Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung
Nr. 167

Über die Atomzertrümmerung durch α-Partikeln II

Eine Methode zur Beobachtung der Atomtrümmer von kurzer Reichweite[1]

Von
Gerhard Kirsch und Hans Pettersson

(Mit 2 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Juli 1924)

Bei den bis jetzt beschriebenen Methoden zur Untersuchung über die Atomzertrümmerung gelingt die Trennung der ausgesprengten Atomfragmente von den ungleich viel zahlreicheren, die Zertrümmerung bewirkenden α-Partikeln, durch die größere Reichweite der ersteren. Theoretisch wäre es wohl möglich, mit Radium *C* als Strahlenquellle das Vorhandensein von Fragmenten festzustellen, deren Reichweite 7 *cm* eben übersteigt (mit Thorium *C* 8·6 *cm*), aber technische Schwierigkeiten werden die erwähnte Grenze mehr oder weniger erhöhen. So gelang es zunächst Rutherford und Chadwick bei den meisten von ihnen untersuchten Elementen nicht, Atomtrümmer von kleineren Reichweiten als etwa 30 *cm* zu beobachten.[1] Die Ursache dazu lag in Komplikationen seitens wasserstoffhaltiger Verunreinigungen, aus denen sogenannte »natürliche« *H*-Partikeln von 28 *cm* maximaler Reichweite durch Kerntreffer der α-Partikeln ausgeschleudert werden.

Vermittels einiger von uns beschriebenen Untersuchungsmethoden gelingt es, den Einfluß von natürlichen *H*-Partikeln so weit zu beseitigen, beziehungsweise in Rechnung zu bringen, daß die aus den zertrümmerten Atomen ausgesprengten *H*-Partikeln von mehr als etwa 9 *cm* Reichweite beobachtet werden können.[2] Indessen haben zwei Mitarbeiter von Rutherford mitgeteilt, daß sie aus der Strahlenquelle selbst, d. h. aus Radium *C* eine kleine Zahl von α-Partikeln übernormaler Reichweite 7·5 bis 13·3 *cm* beobachtet haben und dazu noch *H*-Partikeln von einer 13 *cm* übersteigenden Reichweite. Auch aus Thorium *C*, aus Actinium *C*

Erstmalig vorgetragen Februar 1924; siehe Verh. d. Deutschen physikal. Gesellsch. 5, 22, 1924.

[2] E. Rutherford und J. Chadwick, Phil. Mag. Vol 42, p. 809, 1921 und Vol. 44, p. 417, 1922.

G. Kirsch und H. Pettersson, Mitt. des Ra. Institut. Nr. 160; d. Ber. 132, *27*, 1924; Phil. Mag. Vol, 47, p. 500, 1924. Siehe auch Nature Vol. 112, p. 394, 1923.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und aus Polonium sollen ähnliche Partikeln übernormaler Reichweite kommen.

Wäre dieser Befund bestätigt worden, so würde damit die Möglichkeit, Atomtrümmer zu beobachten, einer weitgehenden Beschränkung unterliegen, indem es sowohl für die *H*-Partikeln als auch für die eventuell auftretenden größeren Fragmente schwer zu entscheiden wäre, ob sie tatsächlich aus der bestrahlten Substanz oder aus der Strahlenquelle stammen, sobald ihre Reichweite die von den Verfassern angegebenen Grenzen nicht übersteigt.

Durch eine im Radiuminstitut kürzlich ausgeführte Nachprüfung dieser Befunde darf es aber als festgestellt gelten, daß bei geeignet gewählter Versuchsanordnung, Absorption der normalen α-Partikeln in entgasten Metallfolien anstatt in Luft oder Glimmer, die Zahl der Partikeln von mehr als 9 *cm* Reichweite von beiden Gattungen höchstens einige Prozente von den angeblichen Werten ausmacht.[2] Auch die sehr wenigen Partikeln, welche bei dieser Versuchsanordnung auftreten, lassen sich kaum als solche übernormaler Reichweite auffassen. Die α-Partikeln sind höchstwahrscheinlich solche von normaler Reichweite, welche durch einzelne schwächere Stellen der Metallfolien durchfliegend eine etwas erhöhte Reichweite vortäuschen, währenddem die *H*-Partikeln als »natürliche« *H*-Partikeln aus Spuren von okkludiertem Wasserstoff in den Metallfolien am einfachsten erklärbar sind.

Wenn auch der Einwand gegen die Möglichkeit, Atomfragmente von mehr als 9 *cm* Reichweite wahrzunehmen, wegfällt, so zeigen andrerseits die Versuchsergebnisse, daß schon bei Reichweiten, welche diesen Minimalwert um wenige Zentimeter übersteigen, experimentelle Schwierigkeiten vorkommen, welche das Resultat weniger eindeutig machen. Erstens ist es sehr schwer, genügend dünne Metallfolien zu erhalten, welche vollkommen gleichförmige Dicke besitzen, zweitens ist die Absorption in den bestrahlten Substanzen selbst schwer zu bestimmen, besonders wenn sie pulverförmig sind.

Um die Atomfragmente von noch kürzerer Reichweite als die der zur Zertrümmerung benutzten α-Partikeln beobachten zu können, scheint zunächst nur eine Trennung mittels magnetischer oder elektrischer Ablenkung Erfolg zu versprechen. Dabei muß aber vor allem berücksichtigt werden, daß die sehr große »Steifheit« der fraglichen Partikeln eine genügend vollständige Trennung bedeutend erschweren. Die bei praktisch erreichbaren Präparat-

---

[1] L. F. Bates und J. S. Rogers, Nature. Vol. 112, p. 435, 1923; auch Proc. R. Soc. London A Vol. 105, p. 97, 1924.

[2] D. Pettersson, Mitt. Ra. Inst. Nr. 163, diese Ber. *133*, p. 149, 1924.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

stärken immer relativ kleine Zahl der zertrümmerten Atome einerseits und die Schwierigkeit mit der Feldstärke eine bestimmte Grenze zu überschreiten andrerseits, setzen für das Auflösungsvermögen einer derartigen Trennungsanordnung relativ ungünstige Grenzwerte, solange man nach der Szintillationsmethode beobachtet, wo die Zahl der im Mikroskop sichtbaren Partikeln nicht gern weniger als 10 pro Minute sein darf. Die photographierte Registrierung von den Atomtrümmern stößt wiederum auf Komplikationen seitens der γ-Strahlung vom Präparat, welche eine allgemeine Verschleierung der Platten hervorbringt. Versuche nach dieser Methode werden gegenwärtig vorbereitet, werden aber sicher auf beträchtliche Schwierigkeiten technischer Art stoßen.

Am Anfang dieses Jahres ist es uns jedoch gelungen, eine Beobachtungsmethode zu finden, womit es in einfachster Weise gelingt, Atomfragmente ohne Komplikationen von der Primärstrahlung weit innerhalb der von ihrem »Sperrfeuer« markierten Grenze zu beobachten, wenigstens bei den leichteren Elementen.

Die senkrechte Methode.

Nach den Resultaten von Rutherford und Chadwick fliegen die bei der Atomzertrümmerung ausgesprengten *H*-Partikeln nicht nur nach vorwärts in der Richtung der weiterfliegenden α-Partikeln, sondern auch nach rückwärts, und zwar ist die Reichweite der rückwärtigen Partikeln durchwegs kleiner als die der vorwärtigen. Die erwähnten Verfasser suchen dieses Verhalten durch besondere Annahmen in der Struktur der zertrümmerten Kerne und über den Mechanismus ihres Zerfalles zu erklären, durch die sogenannte »Satellit«-Hypothese.[1] Nach einer abweichenden Erklärungsmöglichkeit, welche einer von uns näher entwickelt hat,[2] der »Explosions«-Hypothese, besteht die Atomzertrümmerung darin, daß durch einen direkten Stoß des α-Partikels gegen den Atomkern die innere Stabilität desselben in einem gewissen Stadium der Kollision so gestört wird, daß ein Fragment, möglicherweise mehrere, explosionsartig ausgeschleudert werden. Nach einer auf Rutherford's und Chadwick's Messungsresultaten begründeten einfachen Berechnung erscheint es wahrscheinlich, daß die Austrittsgeschwindigkeit der Trümmer relativ zum Kern in erster Annäherung unabhängig von ihrer Flugrichtung ist, währenddem die beobachtete Geschwindigkeit sich geometrisch aus ersterer und der Eigengeschwindigkeit des Atomkernes im Moment der Explosion zusammensetzt. Nach der Explosionshypothese sollen auch senkrecht zur Richtung der α-Partikeln Atomtrümmer ausfliegen,

---

E. Rutherford und J. Chadwick, Phil. Mag. Vol. 42, p. 822, 1921.

H. Pettersson, Proc. Phys. Soc. London. Vol. 36, Part. 3, p. 194.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und zwar sollen die nach dieser Richtung beobachteten Geschwindigkeiten der Partikeln in erster Annäherung der wahren Austrittsgeschwindigkeit relativ zum Kern gleichkommen.

Bei der hier im Prinzip zu beschreibenden Methode werden eben die erwähnten, senkrecht zur Flugrichtung der α-Partikeln ausgesandten Fragmente beobachtet. Um das Prinzip zu erläutern, ist in Fig. 1 der erste darnach konstruierte Apparat skizziert. Q ist das Präparat, eine mit Ra C aktivierte Platinspitze, B ist ein Bleiblock, worauf die Spitze ruht, S' ist die zu bestrahlende Substanz, welche mittels Drehung des Schliffes A aus dem

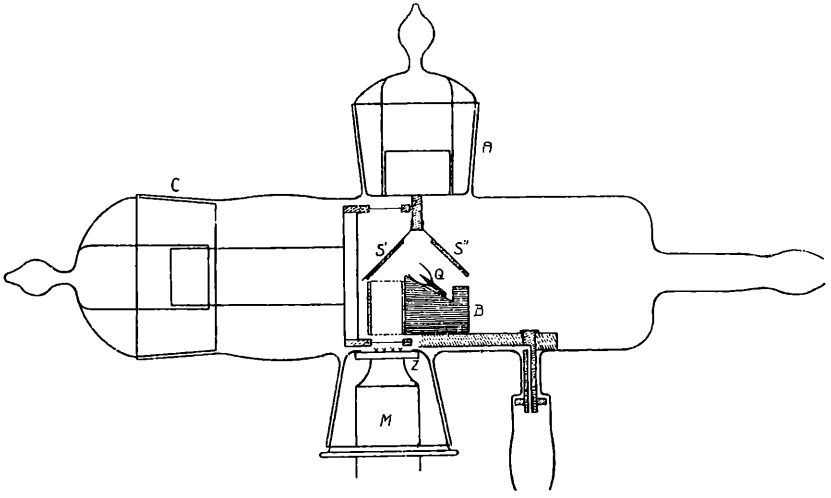

Fig. 1.

Strahlengang entfernt, beziehungsweise gegen eine andere Substanz S'' vertauscht werden kann. Die von S nach unten ausgehenden Atomfragmente fallen auf einen Zinksulfidschirm Z, in einem zweiten Schliff B eingekittet, wo die Szintillationen mit dem Mikroskop M betrachtet werden. Ein dritter drehbarer Schliff C trägt eine Trommel T mit 12 quadratischen Fenstern, wovon eines offen ist, 10 mit Glimmerblättern verschiedener Absorption und eines mit Kupferblech zugesperrt sind, so daß durch Drehung der Trommel verschiedene Absorptionen in die Wege der Atomtrümmer eingeführt werden können. Die ganze Glasapparatur kann mit verschiedenen Gasen von beliebigem Druck gefüllt werden. Mittels in der Figur nicht gezeichneter Blenden wird einerseits ein geeignetes Bündel der Primärstrahlung ausgeblendet, andrerseits wird es verhindert, daß Partikeln, zerstreute oder solche von sekundärer Art, von den Apparatwänden auf den Zinksulfidschirm fallen.

Mit dem beschriebenen Apparat wurden nur Versuche orientierenden Charakters ausgeführt, da dabei vor allem die Ausnutzung

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

des Präparates sich als ungenügend hoch erwies, so daß besonders bei den höheren Absorptionen nur eine sehr kleine Partikelzahl erreicht wurde. Ein Weg, um diesem Nachteil abzuhelfen, ist durch die in Fig. 2 angedeutete Experimentanordnung gegeben. Als Strahlenquelle dient hier eine kleine, mit Ra *C* aktivierte Scheibe Q, währenddem die zu untersuchende Substanz auf die innere Fläche eines Hohlkonus *S* angebracht ist. Die durch ein Verschlußglimmer *s* unten austretenden sekundären Partikeln bilden ersichtlich einen nahezu rechten Winkel mit der Flugrichtung der primären α-Partikel. Um den zur Beobachtung der sekundären Partikeln dienenden Szintillationsschirm vor den Primärpartikeln zu schützen ist zentral in der Anordnung eine kreisrunde Bleiblende *B* angebracht, welche auch zur Absorption der von der Strahlungsquelle ausgehenden β-Strahlung sowie der weichen γ-Strahlung dient. Dank der ringförmigen Ausnützung der Primärstrahlung kommt ein relativ großer Bruchteil von den Primärpartikeln (etwa 25%) zur Ausnützung auf die konische Fläche. Über die mit ähnlichen Anordnungen gemachten Versuche wird in einer weiteren Mitteilung berichtet werden.

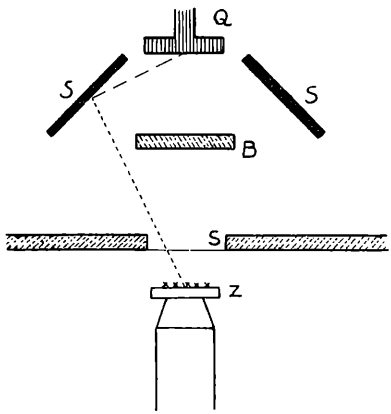

Fig. 2.

Leistungsfähigkeit der rechtwinkeligen Methode.

Bei Beobachtung nach der hier angegebenen Methode wird die Primärstrahlung, d. h. die α-Partikeln vom Ra *C*, zwar größtenteils aber nicht vollständig eliminiert. Nach den Messungen von Geiger und Marsden[1] sowie von anderen, wird bei dem Zusammenstoß mit anderen Atomen ein geringer Bruchteil von den α-Partikeln unter größeren Winkeln abgelenkt. Nach Messungen mit Gold, Aluminium und einigen anderen Metallen nimmt die Zahl der unter einem Winkel φ von der Einfallsrichtung abgelenkten Partikeln bei Zusammenstoß mit einer Substanz von dem Atomgewicht *A* nach der Gleichung

$$n/Q = \frac{C.A}{h.\sin^4 \frac{\varphi}{2}}$$

Phil. Mag. Vol. p. 604, 1915.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ab, wo h die Geschwindigkeit der α-Partikeln bedeutet. Die in 1 mm^2 Goldfolie vom Luftäquivalent 1 Millimeter um 45° vom Einfallswinkel abgelenkten α-Strahlen von der Reichweite 7 *cm* geben auf einer in 1 *cm* Abstand senkrecht zu ihrer Flugrichtung angebrachten Fläche von 1 mm^2 eine Zahl von $3 \cdot 7 \cdot 10^{-7} . N$, wo N die Zahl der im gleichen Zeitintervall von der Strahlungsquelle ausgesandten α-Partikeln bedeutet.

Die nach obiger Gleichung daraus berechnete Zahl der um 90° abgelenkten Partikeln sind für einige Elemente wiedergegeben in der dritten Kolumne von Tabelle 1.

Tabelle I.

Element	Atom. Masse	Zahl der um 90° abgelenkten	Reichweite in *cm* Luft
Lithium . .		$1 \cdot 3 . 10^{-10}$	1·0
Kohlenstoff . .	12	$2 \cdot 8 . 10^{-10}$	
Aluminium . .		$9 \cdot 5 . 10^{-10}$	4·5
Gold . .	196	$186 \cdot 10^{-10}$	6·6

Die Reichweiten der unter 90° abgelenkten Partikeln lassen sich aus der gewöhnlichen Stoßgleichung berechnen,[1] unter Voraussetzung, daß der Stoß elastischer Art ist, und daß die Reichweite der dritten Potenz der Geschwindigkeit proportional ist — vierte Kolumne der Tabelle. Es ergibt sich aus der Tabelle, daß die Reichweite ähnlicher Partikeln relativ sehr klein ist. Für Wasserstoff wie für Helium ist sie gleich Null, für Lithium nur 1·0 *cm*, für Kohlenstoff 2·5 *cm* und noch für Aluminium nur 4·5 *cm*. Bei den schwereren Atomen nähert sie sich der Reichweite der unabgelenkten Partikeln, für Gold z. B. 6·6 *cm*. Es folgt daraus, daß die »senkrechte« Methode die Beobachtung von Atomfragmenten relativ kurzer Reichweite begünstigt, besonders bei den leichtesten Elementen; die in der Tabelle angegebenen Reichweiten entsprechen ja der unteren Grenze für die Reichweite der ohne Komplikationen seitens der Primärstrahlung beobachtbaren Atomtrümmer.

Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß die in der Tabelle angegebenen Reichweiten unter der Voraussetzung berechnet sind, daß der die Ablenkung verursachende Zusammenstoß von elastischem Charakter ist. Bei Zusammenstößen, die zu einer Atomzertrümmerung führen, trifft diese Voraussetzung im allgemeinen nicht zu. Neben der von α-Teilchen selbst getragenen kinetischen Energie E tritt bei diesen Zusammenstößen auch eine dem zertrümmerten Atomkern entstammende Energiemenge, von positivem oder negativem Vorzeichen, mit ins Spiel, welche nach Rutherford's und Chadwick's

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Berechnungen von $+0 \cdot 4\ E$ bei Aluminium zu $-0 \cdot 06\ E$ bei Stickstoff schwankt. Es ist deshalb wohl möglich, daß die von einem zertrümmerten Atom um 90° abgelenkte α-Partikel eine Reichweite haben kann, welche die in der Tabelle angegebene entweder übertrifft oder unterschreitet. Die Untersuchung des weiteren Schicksals, Zahl und Reichweite, von den die Zertrümmerung bewirkenden primären α-Partikeln ist darum eine Aufgabe von besonderem Interesse, die bei der weiteren Ausgestaltung dieser Methode berücksichtigt werden soll.

Zusammenfassung.

Es wird eine Methode angegeben zur Beobachtung der Atomfragmente, welche aus mit α-Partikeln zertrümmerten Atomkernen senkrecht zur Einfallsrichtung der Primärstrahlung entstehen. Zwei verschiedene Ausführungen des entsprechenden Versuchsapparates werden beschrieben und die theoretische Leistungsfähigkeit der Methoden bei verschiedenen Elementen diskutiert.

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): Kirsch Gerhard, Pettersson Hans

Artikel/Article: Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr. 167. Über die Atomzertrümmerung durch a-Partikeln II. Eine Methode zur Beobachtung der Atomtrümmer von kurzer Reichweite. 235-241