

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung
Nr. 176

Zur Methodik der Atomzertrümmerung

Von
Hans Pettersson

(Mit 1 Textfigur)

(Vorgelegt in der Sitzung am 5. Februar 1925)

In einer früheren Mitteilung habe ich eine Anordnung beschrieben zur Beobachtung der Atomfragmente, beziehungsweise der gestreuten α -Teilchen, welche aus mit α -Teilchen bombardierten Substanzen unter bedeutend größeren Winkeln als 90° bis nahezu retrograd gegen die Primärstrahlung hinausfliegen. Bei dieser Anordnung hatte die Strahlungsquelle die Gestalt eines flachen mit RaC einseitig aktivierten Ringes, und die aus einer parallel zur aktivierten Fläche angebrachten Substanzscheibe nahezu senkrecht ausfliegenden Teilchen fallen durch einen im Zentrum des Ringes befindlichen Kanal auf den Szintillationsschirm. Da die Apparatur entweder mit reinem Helium von Atmosphärendruck gefüllt oder auch evakuiert ist, so wird die Absorption im Wege sowohl der primären als der sekundären Teilchen sehr klein. Letztere läßt sich aber durch Einschalten von Glimmerblättern bekannten Absorptionsvermögens stufenweise erhöhen, um die Reichweite der zu untersuchenden Teilchen zu bestimmen. Da letztere die Glimmerblätter beinahe senkrecht durchsetzen, eignet sich der Apparat besonders gut zur Aufnahme von genauen Absorptionskurven. Allerdings ist die relative Ausbeute an Sekundärteilchen gering, von der Größenordnung ein Prozent oder noch kleiner, bedingt durch die geometrischen Verhältnisse und durch die Forderung, daß zwischen Präparat und Schirm genügend große Absorption der γ -Strahlung angebracht sein muß, um das für die Beobachtung von schwachen Szintillationen lästige diffuse Leuchten des Schirmes herabzusetzen.

Für gewisse Zwecke, namentlich um zu entscheiden, ob aus einem zertrümmerten Atomkern ein oder mehrere H-Teilchen gleichzeitig hinausfliegen (multipler Zerfall), ist eine Erhöhung der Ausbeute an Sekundärteilchen erforderlich, d. h. eine Erhöhung des Raumwinkels unter dem von der Substanzscheibe aus der beobachtbare Teil des Szintillationsschirmes erscheint.

Dieser Forderung entspricht die im folgenden zu beschreibende, relativ einfache Anordnung, deren wichtigsten Teile in Fig. 1 schematisch wiedergegeben sind.

Die Strahlungsquelle Q ist ein millimeterdicker Platindraht, dessen konisch zugespitztes Ende mit RaB+C oder ThB+C

aktiviert ist. Die Strahlung von der Spitze fällt durch eine feine Bohrung im Zentrum des Szintillationsschirmes *Z* auf die in sehr kurzem Abstand oberhalb desselben angebrachte Substanz *S*. Letztere, in Gestalt eines dünnen Scheibchens von nur 0.8 — 1.4 *mm* Durchmesser wird in genau zentrischer Lage über der Bohrung von einem Träger gehalten, bestehend aus einer um eine vertikale Achse drehbaren horizontalen Messingplatte *T* mit einem 8 *mm* weiten Loch, in dessen Zentrum, von drei sehr dünnen Speichen getragen, sich das Substanzscheibchen befindet. Die aus dem letzteren austretenden Teilchen fallen zu einem beträchtlichen Teil auf die mit Zinksulfid bedeckte Schirmoberfläche, und die dadurch erzeugten

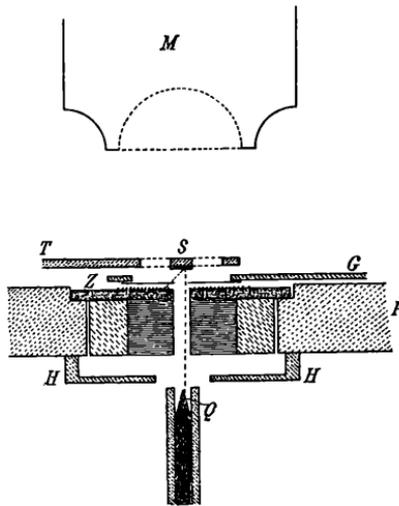


Fig. 1.

Szintillationen werden durch das Mikroskop *M* von oben betrachtet, von dem nur der unterste Teil des Objektivs in der Zeichnung angedeutet ist. Das Mikroskop hat die bei Szintillationszählungen gewöhnliche rechtwinkelig gebogene Form und ist mit einem lichtstarken Objektiv (Watson Holographic von $f = 16$ *mm* und $n. a. = 0.45$) versehen. Da das Substanzscheibchen nahezu in die Brennebene des Objektivs fällt, wird es nur unbedeutend mehr als seine eigene Grundfläche vom Gesichtsfeld verdecken.

Die Geschwindigkeit der Primärteilchen kann durch absorbierende Glimmerblättchen, in dem Messinghalter *H* eingeschoben, beliebig abgeschwächt werden. Andererseits können Glimmerblättchen bekannten Absorptionsvermögens auf einer mit zwölf Löchern versehenen drehbaren Messingplatte *G* gehalten, in den Weg der Sekundärstrahlung, unmittelbar oberhalb der Schirmoberfläche, eingeführt werden. In den Glimmerblättchen ausgestanzte, sehr genau zentrierte Löcher von 0.7 — 1.2 *mm* Durchmesser, gestatten dabei der Primärstrahlung unbehinderten Durchgang.

Die obere Fläche des Schirmes besteht aus einer hochpolierten Platte aus Feinsilber, 1 *mm* dick, auf einem 4 *mm* dicken Messingzylinder befestigt, dessen zentraler Teil durch eingefülltes Blei, zwecks besserer Absorption der γ -Strahlung von der Quelle, ersetzt worden ist. Zwischen Silber und Blei ist ein die zentrale Bohrung zudeckendes Stück dünnsten Aluminiumblattes von 1 *mm* Luftäquivalent angebracht, um das durch Luminiszenz der Strahlungsquelle hervorgerufene Licht aufzufangen. Schließlich sei erwähnt, daß der aktivierte Platindraht mittels eines Schraubenganges vertikal verschiebbar in einer Art Patronenlage angebracht ist und die letztere, sowohl als das Mikroskop, in genau zentrischer Lage von Klemmvorrichtungen festgehalten werden, welche ihrerseits mit der die ganze Anordnung tragenden Messingplatte *P* starr verbunden sind.

Unter der Voraussetzung, daß die Aktivität punktförmig auf der äußersten Spitze des Platindrahtes konzentriert ist, was bei geeignetem Aktivierungsverfahren nahezu zutrifft, wird der Bruchteil *b'* von der gesamten Primärstrahlung, welche die Bohrung im Schirm durchsetzt und somit auf die Substanzscheibchen einfällt, angenähert gegeben durch

$$b' = \frac{h^2}{4l^2}$$

wo *h* der Halbmesser der Bohrung im Schirm bedeutet und *l* der Abstand deren oberen Mündung von der Spitze.

Bei höchster Stellung des Platindrahtes beträgt *l* 7 *mm* und *h* ist bei dem gewöhnlich verwendeten Schirm 0·5 *mm*, so daß $b' = 0\cdot0013$. Für die Ausbeute an Sekundärteilchen, d. h. für den Bruchteil des vollen Raumwinkels, welchen der beobachtbare Teil des Schirmes im Mittel ausmacht, von dem Substanzscheibchen aus gesehen, gilt der angenähert richtige Ausdruck:

$$b'' = \frac{a}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{a^2 + r^2}} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + R^2}} \right)$$

wo *R* und *r* den äußeren und inneren Halbmesser des beobachtbaren (ringförmigen) Gesichtsfeldes bedeuten und *a* den vertikalen Abstand des Substanzscheibchens von der Schirmoberfläche. Mit $R = 3\cdot0$ *mm*, $r = 0\cdot8$ *mm* und $a = 1$ *mm* wird $b'' = 0\cdot23$ oder nahezu ein Viertel. Mit einer feineren Bohrung im Schirm und einem dementsprechend kleineren Substanzscheibchen läßt sich, allerdings auf Kosten der Primärausbeute, die Sekundärausbeute noch höher treiben, bis auf etwa ein Drittel.

Die bei den in Betracht gezogenen Verhältnissen zur Beobachtung gelangenden Teilchen bilden einen Winkel mit der Richtung der Primärstrahlung, welcher für die Mitte des Substanzscheibchens zwischen 110° und 140° schwankt, für dessen Peripherie aber gegen 170° steigt. Durch Vergrößerung des Abstandes *a*

kann der Winkelbereich verkleinert werden, so daß nur die mehr retrograd ausfliegenden Teilchen beobachtet werden.

Zu genauen Aufnahmen von Absorptionskurven eignet sich die Anordnung nicht, wegen der schrägen Durchsetzung der Absorptionsglimmer von den Sekundärteilchen, welche für die in der Peripherie des Gesichtsfeldes auftreffenden Teilchen eine auf das zwei- bis dreifache erhöhte Absorption bewirkt.

Durch getrennte Zählungen über verschiedene ringförmige Zonen des Gesichtsfeldes, mittels ringförmiger Okularblenden ausgeblendet, läßt sich diese Heterogenität der Absorption in Rechnung bringen. Andererseits hat die Anordnung bedeutende Vorteile wegen der hohen Ausbeute an Sekundärteilchen. Mit Präparatstärken, die mit nur 1 bis 2 *mg* Ra äquivalent sind, eine Stärke, welche sich auch bei Aktivierung mit ThB+C unschwer erreichen läßt, kann man die H-Teilchen von z. B. Aluminium sowie von anderen der leichteren Elemente unschwer beobachten. Dabei lassen sich auch die Teilchen kürzester beobachtbarer Reichweite zählen wegen der minimalen Absorption zwischen Substanz und Schirm, ohne daß man mit geschlossenen Gefäßen und in Helium oder im Vakuum arbeitet. Die zu untersuchende Substanz braucht dazu nur die oben angegebene minimale Ausdehnung zu haben. Schließlich bietet die Beobachtung von der Schichtseite des Szintillationsschirmes besonders günstige Bedingungen für das Wahrnehmen von lichtschwachen Szintillationen, da die Intensitätsverluste durch Absorption in der Zinksulfidschicht selbst minimal sind und außerdem den bei Beobachtungen in der Durchsicht entstehende Reflexion an die Glasoberflächen des Schirmes wegfällt. Bei einigermaßen dünner Schicht scheint auch die reflektierende Silberoberfläche erhöhend auf die Lichtintensität zu wirken.

Über die mit dieser Anordnung ausgeführten, zum Teil noch nicht abgeschlossenen Messungen wird in anderem Zusammenhang berichtet werden. Hier seien nur die Ergebnisse von einer der ersten mit dem Apparat gemachten Beobachtungen erwähnt, um seine Leistungsfähigkeit zu erläutern.

Die untersuchte Substanz war Aluminium, als Scheibchen aus dünnem Blech in einem Abstand vom Schirm $a = 1.45 \text{ mm}$ angebracht. Der äußere und innere Radius des sichtbaren Gesichtsfeldes waren $R = 2.3 \text{ mm}$ und $r = 0.8 \text{ mm}$, das Präparat, eine mit ThB+C aktivierte Platinspitze von der mittleren Aktivität 1.05 mg Ra (durch 5 mm Blei gemessen). Die Zahl der pro Sekunde ausgeschleuderten α -Teilchen von 8.6 cm Reichweite wäre also $29 \cdot 10^6$ nach den von A. G. Shenstone und H. Schlundt¹ angegebenen Umrechnungsquotienten und unter der Annahme, daß von 1 g Ra im Gleichgewicht mit seiner Folgeprodukte $3.7 \cdot 10^{10}$ α -Teilchen pro Sekunde emittiert werden. Die Primärausbeute war $b' = 0.001$, die Sekundärausbeute $b'' = 0.17$.

¹ A. G. Shenstone und H. Schlundt, Phil. Mag. Vol. 43, 1038, 1922.

Im Laufe von insgesamt 1060 Sekunden wurden 260 H-Szintillationen und 38 α -Szintillationen gezählt. Von den letzteren trat die überwiegende Mehrzahl nahe dem Rande des Gesichtsfeldes auf, nur 6 α -Teilchen wurden in der zentraleren Hälfte des Gesichtsfeldes gefunden, eine Zahl, die von der Ordnung der »natürlichen« Szintillationen des Schirmes während der Beobachtungszeit ist. Das in meiner früheren oben zitierten Mitteilung erwähnte Resultat, daß von Aluminium im Verhältnis zur Zahl der emittierten H-Teilchen nur sehr wenige α -Teilchen unter größeren Winkeln (um 150°) gestreut werden, wird also durch diese Beobachtungsreihe bestätigt.

Unter den 260 H-Teilchen, welche anscheinend gleichmäßig über das Gesichtsfeld verteilt auftraten, waren 8 Paare, d. h. wirklich oder scheinbar gleichzeitige Szintillationen. Unter der Annahme, daß der untere Grenzwert des noch wahrnehmbaren Zeitintervalls zwischen zwei aufeinander folgenden Szintillationen 0.1 Sekunde beträgt, würden nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung¹ bei dem fraglichen mittleren Zeitintervall von 4 Sekunden unter den 260 Szintillationen zwischen 6 und 7 Paaren erscheinen, was mit dem experimentell gefundenen Wert gut übereinstimmt.

Wenn andererseits von jedem zertrümmerten Aluminiumkern gleichzeitig zwei H-Teilchen hinausfliegen unter voneinander sowie von der Primärstrahlung völlig unabhängigen Flugrichtungen, so würde man erwarten, daß unter den 260 H-Teilchen etwa 40 echte Paare vorkommen müßten, abgesehen von den oben berechneten scheinbaren Paaren.

Aus dem Versuchsergebnisse scheint demnach hervorzugehen, daß bei Aluminium entweder ein multipler Zerfall (zwei oder mehrere aus demselben Kern gleichzeitig freigemachte Protonen von beobachtbarer Reichweite) relativ selten vorkommt oder auch, daß der Winkel zwischen den Flugbahnen ähnlicher Zwillingeilchen nur ausnahmsweise kleinere Werte als etwa 120° annehmen kann.

Für eine Berechnung des Absolutwertes der Ausbeute an H-Teilchen aus Aluminium eignet sich die Versuchsanordnung weniger gut, erstens wegen der Heterogenität der Primärstrahlung der (aus ThC) zu rund $\frac{1}{3}$ aus α -Teilchen von kürzerer Reichweite besteht, zweitens da bei Versuchen mit Aluminium in dickeren Schichten die Zahl der durch Absorption in der Substanz selbst unsichtbar gewordenen, langsameren H-Teilchen, sich zurzeit nicht berechnen läßt. Unter Vernachlässigung letzterwähnter Fehlerquelle und unter der als plausibel erscheinenden Annahme, daß der Effekt eines der langsameren α -Teilchen ein Drittel von dem der schnellen gleichkommt, erhält man als unteren Grenzwert für die Zahl der allseitig austretenden H-Teilchen aus Aluminium, welche von jeder Million α -Teilchen der restlichen Reichweite 7.6 cm freigemacht

¹ Marsden und Barratt, Proc. Phys. Soc., London, Vol. 23, p. 367, 1911 sowie Vol. 24, p. 50, 1913.

Vgl. auch Rutherford, Phil. Mag., Vol. 37, 1919.

werden $n/Q \cdot 10^6 = 40$. Bei der Berechnung dieser Zahl ist erstens angenommen, daß sämtliche auf den beobachteten Teil der Schirmoberfläche fallenden H-Teilchen sichtbare Szintillationen erzeugen, zweitens daß keine von diesen von den Beobachtern übersehen worden sind. Könnten den faktisch vorgekommenen Verlusten an nicht zur Beobachtung gelangenden Teilchen Rechnung getragen werden, so würde unzweifelhaft ein beträchtlich erhöhter Wert für die Ausbeute folgen. Andererseits muß auch betont werden, daß die der Berechnung zugrunde liegende Annahme, daß die H-Teilchen aus zertrümmerten Aluminiumatomen nach allen Richtungen mit gleicher Wahrscheinlichkeit hinausfliegen, zunächst jeder experimentellen Begründung entbehrt. Es ist jedenfalls von Interesse, zu bemerken, daß die oben angegebene, aus mehreren Gründen zu niedrig erscheinende Ausbeute acht- bis zehnmal größer ist, als die von Rutherford und Chadwick in ihrer letzten Veröffentlichung¹ angegebene Zahl, welche anscheinend nach der senkrechten Methode und mit Ra C- α -Teilchen gewonnen wurde.

Schließlich darf erwähnt werden, daß die hier beschriebene Anordnung sich gut eignet auch für die Bestimmung der Zahl von gegen die schweren und mittelschweren Elementen reflektierten α -Teilchen und ihrer Verteilung über die verschiedenen Winkelbereiche.

Da die Apparatur unschwer herzustellen ist und Versuche über Atomzertrümmerung ermöglicht, auch für Forscher, welche nur über relativ kleine Mengen von Radium oder Radiothor verfügen, dürfte sie sich nützlich erweisen bei künftigen Arbeiten auf dem Gebiete der Kernphysik.

Zusammenfassung.

Es wird eine einfache Anordnung beschrieben, welche es ermöglicht, mit Ra C- oder Th C-Präparaten von kleiner Stärke die H-Teilchen aus zertrümmerten Elementen sowie die gegen dieselben reflektierten α -Teilchen zu beobachten, bei großer relativer Ausbeute an solchen Teilchen. Die Verwendbarkeit der Anordnung zu Untersuchungen über die Zahl der von einem zertrümmerten Kern gleichzeitig ausfliegenden H-Teilchen wird durch die Resultate einer Messungsserie mit Aluminium erläutert.

¹ Proc. Phys. Soc., London, Vol. 36, Part 5, p. 422, 1924.

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: 1925

Band/Volume: [134_2a](#)

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

Artikel/Article: [Zur Methodik der Atomzertrümmerung 45-50](#)