

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung
Nr. 173

Über die Reflexion von α -Teilchen an Atomkernen

Von

Hans Pettersson

(Mit 3 Textfiguren)

Vorgelegt in der Sitzung am 11. Dezember 1924.

Das Studium der Zusammenstöße zwischen schnellen α -Teilchen und anderen Atomkernen hat sich unzweifelhaft als der beste Leiter auf dem Wege einer immer wachsenden Kenntnis des innersten Aufbaues der Materie bewährt. So haben die schönen Untersuchungen H. Geiger's und E. Marsden's¹ über die Streuung von α -Teilchen beim Durchgang durch Materie die experimentelle Grundlage für Sir Ernest Rutherford's² berühmte Kerntheorie geschaffen, für welche durch weitere Untersuchungen von Geiger und Marsden³ über die Streuung unter großen Winkeln neue Stützen gefunden wurden. Rutherford's eigene Untersuchungen über die Zusammenstöße schneller α -Teilchen mit Leichtatomen haben dann der physikalischen Wissenschaft ganz neue Bahnen gewiesen durch Feststellung der Tatsache, daß wenigstens einige der chemischen Elemente zerlegt werden können. Nachfolgende Untersuchungen einiger seiner Mitarbeiter über solche Zusammenstöße mit Wasserstoffatomen gaben zu Spekulationen bezüglich des Baues des α -Teilchens selbst Anlaß, wie auch bezüglich der Intensität des umgebenden Kraftfeldes.

Die Entdeckung der künstlichen Atomzerlegung hatte jedoch bis zu einem gewissen Grade das Interesse vom Schicksal des stoßenden α -Teilchens auf das der beim Zusammenstoße vom ihm freigemachten Atomtrümmer abgelenkt. Für mich ist indessen das ersterwähnte Problem von gleichem Interesse geblieben und im Laufe von Experimenten über die Atomzertrümmerung, die ich in Zusammenarbeit mit Dr. Gerhard Kirsch und anderen während der letzten zwei Jahre im Institut für Radiumforschung sowie im II. Physikalischen Institut der Universität in Wien ausgeführt habe, wurden von mir auch einige Beobachtungen gemacht, die sich direkt auf die ersterwähnte Erscheinung beziehen und im folgenden kurz berichtet werden mögen.

¹ Proc. Roy. Soc. Vol. 82, p. 495, 1909, und Vol. 83, p. 492, 1910.

² Phil. Mag. 25, p. 604, 1913.

³ Phil. Mag., 41, p. 307, 1921.

⁴ Mitt. Ra. Inst. Nr. 155, 160, 163, 164, 166, 167, 168.

Nach den Gesetzen des elastischen Stoßes¹ ist die Geschwindigkeit ρ eines α -Teilchens von der Masse 4 und der Geschwindigkeit V nach Zusammenstoß mit einem Atomkerne der Masse M durch die Gleichung

$$\rho = V \left(\frac{\cos \varphi}{\kappa + 1} + \frac{1}{\kappa + 1} \sqrt{\kappa^2 - \sin^2 \varphi} \right) \quad \text{wo} \quad \kappa = \frac{M}{4} \quad (1)$$

worin φ den Winkel bedeutet, um den das Teilchen beim Zusammenstoße aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird. Die Reichweite eines α -Teilchens in der Luft nach dem Zusammenstoße kann nach der Geiger'schen Formel $\rho^3 = aR$ berechnet werden, die sich durchaus für Teilchen einer Reichweite, größer als 1 *cm* Luft, bewährt hat. Die Reichweite, die aus den beiden Gleichungen für α -Teilchen von Radium C (Reichweite 7 *cm* Luft), welche um Winkel von 90°, 150° und 180° durch elastische Zusammenstöße mit verschiedenen Atomkernen abgelenkt wurden, hervorgehen, sind in der folgenden Tabelle I wiedergegeben.

Tabelle I.

Element	Restliche Reichweite der Ra C- α -Teilchen, gestreut über		
	90°	150°	180°
Kohle	2·5	1·0	0·9
Magnesium	4·3	2·8	2·6
Aluminium	4·5	3·1	2·9
Nickel	5·7	4·8	4·7
Kupfer	5·8	4·9	4·8
Silber	6·3	5·7	5·6
Gold . .	6·6	6·2	6·2

Aus der Tabelle geht hervor, daß die Verkürzung der Reichweite bei leichten Atomen beträchtlich ist, so bei Kohle von 7 *cm* auf 2·5 *cm* bei 90°, auf 1·0 *cm* bei 150° und auf 0·9 *cm* bei 180° Ablenkung, d. h. für Teilchen, die in genau umgekehrter Richtung zurückfliegen. Bei schweren Elementen ist die Abnahme an Reichweite viel geringer, für Gold ist sie nur ein paar Prozent bei 90° Ablenkung.

Eine bemerkenswerte Tatsache ist es, daß scheinbar kein ernster Versuch gemacht worden ist, diese Beziehung zu bestätigen, indem stets stillschweigend angenommen wurde, daß die Gleichung (1) gilt und daß der Zusammenstoß zwischen α -Teilchen und Atomkernen den Charakter eines vollkommen elastischen Stoßes hat. In einem zum größten Teil erfolglosen Versuch, die Zahl der α -Teilchen, die um große Winkel von den leichtesten Atomen gestreut werden,

¹ Vide Ruthertord, Phil. Mag., 21, p. 669, 1911.

zu bestimmen, fand Loeb¹, daß die α -Teilchen, die von einem Aluminiumschirm um 105° abgelenkt wurden, ungefähr zehn Szintillationen pro Minute unter seinen Versuchsbedingungen mit einer Absorption von 1.3 cm Luft im Strahlengang ergaben, welcher Wert nahezu auf Null sank, wenn die Absorption durch eine Aluminiumfolie auf 3.5 cm gesteigert wurde. Da der theoretische Wert 3.36 cm beträgt, schließt Loeb aus diesem einzigen Versuche, daß der Zusammenstoß elastisch erfolge, d. h. die Gesetze der Erhaltung der Energie und des Moments für solche Zusammenstöße gelten.

Andererseits wurde die Zahl der von verschiedenen Atomen unter verschiedenen Bedingungen gestreuten α -Teilchen sehr sorgfältig von Geiger und Marsden² untersucht. Nur bei den schweren Atomen, Gold und Silber, konnten die Messungen auch auf einen größeren Winkelbereich, maximal 150° , ausgedehnt werden, während für die leichteren Elemente nur mit Streuwinkeln gearbeitet werden konnte, die viel kleiner als 90° waren. Die beobachtete Teilchenzahl stimmte mit der Theorie gut überein, die von Rutherford³ für die Streuung unter großem Winkel ausgearbeitet worden ist. Es scheint, daß keine Messungen der Restreichweite der Teilchen im Laufe dieser Untersuchungen gemacht wurden.

Neuerdings hat Bieler⁴ eine Untersuchung über die Streuung von α -Teilchen durch die Kerne von Magnesium und Aluminium über Winkel bis zu 105° veröffentlicht. Bei den größeren Winkeln ist die beobachtete Teilchenzahl deutlich geringer als die nach Rutherford's Theorie berechnete, welche annimmt, daß die zurückstoßende Kraft zwischen α -Teilchen und Atomkern verkehrt proportional dem Quadrate des Abstandes ist. Bieler nimmt daher an, daß ein anderes Kraftgesetz bei sehr geringen Entfernungen gilt, welches Abstoßung in Anziehung bei einem gewissen kritischen Abstand verwandelt, den er bei Aluminium zu $3.44 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$ berechnet. Eine angenäherte Übereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Werten wird gefunden, wenn man annimmt, daß die Potenz im neuen Kraftgesetz die vierte ist.

In ihrer letzten Veröffentlichung über diesen Gegenstand werden die Bieler'schen Resultate von E. Rutherford und J. Chadwick⁵ als Stütze ihrer früher ausgesprochenen Ansicht betrachtet, daß bei den in Frage kommenden Abständen eine Anziehung zwischen Ladungen gleichen Vorzeichens auftritt, d. h. daß das Coulomb'sche Gesetz sein Vorzeichen wechselt, eine Annahme, welche eine fundamentale Rolle in der Satellithypothese für Atomzertrümmerung spielt, die von

¹ Phil. Mag., 38, p. 533, 1919.

² l. c.

³ l. c.

⁴ Proc. Roy. Soc. A. 105, p. 434, 1924.

⁵ Proc. Phys. Soc. London, 36, Part 5, 1924.

denselben Autoren vorgeschlagen worden ist. Ich werde Gelegenheit haben, mich zu dieser Ansicht in einer anderen Veröffentlichung zu äußern.¹

Versuche.

Zu Beginn dieses Jahres haben der Autor und Dr. G. Kirsch² eine Methode entwickelt, um Teilchen von zertrümmerten Atomen zu beobachten, ohne Komplikation durch die primäre α -Strahlung. Im Prinzip besteht diese Methode in der Beobachtung der Szintillationen von Teilchen, die von einer bestrahlten Substanz unter rechtem Winkel gegen die Richtung der auffallenden α -Teilchen ausgeschleudert werden. Die Zahl der α -Teilchen, welche unter demselben Winkel gestreut werden, ist nach der Theorie verhältnismäßig klein und, was noch wichtiger ist, die Reichweite solcher Teilchen ist bedeutend verkürzt, besonders bei Zusammenstößen mit den leichtesten Atomen, siehe Tabelle I. Mit dieser indirekten Methode ist es daher möglich, die Beobachtung von Atomtrümmern auch innerhalb der Reichweite der Primärteilchen durchzuführen, was bei der früher benutzten direkten Methode offensichtlich unmöglich war.

Der Hauptnachteil der indirekten Methode ist die verhältnismäßig geringe Ausbeute an Sekundärteilchen, was ja aus geometrischen Überlegungen einfach hervorgeht. Es gibt nun zwei Wege, diese Schwierigkeit zu überwinden. Der eine ist der, die Zahl der beobachtbaren Sekundärteilchen durch Vergrößerung des Gesichtsfeldes des zur Zählung der Szintillationen benützten Mikroskops zu erhöhen, was offenbar nur auf Kosten eines entsprechenden Verlustes an integraler Lichtstärke des beobachteten Gegenstandes erreicht werden kann. Der andere Weg ist der, die Primärstrahlung so viel als möglich auszunützen durch Wahl einer geeigneten Form der Oberfläche der bombardierten Substanz. Wir haben den letzten Weg gewählt und benützen in der von uns zuerst verwendeten Versuchsanordnung die innere Fläche eines kurzen und weiten Trichters, der mit der zu untersuchenden Substanz belegt war und der Strahlung von einer kleinen mit Radium C aktivierten Scheibe, die in der engeren Öffnung des Trichters saß, ausgesetzt wurde. Ein Zinksulfidschirm, der symmetrisch in der Achse des Trichters außerhalb seiner weiteren Öffnung angebracht war, wurde so von der Sekundärstrahlung aus der Substanz allein getroffen, während die primäre Strahlung durch eine kleine Bleischeibe abgeschnitten wurde, die zwischen der Strahlungsquelle und dem Schirm befestigt war. Die sehr kleinen Abmessungen dieser Anordnung waren so gewählt, daß keine α -Teilchen aus der Strahlungsquelle den Schirm treffen konnten, welche unter einem geringeren Winkel als 90° gegen die bestrahlte Substanz, beziehungsweise 60° gegen die

¹ Mitt. Ra. Inst. Nr. 172.

Verh. d. D. Phys. Ges., 5. Jhg., 2, 1924, p. 22, und Mitt. Ra. Inst. Nr. 167.

Atome der Gasfüllung des Apparates gestreut waren. Die letztere war reines Helium unter Atmosphärendruck, ein Gas, welches bei sehr geringem Absorptionsvermögen keine Sekundärstrahlung abgibt und dazu den Vorteil bietet, daß α -Teilchen, welche von seinen Atomen über 60° gestreut werden, eine Restreichweite von weniger als 1 *cm* Luft haben, während die Reichweite der über 90° gestreuten Teilchen Null ist. Das reine Helium wurde uns in entgegenkommender Weise von dem Bureau of Mines in Washington zur Verfügung gestellt.

Weiterhin haben wir von einem verbesserten Mikroskop Gebrauch gemacht, das viel hellere Bilder gibt als das bei unserer ersten Untersuchung benützte. Dieses, aus einem Watson Holoscopic-Objektiv von *n. a.* 0·45 und $f = 16 \text{ mm}$ mit einem Weitwinkelokular von Zeiß kombiniert, gab ein Gesichtsfeld von ungefähr 20 mm^2 , während das neue Mikroskop, welches nach unserer Angabe von der Firma Negretti und Zambra in London konstruiert wurde, ein Watson Holoscopic - Objektiv von *n. a.* = 0·70 und $f = 12 \text{ mm}$ für ein Gesichtsfeld von nur 8—12 mm^2 benützt. Die Frontlinse des Objektivs trägt noch eine konische Verlängerung aus demselben Glase, an deren vordere, plan geschliffene Fläche der Szintillationsschirm mittels einer dünnen Schicht Zedernöl angeklebt wird. Die Bilder, welche diese neue Kombination liefert, sind viel heller als die mit dem älteren Mikroskop erhaltenen, in welchem Szintillationen von α -Teilchen nicht viel stärker erscheinen als die von schnellen H-Teilchen in dem neuen Instrument. Das ist auch eine unerläßliche Bedingung für das Beobachten der sehr schwachen Szintillationen von H-Teilchen unweit des Endes ihrer Reichweite.

Rutherford und Chadwick, die unterdes auch zu einer indirekten Beobachtungsmethode übergegangen sind, haben den erst-erwähnten Weg zur Steigerung der Ausbeute beobachtbarer Teilchen beschritten, indem sie ein Mikroskop mit einem sehr großen Gesichtsfeld benützen. Mit dem Instrument, welches sie in ihrer letzten Veröffentlichung¹ beschreiben, wird eine Schirmfläche von nicht weniger als 50 mm^2 mittels eines Holoscopic-Objektivs beobachtet, wie wir es zuerst benützten, aber wegen seiner ungenügenden Lichtstärke wieder verworfen haben. Die Szintillationen, die durch dieses Mikroskop beobachtet werden, müssen notwendigerweise bedeutend schwächer erscheinen als mit dem von uns benützten neuen Mikroskop, ein Umstand, der es zweifellos erklärt, warum die genannten Autoren von denselben Substanzen eine viel geringere Zahl von Teilchen erhalten wie wir und warum es ihnen bis jetzt nicht gelang, die H-Teilchen von Kohle wahrzunehmen. Tatsächlich geben bei Kohle die größte Zahl der über einen Bereich von nur wenigen Zentimetern beobachtbaren Teilchen sehr lichtschwache Szintillationen, selbst in unserem neuen Mikroskop betrachtet, und können leicht mit einem lichtschwächeren Instrument der Beobachtung entgehen.

¹ Proc. Phys. Soc., London. 1. p. 418.

Die Resultate, zu denen wir mit unserem ersten Apparat, der nach dem gerade beschriebenen Prinzipie gebaut war, gelangten, bewiesen, daß Kohle als Paraffin oder reinster Graphit eine beträchtliche Anzahl von H-Teilchen abgibt, von welchen nur wenige eine größere Reichweite als 5 *cm* Luft haben.¹ Wir fanden auch, daß Beryllium als Oxyd und Silizium als Element H-Teilchen von noch größerer Maximalreichweite, 9 bis 11 *cm* Luft, bei Winkeln, die etwas größer als 90° sind, abgeben, was eine neuerliche Bestätigung unserer nach der direkten Beobachtungsmethode früher erhaltenen Resultate ist.²

Man sieht aus Tabelle I, daß die Reichweiten der gestreuten α -Teilchen noch mehr herabgesetzt werden, wenn der Winkel über 90° gesteigert wird und dasselbe geschieht, nach Rutherford's Theorie, mit ihrer Anzahl. Um die Untersuchung der Atomtrümmer bis zu möglichst kleinen Reichweiten zu erstrecken, habe ich die Methode weiter entwickelt, so daß man nun imstande ist, Teilchen zu beobachten, die aus den bombardierten Substanzen unter Winkeln von nahezu 180° gegen die Richtung der Primärstrahlung ausgeschleudert werden — das sind die nahezu retrograden Teilchen. Ein zweiter Gesichtspunkt war, mittels dieser »retrograden« Methode auch die primären α -Teilchen zu untersuchen, die unter ebenso großem Winkel durch den Kern des zertrümmerbaren Elements gestreut werden. Diese Teilchen, welche nahezu Zentralstöße gegen den in Frage kommenden Kern ausführen und ihm ein Maximum an Impuls und an Energie übertragen, mögen auch als die Ursache seiner Zertrümmerung angesehen werden.

Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch einen Apparat, der zu diesem Zwecke gebaut wurde und jetzt noch benützt wird. *A* ist ein Gefäß aus Messing, 4 *cm* im Durchmesser und 5 *cm* hoch, in zwei Hälften geteilt, welche mittels zwei aufeinander geschliffenen Flanschen luftdicht schließen. Das Präparat, in der Figur schwarz gezeichnet, ist ein flacher Ring aus Invar, der zirka 1 *mm* dick ist und 8 *mm* inneren, beziehungsweise 12 *mm* äußeren Durchmesser hat. Der Ring ist nur an seiner oberen Fläche nach der Kondensationsmethode aktiviert, die, vom Autor entwickelt,³ mehrere Vorteile gegenüber der früher benützten elektrischen Aktivierungsmethode besitzt. Die von dem Ring nach oben geschleuderten α -Teilchen treffen auf eine Scheibe *S* der zu untersuchenden Substanz, die durch einen Träger in zentraler Lage gehalten wird. Durch Drehung des Metallschliffes *B* kann sie durch eine gleich große Scheibe aus einer anderen Substanz ersetzt werden, welche an demselben Träger befestigt ist. Die Sekundärteilchen, welche senkrecht nach unten von der Substanz

¹ Mitt. Ra. Inst. 163. Diese Berichte, 133, 149, 1924, auch Brief die »Nature«, 26. April 1924.

² Mitt. Ra. Inst. 160. Diese Berichte, II a, Bd. 132, p. 299, 1923, auch »Nature«, 15. September und 10. November 1923.

³ Mitt. Ra. Inst. 155. Diese Berichte, II a, Bd. 132, p. 1923. Mitt. Ra. Inst. 166. Diese Berichte, II a, Bd. 132, p. 229, 1924.

ausgeschleudert werden, fliegen durch einen zentralen Kanal in dem Bleiblock *L*, auf dem auch das Präparat ruht und treffen auf einen Zinksulfidschirm *Z*, der über ein Loch im Boden des Gefäßes gekittet ist. In den Strahlengang der Sekundärteilchen können durch Drehung der Schiffe *C* und *D* Glimmerblättchen eingeschoben werden, die über Löcher in fächerförmigen Metallblechen angekittet sind, welche zwischen Blei und dem Messingboden gleiten. Auf diese Weise kann die Absorption, durch welche die Atomrümpfer von der Substanz hindurchdringen müssen, bevor sie den Schirm erreichen,

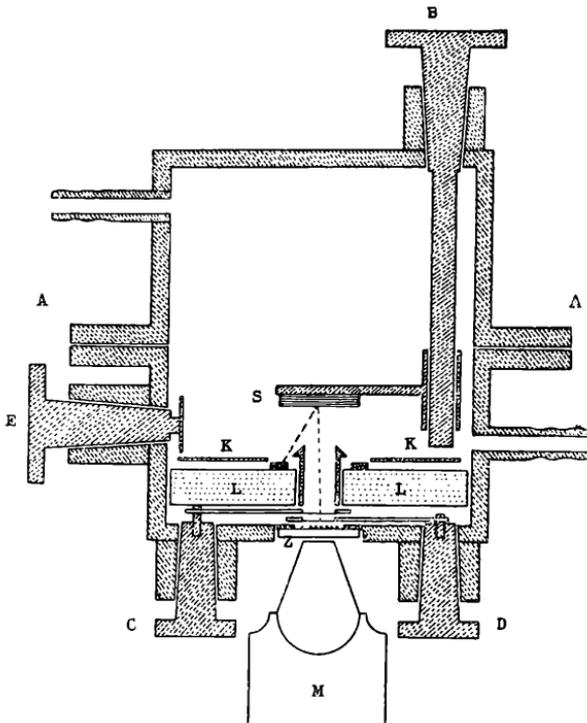


Fig. 1.

in Stufen von ungefähr 1 *cm* Luftäquivalent von einem Minimalwert von 0,3 *cm* bis zu einem Maximalwert von 8 *cm* verändert werden. Schließlich kann, um nachprüfen zu können, ob Szintillationen durch irgend eine radioaktive Verseuchung der Substanz oder der Gefäßwände hervorgerufen, vorhanden sind, die Primärstrahlung von dem Präparat zur Substanz jederzeit durch Drehung des Schiffes *E* abgeschnitten werden, indem mittelst einer in der Figur nicht dargestellten Zahnradübertragung die Scheerenblende *K* geschlossen wird, so daß sie das Präparat vollkommen zudeckt.

Der aktivierte Ring ist sehr sorgfältig von Emanation durch minutenlanges Rotglühen im Vakuum nach Abwaschen in Alkohol

befreit und, nachdem seine Oberfläche leicht poliert wurde, um möglicherweise vorfindliche Teile des aktiven Niederschlages, die nicht sehr fest am Metall haften, zu entfernen, wird er in dem Apparat angebracht und in der eben beschriebenen Weise zugedeckt. Hierauf wird Helium bei Atmosphärendruck durch den Apparat und durch mit Kokoskohle gefüllte U-Röhren, die in flüssige Luft tauchen, so lange zirkuliert, bis alle Luft, die sich anfangs im Apparat befand, absorbiert und das Gefäß mit reinem Helium gefüllt ist. Es ist ratsam, jede bedeutende Druckschwankung im Apparat nach Anbringung des Präparates wegen gesteigerter Verseuchungsgefahr zu vermeiden.

Die Zählung der Szintillationen, die im Mikroskop, von dem man in der Figur nur die Frontlinse M sieht, sichtbar sind, wird bei verschiedenen Absorptionswerten, gewöhnlich mit abwechselnd zwei Substanzen, vorgenommen, wobei gelegentlich Kontrollzählungen mit zugedecktem Präparat eingeschaltet werden. In der Regel war die Zahl der bei den Kontrollzählungen vorkommenden Szintillationen sehr gering und überstieg selten 1 oder 2 pro Zählperiode. Da die Beanspruchung der Augen bei der Zählung von H-Teilchen, besonders von solchen kürzerer Restreichweite, sehr groß ist, wurden im allgemeinen die Zählungen nicht über mehr als 30 Sekunden ausgedehnt, wobei drei bis fünf Zähler wechselten. Die γ -Strahlung des Ra-C-Präparates, welches gewöhnlich eine Anfangsaktivität von 10 bis 15 Milligrammäquivalent Radium hatte, ruft ein diffuses Leuchten des Schirmes hervor, das anscheinend durch sekundäre β - und γ -Strahlung sowie durch eine schwache Luminiszenz aus den bestrahlten Substanzen noch verstärkt wurde. Dieses Leuchten klingt in demselben Verhältnis wie die Aktivität des Präparates ab und infolgedessen wurden sehr schwache Szintillationen, welche am Anfang des Versuches unsichtbar waren, gegen den dunklen Hintergrund bei vorgeschrittener Zählung sichtbar. Deswegen haben die von aufeinanderfolgenden Zählungen erhaltenen Zahlen bei derselben Absorptionsstufe stets die Tendenz mit der Zeit zu wachsen. Die meisten bis jetzt gemachten Zählungen können daher nur so in Rechnung gezogen werden, daß sie die untere Grenze für die Zahl der tatsächlich vorhandenen Teilchen liefern, da ja die Schlußzählungen mit stark abgeklungenem Präparat, welche relativ die höchsten Werte liefern, aus anderen Gründen notwendigerweise weniger genau sind. Die gefundenen Zahlen sind nichtsdestoweniger erheblich größer als die von Rutherford und Chadwick mit denselben Substanzen nach der rechtwinkeligen Methode erhaltenen, für welche Diskrepanz eine Erklärung oben gegeben wurde. So ist die Zahl der H-Teilchen aus Aluminium (in Gestalt dicker Folien), die mit unserer Versuchsanordnung unter einem Winkel von 150° und bei einer Minimalabsorption von 0.3 cm beobachtbar ist, mindestens zwanzig pro Million der primären α -Teilchen aus Radium C, berechnet unter der gewöhnlichen Annahme, daß die H-Teilchen von den explodierenden

Kernen gleichmäßig nach allen Richtungen ausgeschleudert werden.¹ Tatsächlich müßte die genaue Anzahl merklich höher sein, da die schwächsten Szintillationen, welche nur gegen Ende der Meßreihe erscheinen, wenn die Aktivität des Präparates für genaue Zählungen zu gering ist, nicht miteingerechnet sind. Nach der letzten Angabe von Rutherford und Chadwick² soll die Zahl der H-Teilchen aus Aluminium, die in ihrem Mikroskop sichtbare Szintillationen ergeben, etwa vier pro Million der Ra-C- α -Teilchen sein.

Ein Problem von besonderer Wichtigkeit ist die Unterscheidung der Szintillationen von H- und α -Teilchen. Das Verhältnis der Helligkeit zwischen den beiden Szintillationsgattungen, das vom Autor und Frau Dr. Kara-Michailova³ mittels einer photometrischen Methode bestimmt wurde, ist sehr beträchtlich, solange die α -Teilchen mindestens 18 *mm* vom Ende ihrer Reichweite entfernt sind. Innerhalb dieser Grenze beginnt die Helligkeit ihrer Szintillationen abzunehmen und in den letzten Millimetern ihrer Bahn fällt sie sehr rasch ab. Bei H-Teilchen scheint ein ähnlicher Abfall in einem viel früheren Punkt zu beginnen, indem die Abnahme an Helligkeit schon mehrere Zentimeter vor ihrem beobachtbaren Reichweitenende eintritt. Sind Teilchen beider Arten und von verschiedenen Geschwindigkeiten vorhanden, so ist eine vollständige Unterscheidung nicht leicht ausführbar, da die Szintillationen von α -Teilchen mit einer Restreichweite von 3 bis 4 *mm* und weniger leicht für solche von H-Teilchen gehalten werden können. Aber auch mit nahezu homogenen Teilchen ist es zuweilen schwer, auf einen Blick zu entscheiden, zu welcher Gattung sie gehören, wenn gleichzeitig ein merklich diffuses Leuchten des Schirmes, wie es durch β -, γ -Strahlung hervorgerufen wird, vorhanden ist. Dies sind Schwierigkeiten, welche der subjektiven Methode zur Trennung der beiden Szintillationsgattungen anhaften. Um sie möglichst zu beseitigen, habe ich eine Quelle von natürlichen H-Teilchen in den Apparat selbst eingebaut, indem ich eines der absorbierenden Glimmerblättchen durch ein starkes Poloniumpräparat ersetzt habe, welches mit dünnem Paraffin und Glimmer von einer Gesamtabsorption gedeckt war, die genügte, um alle α -Teilchen aus dem Polonium zurückzuhalten, während die durch sie erzeugten H-Teilchen hindurchgelangen können. Bringt man diese H-Strahlenquelle direkt vor den Schirm (durch Drehen des Schliffes C in der Figur), so kann die Helligkeit von Szintillationen natürlicher H-Teilchen unter den jeweiligen Versuchsbedingungen jeden Moment mit dieser der Szintillationen verglichen werden, die von den unbekanntem Teilchen aus der bestrahlten Substanz herrühren. Auch

¹ Es ist jedenfalls aus theoretischen Erwägungen nicht unwahrscheinlich, daß die Richtung nach hinten bevorzugt wird, wodurch die Berechnung der Gesamtzahl der H-Teilchen aus der Zahl retrograd beobachteter Teilchen zu hohe Werte ergeben müßte.

² Proc. Phys. Soc. 1. c., p. 422.

³ Mitt. Ra. Inst. 164. Diese Berichte, IIa, 133, p. 163, 1924.

wird zuweilen bei sehr verschiedenen Szintillationen eine Art von photometrischer Analyse vorgenommen, indem Zählungen der Szintillationen mit und ohne Graugläser bekannter Absorption im Mikroskop gemacht werden, durch welche die Szintillationen von natürlichen H-Teilchen fast unsichtbar werden, während solche von α -Teilchen von mehr als 4 *mm* Restreichweite noch leicht gezählt werden können.

Mit einem Apparat, der dem in Fig. 1 gezeichneten ähnlich ist, wurde Kohle im Frühling 1924 neuerlich untersucht, als Diamantpulver und als reiner Achesongraphit, und die H-Teilchen, die unter Winkeln von 120 bis 150° zu der einfallenden α -Strahlung ausgeschleudert wurden, wurden gezählt und mit denen aus Aluminium als Referenzsubstanz verglichen. Die Versuchsergebnisse mit Kohlenstoff werde ich in einer anderen Arbeit näher beschreiben. Wider Erwartung fand ich keine α -Teilchen, welche von Aluminium um 150° reflektiert werden, auch dann nicht, wenn die Absorption im Strahlengang der Sekundärteilchen auf 0·3 *cm* Luftäquivalent herabgesetzt wurde. Die Zahl der α -Teilchen, welche unter diesen Bedingungen beobachtet wurden, war tatsächlich sehr klein, nur ein Bruchteil der Anzahl der H-Teilchen, welche gleichzeitig gezählt wurden, und daher von der Größenordnung der natürlichen Szintillationen. Diese vorläufigen Ergebnisse führten mich zu der Anschauung, daß die zentralen Stöße zwischen den α -Teilchen und den Kernen zertrümmerbarer Atome nicht elastisch sind und daß das α -Teilchen in den Kern selbst hineindringt und darin eventuell für eine kurze Zeit oder dauernd haften bleibt.¹

Als meine Versuche im Herbst 1924 wieder aufgenommen wurden, wurde dieser Punkt einer besonderen Untersuchung unterworfen. Eine beträchtliche Anzahl von Versuchen wurden mit Aluminium und Kohle zugleich gemacht, in einigen derselben wurde eine dieser Substanzen gegen Magnesium ausgetauscht. In keinem Falle konnte eine nennenswerte Anzahl von reflektierten α -Teilchen von diesen drei Substanzen unter den gegebenen Versuchsbedingungen (restliche Reichweite der α -Teilchen beim Auftreffen auf die Substanz 6·8 *cm* Luftäquivalent, Minimalabsorption im Strahlengang der Sekundärteilchen 0·3 *cm*, mit dem Streuwinkel 150°, der Apparat mit Helium bei Atmosphärendruck gefüllt) gefunden werden.

Die wenigen α -Teilchen, welche tatsächlich beobachtet wurden, waren an Anzahl denen, welche mit zugedecktem Präparat gezählt wurden, gleich, ungefähr 3 bis 4 pro Minute; während die Zahl der bei der Minimalabsorption gezählten H-Teilchen eine sechs- bis zehnfache der α -Teilchen war. Dieses Verhältnis hätte umgekehrt sein müssen, falls das α -Teilchen, welches die Zertrümmerung hervor-

¹ Es ist von Interesse, zu vermerken, daß diese Ansicht auch von Sir Ernest Rutherford (Proc. Phys. Soc., London, August 15th 1924) als möglich angesehen wird, allerdings ohne Angabe, auf welche experimentelle Befunde diese Ansicht begründet wird.

ruft, nach Herausschleudern eines H-Teilchens reflektiert worden wäre. Die Ergebnisse einer Meßreihe mit Aluminium und Magnesium

Tabelle II.

Absorption in <i>cm</i> Luft	Magnesium H-Teilchen pro Min. u. <i>mg</i>	Aluminium H-Teilchen pro Min. u. <i>mg</i>
0·3	2·0	4·5
8·4	1·1	1·4
0·3	3·0	8·0
4·6	2·3	3·2
2·4	2·2	3·2
0·3	5·4	8·3

sind in Tabelle II ersichtlich, wo die Mittelwerte für die beobachteten Teilchenzahlen bei jeder Absorption in derselben Reihenfolge, wie sie gezählt wurden, eingetragen sind. Die Zunahme der Zahlen, welche auf eine Minute und ein Milligrammäquivalent Aktivität des Radium-C-Präparates bezogen sind, im Laufe des Versuches, wobei

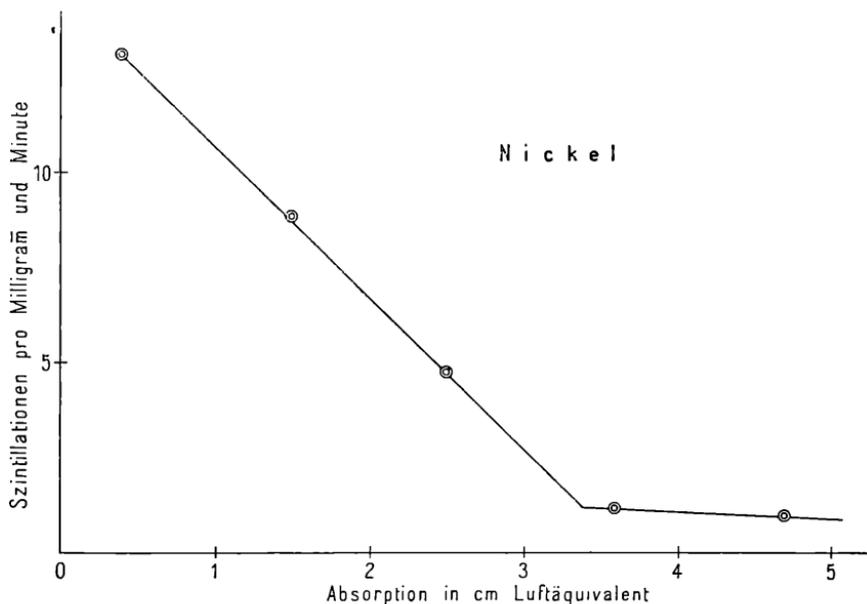


Fig.

die Aktivität des Präparates wie auch das diffuse Leuchten des Schirmes mit fortschreitender Zeit abnehmen, ist sehr ausgesprochen.

Zur Kontrolle wurden dieselben Substanzen nochmals in einem dem in Fig. 1 dargestellten ähnlichen, aber asymmetrisch konstruiertem Apparat untersucht. Hierbei befand sich das scheiben-

förmige Präparat in gleicher Höhe mit dem Schirm, doch in einiger Entfernung davon, so daß es mit einem sehr dünnen Zelluloidfilm (mit einem Luftäquivalent von weniger als 2 *mm*) zugedeckt werden konnte. Die Möglichkeit einer Verseuchung der zu untersuchenden Substanzen durch Aggregatrückstoß aus dem Präparat ist somit ausgeschlossen. Die Anzahl der in diesem Apparate von denselben Metallen abgegebenen H-Teilchen ist in Tabelle III eingetragen. Die Absolutwerte sind aber mit den in Tabelle II angegebenen nicht vergleichbar, und zwar wegen der verschiedenen Größe und Form der benützten Apparate. Die Gesamtzahl von α -Teilchen, welche während dieser Versuche beobachtet wurde, ist nur ein Bruchteil der Zahl der H-Teilchen, weniger als ein α -Teilchen pro Minute.

Tabelle III.

Absorption in <i>cm</i> Luft	Magnesium		Aluminium	
	H-Teilchen pro Min. u. <i>mg</i>		H-Teilchen pro Min. u. <i>mg</i>	
0·4	3·0		5·6	
2·5	2·7		3·7	
7·0	1·4		1·7	
0·4	4·5		6·2	

Zum Vergleich wurden auch zwei schwerere Elemente, Nickel und Kupfer, bezüglich der über 150° gestreuten α -Teilchen untersucht. Tabelle IV enthält die Versuchsergebnisse, welche mit Nickel in dem in Fig. 1 skizzierten Apparate erhalten wurden. In diesem Falle war das diffuse Leuchten des Schirmes, wie es durch die Sekundärstrahlung vom Metall hervorgerufen wird, sehr beträchtlich und deshalb wurden H- und α -Teilchen zusammengezählt. Immerhin gab es eine beträchtliche Zahl von H-Teilchen auch bei den niedrigeren Absorptionen und bei den zwei höchsten Absorptionen, die angewendet wurden, ergab sich eine kleine und praktisch konstante Anzahl von Szintillationen des H-Typus. Die Absorptionskurve in Fig. 2, die die Zahl der Teilchen bei verschiedenen Absorptionsstufen angibt, zeigt einen praktisch geradlinigen Abfall der Anzahl mit steigender Absorption bis zu etwa 3·5 *cm* Luftäquivalent, wo die Kurve einen scharfen Knick hat. Die wenigen Teilchen, die bei noch höheren Absorptionen sichtbar werden, sind offenbar H-Teilchen. Ein α -Teilchen, das durch einen elastischen Zusammenstoß mit dem Kerne eines Nickelatoms um 150° abgelenkt wird, sollte eine Abnahme seiner Restreichweite von 6·8 auf 4·7 *cm* erleiden.

Im selben Apparat, Fig. 1, wurde auch Kupfer untersucht, das ungefähr die gleiche Anzahl α -Teilchen wie Nickel bei der Minimalabsorption ergab (14 anstatt 13 pro Milligrammäquivalent und Minute). Auch die Absorptionskurve zeigt einen geradlinigen Verlauf. Die Zahl der H-Teilchen war bei Kupfer allerdings merkbar größer als bei Nickel. Tabelle V gibt die Messungsergebnisse, wie sie mit einem Stück Kupferfolie erhalten wurden, das von den okkludierten Gasen

durch langandauerndes Erhitzen im Vakuum befreit worden war und dann in dem modifizierten Apparate mit einer durch einen

Tabelle IV.

Absorption in <i>cm</i> Luft	Nickel α - und H-Teilchen pro Min.	<i>mg</i>
0.3	13.1	
1.5	8.8	
2.5	4.7	
3.5	1.1	
4.6	0.9	

Zelluloidfilm von 2 *mm* Luftäquivalent bedeckten Quelle untersucht wurde. In diesem Versuche wurden die α - und H-Szintillationen getrennt gezählt. Die betreffenden Kurven für beide Arten von

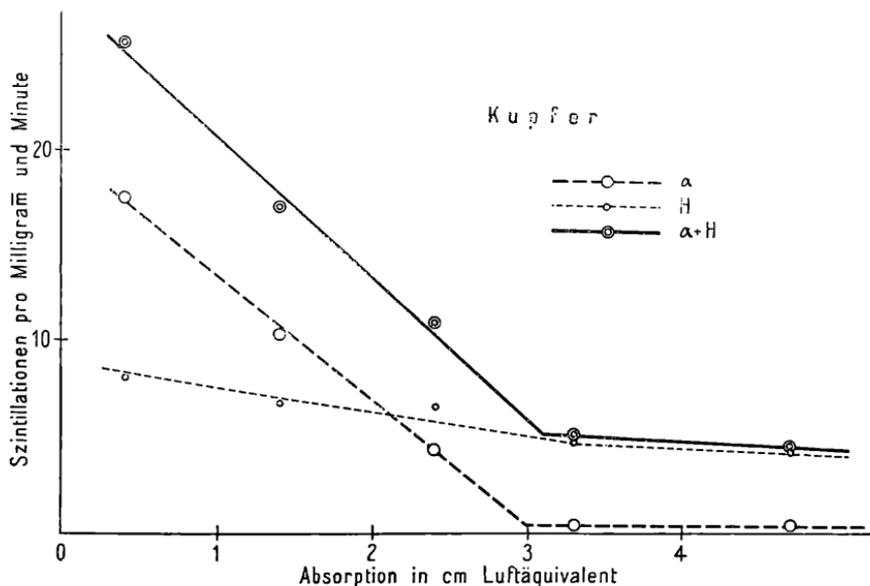


Fig. 3.

Teilchen und für ihre Summe sind in Fig. 3 wiedergegeben. Wieder ist der Abfall an Zahl der α -Teilchen mit wachsender Absorption praktisch geradlinig und zeigt eine Maximalreichweite von etwa 3 *cm* an, während die H-Teilchen offensichtlich eine größere Reichweite haben und einen weniger steilen Abfall ihrer Absorptionskurve.

Tabelle V.

Absorption in <i>cm</i> Luft	Kupfer Teilchen pro Min. u. <i>mg</i>		
	α	H	$\alpha + H$
0.4	17.5	8.1	25.6
1.4	10.3	6.7	17.0
2.4	4.3	6.5	10.8
3.2	0.3	4.7	5.0
4.7	0.3	4.1	4.4

Diskussion der Versuchsergebnisse.

Aus den Experimenten, wie sie in dieser Arbeit beschrieben sind, geht hervor, daß an den Atomkernen dreier chemischen Elemente, die als zertrümmerbar erwiesen sind, das sind Kohle, Aluminium und Magnesium, keine α -Teilchen aus Radium C um 150° gestreut werden, zumindest keine mit einer Restreichweite, die 0.7 cm Luft übersteigt.¹ Man kann daher nicht annehmen, daß die Zusammenstöße der α -Teilchen mit den in Frage kommenden Atomkernen elastisch erfolgen und es scheint plausibel, anzunehmen, daß das α -Teilchen in den Kern eindringt und gleichzeitig, oder möglicherweise nach einer gewissen Frist, die Zertrümmerung hervorruft. Die große Zahl der H-Teilchen, die beobachtet wurden, wie auch die eben besprochene Abwesenheit von reflektierten α -Teilchen scheint darauf hinzuweisen, daß alle α -Teilchen, die einen nahezu zentralen Stoß gegen den Kern ausführen, eine Zertrümmerung hervorrufen, bei der ein, oder möglicherweise mehrere, H-Teilchen von dem synthetisierten System (α -Teilchen plus Atomkern) herausgeschleudert werden.

Bei zwei schwereren Elementen, Nickel und Kupfer, die ich auch untersuchte, wurden α -Teilchen, welche um 150° reflektiert sind, in beträchtlicher Anzahl beobachtet, doch zeigte es sich, daß ihre Maximalreichweite, die nach dem Gesetze für elastische Zusammenstöße 4.7 cm bei Nickel und 4.6 cm bei Kupfer hätten sein sollen (unter den gegebenen Versuchsbedingungen), deutlich geringer ist, und zwar 3.5 cm , beziehungsweise 3 cm . Ferner wurde bei Kupfer eine beträchtliche Anzahl von H-Teilchen beobachtet, sowohl bei niedrigeren als bei höheren Absorptionswerten, die offenbar aus zertrümmerten Kupferatomen herrühren. Auch bei Nickel wurden H-Teilchen beobachtet, aber die Möglichkeit einer Zertrümmerung ist bei diesem Metalle weniger gesichert. Wenn die letzterwähnten Resultate durch die im Gang befindlichen Versuche bestätigt werden, so sind Kupfer und Nickel die ersten Elemente höheren Atomgewichts als Kalium, die sich als zertrümmerbar erwiesen haben.

Eine versuchsweise Erklärung für diese Resultate würde die Annahme sein, daß es für jede Art von Atomen eine bestimmte kritische Geschwindigkeit für ein heranfliegendes α -Teilchen gibt, das einen zentralen Stoß gegen den Kern ausführt. Teilchen mit einer Geschwindigkeit, die diese kritische übersteigt, dringen in den Kern ein, rufen eventuell seine Zertrümmerung hervor und bleiben dabei unreflektiert, während bei Teilchen mit Geschwindigkeiten, die geringer als die kritische sind, der Zusammenstoß elastisch erfolgt und der Kern nach dem Zusammenstoße intakt bleibt. Danach sollten die α -Teilchen von Radium C im Anfange ihrer Bahn eine

¹ Da es immerhin möglich erscheint, daß α -Teilchen von weniger als 4 mm Restreichweite bei den Zählungen mit minimaler Absorption für H-Teilchen gehalten werden könnten, sollte vorsichtshalber die geringste Absorption, bei der die Abwesenheit von reflektierten α -Teilchen definitiv durch diese Experimente festgelegt wurde, mit 0.7 cm Luftäquivalent angegeben werden.

höhere Geschwindigkeit besitzen als die kritischen Werte für Kupfer und Nickel betragen und die beobachteten H-Teilchen würden dann einer Zertrümmerung entstammen, die in der äußersten Oberflächenschicht der bombardierten Metalle erfolgt. Bei einer Tiefe, die einem Absorptionsvermögen von weniger als 1 cm Luft entspricht, sollte die Geschwindigkeit der α -Teilchen schon unter den kritischen Wert gefallen sein, wodurch deren Reflexion mit einer verringerten Reichweite (entsprechend dem Verlust an Geschwindigkeit in der zweimal durchkreuzten Metallschichte) hervorgerufen wird. Ist diese Erklärung korrekt, so mag das Fehlen von reflektierten α -Teilchen oder andererseits auch ihr abnormer Verlust an restlicher Reichweite als Anzeichen für Zertrümmerbarkeit angesehen werden.

Eine andere Erklärung würde die sein, anzunehmen, daß die Stöße gegen die Atomkerne im allgemeinen quasi — elastisch erfolgen, und zwar in einem ausgesprochenem Maße bei den leichteren Atomen als bei den schwereren. In Fällen, wo die verlorene Energie nicht restlos zur Zertrümmerung verwendet wird, mag sie in irgend einer anderen Form, z. B. als eine bei dem Kernzusammenstoß emittierte durchdringende Strahlung von dem Typus, wie er von Slater¹ untersucht wurde (und neuerdings durch Akiyama² angenommen ward, um die Asymmetrie bei einzelnen gegabelten Nebelbahnen, die von ihm sowie von Blackett³ nach der Wilsonmethode aufgenommen wurden, zu erklären), auftreten.

Um zu entscheiden, welche dieser beiden Erklärungsmöglichkeiten die zutreffende ist, werden in diesem Institute Versuche angestellt, die rückwärts zurückprallenden α -Teilchen aus dünnen Metallfolien zu untersuchen, die mit α -Teilchen verschiedener Anfangsgeschwindigkeiten bombardiert werden. Es wird von beträchtlichem Interesse sein, auch andere Elemente nach α -Teilchen zu untersuchen, die durch ihre Atomkerne über große Winkel gestreut werden, um zu entscheiden, ob Zusammenstöße von elastischer Art mit noch schwereren Elementen auftreten und, wenn es so ist, zu entscheiden, von welchem Atomgewicht an die nach Rutherford berechneten restlichen Reichweiten auftreten mit den schnellsten α -Teilchen, die uns zur Verfügung stehen.

Einige theoretische Überlegungen, die sich aus diesen Resultaten wie auch aus denjenigen Bieler's ergeben, sind in einer zweiten Abhandlung auseinandergesetzt werden.

Zusammenfassung.

Es wird eine neue Methode entwickelt zur Untersuchung der Atomtrümmer, wie sie aus Substanzen unter großem Winkel gegen die auftreffende Strahlung abgegeben worden.⁴

¹ Phil. Mag. Vol. 42, p. 904, 1921.

² Japan. Journ. Physics, Vol. 21, Nr. 6 bis 10, p. 279, 1933.

³ Proc. R. Soc. A., 102, p. 294, 1922.

⁴ Mitt. Ra Inst. 172.

Mittels dieser retrograden Methode wurden die α -Teilchen untersucht, die von fünf verschiedenen Elementen nahezu nach rückwärts reflektiert werden. Bei drei dieser Elemente, die als zertrümmerbar bekannt sind, wurden keine reflektierten α -Teilchen bei Reichweiten beobachtet, die merklich geringer sind als die von der Theorie der elastischen Stöße verlangten. Bei zwei schwereren Elementen, die bis jetzt nicht als zertrümmerbar angenommen wurden, wurden solche Teilchen beobachtet, doch hatten sie eine Reichweite, die bedeutend geringer war als die einem elastischen Stoße entsprechende. Es wurden H-Teilchen aus zertrümmerten Atomen von Nickel und Kupfer gefunden.

Mögliche Erklärungen für die Abwesenheit der reflektierten α -Teilchen, fußend auf der Annahme, daß das α -Teilchen in den Atomkern eindringt, werden ausgeführt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: [133_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Pettersson Hans

Artikel/Article: [Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr. 173. Über die Reflexion von \$\alpha\$ -Teilchen an Atomkernen. 573-588](#)