Begründung vor, diese würde nämlich zu weit führen. Aus dem Radium entwickelt sich eine Reihe von Abkömmlingen (einer aus dem andern), die fast alle nur einen kurzen Bestand haben; man kann sie mit mehr oder weniger Schwierigkeit auch getrennt darstellen und untersuchen. Das Wie der Entwicklung wird durch Heranziehung der Atomhypothese begreiflich gemacht.

Das Radiumatom strahlt ein  $\alpha$ -Teilchen aus und geht dabei in ein Atom „Emanation“ über; dieses strahlt dann ebenfalls ein  $\alpha$ -Teilchen aus und wird nach diesem Verlust zu einem Atom „RadiumA“; dieses strahlt wieder ein  $\alpha$ -Teilchen aus und wird dadurch zu einem Atom „RadiumB“; dieses strahlt ein  $\beta$ -Teilchen aus und geht in ein Atom „RadiumC“ über. Letzteres strahlt  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  aus<sup>2)</sup>. Das

<sup>1)</sup> Bei anderen Gelegenheiten hat man sehr langsame  $\beta$ -Strahlen kennen gelernt, die öfters auch  $\delta$ -Strahlen genannt werden.

<sup>2)</sup> Ist es nicht Willkür, zu behaupten, dass ein Ra-Atom durch Ausstrahlung von nur einem  $\alpha$ -Teilchen in ein Atom Emanation übergehe? Möglicherweise könnte ja diese Umwandlung erst nach Austritt von 2 oder 3 oder noch mehr  $\alpha$ -Teilchen eintreten. — An und für sich ist jene Annahme zwar willkürlich, gleichzeitig aber doch auch rationell. Wenn mehrere Möglichkeiten

sind die „kurzlebigen“ Glieder der Radiumreihe, die noch folgenden „langlebigen“ können wir für den vorliegenden Zweck ausseracht lassen. Das Gesagte lässt sich in folgender Weise übersichtlich zusammenstellen:



Alle Abkömmlinge verbleiben, wenn nicht der Experimentator eine künstliche Trennung herbeiführt, in dem Radiumpräparat (z. B.  $\text{RaCl}_2$ ) beisammen und strahlen gleichzeitig die angegebenen Strahlenarten aus.

Es ist nun gelungen, die  $\alpha$ -Teilchen zu sammeln und in einem Kapillarröhrchen zu vereinigen; ihre Vereinigung war ein Gas. Dieses wurde sodann spektroskopisch untersucht in der Art, wie es bei den sogenannten Geissleröhren geschieht. Die auftretenden Spektrallinien waren identisch mit denen des Heliums. Die  $\alpha$ -Teilchen sind also Heliumatome.

All die nach und nach ausgestrahlten  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen waren in dem ursprünglichen Radiumatom enthalten, dieses besteht also aus noch kleineren Teilchen. — Ist etwa durch diese Entdeckung der bisherige Atombegriff umgestossen worden? Keineswegs. Wenn man sagte, dass das chemische Atom nicht weiter geteilt werden kann, so behauptete man damit nicht eine absolute, sondern nur eine relative Unteilbarkeit. Chemiker und Physiker haben oft genug hervorgehoben, dass sie das Atom nur deshalb als unteilbar bezeichnen, weil sie keine Mittel besitzen, es noch weiter zu teilen. In einem Aufsatz des „Phil. Jahrbuches“ 4 (1891) 242—247 ist diese Begriffsbestimmung weitläufig behandelt worden; damals hatte man von der Radioaktivität noch keine Ahnung. Ueberdies ist zu

vorliegen, dann wählen die Naturforscher grundsätzlich zuerst die einfachste; ist diese falsch, so stellt sich erfahrungsgemäss bei der weiteren Forschungsarbeit früher oder später ein Widerspruch ein, dann wird der Versuch mit einer zweiten Möglichkeit gemacht usw. Im vorliegenden Falle hat sich noch kein Widerspruch eingestellt, im Gegenteil eher eine Bestätigung. Das Atomgewicht des Ra wurde von Mad. Curie einmal = 225, später etwas über 226 gefunden. Die neueste Bestimmung wurde durch die Radiumkommission der Wiener Akademie der Wissenschaften veranlasst, mit einer grösseren Ra-menge vorgenommen, als sie Mad. Curie hatte, und in allen Einzelheiten mit der peinlichsten Sorgfalt durchgeführt. Das Resultat mehrerer Bestimmungen war  $\text{Ra} = 225 \cdot 95$ . Die einzelnen Bestimmungen wichen nur mehr in der zweiten Dezimale um einige Einheiten von einander ab. Das Atomgewicht der Emanation müsste nach Austritt eines  $\alpha$ -Teilchens (d. i. eines He-Atoms, Atomgew. = 4) sein  $225 - 4 = 221$  oder  $226 - 4 = 222$ . Das Atomgewicht der Emanation wurde in letzter Zeit dreimal und zwar auf zwei verschiedenen Wegen ermittelt. Auf einem Wege wurde 220, auf dem anderen einmal 220, später 223 (Mittelwerte) gefunden. Diese experimentellen Werte weichen nur wenig von den berechneten ab. Für zwei  $\alpha$ -Teilchen fände man  $226 - 8 = 218$ . Da man das Atomgewicht der Emanation noch nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit kennt, so lässt sich nur behaupten, dass die Experimente eher für die erste Annahme sprechen als für die zweite; eine noch weiter gehende Annahme kommt jedenfalls gar nicht mehr in Betracht.



beachten, dass man trotz sorgfältigster Untersuchung aller chemischen Elemente die Radioaktivität nur bei einer ganz geringen Anzahl gefunden hat; dass ferner diese Aktivität spontan vor sich geht, vom Naturforscher nicht ausgelöst, nicht eingestellt, durch Hitze, Kälte und die stärksten chemischen Reagenzien nicht merklich beeinflusst werden kann. Auszunehmen sind da nur die  $\beta$ -Teilchen oder Elektronen, ihren Austritt kann der Physiker bewerkstelligen; es bleibt aber doch wieder eine offene Frage, ob er sie austreiben kann, wenn sie gerade mit einem Atom vereinigt sind, oder nur dann, wenn sie sich frei zwischen den Atomen bewegen.

### V. Zählung der $\alpha$ -Teilchen.

Spintharoskop wird ein physikalischer Apparat genannt, den Crookes (1903) erfunden und in den Handel gebracht hat; darin ist eine prachtvolle Lichterscheinung zu sehen. Der kleine Apparat besteht aus einem Messingzylinder, der etwa 6 cm lang ist und 2 cm im Durchmesser hat. An der abschliessenden Endfläche ist innen ein Beleg von pulverisiertem Zinksulfid angebracht, etwa  $\frac{1}{2}$  mm darüber ragt ein Stift herein, an dem etwas Radiumchlorid befestigt ist. An dem anderen Zylinderende befindet sich eine Glaslinse, die als Lupe dient, um die Erscheinung vergrössert und deutlich sehen zu können. Blickt man mit ausgeruhetem Auge im finsternen Zimmer (das ist eine wesentliche Vorbedingung) hinein, dann sieht man einen förmlichen Regen von kurzen Lichtblitzen. Dieses Funkenpiel („Szintillation“) wird verursacht durch die  $\alpha$ -Teilchen, welche vom Radiumchlorid ausstrahlen und den Zinksulfidschirm treffen. Aktiniumemanation soll besonders glänzende Effekte geben. Es wurde auch noch ein anders eingerichteter Apparat („Emanationsröhre“) in den Handel gebracht, der dieselbe Erscheinung zeigt, aber auch eine Regulierung zulässt. Ich erhielt von befreundeter Seite leihweise eine solche Emanationsröhre, schwächte die Erscheinung sehr stark ab und konnte dann die einzelnen Lichtpunkte unter der Lupe verhältnismässig weit von einander getrennt sehen. Sie waren aber immer noch so zahlreich, dass eine Zählung derselben nicht anging. Die erwähnte Regulierung war eine beschränkte.

Rutherford hat einen Apparat so eingerichtet, dass eine bequeme Zählung der einzelnen Szintillationen vorgenommen werden konnte. Den  $\alpha$ -strahlenden Körper brachte er in ein Glasrohr, das allseitig geschlossen war und am Ende eine kleine Oeffnung von nur  $1\frac{1}{2}$  mm Durchmesser hatte. Diese Oeffnung wurde durch ein Zinksulfidschirmchen fest abgeschlossen. Jetzt konnten die einzelnen Lichtpunkte leicht und sicher gezählt werden. Solche Zählungen wurden nachher auch von anderen Physikern mit Erfolg durchgeführt.

Diese Tatsache ist naturphilosophisch deswegen von grosser Wichtigkeit, weil hier zum erstenmal Wirkungen einzelner Atome ( $\alpha$ -Teilchen sind ja Heliumatome) und sonach mittel-

bar auch Atome einzeln gezählt worden sind. Das ist ein wichtiger Beitrag zur Atomistik, die in diesem Fall ihren hypothetischen Charakter abgestreift hat. — Die Szintillationen sind besonders charakteristisch für die  $\alpha$ -Strahlen, haben jedoch in geringem Grade auch bei den  $\beta$ -Strahlen beobachtet werden können; also bestehen auch diese aus getrennten Teilchen.

Rutherford fand auch noch eine zweite Methode, die  $\alpha$ -Teilchen zu zählen. Davon sei nur erwähnt, dass der Sulfidschirm entfernt wurde, und die  $\alpha$ -Teilchen in eine angeschlossene Kammer eintraten, wo sie durch Jonisation einen momentanen Stromschluss bewirkten, der durch den Ausschlag eines Galvanometers ersichtlich gemacht wurde. Die Resultate beider Zählungen stimmten gut überein.

## VI. Elektromagnetische Masse.

Was die  $\alpha$ -Teilchen sind, wurde in IV. klargelegt; man hat auch bezüglich der  $\beta$ -Strahlen eine Aufklärung erlangt; diese gewährte eine ganz neue Einsicht. Man hat mit den  $\beta$ -Strahlen die Ablenkungsversuche im magnetischen und elektrischen Feld angestellt, hierauf  $v$  und  $\frac{e}{\mu}$  berechnet wie bei den Kathodenstrahlen. Bei letzteren änderte sich zwar  $v$  mit der Spannung des benützten Stromes recht bedeutend, der Wert von  $\frac{e}{\mu}$  blieb aber in weiten Grenzen konstant. Bei den  $\beta$ -Strahlen ist  $v$  überhaupt viel grösser als bei den Kathodenstrahlen, sein Wert nähert sich in manchen Fällen schon sehr der Lichtgeschwindigkeit; darneben änderte sich aber auch der Wert des Quotienten  $\frac{e}{\mu}$ , er wurde um so kleiner, je grösser die Geschwindigkeit war. Nach den Experimenten von Prof. Kaufmann und anderer Physiker konnte an dieser Tatsache nicht mehr gezweifelt werden.

Diese Verminderung des Wertes  $\frac{e}{\mu}$  konnte ihren Grund in einer Verkleinerung von  $\epsilon$  oder in einer Vergrösserung des  $\mu$  haben. Gewisse Vorarbeiten von J. Thomson und Heaviside, die schon vor Entdeckung der Radioaktivität bekannt gemacht waren, wiesen nach der zweiten Richtung hin. Durch Kaufmanns Versuche veranlasst, behandelte Professor Abraham diese Frage eingehender mathematisch und gelangte zur Ueberzeugung, dass das elektromagnetische Feld <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Ruhende Elektrizität, z. B. eine geladene Kugel, erzeugt um sich herum ein elektrostatisches Feld; bewegt sich die Elektrizität, dann tritt noch ein magnetisches Feld hinzu. Es ist experimentell nachgewiesen, dass eine elektrisch geladene Kugel, wenn sie sehr schnell in einer Kreisbahn herumbewegt wird, auf eine Magnetnadel gerade so ablenkend wirkt wie ein Kreisstrom, nur nicht so stark. In neuerer Zeit wurde durch den Versuch bewiesen, dass die Kathodenstrahlen eine Magnetnadel ablenken wie ein elektrischer Strom; die Wirkung ist jedoch schwach, deshalb gelang der Versuch erst bei verfeinerter Versuchsanordnung. Die Kathodenstrahlen erzeugen also um sich herum ein magnetisches Feld; mit Recht schloss man, dass dies auch für  $\beta$ -Strahlen gelte, denn sie sind ja gleichartig mit den Kathodenstrahlen.

so auf das bewegte elektrische Teilchen zurückwirke, als ob dessen Trägheitswiderstand oder dessen Masse  $\mu$  vergrössert worden wäre. Für diese Rückwirkung resp. ihren Effekt hat man als kurze Bezeichnung „elektromagnetische Masse“ eingeführt. Abraham führte die Rechnung durch, indem er von einer Masse gewöhnlicher Materie ganz absah, d. h. die  $\beta$ -Teilchen als reine Elektrizitätsatome in Rechnung setzte. Er fand für die elektromagnetische Masse eine Formel, nach welcher bei kleineren Geschwindigkeiten, wie sie gewöhnlich bei Kathodenstrahlen vorkommen, die Masse  $\mu$  sich nicht merklich ändert, während bei grösseren Geschwindigkeiten, wie sie  $\beta$ -Strahlen haben, das  $\mu$  mit der Geschwindigkeit sehr rasch anwächst. Er bemerkt sodann, dass die Hinzufügung einer Stoffmasse die noch bestehende Abweichung zwischen seiner Formel und den Versuchsergebnissen Kaufmanns nicht vermindern, sondern vergrössern würde. Findet besagte Abweichung tatsächlich in der Natur statt, dann „müssen unbekannte Einflüsse ins Spiel kommen“; ist sie aber nur durch Versuchsfehler bedingt, dann darf man behaupten: „die Trägheit des Elektrons ist ausschliesslich durch sein elektromagnetisches Feld verursacht“.

Daraufhin hat Kaufmann seine Versuche mit vollkommeneren Hilfsmitteln neuerdings durchgeführt. Die jetzt erzielten Resultate wichen noch weniger von Abrahams Formel ab als seine früheren. Er war deshalb überzeugt, dass genannte Abweichungen nur von unvermeidlichen Versuchsfehlern herrühren, und schliesst seine Abhandlung mit den Worten: „Wir können das Resultat der Untersuchung wohl dahin zusammenfassen, dass nicht nur die Becquerelstrahlen<sup>1)</sup>, sondern auch die Kathodenstrahlen aus Elektronen bestehen, deren Masse rein elektromagnetischer Natur ist“<sup>2)</sup>.

Die Frage wurde sodann auch von anderen Physikern sowohl experimentell als theoretisch weiter behandelt; sie erhielt durch Hereinziehung des Relativitätsprinzipes eine Erweiterung, welche nicht mehr in den Rahmen vorliegender Abhandlung fällt. Der gegenwärtige Stand der Frage ist kurz folgender: Es ist experimentell erwiesen, dass bei  $\beta$ -Strahlen überhaupt und auch bei den schnellsten Kathodenstrahlen der Wert  $\frac{\epsilon}{\mu}$  mit wachsender Geschwindigkeit rasch abnimmt. Die Theorie zeigt, dass diese Aenderung zu erklären ist durch die Einwirkung des elektromagnetischen Feldes, das die schnell bewegten  $\beta$ - und Kathodenstrahlteilchen um sich herum erzeugen. Die Einwirkung erfolgt so, dass dadurch  $\mu$  vergrössert erscheint, man spricht daher von einer „elektromagnetischen“ Masse. Bis hierher ist alles experimentell und theoretisch gut begründete Ueberzeugung und besteht Uebereinstimmung unter den Beteiligten. Die noch weiter gehende Ansicht, dass den  $\beta$ - und Kathodenstrahlteilchen nur elektro-

<sup>1)</sup> d. i.  $\beta$ -Strahleu.

<sup>2)</sup> Die im Text herangezogenen Abhandlungen sind enthalten in den „Göttinger Nachrichten“ von 1901, 1902 und 1903.

magnetische Masse zukomme, scheint vorzuherrschen; es gibt aber doch auch Physiker, welche sagen, dass dieser Punkt wenigstens noch nicht überzeugend bewiesen sei.

Schlussbemerkung. Einzelne Physiker haben die Ansicht ausgesprochen, dass sich alle Materie letztlich in Elektronen oder Elektrizitätsatome auflösen lasse. Darnach bestände alle sinnfällige Materie aus Elektrizität. — Das ist eine überstürzte Verallgemeinerung dessen, was man bei radioaktiven Körpern erfahren hat. Diese strahlen jedoch nicht bloss  $\beta$ -Teilchen, sondern auch  $\alpha$ -Teilchen aus; dass aber letztere selbst wieder aus Elektronen bestehen, dafür hat man gar keinen Anhaltspunkt. Es wurden nach und nach alle chemischen Elemente sorgfältig auf etwaige Radioaktivität untersucht und ausser den schon bekannten, Uran nämlich, Radium, Thorium und Aktinium, nur noch bei Kalium und Rubidium eine schwache Aktivität gefunden. Zwar glaubte mancher Forscher, auch noch bei anderen Elementen, so besonders beim Blei, eine Aktivität gefunden zu haben; aber die Nachprüfungen bestätigten das nicht. In manchen Fällen wurde nachgewiesen, dass der betreffende Körper geringe Mengen eines primär radioaktiven Elementes (Radium, Thorium usw.) beigemischt enthielt; in anderen Fällen wurde gezeigt, dass die Radioaktivität sekundär war, d. h. mit der Zeit abnahm und endlich ganz verschwand. Es ist ja bekannt, dass jeder Körper vorübergehend (sekundär) radioaktiv wird, wenn er einige Zeit in der Nähe eines radioaktiven Körpers liegt. Ueber das Blei wurde vielleicht noch am längsten hin und her debattiert, aber schliesslich doch einwandfrei nachgewiesen, dass chemisch reines Blei nicht aktiv ist.

Einen Denkwiderspruch enthält jene extreme Ansicht freilich nicht; man könnte sagen, dass die Aktivität der meisten Elemente nur zu schwach sei, als dass sie mit den jetzigen Apparaten wahrgenommen werden könnte. Diese vorläufig eben nur denkbare Möglichkeit ist aber doch ein zu schwacher Grund für jene extreme Ansicht.