Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung
Nr. 225

Die Ausbeutefrage bei Atomzertrümmerungsversuchen

Von

Gerhard Kirsch und Hans Pettersson

(Mit 1 Textfigur)

(Vorgelegt in der Sitzung am 12. Juli 1928)

Bekanntlich wurden auf dem Gebiete der Atomzertrümmerung die meisten Versuche nach der Szintillationsmethode ausgeführt. Erst nachdem E. A. W. Schmidt hier in Wien nachgewiesen hatte, daß auch mit den relativ langsamen Alphateilchen aus Polonium eine beträchtliche Zahl von Atomtrümmern mit überwiegend ganz kurzer Reichweite ausgelöst werden, konnte diese früher für unwirksam gehaltene Substanz anstatt RaC oder ThC als Quelle der Alphastrahlen verwendet werden.[1] Diese Entwicklung ergab nicht nur wesentlich verbesserte Sichtbarkeit bei den Szintillationszählungen, sondern eröffnete auch der Verwendung von anderen Beobachtungsmethoden einen Weg, nämlich der photographischen, der Wilsonmethode sowie der elektrischen Methode mit Zählkammer, welche früher wegen der starken durchdringenden Strahlung aus RaC oder ThC unbrauchbar waren.[2] Die in Wien besonders nach den beiden ersterwähnten Methoden ausgeführten Beobachtungen ergaben eine Stütze für die Resultate der Szintillationsmethode.

Vor kurzem sind zwei Arbeiten von W. Bothe und H. Fränz erschienen, worin über Versuche berichtet wird, Atomtrümmer aus verschiedenen mit Alphateilchen aus Polonium bestrahlten Elementen mittels des elektrischen Spitzenzählers nachzuweisen. In der ersten Arbeit[3] wurde wegen zu geringer Intensität der Strahlungsquelle nur nach der »Vorwärtsmethode« gearbeitet, und zwar bei den meisten der untersuchten Elemente mit negativem Resultat. In der zweiten Arbeit[4] werden außer weiteren Messungen mit einem erheblich stärkeren Po-Präparate nach der Vorwärtsmethode auch Versuche beschrieben, deren Zweck es war, Atomtrümmer nach der von uns zuerst eingeführten Rückwärtsmethode aus einigen

---

1 Mitt. Ra-Inst. 178. Sitzungsber. d. Wiener Ak., *134*, 385, 1925.

2 Die schöne Untersuchungsmethode von P. M. S. Blackett eignet sich wegen der sehr kleinen zur Verwendung gelangenden Intensität der Alphastrahlung nicht für die Sichtbarmachung von Atomtrümmern in größerer Zahl.

3 Zeitschr. f. Phys., *43*, 456, 1927.

4 Zeitschr. f. Phys., *49*, 1, 1928; »Naturwiss.«, *16*, 204, 1928; »Naturwiss.«, *15*, 445, 1927.

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

Elementen nachzuweisen. Die Resultate der letzterwähnten Versuche waren durchwegs negativ. Bei keinem der vier untersuchten Elemente konnte nach Ansicht der Autoren eine sicher faßbare Zahl von Atomtrümmern beobachtet werden. Da die Verfasser jedoch glauben auf Grund dieser Versuche einen Schiedsspruch über die zwischen früheren Ergebnissen in Cambridge und Wien noch bestehenden Diskrepanzen fällen zu können, erscheint eine Nachprüfung der veröffentlichten Versuchsergebnisse und der ihnen gegebenen Deutung von unserer Seite geboten. Dieser Diskussion müssen einige allgemeine Bemerkungen über die Faktoren, welche die Ausbeute von Atomtrümmern beeinflussen, vorausgeschickt werden.

Die Abhängigkeit an Zahl und Reichweite der Atomtrümmer von den Versuchsbedingungen.

Die Zahl und Reichweite der unter gegebenen Versuchsbedingungen zu erwartenden Atomtrümmer ist von Element zu Element verschieden. Schon die frühen Versuche von Rutherford und Chadwick zeigten, daß gewisse Leichtelemente besonders weitreichende Atomtrümmer geben, nämlich fünf Elemente vom Atomgewichtstypus $4n+3$ und daneben auch Stickstoff. Andere Leichtelemente, besonders die mit gerader Atomnummer, geben, insofern ihre Zertrümmerbarkeit festgestellt worden ist, relativ wenig weitreichende Atomtrümmer.

Bei einem bestimmten Element ist die Reichweite der Atomtrümmer sowohl von der Reichweite der zertrümmernden Alphateilchen als von dem Winkel abhängig, welchen die Richtung der Primärstrahlung und der zur Beobachtung gelangenden Sekundärstrahlung einschließen. Beispielsweise gab Aluminium mit schnellen Alphateilchen von $R = 8 \cdot 6$ *cm* noch über die Absorptionsgrenze von 100 *cm* hinaus beobachtbare H-Teilchen. Mit $R = 6 \cdot 0$ *cm* sank die Reichweite der H-Teilchen auf 70 *cm* und mit Alphateilchen von $R = 4 \cdot 9$ *cm* konnten außerhalb der Reichweitengrenze 30 *cm* keine H-Teilchen beobachtet werden. Mit dieser Abnahme an maximaler Reichweite ist naturgemäß auch eine starke Verminderung an Zahl der H-Teilchen, welche bei einer bestimmten Absorption noch gezählt werden können, verbunden. So war die Zahl der H-Teilchen, welche nach den erwähnten Autoren bei der Absorption 40 *cm* aus Aluminium beobachtet wurde für die schnellsten Alphateilchen, $R = 8 \cdot 6$ *cm*, etwa sechsmal größer als für $R = 6 \cdot 0$ *cm*. Diese Abhängigkeit zwischen Reichweite der Atomtrümmer und der sie erzeugenden Alphateilchen ist nach den Erfahrungen in Wien auch bei weiterer Abnahme der Primärreichweite und bei anderen Elementen vorhanden.

Auch vom Winkel ist die maximale Reichweite der Atomtrümmer abhängig und ebenso sind es in hohem Grad die einer

---

[1] Phil. Mag., *42*, p. 809, 1921.

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

bestimmten Absorption entsprechenden Ausbeutezahlen. Nach Rutherford und Chadwick gab Aluminium mit Ra C-Alphateilchen bestrahlt vorwärts gerichtete H-Teilchen von der maximalen Reichweite 90 *cm*, rückwärts gerichtete von nur 70 *cm* und bei Stickstoff war der Unterschied erheblich größer, 40 *cm*, beziehungsweise 18 *cm*. Diese Unterschiede können bei mehreren Elementen nur zum Teil auf die Mitbewegung des Atomkernes im Augenblick des Zerfalls zurückgeführt werden und sind jedenfalls dementsprechend bei den allerleichtesten Elementen viel stärker vorhanden. Eine einfache Rechnung zeigt, daß, wenn man auch nur die Mitbewegung des Atomkernes in Betracht zieht, ein H-Teilchen, welches aus Kohlenstoff mit einem zentral anstoßenden Alphateilchen aus Polonium erregt, vorwärts gerichtet eine Reichweite von 4 *cm* besitzt, bei der entgegengesetzten Emissionsrichtung nur etwa 0·5 *cm* weit reichen würde. Sogar ein Winkelunterschied von nur 30° wie zwischen 90° und 120° und wie er bei verschiedenenen Versuchsanordnungen öfters vorkommt, entspricht einem Reichweitenunterschied von 50% unter denselben Versuchsbedingungen.

Eine für die Diskussion wichtige Folgerung aus diesen Tatsachen ist, daß Ergebnisse von Atomzertrümmerungsversuchen, welche mit Alphateilchen einer bestimmten Geschwindigkeit und unter gewissen Winkelbedingungen ausgeführt wurden, sich nicht ohne weiteres mit solchen vergleichen lassen, bei denen die Versuchsverhältnisse ganz andere waren. So z. B. können die Versuche von Bothe und Fränz mit langsamen Alphateilchen aus Polonium unter einem Winkel von im Mittel 127° weder bezüglich der Reichweite der beobachteten Atomtrümmer noch bezüglich ihrer Zahl mit den Versuchen von Stetter, Schmidt u. a. hier im Institut verglichen werden, bei welchen die Reichweite der Primärstrahlung im allgemeinen wesentlich höher, 6 bis 7 *cm*, und die Winkelbedingungen zum Teil auch recht verschieden waren.

Die nach verschiedenen Methoden hier im Institut ausgeführten Versuche zeigen, daß man mit Polonium als Strahlungsquelle besonders aus den leichteren Elementen sehr kurz reichende Atomtrümmer von rückwärtiger Emissionsrichtung erhält, deren sichere Erfassung bei ungenügender Präparatstärke oder ungünstigen Ausbeuteverhältnissen recht schwierig sein kann. Um auf die relativ kleine in unserem Zählmikroskop beobachtete Schirmfläche eine noch sicher feststellbare Zahl von Szintillationen in einer Zählperiode zu erhalten, waren bei unseren Ausbeuteverhältnissen im allgemeinen 5 bis 7 H-Teilchen pro Million Alphateilchen erforderlich. Bei den viel größeren Zahlen der bei Minimalabsorption beobachteten Teilchen spielt eine derartige Unsicherheit eine untergeordnete Rolle. Bei dem besonders mit Polonium als Strahlungsquelle recht jähen Abfall an Zahl der H-Teilchen war das mit vergrößerter Absorption nicht mehr der Fall. Wir haben deswegen stets den mehr qualitativen Charakter des Verlaufs der Absorptionskurven hervorgehoben und den daraus ermittelten Ausbeuteziffern keine besondere

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

Genauigkeit beigemessen. Dies verhindert aber nicht, daß für die Diskrepanzen zwischen unseren Werten für die Atomtrümmer außerhalb der Reichweite der gestreuten Alphateilchen und den Zahlen von Bothe und Fränz andere Erklärungen gesucht werden müssen.

Die Sichtbarkeit der Betaszintillationen.

In diesem Sinne haben Bothe und Fränz der Meinung Ausdruck gegeben, daß bei den Szintillationszählungen in Wien vielleicht die von individuellen Betateilchen hervorgerufenen Blitze mit der in Wien verwendeten »extrem lichtstarken« Optik beobachtet worden sind und für H-Szintillationen gehalten wurden.[1]

Nun wurden schon von dem Begründer der Szintillationsmethode, E. Regener,[2] Versuche ausgeführt, um die mit individuellen Betateilchen möglicherweise erregten Szintillationen nachzuweisen. Er fand Zinksulfid für diesen Zweck als Szintillationssubstanz unverwendbar wegen seines Nachleuchtens und benutzte anstatt dessen Barium-Platincyanür. Mit einer großen Zahl von Betateilchen, etwa 50 pro Sekunde auf jedem Quadratmillimeter des Schirmes einfallend, konnte er eine »szintillierende Fluoreszenz« des Schirmes beobachten, welche an die mit zahlreichen Alphateilchen erregte Wirkung einigermaßen erinnerte. Von individuellen Betateilchen konnten aber keine Szintillationen beobachtbar gemacht werden. Die bei diesen Versuchen von Regener verwendete Optik scheint an Lichtstärke unserem gewöhnlich verwendeten Zählmikroskop recht ähnlich gewesen zu sein, ein Zeiß-Apochromatobjektiv von n. a. = = 0·65, verglichen mit unserem Watson-Holoskopic von n. a. = 0·70, wobei allerdings unser Zählmikroskop wegen beträchtlicher Größe des Gesichtsfeldes sowie des Austrittsbündels, bis knapp an die physiologisch zulässige Grenze, kaum so gut ausgenützt werden konnte als das von Regener benutzte.[3]

Auch in Wien haben wir wiederholt im Verlauf unserer Untersuchungen mit unserem gewöhnlichen Zählmikroskop und unseren geübtesten Zählern vergebens versucht, die mit Betateilchen verschiedener Geschwindigkeit erzeugten Szintillationen zu beobachten und sind zu dem Resultat gekommen, daß dies jedenfalls mit den von uns verwendeten Hilfsmitteln nicht möglich sein dürfte. Eine wie die von Regener beobachtete, szintillierende Fluoreszenz, d. h. ein nordlichtähnliches Flackern des Schirmhintergrundes haben wir nur mit sehr starken RaC-Präparaten als Strahlungsquelle gefunden, mußten aber immer das mit abnehmender Präparatstärke verbundene

---

[1] Naturwissenschaften, *16*, p. 204, 1928, vgl. unsere Antwort, ebenda, *16*, 463, 1928.

[2] Verh. d. Deutsch. Phys. Ges., *10*, 78, 1908.

[3] Vgl. die Diskussion der für Szintillationszählung verwendete Optik in unserer früheren Mitteilung, Zeitschrift f. Phys., *42*. 641, 1927. Unsere Optik als extrem lichtstark schlechthin zu bezeichnen, ist irreführend, wiewohl sie im Vergleich mit den früher verwendeten Hilfsmitteln in dieser Beziehung einen wesentlichen Fortschritt bedeutet.

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

Aufhören dieses Flackerns abwarten, ehe die gänzlich davon verschiedenen, nadelstichfeinen Szintillationen von den Atomtrümmern in wachsender Anzahl sichtbar wurden.

Abgesehen von diesen negativen Versuchsresultaten, Betaszintillationen zu erfassen, spricht vor allem gegen den Erklärungsversuch, daß die mit den zehn- bis hunderttausendmal stärker betastrahlenden Ra C-Präparaten gefundenen Ausbeutezahlen nicht wesentlich höher waren als die mit Polonium erhaltenen. Daß die Erklärung außerdem nicht auf die in einem stark ablenkenden Magnetfeld ausgeführten massenspektroskopischen Beobachtungen von Stetter bezogen werden kann, geben Bothe und Fränz selbst zu. Über einige in letzter Zeit mit ganz betafreien Poloniumpräparaten in einem starken Magnetfeld ebenfalls ausgeführte Versuche, die rückwärts gerichteten Atomtrümmer aus einigen Leichtelementen zu zählen, soll weiter unten berichtet werden. Die Möglichkeit, daß eine K-Strahlung aus der alphabestrahlten Substanz, die für die Wirkung des Spitzenzählers eine unangenehme Komplikation bedeutet, mit einer im Falle von Aluminium auslösbaren Ionenzahl von zirka hundert Paaren pro Quant, sichtbare Szintillationen verursachen könne, braucht wohl nicht diskutiert zu werden.

Die Eichung des Spitzenzählers.

Um sich davon zu überzeugen, ob ihr Spitzenzähler auf die Atomtrümmer quantitativ reagiert, haben Bothe und Fränz eine Art von Selbsteichung verwendet. In zwei unmittelbar aneinander grenzende Kammern fällt ein schmales Bündel von Teilchen aus einer H-Strahlenquelle. Durch Vergleich der von der zweiten Kammer für sich allein registrierten Teilchen mit den von beiden registrierten, zeitlich koinzidierenden Stößen berechnen sie die mutmaßlich vorhandene Gesamtzahl von Teilchen ebenso wie den Bruchteil davon, den jede Kammer für sich registriert. Es ist klar, daß diese Methode nur dann zum Ziel führen kann, wenn jedem Teilchen eine gleiche Wahrscheinlichkeit registriert zu werden zukommt. Dies setzt aber eine homogene Strahlung voraus, während Bothe und Fränz als Quelle ihrer H-Strahlen Paraffin unter Poloniumalphabestrahlung benützten, und zwar so, daß alle möglichen Reichweiten von 7, beziehungsweise 3 *cm* bis Null vorhanden waren. Unter solchen Bedingungen kann man überhaupt nicht von einer bestimmten Registrierungswahrscheinlichkeit reden und die Vergleichsmethode kann ganz irreführende Resultate geben.[1] Es ist keinesfalls ausgeschlossen, daß über die berechnete »Gesamtausbeute« hinaus ein beträchtlicher Bruchteil oder gar eine Überzahl von H-Teilchen durch die Kammern geflogen sind, ohne von einer von ihnen registriert zu werden. Ein Versuch mit einer

[1] Auf die Unzulänglichkeit dieser Methode der Selbsteichung mit einer geschwindigkeitsheterogenen H-Strahlung ist im Falle der Szintillationsmethode schon früher von uns hingewiesen worden. Zeitschrift f. Phys., *42*, 641, 1927.

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

anderen Methode, z. B. mit der Szintillationsmethode, den elektrischen Zähler auf seinen Wirkungsgrad zu prüfen, scheint nicht ausgeführt worden zu sein.

Wie später gezeigt werden soll, wird die oben ausgesprochene Vermutung, wenigstens im Falle der rückwärts gerichteten Teilchen, wo überwiegend Atomtrümmer von sehr kurzer Reichweite beobachtet werden müssen, durch einen Vergleich mit unseren nach der Szintillationsmethode erhaltenen Versuchsresultaten wesentlich gestärkt. Die öfters geäußerte Meinung, daß der Spitzenzähler wegen seiner hohen Empfindlichkeit alles registriert, ist jedenfalls schon durch diese Selbsteichung im Falle des wasserstoffgefüllten Zählers (gefundener Ausbeutekoeffizient 0·66) widerlegt.

Versuche nach der Vorwärtsmethode.

Die direkte Methode, bei der die nach vorne, d. h. in der Richtung der weiterfliegenden Alphateilchen hinausgeschleuderten Atomtrümmer beobachtet werden, ist historisch die erste und die, welche die einfachsten Versuchsbedingungen und die kleinste Intensität der Strahlungsquelle erfordert. Ihr Hauptmangel ist aber, daß sie nur die Beobachtung von Atomtrümmern relativ großer Reichweite erlaubt. Messungen innerhalb der Reichweite der Alphateilchen selbst sind nach dieser Methode nicht möglich; aber noch bis zum vierfachen Wert dieser Reichweite wird der strenge Nachweis von echten Atomtrümmern durch ein kaum zu vermeidendes Mitauftreten von »natürlichen« H-Teilchen aus Wasserstoffverunreinigungen erschwert. Falls bei Versuchen nach dieser Methode hohe Ausbeutezahlen erhalten werden, deren Absorptionskurve einer mit »natürlichen« H-Teilchen gefundenen ähnelt, so ist die Deutung daß die beobachteten Teilchen größtenteils keine Atomtrümmer sind, naheliegend, besonders, falls die maximale Reichweite mit der für natürliche H-Teilchen zu erwartenden nahe übereinstimmt. Bekanntlich waren es diese Komplikationen seitens der natürlichen H-Strahlen, welche seinerzeit zur Entwicklung der indirekten Methode in der Atomzertrümmerung führten.

In der ersten Veröffentlichung von Bothe und Fränz wurden mangels stärkerer Präparate nur Versuche nach der Vorwärtsmethode ausgeführt. Vier von den untersuchten Elementen ergaben dabei H-Teilchen, und zwar sowohl aus Stickstoff, untersucht als Paracyan, wie Aluminium, solche, deren maximale Reichweite, 16 *cm*, mit der von natürlichen H-Teilchen, erregt mit Alphateilchen aus Polonium, koinzidierte. Magnesium ergab eine um nur wenige Zentimeter kürzere maximale Reichweite und nur Bor gab eine über die erwähnte Grenze von 16 *cm* hinaus beobachtbare Zahl von Teilchen, deren maximale Reichweite etwa 22 *cm* betrug. Nach dem schon angeführten ist die Annahme naheliegend, daß bei diesen Versuchen natürliche H-Teilchen aus Wasserstoff zum beobachteten Effekt wesentlich beigetragen haben. Nur bei Bor erscheinen die Teilchen

mit mehr als 16 *cm* Reichweite als unzweifelhafte Atomtrümmer.

Außer den erwähnten vier Elementen wurde mit derselben Versuchsanordnung noch eine Zahl von anderen Leichtelementen geprüft, und zwar mit durchwegs negativem Resultat. Unter diesen waren auch Fluor, Natrium und Phosphor neben einigen anderen von den Cambridge-Physikern mit positivem Resultat auf Atomtrümmer untersuchten Elementen.[1] Bei den drei erwähnten Grundstoffen ist diese Diskrepanz einigermaßen auffallend, weil dieselben, mit Alphateilchen aus Ra C bestrahlt, neben Aluminium die allerweitreichendsten H-Teilchen ergaben. Auch mit den langsameren Teilchen aus Polonium hätte man bei F, Na und P viel eher ein positives Ergebnis erwartet als bei Stickstoff, nicht zu sprechen von Magnesium, welches Element wegen der relativ kleinen Reichweite seiner Atomtrümmer erst nachträglich in Cambridge als zertrümmerbar gefunden wurde.

Daß mit Kohlenstoff und Sauerstoff unter den angegebenen Versuchsbedingungen kein Effekt gefunden wurde, steht in keinem Widerspruch mit den Wiener Befunden, da hier aus keinem der beiden Elemente mit Alphateilchen aus Polonium Atomtrümmer von einer 6 *cm* übersteigenden Reichweite beobachtet wurden.

Von den in dieser Arbeit gebrachten Resultaten erscheint somit als das einzig sichergestellte, daß aus dem Element Bor die langsamen Alphateilchen von Polonium noch H-Teilchen von beträchtlicher Geschwindigkeit erregen können. Daß dies bei einem anderen Leichtelement auch der Fall ist, wurde schon früher von E. A. W. Schmidt in Wien nachgewiesen, der aus Aluminium mit Polonium als Strahlungsquelle H-Teilchen nach vorne mit mehr als 18 *cm* bis zu über 50 *cm* Reichweite nach der Szintiliationsmethode nachweisen konnte.[2] Innerhalb der Reichweite der natürlichen H-Teilchen wurden die Beobachtungen aus den erwähnten Gründen als unsicher angesehen.

In der letzten Arbeit von Bothe und Fränz werden weitere Versuche nach der Vorwärtsmethode mitgeteilt mit wesentlich höherer Intensität der Strahlungsquelle. Auch hier ergaben sich dieselben vier Elemente als zertrümmerbar. Die maximale Reichweite der mutmaßlichen Atomtrümmer aus Stickstoff fanden sie diesmal zu 17 *cm*. Mit Bor wurde eine Absorptionskurve komplizierter Gestalt erhalten, die auf das Vorkommen von zwei Teilchengruppen verschiedener Reichweite deuten soll, von denen die weiterreichende bei 30 *cm* aufhört. Die Verfasser wollen diese beiden Teilchengruppen auf je eines von den beiden Borisotopen zurückführen. Aluminium und Magnesium gaben wesentlich niedrigere Ausbeutezahlen und flacher verlaufende Absorptionskurven.

---

[1] Zeitschrift f. Phys., *43*, 416, 1927.
[2] Naturwiss., *14*, 620, 1926.

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

Es ist von Interesse, die von Bothe und Fränz bei Bor und bei Aluminium ermittelten Ausbeutezahlen etwas näher zu untersuchen. Aus Paracyan wird eine Ausbeute von 9 H-Teilchen mit einer 10 *cm* übersteigenden Reichweite pro Million Alphateilchen angegeben. Eine Umrechnung auf reinen Stickstoff scheint von den Verfassern nicht ausgeführt worden zu sein und würde diese Ausbeute auf beinahe das Doppelte oder etwa 17 pro Million erhöhen; Stickstoffgehalt von reinem Paracyan zu 54% berechnet. Macht man nun für Stickstoff dieselbe Annahme, wie sie von Chadwick für Aluminium gemacht wird, daß die Alphateilchen bei der Restreichweite 3 *cm* aufhören, H-Teilchen von beobachtbarer Reichweite, also in diesem Fall 10 *cm*, auszulösen, so wäre diese Ausbeutezahl auch auf 1 *cm* Luftäquivalent bezogen und man hätte dann mit Alphastrahlen aus Ra C, wo das Alphateilchen über 4 *cm* von der Weglänge zertrümmerungsfähig wäre, die vierfache Ausbeute zu erwarten, d. h. 36, beziehungsweise 68 pro Million, je nachdem man die Umrechnung auf reinem Stickstoff als ausgeführt voraussetzt oder nicht. Dabei ist allerdings die Annahme gemacht, daß die Alphateilchen von Ra C mit ihrer höheren Geschwindigkeit nicht eine wesentlich größere Zahl von H-Teilchen mit einer 10 *cm* übersteigenden Reichweite pro 1 *cm* Weglänge auslösen als die langsameren Polonium-Alphateilchen.

Bei dieser Ausbeuteberechnung sind die Atomtrümmer von weniger als 10 *cm* Reichweite, deren Vorhandensein in beträchtlicher Zahl aus der Gestalt der Absorptionskurven hervorgeht, gar nicht berücksichtigt worden. Falls dieselben auch in einer Berechnung der Gesamtausbeute, beispielsweise bis zu einer Minimalabsorption von 6 *cm* herab, miteinbegriffen werden könnten, müßten die Zahlen eine wesentliche Steigerung erfahren und schätzungsweise 50 bis 100 pro Million je nach den Voraussetzungen erreichen oder gar übersteigen.

Nimmt man andrerseits die untere Grenze der Reichweite noch zertrümmerungsfähiger Alphateilchen tiefer an z. B. zu 2 *cm* anstatt zu 3 *cm*, so würden die mit Ra C zu erwartenden Ausbeutezahlen eine dementsprechende Reduktion erfahren. Andrerseits wäre dann auch nach einer von Chadwick angeführten Betrachtung über den mutmaßlichen Zusammenhang zwischen einer minimalen Reichweite der zertrümmerungsfähigen Alphateilchen und der von ihnen ausgelösten Atomtrümmer eine beträchtliche Vermehrung der Ausbeute an H-Teilchen von weniger als 10 *cm* vorauszusetzen, deren Vorhandensein auf die mit Ra C zu erwartende Ausbeute, wegen des erwähnten Zusammenhangs zwischen Reichweite der Primär- und der Sekundärstrahlung, einen steigernden Einfluß ausüben müßte. Jedenfalls sieht man, daß aus den Messungen von Bothe und Fränz nach der Vorwärtsmethode eine Ausbeute an schnellen Atomtrümmern aus Stickstoff hervorgeht, welche vollkommen vergleichbar ist mit denen, welche wir bei anderen Leichtelementen gefunden haben, aber nur dann, wenn wir die zahlreichen ganz

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

kurzreichenden Teilchen bei Minimalabsorption der Ausbeuteberechnung zugrunde legten.

Bei Bor ist das Resultat dem bei Stickstoff ganz ähnlich. Als Ausbeute bei einer Minimalabsorption von 10 *cm* findet man bei Bothe und Fränz für dieses Element beinahe 14 H-Teilchen pro Million. Mit den schnelleren Alphateilchen aus Ra C wäre somit eine Ausbeute von 56, beziehungsweise 35 pro Million zu erwarten, je nachdem man die Grenze der Zertrümmerungsfähigkeit bei $R = 3$ *cm* oder bei $R = 2$ *cm* voraussetzt. Dabei ist weder die anscheinend beträchtliche Zahl von Atomtrümmern mit weniger als 10 *cm* Reichweite mitberücksichtigt noch der Zuschuß an weitreichenden Teilchen, welchen sie, mit Ra C erregt, liefern würde. Geht man zuletzt auf die Annahme von Bothe und Fränz ein, daß die beiden Gruppen der H-Teilchen aus Bor je einem von den beiden Borisotopen entstammt, so erhöht sich die Ausbeutezahl für das leichtere, aber nur zu 20% vorhandene B^{10} beträchtlich, besonders falls man, in Analogie mit den früheren Befunden, daß Elemente vom Atomgewichtstypus $4n+3$ die weitreichendsten Atomtrümmer geben, annimmt, daß die weitreichendste Gruppe von 3·5 pro Million und $R = 30$ *cm* dem B^{11} entstammt, die zahlreichere Gruppe von 10 *cm* $< R <$ 16 *cm* dagegen dem B^{10} zukommt mit 10 Teilchen pro Million. Von dem Isotop B^{10} in reiner Form müßte dann eine Ausbeute an H-Teilchen mit mehr als 10 *cm* von 200, beziehungsweise 125 pro Million Alphateilchen aus Ra C erwartet werden, je nachdem man die untere Grenze von zertrümmernder Reichweite bei 3 *cm* oder bei 2 *cm* annimmt.

Würde man die hier angeführten auf Grund der Messungen von Bothe und Fränz nach der Vorwärtsmethode ermittelten Ausbeutezahlen einer Berechnung der Kerndimensionen bei Bor und Stickstoff zugrunde legen, so kämen Werte heraus, die jedenfalls keineswegs die sonst von den Verfassern unterstrichene Übereinstimmung mit den Cambridger Ergebnissen aufweisen würden.

Die einfachste Erklärung für die Beobachtungen von Bothe und Fränz bei Stickstoff und Bor scheint die Annahme zu sein, daß die überwiegende Mehrzahl der von ihnen beobachteten Teilchen aus Stickstoff natürliche H-Teilchen waren, welche einer Wasserstoffverunreinigung der untersuchten Substanz entstammten. Bei Bor gilt dasselbe für die weniger weitreichende Gruppe von Teilchen mit Reichweiten unter 16 *cm*. Diese beiden Substanzen vollständig von Wasserstoff durch Erhitzen zu befreien, dürfte besonders bei dem zersetzbaren Paracyan Schwierigkeiten bereiten. Bei Bor zeigt ein Vergleich zwischen den in der ersten Veröffentlichung nur graphisch wiedergegebenen Absorptionskurven untereinander, daß die Zahl der H-Teilchen mit mehr als 10 *cm* Reichweite bei dieser Gelegenheit nur etwa ein Drittel von der Ausbeute aus Stickstoff betrug, während nach der zweiten Arbeit das Verhältnis umgekehrt, wie 3 2 herauskommt, was den Verdacht, daß die untersuchten Borproben einen beträchtlichen und von Fall

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

zu Fall schwankenden Wasserstoffgehalt besitzen dürften, verstärkt.

Daß mit beiden Elementen wirkliche Atomtrümmer in gewisser Zahl auch bei Absorptionen kleiner als 16 *cm* vorhanden sind, ist bei Bor selbstverständlich, bei Stickstoff wenigstens höchst wahrscheinlich. Nur dürften sie in beiden Fällen von einer größeren Zahl von natürlichen H-Teilchen überlagert sein.

Wir haben diese Beobachtungen von Bothe und Fränz nach der Vorwärtsmethode etwas ausführlicher behandelt, weil sie ein Beispiel geben, wie wichtig es ist, bei Versuchen auf dem Gebiet der Atomzertrümmerung die von früheren Untersuchern hervorgehobenen Komplikationen seitens anderer Strahlungsgattungen, in diesem Fall natürlichen H-Teilchen, zu berücksichtigen.

Versuche nach der Rückwärtsmethode.

Durch den Übergang zu größeren Winkeln zwischen Primär- und Sekundärstrahlung bis zu 150° und Arbeiten in Helium, später in Vakuum gelang es uns, hier in Wien die Untersuchung an Atomtrümmern mit sehr kleiner Absorption in ihrem Weg auszuführen, 0·1 bis 0·2 *cm* Luftäquivalent, und somit auch sehr kurzreichende Teilchen zu beobachten. Schon bei den ersten Versuchen nach dieser Methode fiel die große Zahl der Teilchen bei Minimalabsorption auf, deren sehr lichtschwache Szintillationen auf H-Teilchen kurz vor dem Ende ihrer Reichweite deuteten. Bei mehreren vorher nicht für zertrümmerbar gehaltenen Elementen konnten solche Szintillationen noch außerhalb der Reichweite von gestreuten Alphateilchen in beobachtbaren Zahlen festgestellt werden und bei vier Grundstoffen: Bor, Kohlenstoff, Aluminium und Eisen konnte von Stetter mit seinem Massenspektroskop der strenge Nachweis, daß sie H-Teilchen mit einer dem Wert $e/m = 9650$ entsprechenden elektrisch magnetischen Ablenkung sind, gebracht werden.

Die bei minimaler Absorption gefundenen, kurzweg als »Ausbeute bei Absorption Null«, bezeichnete Zahl von Teilchen erwies sich von Element zu Element im periodischen System zunehmend, während bekanntlich die Zahl der Atomtrümmer größerer Reichweite von einem Element zum anderen beträchtliche Schwankungen aufweist. Wie nach den oben entwickelten Gründen zu erwarten, war die Ausbeute an Atomtrümmern mit einer die der gestreuten Alphateilchen übersteigenden Reichweite bei einem gegebenen Element abhängig von den Versuchsbedingungen, dem Winkel zwischen Primär- und Sekundärstrahlung und der Reichweite der ersteren. Am unabhängigsten davon erwiesen sich die Ausbeutezahlen bei Absorption Null und sie wurden deswegen von uns in erster Reihe angegeben, während, wie schon erwähnt, dem Verlauf der Absorptionskurven bei höheren Absorptionen ein mehr qualitativer Charakter zuerteilt werden mußte.

In diesen Ausbeutezahlen bei Absorption Null war immer eine gewisse Zahl von gestreuten Alphateilchen mit einbegriffen,

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

welche nicht ohne weiteres von den Atomtrümmern gesondert bestimmt werden konnte. Ein Vergleich mit den auf Grund von Rutherford's Streuungstheorie berechneten Zahlen von regelmäßig gestreuten Alphateilchen ergab bei einer Anzahl der untersuchten Elemente ein so großes Überwiegen der beobachteten Teilchen bis zu einer Zehnerpotenz, daß die naheliegendste Annahme die war, sie wenigstens zum größten Teil für Atomtrümmer zu halten. Auf Grund dieses Überwiegens von Atomtrümmern über die mutmaßliche Zahl der gestreuten Alphateilchen wurde hier in Wien seinerzeit auf ein Haftenbleiben des Alphateilchens an dem zertrümmerten Atomkern geschlossen, eine Annahme, welche bekanntlich später durch die Untersuchungen von P. M. S. Blackett nach der Wilson-Methode bei dem Element Stickstoff bestätigt wurde.

In der letzten Arbeit von Bothe und Fränz liegen nun zum erstenmal Beobachtungen von unabhängiger Seite vor, welche nach unserer Deutung diese zuerst in Wien gemachten Beobachtungen bestätigen. Bei sämtlichen von ihnen nach der Rückwärtsmethode untersuchten Elementen finden sie nämlich mit ihrer Zählkammer eine Zahl registrierbarer Stöße, welche die nach der Streuungstheorie zu erwartende Menge von reflektierten Teilchen um ein Vielfaches übertrifft. Nur unterscheidet sich die von ihnen vorgebrachte Deutung dieser Beobachtungen von der unsrigen und ist außerdem verschieden von Fall zu Fall.

Kohlenstoff.

Die Ausbeute an Atomtrümmern bei der Absorption Null ergab sich bei den Wiener Versuchen mit Ra C als Strahlungsquelle zu wenigstens 60 pro Million Alphateilchen, mit Polonium nicht viel weniger, oder etwa 50 pro Million. Wegen der besseren Sichtbarkeit der lichtschwachen Szintillationen im letzteren Falle dürfte der tatsächliche Unterschied nicht unwesentlich größer sein. In beiden Fällen ergaben Zählungen unter besonders günstigen Sichtbarkeitsbedingungen Spitzenwerte, welche die hier angegebenen wesentlich überstiegen.

Die Versuche von Bothe und Fränz ergaben bei Kohlenstoff eine beträchtliche Zahl von Stößen innerhalb der Reichweite der gestreuten Alphateilchen, welche bei der kleinsten untersuchten Absorption die auf Grund der Streuungstheorie nach den Berechnungen der Verfasser zu erwartenden Werte um das Zehnfache übertraf. Nun ist es mit dem Spitzenzähler bekanntlich unmöglich, zu entscheiden, ob die registrierten Stöße einer Alphastrahlung, einer H-Strahlung, Elektronen oder gar einer Wellenstrahlung zuzuschreiben sind. Da mit reinstem Graphit die beiden letzterwähnten Strahlungsarten nicht vorausgesetzt werden können, bleibt nur die Wahl zwischen gestreuten Alphateilchen und wirklichen Atomtrümmern. Bothe und Fränz haben die erstere Deutung vorgezogen

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

wohl wegen der anscheinend guten Übereinstimmung zwischen der theoretisch zu erwartenden maximalen Reichweite von solchen Teilchen und dem von ihnen gefundenen Absorptionswert, wo keine weiteren Stöße mit Sicherheit festgestellt werden.

Nun haben Bothe und Fränz bei ihrer Berechnung der zu erwartenden Zahl von gestreuten Alphateilchen anscheinend den Einfluß der Reichweitenstreuung, des »Straggling«, die sich bekanntlich in den letzten Millimetern der Bahn dieser Teilchen bemerkbar macht und eine beträchtliche Verminderung derselben bewirkt, überhaupt nicht berücksichtigt. Dadurch müßten die theoretischen Absorptionskurven für die Streustrahlen aus Kohlenstoff und anderen Leichtelementen eine nicht unbeträchtliche Verschiebung nach links erfahren, was die erwähnte Übereinstimmung recht fraglich erscheinen läßt. Außerdem bestehen, wie unten bei der Besprechung ihrer Resultate mit Aluminium auseinandergesetzt werden soll, Gründe, anzunehmen, daß sie mit den elektrischen Zählern, sowohl dem argongefüllten als noch mehr mit dem wasserstoffgefüllten eine wesentlich größere Zahl von Teilchen übersehen haben als der oben erwähnten »Selbsteichung« der Zähler entspricht. Schließlich sprechen ihre eigenen Versuchsergebnisse für eine wenn auch relativ kleine und nicht sicher erfaßbare Zahl von Stößen auch außerhalb der maximalen Reichweite der reflektierten Alphateilchen. Dennoch ist es nicht unwichtig, die von Bothe und Fränz als richtig angenommene Erklärung für die zahlreichen Teilchen kurzer Reichweite aus Kohlenstoff etwas näher zu untersuchen.

Abgesehen von den beiden leichtesten Elementen, Wasserstoff und Helium, ist anomale Streuung bisher mit Sicherheit nur bei Aluminium und Magnesium nachgewiesen worden. Theoretisch erklärt man diese Erscheinung am einfachsten aus einer elektrischen Polarisation des Atomkernes unter dem Einfluß des elektrostatischen Feldes des sich nähernden Alphateilchens.[1] Nach dieser Vorstellung wäre bei wachsender Kernnähe zunächst eine unternormale Streuung mit einem Defizit an gestreuten Alphateilchen im Verhältnis zur Theorie zu erwarten, welche zuerst zu einem Minimum der Relativzahl führt und dann wieder zu einem Anwachsen. Erst in sehr großer Nähe vom Kern soll die Streuung wieder normal werden, um sodann schnell zunehmende Übernormalität zu zeigen. Experimentell wurde bei Aluminium von Rutherford und Chadwick sowohl eine minimale Streuung bei einer Reichweite der Alphateilchen von $4 \cdot 9$ *cm* nachgewiesen als auch eine mit schnelleren Teilchen darauf folgende Verminderung des Defizits gegen den theoretischen Sollwert. Wahrscheinlich wäre, nach diesen Versuchsergebnissen zu urteilen, eine Übernormalität der Streuung erst mit unter großen Winkeln gestreuten Alphateilchen von einer 8 *cm* übersteigenden Reichweite zu erwarten.

---

[1] H. Pettersson, Wien. Ber. II a, 133 (Mitt. Ra-Inst. Nr. 172), 1924; Ark. f. Mat. Astr. och Fys. 19 B, Nr. 2, 1925.

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

Nun zeigt schon die große von Bothe und Fränz mit Polonium-Alphateilchen gefundene Zahl von angeblichen Streuteilchen an Kohlenstoff, daß die übernormale Streuung bei diesem Element schon mit Alphateilchen von wesentlich kleineren Reichweiten als der von Polonium anfangen müßte. Weiter unten besprochene, in Wien ausgeführte Versuche zeigen, daß der vorauszusehende Übergang von Unternormalität zur Übernormalität, falls man sich dieser Erklärung anschließt, schon bei $R = 2\,cm$ oder eher noch früher beginnen muß. Außerdem aber beweisen die in Wien gefundenen Ausbeutezahlen an solchen Teilchen mit Ra C als Strahlungsquelle, daß sie — wenn sie auch etwas höher sind als die mit Polonium gefundenen — jedenfalls nicht den überaus rapiden Zuwachs zeigen, wie man ihn nach der Theorie zu erwarten hätte. Die von Bothe und Fränz vorausgesetzte anomale Streuung bei Kohlenstoff müßte also einen ganz eigenartigen Gang mit der Reichweite der Alphateilchen zeigen.

Zur Stützung dieser hypothetischen Anomalie der Streuung bei Kohlenstoff machen Bothe und Fränz einen Vergleich zwischen den Verhältnissen bei diesem Element einerseits und Aluminium andrerseits bei dem von Rutherford und Chadwick eine anomale Streuung nachgewiesen wurde. Zu diesem Zwecke berechnen sie den Perihelabstand, welcher von einem unter 127° abgelenkten Alphateilchen aus Polonium eben erreicht wird und erhalten für Kohlenstoff einen Wert, der nur halb so groß ist[1] wie jener Kernabstand, bei welchem im Falle von Aluminium sowie Magnesium nach Rutherford und Chadwick eine anomale Streuung eben bemerkbar wird.

Um diesem Vergleich einen Sinn zu geben, müßte man allerdings in beiden Fällen denselben Zustand der Anomalität der Streuung zum Ausgangspunkt nehmen, z. B. den Übergang von Unternormalität zur Übernormalität, welcher bei Kohlenstoff für Alphateilchen von der Reichweite $2\,cm$ eintritt, bei Aluminium erst mit Alphateilchen einer berechneten Reichweite von $8\,cm$. Man findet dann für Kohlenstoff einen wesentlich größeren Wert als für Aluminium, nämlich etwa $9 \cdot 2 . 10^{-13}$ gegen $5 \cdot 7 . 10^{-13}\,cm$, was mit dem sonst gewöhnlich angenommenen kompakteren Bau des Kohlenstoffkernes nicht in Einklang gebracht werden kann.

Eine wesentlich einfachere Deutung für die zahlreichen Teilchen aus Kohlenstoff bei minimaler Absorption erscheint nach alledem unsere Behauptung, daß sie H-Teilchen aus zertrümmerten Kohlenstoffatomen sind. Daß theoretische Bedenken gegen die Zertrümmerbarkeit des Kohlenstoffatoms oder des Sauerstoffatoms als »Heliummultipel« etwa auf Grund der Aston'schen Atommassen-

---

[1] Mit dem Coulomb'schen Kraftgesetz und unter Berücksichtigung der Mitbewegung des getroffenen Atomkernes rechnend, findet man für die Perihelabstände bei 127° und für Po-α-Teilchen $5 \cdot 9 . 10^{-13}\,cm$ bei C, $10 \cdot 9 . 10^{-13}\,cm$ bei Al und $20 \cdot 4 . 10^{-13}\,cm$ bei Fe. Die von Bothe und Fränz errechneten Perihelabstände sind wesentlich kleiner.

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

bestimmungen nicht aufrechterhalten werden können, wird von einem von uns in anderem Zusammenhang bewiesen.[1]

Beryllium.

Aus diesem Element wurden in Wien die rückwärts ausfliegenden Atomtrümmer noch kurzreichender und weniger zahlreich gefunden als bei Kohlenstoff, was wegen der kleineren Masse der Atomkerne des ersterwähnten Elementes auch zu erwarten war. Bei der Minimalabsorption von 0·2 *cm* zeigten Zählungen der lichtschwachen Szintillationen ein Verhältnis zur Zahl der bei Kohlenstoff beobachteten von etwa 2 3, also pro Million Alphateilchen gerechnet 30 bis 40. In letzter Zeit, in einem stark ablenkenden Magnetfeld ausgeführte Versuche mit Polonium als Strahlungsquelle bei einem Winkel von 130° zwischen Primär- und Sekundärstrahlung ergaben ähnliche relative Ausbeutezahlen und zeigten außerdem, daß diese mit und ohne Magnetfeld denselben Wert beibehalten. Die beobachteten Szintillationen müssen also entweder von H- oder von Alphateilchen herrühren. Nach der Streuungstheorie sollten unter diesen Versuchsbedingungen höchstens zwei bis drei an Berylliumkernen reflektierte Alphateilchen sichtbar sein, deren maximale Reichweite nur 0·4 *cm* betragen dürfte.

Die Versuchsresultate von Bothe und Fränz wurden wie die unsrigen mit metallischem Beryllium ausgeführt, und zwar von einer Bezugsquelle, der wir auch unser Beryllium verdanken, Siemens & Halske in Berlin. Mit dem argongefüllten Zähler fanden sie eine beträchtliche Zahl von Stößen bei der Minimalabsorption 0·5 *cm*, also jedenfalls außerhalb der Reichweite von an Berylliumkernen gestreuten Alphateilchen. Die entsprechende Ausbeutezahl berechnet sich zu etwa 20 pro Million und nahm bei einer Erhöhung der Absorption um 0·5 *cm* auf etwa 4 pro Million ab, welcher Wert anscheinend bei weiterer Absorptionsvermehrung unverändert blieb.

Als Erklärung für diese zahlreichen Stöße, von denen ihr wasserstoffgefüllter Zähler nur einen Bruchteil registrierte, nehmen die Verfasser teils eine Wellenstrahlung, teils reflektierte Alphateilchen an, beide einer höheratomigen Verunreinigung des Berylliums entstammend, welche angeblich »wenigstens 1%« betragen soll. Abgesehen von unseren Befunden, welche unmöglich in dieser Weise erklärt werden können, erscheint diese Deutung aus quantitativen Gründen kaum haltbar. Ein Vergleich mit den von denselben Autoren bei Aluminium registrierten Stößen, welche sie einer K-Strahlung aus den alphabestrahlten Aluminiumatomen zuschreiben, zeigt, daß unter Berücksichtigung der äußerst kleinen Absorption für diese Strahlung in Beryllium ein Aluminiumgehalt von etwa 10% erforderlich wäre, um den Effekt bei Beryllium zu erklären.

---

[1] H. Pettersson, Zeitschr. f. Phys., *48*, p. 799, 1928, Arkiv Mat. Astr. Fys., Bd. 21 A, Nr. 1, 1928.

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

Reflektierte Alphateilchen in nennenswerter Zahl könnten wiederum bei einer 1% betragenden Verunreinigung nur von einem Element mit sehr hoher Ordnungsnummer stammen, welcher Annahme wiederum von der starken Absorbierbarkeit der Teilchen widersprochen wird.

Wir halten die beobachteten Stöße für eine Wirkung der Atomtrümmer aus Beryllium und sehen in den Abweichungen zwischen den Ergebnissen mit dem argon- und dem wasserstoffgefüllten Zähler einen deutlichen Beweis dafür, daß mit dem letzteren eine beträchtliche Zahl von Atomtrümmern kurzer Reichweite übersehen werden kann. Die bei der Absorption 1 *cm* von Bothe und Fränz gefundene Ausbeute von etwa vier Teilchen pro Million, wenn auch nach unserer Meinung unterschätzt, dürfte dennoch außerhalb der Grenze ihrer Beobachtungsfehler liegen und somit wenigstens als eine qualitative Bestätigung der Zertrümmerbarkeit der Berylliumatome von ihrer Seite gelten.

Aluminium und Eisen.

Auch bei Aluminium und Eisen fanden Bothe mit dem argongefüllten Zähler eine Anzahl Stöße bei kleiner Absorption, welche die Zahl der zu erwartenden Streuteilchen um ein vielfaches überstieg. Aus dem Verlauf der Absorptionskurve und der stärkeren Absorbierbarkeit in Folien aus höheratomigen Elementen schließen sie, daß diese Mehrzahl von Stößen restlos einer Wellenstrahlung aus den beiden Substanzen zuzuschreiben ist und stützen sich wiederum auf die Übereinstimmung zwischen den Registrierungen des wasserstoffgefüllten Zählers mit den von ihnen berechneten theoretischen Absorptionskurven für die normal gestreuten Alphateilchen. Nun beweisen zahlreiche Versuchsserien hier in Wien, daß man auch nach der Szintillationsmethode ein beträchtliches Überwiegen der bei kleinster Absorption 0·2 *cm* beobachtbaren Teilchen aus alphabestrahltem Aluminium gegenüber dem theoretischen Sollwert von Streuteilchen findet. Um den mit dem früher erwähnten Erklärungsversuch von Bothe und Fränz begründeten, immerhin höchst unwahrscheinlichen Einwand, daß ein Teil dieser Szintillationen von Betateilchen verursacht wurde, zu entkräften, haben wir neuerdings mit einer eigens dafür konstruierten Apparatur zum erstenmal mit Polonium erzeugte rückwärts gerichtete Atomtrümmer in einem ablenkenden Magnetfeld untersucht.

B in Fig. 1 ist ein Behälter aus starkem Messing, luftdicht verschlossen und zwischen den Polen eines kräftigen Faraday-Magneten festgeklemmt. Polschuhe *P* von geeigneter Form konzentrieren das Magnetfeld unmittelbar über den Szintillationsschirm *S* so, daß die unter einem mittleren Winkel von 130° gegen die Primärstrahlrichtung auf den Schirm einfallenden Atomtrümmer zuerst ein Magnetfeld von mehreren tausend Gauss durchsetzen müssen. Die Strahlungsquelle *Q* war ein Poloniumpräparat von

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

sehr hohem Reinheitsgrad, durch das Destillationsverfahren von E. Rona und E. A. W. Schmidt[1] auf ein Palladiumscheibchen von 3·5 *mm* Durchmesser konzentriert. Die Alphaaktivität der Strahlungsquelle bei diesen Messungen entsprach der eines Radiumpräparates von 7 *mg*, die Betastrahlung war äußerst gering und wurde unter Abdeckung der Alphastrahlung nach der Ionisationsmethode zu weniger als 10^{-5} elektrostatischen Einheiten

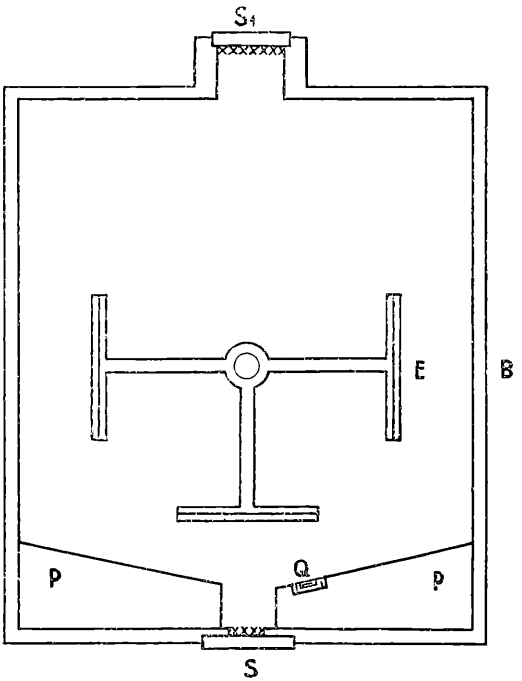

Fig. 1.

Stromwert gemessen. Auf je zehn Millionen vom Präparat ausgeschleuderte Alphateilchen käme somit höchstens ein Betateilchen. Diese Reinheit des Präparates ist eine Gewähr dafür, daß auch ohne ablenkendes Magnetfeld keine primären Betateilchen in meßbarer Zahl zum Szintillationsschirm gelangen könnten. Sekundäre Betateilchen, in der Substanz durch die Alphateilchen ausgelöst, können eine Reichweite von höchstens einem Millimeter Luft besitzen und wären somit auch durch das allerschwächste Magnetfeld ablenkbar.

Das Poloniumpräparat war wie gewöhnlich in einer mit dünnem Glimmer von 0·3 *cm* L. Ä. luftdicht geschlossenen Kapsel

---

[1] E. Rona und E. A. W. Schmidt, Mitt. Ra-Inst. 214; diese Sitzungsberichte *137*, 103, 1928; Z. f. Phys. *48*, 784, 1928.

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

in einer Vertiefung in einem der Polschuhe angebracht. Zur Verhütung von Verseuchung wurde die Kapsel gleichzeitig mit der umgebenden Apparatur aber durch eine getrennte Zuleitung evakuiert. Mittels eines drehbaren Schliffes konnten abwechselnd drei verschiedene Substanzen E vorgeschaltet werden. Ein zweiter Szintillationsschirm S_1, in der entgegengesetzten Wand symmetrisch zum Zählschirm angebracht, gestattete die Prüfung der Substanzscheibe auf Freiheit von Verseuchung im Laufe des Versuches, während die Unverseuchtheit des Zählschirmes selbst durch Wegdrehen sämtlicher Substanzscheibchen ermöglicht wurde.

Mit dieser Anordnung wurden Aluminium, Beryllium und entgaster, sehr reiner Graphit mit und ohne Magnetfeld untersucht. Die beobachteten Zahlen von Teilchen erwiesen sich bei jeder Substanz völlig unabhängig vom Ein- oder Ausschalten des Magnetfeldes. Die Relativzahlen ergaben gute Übereinstimmung mit früheren Beobachtungen für Be, C und Al. Die Absolutzahl, auf 10^6 Alphateilchen bezogen, war für Al etwas über 100 bei einer Absorption von 0·35 *cm* L. Ä.

Die Versuchsanordnung schließt jede andere Erklärung für diese Szintillationen als Alpha- und H-Teilchen aus. Nun zeigen Berechnungen auf Grund der Streuungstheorie in Analogie mit denen von Bothe und Fränz, aber für unsere Versuchsanordnung ausgeführt, daß die Zahl der zu erwartenden Streuteilchen nicht mehr als 40 pro Million bei Aluminium betragen könnte, bei Kohlenstoff höchstens 3 und bei Beryllium 0, selbst wenn man wie diese Autoren den Einfluß des »Straggling« unberücksichtigt läßt.

Wenn man nun bei Kohlenstoff oder sogar bei Beryllium diese Diskrepanz durch eine anomale Streuung der relativ langsamen Alphateilchen aus Polonium erklären will, so ist diese Erklärung bei Aluminium nicht zulässig. Beweisen doch die Versuche der Cambridger Physiker, daß mit Alphateilchen von weniger als 3 *cm* Reichweite die Streuung unter 135° an Aluminium vollkommen normal ist.[1] Es bleibt somit nichts anderes übrig, als diese von uns seit mehr als drei Jahren beobachtete Überzahl von Szintillationen bei alphabestrahltem Aluminium bei Minimalabsorption auf Atomtrümmer zurückzuführen. Wird dies andrerseits zugegeben, so können die viel niedrigeren von Bothe und Fränz mit ihrem wasserstoffgefüllten Zähler gefundenen Ausbeutezahlen bei diesem Element ebenso wie bei Beryllium nur auf eine mangelnde Registrierfähigkeit desselben zurückgeführt werden, eine Folgerung, die auch zur Erklärung der zwischen unseren übrigen Versuchsresultaten und den ihrigen bestehenden Diskrepanzen wesentlich beitragen würde.

Daß dieselben Autoren mit dem argongefüllten Zähler eine gewisse Zahl von Wellenimpulsen bei Aluminium und bei Eisen mitregistriert haben dürften, erscheint nach der Beschreibung ihrer

---

[1] E. Rutherford und J. Chadwick, Phil. Mag. *50*, 889, 1925.

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

Versuche unzweifelhaft. Es gehört dies eben zu den Nachteilen des Spitzenzählers, die z. B. von seinem Erfinder H. Geiger hervorgehoben werden.[1] Daß bei der Eliminierung eines derartigen überlagerten Effektes einer stark absorbierbaren Wellenstrahlung auch eine ähnlich stark absorbierbare Korpuskularstrahlung, in diesem Falle kurzreichende Atomtrümmer, in Mitleidenschaft gezogen werden können, ist ganz begreiflich.

Was den von den Verfassern angestellten Vergleich anbelangt zwischen den mit dem Spitzenzähler gefundenen Ausbeutezahlen für Aluminium bei mehr als 4 *cm* Absorption und dem von ihnen aus Schmidt's Angaben errechneten Wert, so ist folgendes zu bemerken: Es ist durchaus nicht angängig, zur Berechnung der Zahl der mit Po-Alphateilchen erregten Atomtrümmer dieser Reichweite die für abgebremste Alphateilchen aus Ra C angegebenen Absorptionskurven heranzuziehen. Es ist von Schmidt wiederholt ausdrücklich darauf hingewiesen worden, daß das starke Hintergrundsleuchten, hervorgerufen von Ra C-Präparaten, ein Erfassen der äußerst lichtschwachen Szintillationen der kurzreichenden H-Teilchen sehr erschwert. Gerade bei diesen Versuchen mit abgebremsten Alphateilchen, wo relativ starke Strahlungsquellen erforderlich sind, wirkt sich dieser Umstand so aus, daß die kleinsten Absorptionswerte gegenüber den höheren benachteiligt, die Kurven also verflacht sind. Alle quantitativen Angaben beziehen sich jedoch nur auf die bei Minimalabsorption gefundenen Werte, und zwar stellen diese das Ergebnis einer beträchtlichen Zahl von Versuchen bei möglichst günstigen Sichtbarkeitsbedingungen dar. Dagegen wurde insbesondere im Falle des Poloniums ausdrücklich wegen der stark schwankenden Werte auf eine Angabe der Absorptionskurven in den ersten Zentimetern verzichtet, wie ja stets der Verlauf der Absorptionskurven nur zur allgemeinen Charakterisierung des Anstiegs ihrer Zahl zur Minimalabsorption herangezogen wurde. Eine beiläufige Schätzung der Zahl bei 4 *cm* Absorption und Polonium-Alphastrahlung würde sich auf etwa 8 bis 10 pro Million belaufen.

Über das vierte von Bothe und Fränz untersuchte Element, Eisen, können wir uns kurz fassen. Die zahlreichen bei früheren Gelegenheiten aus alphabestrahltem Eisen beobachteten Teilchen kurzer Reichweite müssen ebenso wie ein beträchtlicher Teil der zahlreichen von Bothe und Fränz beobachteten Stöße bei diesem Element auf Atomtrümmer zurückgeführt werden. Die von Holoubek visuell beobachteten und auch photographisch aufgenommenen unzweideutigen H-Strahlenbahnen aus poloniumbestrahltem reinem Eisen müssen wenigstens qualitativ als Beweis für dessen Zertrümmerbarkeit gültig sein. Zuletzt aber können wir uns für Eisen ebenso wie bei Kohlenstoff auf die Versuche von Stetter im Massenspektroskop berufen, welche entscheidende Be-

---

[1] Hdb. d. Physik (Geiger-Scheel) *24*, 142, 1927

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

deutung für die Realität der H-Teilchen aus diesen beiden Elementen besitzen und für die bisher kein anderer Erklärungsversuch unternommen werden konnte.

Es ist sehr zu bedauern, daß Bothe und Fränz keine Versuche mit Bor und Stickstoff nach der Rückwärtsmethode veröffentlicht haben, weil nach ihren Ergebnissen nach der Vorwärtsmethode zu urteilen bei diesen Elementen die Tauglichkeit ihres Zählers am überzeugendsten nachgewiesen werden könnte.

Was schließlich die Frage der Ausbeute an H-Teilchen bei höheren Absorptionen betrifft, so erscheint uns eine Diskussion über diese Frage von sekundärer Bedeutung, so lange für den Wirkungsgrad des Geiger'schen Spitzenzählers keine genaueren Bestimmungen vorliegen. Bei den Versuchen von Holoubek ist die Ausbeuteberechnung dadurch erschwert, daß außer der gewöhnlichen geometrischen Ausbeuteberechnung ein zweiter Ausbeutefaktor bestimmt werden muß, welcher dem Bruchteil eines Expansionszyklus entspricht, während dessen die Atomtrümmerbahnen sichtbar gemacht werden. Dieser Bruchteil ist erfahrungsgemäß recht schwankend und von der Temperatur und den Feuchtigkeitsverhältnissen in der Nebelkammer stark abhängig. Eine nähere Überprüfung der Daten hat nun gezeigt, daß der Gesamtausbeutefaktor bei den veröffentlichten Werten um rund die Hälfte zu niedrig berechnet worden war, so daß die Ausbeutezahlen durch zwei zu dividieren wären. Man käme somit auf Grund der Messungen von Holoubek auf etwa 8 H-Teilchen pro Million bei Beryllium und ungefähr dasselbe bei Kohlenstoff außerhalb der Reichweite der gestreuten Alphateilchen, bei Aluminium und Eisen auf 15 und 11. Diese Werte halten wir auch für die wahrscheinlich richtigen bei den gegebenen Versuchsbedingungen, Winkel = = 90° im Minimum, dem auch die günstigsten Ausbeuteverhältnisse entsprachen. Den größten Teil der Diskrepanzen zwischen diesen Werten und den von Bothe und Fränz als obere Grenzwerte angegebenen möchten wir auf die von uns vermutete mangelnde Registrierfähigkeit ihrer Zählkammer, besonders der wasserstoffgefüllten, zurückführen. Jedenfalls sind wir überzeugt, daß auch Bothe und Fränz bei günstigeren Ausbeuteverhältnissen imstande wären, das Vorhandensein von Atomtrümmern außerhalb der Reichweite von reflektierten Alphateilchen bei Beryllium, Kohlenstoff und Eisen sicherzustellen.

Mit Bothe und Fränz sind wir einig, daß man von der Verwendung der elektrischen Zählmethode auf dem Gebiete der Atomzertrümmerung viel erhoffen kann. Nur glauben wir, daß eine Zählanordnung ohne Stoßionisation, wie sie hier im Institut von Stetter und Ortner mit besonderen Verstärkeranordnungen jetzt ausgearbeitet wird, dem Spitzenzähler vorzuziehen ist, weil die erstere wegen beibehaltener Proportionalität der Ausschläge mit der primär erzeugten Ionisation die Komplikationen seitens Wellen- und Elektronenstrahlung ausschließt, aber außerdem eine weitgehende

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

Unterscheidung zwischen Alpha- und H-Teilchen ermöglicht. Ein zusammenfassender Bericht über diese technisch recht schwierige Arbeit wird in kurzer Zeit veröffentlicht werden.

Zusammenfassung.

Die Frage der Sichtbarkeit von Betaszintillationen mit der bei den Wiener Atomzertrümmerungsversuchen verwendeten Optik wird besprochen mit dem Ergebnis, daß solche als irreführendes Moment nicht in Frage kommen.

Es wird gezeigt, daß die Eichung, welche Bothe und Fränz für ihren Spitzenzähler mit natürlichen H-Strahlen ausgeführt haben, nicht geeignet ist, die wirkliche Empfindlichkeit ihres Instrumentes festzustellen.

Die Ausbeuten dieser Autoren bei Atomzertrümmerungsversuchen nach der Vorwärtsmethode sind zum Teil so hoch, daß sie keinesfalls mit den Cambridger Ergebnissen in Übereinstimmung gebracht werden können. Überdies dürften an ihrem Zustandekommen natürliche H-Teilchen wesentlich beteiligt sein.

Die Versuche von Bothe und Fränz nach der Rückwärtsmethode wurden von ihnen als mit den Wiener Ergebnissen unverträglich gedeutet. Es wird gezeigt, daß die von Fall zu Fall variierenden Erklärungen der von ihnen beobachteten Stoßzahlen zum Teil nicht haltbar, zum Teil nicht zwingend sind, sondern daß ihre Versuchsergebnisse einerseits qualitative Bestätigungen der Wiener Resultate darstellen andrerseits eine weitere Stütze für die Vermutung ergeben, daß der Spitzenzähler in der von ihnen verwendeten Art für H-Teilchen nicht die von ihnen angenommene Empfindlichkeit besitzt.

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: 1928

Band/Volume: 137_2a

Autor(en)/Author(s): Kirsch Gerhard, Pettersson Hans

Artikel/Article: Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung Nr. 225. Die Ausbeutefrage bei Atomzertrümmerungsversuchen. 563-582