

## Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung

Nr. 180

# Über die Reflexion von $\alpha$ -Teilchen an Atomkernen II

Von

Gerhard Kirsch und Hans Pettersson

(Mit 5 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. Juli 1925)

Die in den vorangegangenen Jahren geschaffene Methodik auf dem Gebiete der Atomzertrümmerung hat in der retrograden Methode (Beobachtung der unter bedeutend mehr als einem rechten Winkel zurückprallenden und ausgeschleuderten Teilchen) ein Mittel an die Hand gegeben, die Rutherford'sche Kollisionstheorie in einer Richtung zu prüfen, in der dies seit ihrem Bestande, also seit mehr als einem Jahrzehnt, nie ernstlich versucht wurde, sowie auch unsere früher ausgesprochene Vermutung, daß Zertrümmerbarkeit eine allgemeine Eigenschaft aller Atome sei, in größerem Umfange zu bestätigen. Und zwar wurden nach der genannten Methode im allgemeinen Untersuchungen mehr orientierenden Charakters über insgesamt 36 Elemente aus dem ganzen periodischen System von Bor bis Uran angestellt. Nur einzelne Elemente wurden einer eingehenderen Prüfung unterzogen. Die hier vorgelegten Ergebnisse sind daher, was ihre Sicherheit betrifft, von sehr verschiedenem Charakter. Eine Reihe von Tatsachen kann als sichergestellt angesehen werden. Manche von diesen stehen außer Zweifel, was ihr Vorhandensein betrifft, werden aber in quantitativer Hinsicht erst nach künftigen Untersuchungen als gesichert gelten können. Über die Untersuchungen an einigen Leichtelementen soll später, wenn mehr Material vorliegt, berichtet werden. Diese Mitteilung beschäftigt sich nur mit den mittelschweren und schweren Elementen.

### Apparate.

Bei den vorliegenden Untersuchungen sind hauptsächlich zwei Apparattypen verwendet worden.

Bei der einen (Fig. 1) steht der bestrahlten Substanzfläche  $S$  in 16 mm Abstand gegenüber und parallel zu dieser das Präparat  $P$ , ein Scheibchen von 5 mm Durchmesser, mit  $RaB+C$  oder  $ThB+C$  beschlagen. Ebenfalls der bestrahlten Substanz gegenüber und zu

dieser parallel aber in ein wenig größerem Abstände, befindet sich der Schirm *Z*; Präparat und Schirmloch (Abstand von Mitte zu Mitte = 13 *mm*) sind in den Boden des zylindrischen Apparates eingelassen. Der Schirm ist luftdicht angekittet. Vor demselben spielt innen eine Scheibe *A* mit 12 Löchern, die die Absorptionen für die Sekundärstrahlen trägt und von außen durch einen Metallschliff gedreht werden kann. Das Präparatloch wird durch eine Schraube *B* von außen verschlossen, an die von innen das Präparatscheibchen angeschraubt ist, so daß es in einer Ebene mit dem Gefäßboden liegt. Vor dem Präparat spielt ein Fächer *F*,

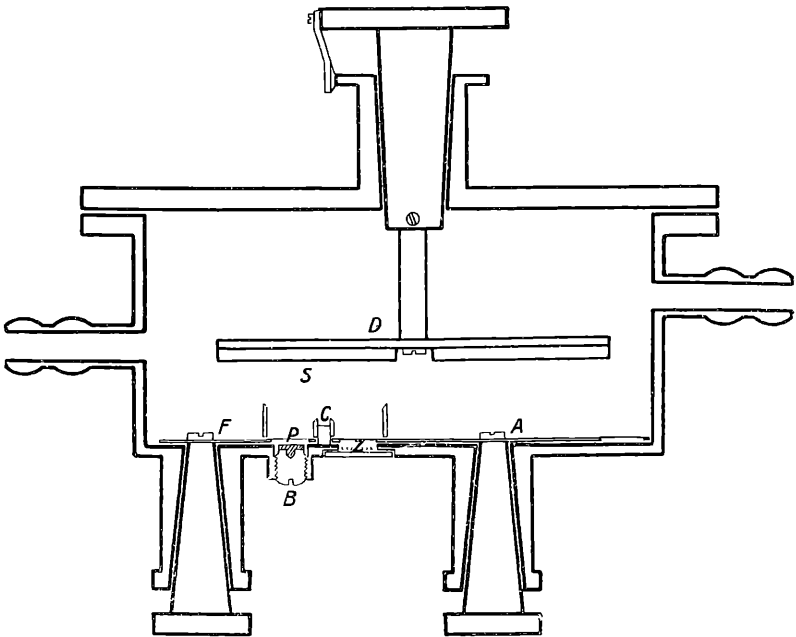


Fig. 1.

ebenfalls von außen durch einen Metallschliff drehbar, mit einigen Löchern für Verseuchungsschutz (Kollodiumhäutchen) sowie Absorptionen zur Abkürzung der Primärstrahlreichweite. Ein undurchlöcherter Teil des Fächers erlaubt die vollständige Abschirmung des Präparates gegen das Innere des Apparates zur Prüfung auf Verseuchung der Substanz. Zwischen Präparat und Schirm ist am Boden des Gefäßes eine kleine Scheidewand *C* befestigt, 2 *mm* dick, die auf jeder Seite eine ringförmige Blende trägt, so daß unter den Blenden gerade genug Raum bleibt für Absorptionsscheibe und Fächer. Diese Ringblenden haben 9 *mm* innere Lichte und an der der Scheidewand zunächst liegenden Stelle  $\bar{o}$ , an der abgewendeten Seite 8 *mm* Höhe; sie sind oben schräg abgeschnitten.

Die gegenüberstehende Substanzfläche ist so groß, daß die ganze Präparatstrahlung, soweit sie nicht abgeblendet ist, ausschließlich auf die zu untersuchende Substanz fällt. Ebenso bewirkt die Schirmblende, daß von jedem Punkte des Schirmes aus keine anderen Apparateile sichtbar sind als die Substanzfläche. Zur Vervollständigung der Apparatebeschreibung erübrigt sich noch anzugeben, daß die Scheibe aus der zu untersuchenden Substanz gemeinsam mit anderen solchen Substanzscheiben, oft z. B. auch Aluminium als Bezugssubstanz, auf einer großen Messingscheibe *D* befestigt ist, so daß durch deren Drehung durch einen Metallschliff im Deckel des Apparates der Reihe nach die drei bis vier verschiedenen Substanzen vor Präparat und Schirm gebracht werden können.

Die Ausbeuteberechnung erfolgt derart, daß die bestrahlte Substanzfläche in eine größere Anzahl Felder geeigneter Form und Größe geteilt wird und für jedes derselben für sich aus Abstand vom Präparat, Neigung gegen den Fahrstrahl zum Präparat usw. die Primärausbeute, d. h. der Bruchteil der allseitigen Strahlung des Präparates, den es empfängt, ermittelt wird. Ebenso ergibt für jedes Feld Neigung des Schirmes gegen den Fahrstrahl zum Schirm, Abstand vom Schirm, Prozentsatz der bestrahlten Schirmfläche usw. die Sekundärausbeute, d. h. den Bruchteil der allseitig verteilt angenommenen Sekundärstrahlung der Substanz, der den Schirm wirklich erreicht. Die Gesamtausbeute, die der Apparat gibt (für ein bestimmtes Gesichtsfeld des Mikroskopes), ist gleich der Summe aller Einzelausbeuten der Teilfelder, und diese sind die Produkte aus der jeweiligen Primär- und Sekundärausbeute. Diese Gesamtausbeute bedeutet den Faktor, mit dem die Gesamtzahl der allseitig vom Präparat ausgeschleuderten Primärteilchen zu multiplizieren ist, um die Sekundärteilchenzahl zu erhalten, die die Schirmfläche erreichen, wenn jeder auf die Substanz fallende Primärstrahl einen Sekundärstrahl erzeugt und die Sekundärstrahlung nach allen Richtungen gleichförmig verteilt ist. Für den praktischen Gebrauch ermittelt man dann ein für allemal die Zahl, mit der bei gegebener Gesichtsfeldgröße und gegebenen Schirmkoeffizienten die Ausbeute pro Milligramm-Äquivalent und Minute zu multiplizieren ist, um die Ausbeute pro Million Primärpartikeln zu erhalten, die wegen größerer Anschaulichkeit gewöhnlich angegeben wird.

Die zweite verwendete Apparattyp<sup>1</sup> ist die mit ringförmigem Präparat. Der erste Vertreter derselben ist bereits früher beschrieben worden,<sup>2</sup> so daß hier nur zur Ergänzung die Verbesserungen an den neueren Vertretern angeführt seien. Die letzte Ausgestaltung, von E. A. W. Schmidt<sup>3</sup> ausgearbeitet, weist bei ziemlicher Vergrößerung der äußeren Dimensionen bedeutend erweiterte

<sup>1</sup> Ein Modell dieser Art ist auch im Deutschen Museum in München (Abt. Chemie) aufgestellt.

<sup>2</sup> H. Pettersson, Diese Ber. Mitt. Ra-Inst. Nr. 173.

<sup>3</sup> E. A. W. Schmidt, Diese Ber. Mitt. Ra-Inst. Nr. 178.

Möglichkeiten für Sekundärabsorptionen auf, welche von 0 bis 9 *cm* um je 0·5 *cm* und von 10 bis 20 *cm* um je 1 *cm* erhöht werden kann. Auch eine ringförmige Primärabsorption ist vorgesehen, die ebenfalls durch einen Metallschliff von außen betätigt werden kann. Sämtliche Schliffköpfe bei beiden Apparatypen sind mit Einschnappvorrichtungen versehen, so daß alle Stellungen von Substanzscheibe und Glimmerscheiben mit Sicherheit raschest auch im Dunkeln eingestellt werden können.

Ferner ist auch hier eine große Substanzscheibe vorgesehen für vier Substanzen im ganzen, um reichlich die aufgenommenen Resultate zu anderen, früher gewonnenen, nach verschiedenen Richtungen in Beziehung bringen zu können.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Apparatypen sind folgende: Der erste Typ mit scheibenförmigem Präparat bietet den Vorteil recht großer Ausbeute. Das Anbringen des Präparates von außen durch das Schraubenloch bringt keinerlei Verseuchungsrisiko mit sich. Wenn der Apparat mit Helium gefüllt verwendet wird, so ist er sofort nach Einbringen des Präparates, das denkbarst rasch und bequem erfolgt, gebrauchsfertig. Dies ist bei Versuchen mit RaC-Präparaten nicht unwichtig. Der durchschnittliche Winkel zwischen Primär- und Sekundärstrahlung beträgt 135°. Ein Nachteil des Apparates ist die Durchsetzung der Absorptionsglimmer unter recht verschiedenen Winkeln, was die Reichweitenbestimmungen unsicherer macht als bei der zweiten Type mit ringförmigem Präparat. Die zweite Type ist daher für präzisere Bestimmungen von Reichweiten geeigneter. Der Winkel zwischen Primär- und Sekundärstrahlrichtung beträgt hier 145° bis 155°, im Mittel 150°. Ein Nachteil beim Arbeiten mit den rasch abklingenden RaC-Präparaten ist, daß der Apparat beim Eingeben des Präparates geöffnet sein muß, so daß man nicht wie beim ersten Typ schon vorher sich des Dichthaltens der Flanschen versichern kann, was beim Arbeiten mit He-Füllung in gleicher Weise ins Gewicht fällt wie beim Arbeiten im Vakuum.

### Optische Hilfsmittel.

Bei den Untersuchungen im vergangenen Winter wurde hie und da, besonders wenn ausschließlich auf Zählung von  $\alpha$ -Teilchen Wert gelegt wurde und ein großes Gesichtsfeld erwünscht war, auch unser erstes Mikroskop verwendet, das einem von Rutherford und Chadwick beschriebenen nachgebildet<sup>1</sup> ist und aus einer Kombination von einem Watson-Holoskopik-Objektiv (n. a. 0·45) mit einem Orthoskopokular ( $f = 20$  *mm*) von Zeiß besteht. Als Verbesserung dieses Systems kann bezeichnet werden, daß es meistens unter Opferung der bisherigen Gesichtsfeldgröße mit einem anderen Zeiß'schen Orthoskopokular ( $f = 12\cdot5$  *mm*) ver-

<sup>1</sup> Phil. Mag., 42, 809, 1921.

wendet wurde. Hauptsächlich aber gelangte unser zweites, bereits beschriebenes Mikroskop zur Verwendung mit einem Watson-Holoscopic-Objektiv von n. a.  $0\cdot70$ ,  $f = 12 \text{ mm}$  und einem fünf-fach vergrößernden Holosokular, das bei einem Gesichtsfeld von 8 bis  $10 \text{ mm}^2$  bedeutend hellere Szintillationen gibt als das ersterwähnte Mikroskop. Nur bei einigen Versuchen am Ende des Jahres benützten wir eine von W. Watson in London gelieferte neue Konstruktion, die unter Verkleinerung des Gesichtsfeldes auf  $2 \text{ mm}$  Durchmesser die Lichtstärke weiter erhöht. Es besteht aus einem Objekt für Ölimmersion von  $16 \text{ mm}$  Brennweite und  $0\cdot80$  n. a. sowie einem linear vergrößerten Huygensokular bei  $40 \text{ cm}$  Tubuslänge. Die gute Reproduzierbarkeit der absoluten Zahlenwerte bei mehreren Versuchen spricht für die Vorzüglichkeit dieses letzten Mikroskoptypus, der allerdings bis jetzt nur bei relativ wenigen Zählungen verwendet worden ist.

### Strahlungsquellen.

Als Präparat gelangte bei unseren Versuchen RaB+C, ThB+C und Polonium zur Verwendung. Die RaB+C-Präparate wurden nach H. Pettersson's Kondensationsmethode<sup>1</sup> hergestellt und hatten, bestimmt aus ihrer  $\gamma$ -Aktivität, Anfangsstärken von 3 bis 25, meistens von zirka 10 Milligrammäquivalent. Sie wurden in Alkohol gewaschen, dann einige Zeit (5 bis 20 Minuten) im Vakuum auf schwacher Rotglut gehalten und, wenn sie dann noch zu stark waren, in manchen Fällen durch Abschmiegeln auf die erwünschte Stärke gebracht. Kräftiges Abwischen hat auf die Präparatstärke keinen merklichen Einfluß. Eine Abweichung von der normalen Abklingungskurve als Folge des Abschmiegeln wurde nicht beobachtet. Abgesehen davon zeigten hier und da Präparate einen etwas rascheren Abfall. 90% der Präparate aber hatten nach 2 bis 3 Stunden bis auf wenige Prozent den theoretisch zu erwartenden Wert bei Annahme von RaB und RaC im Gleichgewicht als Anfangsbedingung.

Die ThB+C-Präparate wurden ausschließlich nach der elektrischen Aktivierungsmethode gemacht. Hierbei wurde für die Ringpräparate ein den speziellen Bedingungen angepaßtes Gefäß verwendet. Die verwendete Präparatstärke, bestimmt aus der  $\gamma$ -Aktivität, betrug höchstens  $1\cdot5$  Milligrammäquivalent.

Polonium gelangte ausschließlich als Ringpräparat zur Verwendung in Stärken von 1000 bis 4000 st. E. entsprechend zirka 1 bis  $3 \text{ mg}$  Ra. Die Herstellung geschah einerseits durch Destillation vonauf Gold elektrolysiertem Po in einem Quarzrohr auf ein ringförmiges Auffangblech aus Platin oder auf Palladium, andererseits

<sup>1</sup> H. Pettersson, Mitt. Ra-Inst. Nr. 155, Diese Ber. IIa, 132, 55, 1922.

G. Ortner und H. Pettersson, Mitt. Ra-Inst. Nr. 166, D. Ber. IIa, 133, 229, 1924.

durch Elektrolyse direkt auf den Goldring, der im Apparat Verwendung fand. Die nicht zu aktivierende Seite war während der Elektrolyse mit Mastix überzogen. Sämtliche Präparate, RaC, ThC oder Po, wurden vor Einbringen in den Apparat nach dem Vorgang von E. A. W. Schmidt<sup>1</sup> mit einem Kollodiumüberzug versehen als Schutzmaßnahme gegen eventuelle Verseuchung durch Aggregatrückstoß, die nach hier im Institut ausgeführten Proben auch im Vakuum unbedingt wirksam ist.

### Zur Durchführung der Versuche.

Ungefähr eine halbe Stunde bevor das Präparat in den Apparat eingesetzt wird, bei Versuchen mit RaC also etwa gleichzeitig mit dem Abbrechen der Aktivierung durch Kondensation, begeben sich die zum Zählen der Szintillationen bestimmten Beobachter (gewöhnlich 3 bis 4 an Zahl) in das an den Versuchsraum anstoßende Dunkelzimmer zur Akkommodation des Auges. Wenn das Präparat aus der weit entfernten Emanationskammer gebracht wird, ist es bereits entemaniiert und gemessen. Es wird sodann mit der Kollodiumhaut versehen und an einem Leuchtschirm darauf geprüft, ob wirklich nur auf der Vorderfläche Aktivität sitzt. Dann wird es zum Einsetzen in den Apparat der zur Bedienung des Apparates im Dunkeln bestimmten Person weitergegeben. Diese besorgt mit dem Protokollführer zusammen das Dichten und Füllen mit Helium oder Evakuieren des Apparates. Nach im ganzen dreiviertel- bis einstündiger Akkommodation beginnt dann die Zählung. In der letzten Zeit war die Anordnung manchmal so, daß das Okular des Zählmikroskopes durch ein Loch in der Tür in das Akkommodationszimmer ragte und derart die Zähler vollständig vom Apparat getrennt waren. Bei der Durchführung der Zählungen ist das Hauptaugenmerk darauf gerichtet, die subjektiven Momente bei den Zählern auszuschalten. Hängt doch der von einem Zähler gesehene Prozentsatz der wirklichen Szintillationen sehr von der absoluten Präparatstärke ab wegen des von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen hervorgerufenen Hintergrundleuchtens, und zwar nicht bei jedem Zähler in gleicher Weise. Unsere Erfahrungen sagen, daß in unseren Apparaten mit abnehmender Präparatstärke die Anzahl gesehener Szintillationen unter sonst gleichen Umständen fortwährend steigt und ein Sattwert, d. h. also ein wirklich quantitatives Erfassen aller  $\alpha$ -Szintillationen erst mit Präparatstärken unter 3 mg erreicht wird. Ob für H-Szintillationen auch mit der besten Optik eine quantitativ vollständige Erfassung je erreicht wurde, erscheint uns fraglich. Diesbezüglich decken sich unsere Erfahrungen mit denen von E. A. W. Schmidt.

Um auch aus den erwähnten Gründen schwankende Ergebnisse verwerten zu können, wurden folgende »Eichmaßnahmen«

---

<sup>1</sup> E. A. W. Schmidt, I.

getroffen: 1. Jeder Zähler zählte 2 bis 3 kurze Zählperioden von 15 bis 20 Sekunden nacheinander bei verschiedenen Apparateinstellungen. Wenn von drei solchen Zählperioden die erste und dritte bei derselben Absorption etc. übereinstimmendes Ergebnis liefern, so gibt eine solche Einschlußmessung gute Relativwerte. 2. Hier und da wird bei zugedektem Präparat ein auf der Substanzscheibe befindliches schwaches Po-Präparat vor den Schirm gedreht und mit und ohne Absorption betrachtet; hierdurch können die bei irgend einer Einstellung gesehenen Szintillationen mit Szintillationen von  $\alpha$ -Teilchen bekannter Reichweite verglichen werden. 3. Ein auf der Absorptionsglimmerscheibe befindlicher H-Standard (stärkeres Po-Präparat mit einem Paraffin-Dünnschnitt und 4 cm Luft-Äquivalent Glimmer bedeckt) kann unmittelbar vor den Schirm gebracht werden und erzeugt dort etwa eine H-Szintillation pro Sekunde. Dies ermöglicht jederzeit die Eichung eines Zählers, was seine Sehfähigkeit für H-Szintillationen betrifft, in qualitativer und quantitativer Hinsicht. 4. Oft wird das Präparat abgeschirmt und auf Verseuchung geprüft, und zwar nicht nur bei der Absorption Null, sondern auch bei höheren Absorptionen, um so auch sich der Unverseuchtheit der Glimmer zu versichern.

Je nach dem speziellen Ziel der einzelnen Untersuchung wurden nur  $\alpha$ -Teilchen oder nur die Summen sämtlicher Partikeln oder  $\alpha$ - und H-Teilchen getrennt gezählt. Nach Schluß der Zählung wird das Präparat gemessen, um das normale Abklingen desselben sicherzustellen. Zuletzt wird die Verminderung der Reichweite durch die Kollodiumschichte bestimmt. Letztere betrug im allgemeinen nur 1 bis 2 mm Luftäquivalent.

## Die Reichweite der an Atomkernen reflektierten Teilchen.

Wie schon in der ersten Mitteilung über die Reflexion von  $\alpha$ -Teilchen an Atomkernen ausgeführt wurde, ist wohl von einer Reihe von Autoren seit Aufstellung der Rutherford'schen Kerntheorie die Bestätigung derselben durch Untersuchung der Zahl der unter den verschiedensten Umständen reflektierten Teilchen unternommen worden.<sup>1</sup> Diese Versuche haben bei den schweren und mittleren Elementen im allgemeinen wenigstens bei mäßig großen Ablenkungen die Folgerungen der Theorie bestätigt. Nur die Bieler'sche Untersuchung an Al und Mg, also an leichten Elementen, ergab Abweichungen, welche vom Autor zum Anlaß genommen wurden, anziehende Kräfte in größter Nähe des Kernes einzuführen.

Dagegen berichtet nur in einem einzigen Fall ein Autor von einem Versuch, der für Aluminium unter einem Winkel von  $105^\circ$  zeigt, daß die theoretische Reichweite in diesem Falle nicht überschritten wird.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> H. Geiger und E. Marsden, Phil. Mag., 25, 604, 1913. J. Chadwick, Phil. Mag., 40, 734, 1920. E. S. Bieler, Proc. Roy. Soc., London, A 105, 434, 1924.

<sup>2</sup> L. B. Loeb, Phil. Mag., 88, 533, 1919.

Die Prüfung dieses wichtigen Punktes, ob die unter großen Winkeln an Atomkernen reflektierten  $\alpha$ -Teilchen die beim vollkommen elastisch verlaufenden Stoß zu erwartende Reichweite aufweisen, hat nun zu dem folgenden Resultat geführt.<sup>1</sup>

Unsere unten angeführten Versuchsergebnisse zeigen nämlich, daß bei der Reflexion von  $\alpha$ -Teilchen aus Ra C unter Winkeln von 130 bis 160° die beobachtete Reichweite ausnahmslos um einen mehr oder weniger bedeutenden Betrag zwischen 0·5 und 1·5 *cm* hinter dem theoretisch zu erwartenden zurückbleibt. Mit Th C- $\alpha$ -Strahlen wird der Betrag in allen untersuchten Fällen noch größer. Mit Po- $\alpha$ -Strahlen konnte ein solches Reichweitendefizit nicht festgestellt werden.

### Zur Auswertung der Messungen.

Bevor wir an die Darstellung der Ergebnisse gehen, wollen wir durch Untersuchung der theoretisch zu erwartenden Form der Absorptionskurven uns eine Grundlage für die Auswertung der Messungsergebnisse sichern. Wir nehmen an, daß die Strahlen vom Präparat in eine so dicke Substanzschicht eindringen, daß sie sich in derselben totlaufen, wie es ja bei den weitaus meisten unserer Versuche der Fall ist. Die auf dem Szintillationsschirm zur Beobachtung gelangenden Teilchen sind lauter solche, die in einem bestimmten Winkel zur Primärstrahlung reflektiert werden. Wir nehmen fürs erste an, daß die Substanzoberfläche zur Symmetrale des Reflexionswinkels parallel ist, d. h., daß der in der Substanz zurückgelegte Weg des  $\alpha$ -Teilchens vor und nach der Reflexion gleich ist.  $P$  bedeute die Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen beim Eintreten in die Substanz (Primärreichweite). Dann ist, zufolge der von der Theorie geforderten und von Geiger und Marsden experimentell geprüften Beziehung, daß die Zahl der reflektierten  $\alpha$ -Teilchen der vierten Potenz ihrer Geschwindigkeit proportional ist, die Zahl der im Abstand  $x$  vom Eintrittspunkt des Primärstrahlenbündels reflektierten  $\alpha$ -Teilchen

$$dy = \frac{N}{(P-x)^4} dx \quad (1)$$

$N$  ist dabei eine Funktion des untersuchten Elementes, des Reflexionswinkels, bei dem gearbeitet wird, also einer Apparatkonstante sowie auch abhängig von der Anfangsgeschwindigkeit der verwendeten Primärstrahlen, also von  $P$ . Es sei  $Z$  das Verhältnis, in dem die Reichweite nach der Theorie beim Reflexionsvorgang herabgesetzt wird.  $Z$  ist dann eine Funktion des Elementes und des Reflexionswinkels. Die im Apparat wirklich beobachtbare Reichweite der reflektierten  $\alpha$ -Partikeln nach deren Austritt aus der Substanzoberfläche wird

$$R = (P-x) Z - x. \quad (2)$$

<sup>1</sup> Vgl. H. Pettersson, Diese Ber. Mitt. Ra-Inst. Nr. 173.



Durch Eliminierung von  $x$  aus den beiden Gleichungen erhält man

$$dy = -N\sqrt[3]{Z+1} \frac{dR}{(P+R)^{3/2}}, \quad (3)$$

die Gleichung der Absorptionskurve in differenzieller Form. Man erkennt, daß die Kurve von einer Geraden nicht sehr stark abweicht und daher — dies ist für uns wichtig — ein Extrapolieren auf die Maximalreichweite, wenn mehrere Punkte der Kurve gemessen sind, ohne wesentliche Einbuße an Zuverlässigkeit möglich ist. Gleichung (3) gibt integriert

$$y = 3N \left( \sqrt[3]{\frac{Z+1}{P+R}} - \frac{1}{\sqrt[3]{P}} \right) \quad (4)$$

Die Integrationskonstante erhält man aus der Bedingung, daß  $y$  bei der maximalen Reichweite, also für  $R = PZ$ , Null werden soll. Für die überwiegende Menge der zur Beobachtung gelangenden Partikeln sind die Abweichungen der Reflexionswinkel vom mittleren Reflexionswinkel so gering, daß die dadurch bewirkte Reichweitenstreuung vernachlässigt werden kann, wenn man nicht mehr als eine Genauigkeit auf wenige Millimeter beansprucht. Die längs des Weges  $dx$  erzeugten reflektierten Partikeln von als homogen angenommener Reichweite werden aber, wie jedes ursprünglich homogene  $\alpha$ -Strahlbündel, am Ende ihrer Bahn inhomogen, was die Reichweite betrifft. Wie die Untersuchungen Taylors über die Abnahme an Zahl ursprünglich homogener  $\alpha$ -Strahlen gegen das Ende ihrer Bahn zeigen, findet die Abnahme hauptsächlich in den letzten 7 bis 8  $mm$ , und zwar annähernd linear, statt. Diese Streuung ändert die maximale Reichweite natürlich nicht, aber sie bewirkt, daß die beobachtete Absorptionskurve gegen die theoretisch, ohne Bedachtnahme auf die Streuung, berechnete etwa 4  $mm$  gegen die Ordinatenachse verschoben ist und erst am Ende durch ein kurzes, stärker gekrümmtes Stück die wahre Reichweite erreicht. Da im allgemeinen von Zentimeter zu Zentimeter gemessen wurde, so trat die verstärkte Krümmung am Ende nicht in allen Fällen in Erscheinung. Die aus der gemessenen Kurve mit der schwachen Krümmung, die sie längs des größten Teiles ihres Verlaufes zeigt, durch Extrapolation erhaltene Reichweite wurde daher auf jeden Fall um 4  $mm$  vermehrt, um den wahren Wert der maximalen Reichweite zu erhalten.

Nun ist aber noch die eingangs aufgestellte Bedingung, daß die Substanzoberfläche der Symmetrale des Reflexionswinkels parallel ist, bei den experimentellen Anordnungen im allgemeinen nicht erfüllt. Infolgedessen ist gewöhnlich der Weg, den die reflektierte Partikel bis an die Substanzoberfläche zurückzulegen hat, nicht gleich  $x$ , dem Eindringungsweg vor der Reflexion, sondern  $x$  multipliziert mit einem gewissen Faktor  $S$ , der bei gegebener

Neigung der Substanzoberfläche für jeden Wert von  $x$  gleich ist. Aus (2) wird dann

$$R = (P-x)Z - Sx, \quad (5)$$

und aus (4)

$$y = 3N \left( \sqrt[3]{\frac{Z+S}{PS+R}} - \frac{1}{\sqrt[3]{P}} \right). \quad (6)$$

$y$  wird auch hier gleich Null für  $R=PZ$ . Die maximale Reichweite bleibt ungeändert. Dies geht auch unmittelbar daraus hervor, daß die längsten reflektierten  $\alpha$ -Partikeln in der Substanzoberfläche erzeugt werden, für die der Unterschied von Inzidenz- und Exzidenzweg in der Substanz wegfällt, weil beide null werden. Die beobachtete Kurve ist also auch bei Neigung der Substanzoberfläche gegen die Reflexionswinkelsymmetrale gleich lang. Sie ändert aber etwas ihre Form. Denn für  $P+R=0$  wird  $\frac{dy}{dR}$  in Gleichung (3)

unendlich und für  $PS+R=0$  wird  $\frac{dy}{dR}$  in Gleichung (6) unendlich.

Machen wir durch entsprechende Wahl der Maßstäbe der Koordinatenachsen die Kurven (4) und (6) einander gleich, so fällt der Punkt  $R=0$  bei  $S>1$ , respektive  $S<1$  in einen weniger steilen, beziehungsweise steileren Teil der Kurve. Die Änderung von  $\frac{dy}{dR}$  von  $R=0$  bis  $R=PZ$  ist also im ersten Falle kleiner, im

zweiten Falle größer als im Falle  $S=1$ . Die zu erwartende Kurve ist also im ersten Falle (längerer Exzidenzweg) einer Geraden noch mehr angenähert. im zweiten Falle (kürzerer Exzidenzweg) etwas stärker gekrümmt als im symmetrischen Falle. Wie eine nähere Betrachtung der Verhältnisse ergibt, ist in der Apparattypen 1 der symmetrische Fall praktisch realisiert, denn ein Teil der Strahlung hat die Tendenz, die Krümmung der Kurve zu verstärken, ein ungefähr ebenso großer dagegen die Tendenz, das Gegenteil zu bewirken. Als störendes Moment für die Sicherheit in der Bestimmung der Reichweite kommt dieser Umstand jedenfalls nicht in Frage. Umstände, die bei der Berechnung der Sollreichweite berücksichtigt wurden, sind ferner eventuelle Absorption im Primärstrahlenweg (Schutzkollodium und Heliumfüllung) und im Sekundärstrahlenweg (Heliumfüllung). Bei der Apparattypen 1 ist insbesondere auch die nicht senkrechte Durchsetzung der Absorptionsglimmer vor dem Schirm durch den Hauptteil der Strahlen in Rechnung gesetzt worden.

### Die Versuchsergebnisse.

Die Versuche mit Ra C als Strahlungsquelle ergaben tatsächlich sehr oft eine leicht nach oben konkave Absorptionskurve der

$\alpha$ -Partikeln. In vielen Fällen war die Absorptionskurve aber beinahe eine Gerade. Dies mag sich dadurch erklären, daß, wie wir gefunden haben, Po- $\alpha$ -Strahlen keine feststellbare Reichweiteverkürzung über die theoretische hinaus erfahren, also auch die in tieferen Schichten reflektierten RaC- $\alpha$ -Strahlen nicht. Wenn die Reichweitenverkürzung z. B. bei etwa 5 *cm* Restreichweite mehr oder weniger allmählich einsetzt und mit wachsender Restreichweite zunimmt, wie es das Größerwerden des Reichweitendefizits beim Übergang von RaC zu ThC wahrscheinlich macht, so ist eine annähernd geradlinige

Tabelle I.

Reichweitenverkürzung von reflektierten RaC- $\alpha$ -Partikeln.

Element	Atomnummer	Untersucht als (Metall, wo nichts angegeben)	Differenz zw. theor. u. gefundener Reichw. (abger. auf 0·5 <i>cm</i> )	Zahl der Versuchsserien
Ti	22	Pulver	1·5	2
V	23	Pulver	1	1
Cr	24	grobes Pulver	1·5	2
Mn	25		1	2
Fe	26		0·5	3
Ni	28		0·5	2
Cu	29		1	3
Zn	30		0·5	2
Se	34		1	6
Br	35	CBr <sub>4</sub>	1·5	2
Zr	40	gepreßtes Pulver	0·5	3
Ag	47		0·5	3
In	49		1	1
Sn	50		1	3
Sb	51		1·5	1
Te	52		1·5	2
J	53	Element	1·5	1
Pt	78		0·5	1
Au	79		0·5	5
Hg	80		1	1
Tl	81		1	2
Pb	82		1	1
Bi	83		0·5	1

Absorptionskurve gerade das, was zu erwarten wäre bei denjenigen Elementen, die eine genügend große Reichweitenverkürzung aufweisen.

Tabelle I enthält die mit RaC als Strahlungsquelle erhaltenen Ergebnisse. Das wesentliche Resultat der Untersuchung besteht darin, daß die Grundannahme von Rutherford's Theorie, nämlich der vollkommen elastische Verlauf des Stoßes zwischen Atomkernen, bei großen Ablenkungswinkeln nicht erfüllt ist. Dem zurückprallenden  $\alpha$ -Teilchen fehlt gegenüber der theoretisch

Tabelle II.

Reichweitenverkürzung von reflektierten ThC- $\alpha$ -Partikeln.

Element	Atomnummer	Differenz zwischen theoret. und gefundener Reichweite (abgerundet) in Zentimetern	Zahl der Versuchsserien
Ti	22		1
Ag	47	1	3
Sn	50		1
C <sub>2</sub> J <sub>6</sub>	53	2	1
W	74		1
Os	76		1
Pt	78	1.5	3
Au	79	1	
Hg	80	1.5	1
Bi	83	1	1
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	92	1	1

zu erwartenden eine Energiemenge von der Größenordnung  $1.5 \cdot 10^{-6}$  Erg bis (bei ThC)  $3 \cdot 10^{-6}$  Erg, d. i. im Mittel etwa 15 bis 25%<sub>0</sub> der Energie, die es haben sollte. Diese Energie ist von der Größenordnung der als härteste  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung von radioaktiven Elementen freigegebenen Energie. Es fragt sich nun, wo der fehlende Energiebetrag hinkommt. Er könnte nach Erleiden irgendwelcher Umwandlungen, die man sich wohl als mit einer vorübergehenden, reversiblen Änderung des Kernzustandes verknüpft denken muß, als  $\gamma$ -Strahlung auftreten, wie sie von Slater beobachtet wurde. Wie wir im folgenden Abschnitt sehen werden, geben die Experimente Anlaß, auch noch andere Deutungen in Betracht zu ziehen.

Zu den in Tabelle II gegebenen Versuchsergebnissen mit ThC ist zu bemerken, daß hier wegen der Anwesenheit zweier  $\alpha$ -Strahl-

gruppen im Präparat keine so einfachen Kurvenformen erhalten werden. Daher ist hier eine Extrapolation und Reichweitenbestimmung nicht immer mit derselben Sicherheit möglich wie bei Versuchen mit RaC. Doch lehrt ein Vergleich mit Tabelle I sofort, daß das Reichweitendefizit mit wachsender Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Strahlen größer wird.

Mit Po wurden insgesamt 23 Versuche mit Sn, Ag, Au, Pb und Bi gemacht, von denen kein einziger ein Reichweitendefizit bei Po-Strahlen wahrscheinlich macht. Wenn ein solches bestehen sollte, so dürfte es einige Millimeter nicht überschreiten.

Die Zahl der von bestrahlten Substanzen unter großen Winkeln kommenden Partikeln.

### Zur Auswertung der Messungen.

Wie schon gesagt, ist die Zahl der unter verschiedenen Bedingungen auftretenden reflektierten  $\alpha$ -Strahlen Gegenstand wiederholter Untersuchungen gewesen, die in allgemeiner Übereinstimmung mit der Rutherford'schen Theorie waren. Insbesondere die Messung einiger Kernladungszahlen durch J. Chadwick<sup>1</sup> unter Zugrundelegung dieser Theorie zeigten deutlich die quantitative Zuverlässigkeit derselben in dem bei der Untersuchung bearbeiteten Gebiete von nicht sehr großen Ablenkungswinkeln. Auch in dem von uns benutzten Winkelbereich bis  $150^\circ$  ist die Theorie von H. Geiger und E. Marsden<sup>2</sup>, so viel aus ihren Mitteilungen hervorgeht, allerdings nur an Gold und Silber geprüft und als innerhalb der allerdings recht beträchtlichen Versuchsfehler stichhältig befunden worden. Es ist daher von Interesse, die von uns beobachteten Partikelzahlen mit denen zu vergleichen, die theoretisch zu erwarten sind. Da Geiger und Marsden die vorauszusehende Proportionalität zwischen Partikelzahl und Foliendicke der reflektierenden Substanz bei nicht allzu dicken Folien bestätigt haben, ist das für Versuche mit dünnen Folien ohne weiteres möglich. Um aber die Hauptmenge unseres Versuchsmateriales, bei dem mit dicken Substanzschichten gearbeitet wurde, vergleichen zu können, müssen wir die in unseren Apparaten zu erwartenden Zahlen bei der Absorption Null berechnen. Nach Gleichung (4) ist diese Zahl bei symmetrischer Anordnung von Schirm und Präparat zur Substanz, also in unserer ersten Apparattypen

$$n_0 = 3 N \frac{\sqrt[3]{Z+1}-1}{\sqrt[3]{P}}$$

Bei der numerischen Berechnung ist zu beachten, daß die Dimension von  $P$  (Primär-Reichweite) in diesen Ansätzen nicht die

<sup>1</sup> l.

l.

einer Länge ist, sondern die der dritten Potenz einer Geschwindigkeit. Nur dann ist  $\gamma$  unabhängig von der Wahl der Längeneinheit. Für die Berechnung von  $N$  braucht man neben den genügend sicher bekannten fundamentalen Konstanten der Atomphysik auch die Kenntnis der Luftäquivalentwerte der untersuchten Substanzen für alle  $\alpha$ -Teilchen-Geschwindigkeiten. Da dieselben nur für eine beschränkte Zahl von Elementen mit größter Genauigkeit experimentell bestimmt sind, so haben wir den Vorgang eingeschlagen, für eine bestimmte Apparatur die theoretische Partikelzahl bei der Absorption Null mit allen noch zu erwähnenden Korrekturen für diese Elemente (Al, Cu, Ag, Sn und Au) zu berechnen und in einem Diagramm mit den Atomnummern als Abszissen für die übrigen Elemente den Wert graphisch zu ermitteln.

An eingeführten Korrekturen sind zu erwähnen:

1. Bei der Ringpräparat-Anordnung die Vergrößerung der Ausbeute infolge der Verkürzung des Exzidenzweges für große Teile der Strahlung;

2. Die Abnahme an Zahl am Ende des Bündels bei an sich homogenen  $\alpha$ -Strahlen nach Taylor, die bei leichten Elementen mehr ins Gewicht fällt als bei schweren;

3. Die Verkürzung des Exzidenzweges bei schweren Elementen durch den Umstand, daß die  $\alpha$ -Strahlen, nach der Reflexion zuletzt immer langsamer fliegend, infolge der Änderung des Luftäquivalents mit der Geschwindigkeit auf demselben Wege nicht dieselbe Bremsung erfahren wie auf dem Hinweg. Zur direkten Vergleichung mit der Erfahrung wurde ferner noch der jeweils experimentell bestimmte Wirkungsgrad des Schirmes (meistens etwa 80%) berücksichtigt.

### Die Versuchsergebnisse.

In Tabelle III sind die Resultate der Zählungen ohne Sekundärabsorption mit RaC als Strahlungsquelle wiedergegeben. Zu Kolonne 3 ist zu bemerken, daß beim Übergang von z. B. 0.5 cm Absorption zu Null erstens oft die Zahl nicht in dem zu erwartenden Maße wuchs. Zugleich vergrößerte sich die Unsicherheit der Zähler in der Unterscheidung von H- und  $\alpha$ -Szintillationen und auch in der Zahl der Partikeln überhaupt; Ursache dieser Erscheinung dürfte wenigstens teilweise sehr weiche, in der Substanz durch das  $\alpha$ -Bombardement erregte  $\beta$ -Strahlung sein, die auch eine merkbare Unruhe in das Gesichtsfeld bringt. Daher fehlen bei manchen spärlich untersuchten Elementen in der dritten Kolonne Werte. Die Reichweitenbestimmung geschah in diesen Fällen eben nur mit Hilfe der Kurve von der ersten Absorption aufwärts. Die Extrapolation auf die Absorption Null würde auch bei diesen Elementen einen sehr nahe bei eins liegenden Wert liefern. Bei den übrigen Elementen handelt es sich nirgends um durch Extrapolation gewonnene, sondern um direkt gemessene Werte, bei den meisten auf Grund von wenigstens ein paar hundert bei der Absorption

Null gezählten Szintillationen. Die in der vierten Kolonne gegebenen Ziffern, welche die Gesamtzahl von bei Minimalabsorption gezählten Szintillationen, ob von  $\alpha$ - oder H-Charakter, darstellen, sind mit einem höheren Grad von Unsicherheit behaftet als die Ziffern der

Tabelle III.

Element	Atomnummer	Verhältnis der bei der Absorption Null gezählten	
		$\alpha$ -Teilchen	$\alpha$ - und H-Teilchen
		zu der berechneten Anzahl $\alpha$ -Teilchen	
Ti	22	0·9	2·1
V	23		1
Cr	24	0·8	2·0
Mn	25	0·7	1·9
Fe	26	1·0	3·0
Ni	28		0·8
Cu	29		1·2
Zn	30	1·1	2·0
Se	34	0·9	2·2
Br	35	1·0	2·0
Zr	40	1·1	2·0
Ag	47	0·8	1·2
In	49		1·7
Sn	50	1·1	2·3
Sb	51	1·0	1·4
Te		0·9	1·5
J	53		0·9
Pt	78	0·9	1·2
Au	79	1·0	2·0
Hg	80		1·2
Tl	81	0·8	1
Pb	82	1·0	
Bi	83		1·1

3. Kolonne. Die angegebenen Zahlen sind Mittelwerte aus zahlreichen Zählungen mit guten Zählern, enthalten aber nicht die Höchstwerte, welche von den allerbesten Zählern unter besonders günstigen Bedingungen, was Hintergrundleuchten und Akkomodation betrifft, erreicht wurden. Es scheint deshalb wahrscheinlich, daß mit

noch weiter verbesserten optischen Beobachtungsmitteln eine beträchtliche Zunahme dieser Zahlen sich ergeben würde. In der Lichtstärke sind sie mit den H-Strahlen aus Paraffin, Al und anderen Leichtelementen gut vergleichbar. Erstens dieser Umstand, die Schwäche der Szintillationen, zweitens das Vorhandensein von bedeutend mehr Partikeln, als die Theorie berechnen läßt, legt die Annahme nahe, daß es sich um H-Partikeln handelt, die bei innigen Zusammenstößen zwischen  $\alpha$ -Teilchen und Atomkernen aus den letzteren, analog wie bei den leichteren Elementen befreit werden. Schließlich müßten diese Partikeln, wenn sie als  $\alpha$ -Partikeln aufzufassen wären, wegen der Schwäche der Szintillationen, bei einer Erhöhung der Absorption um  $0.5 \text{ cm}$  nicht mehr vorhanden sein, was tatsächlich nicht der Fall ist.

Einerseits macht dieses Auftreten von H-Teilchen, die man wohl als Atomtrümmer ansprechen muß, begreiflich, daß bei genügend starken Stößen gegen Atomkerne von schweren Elementen der Energie- und Impulssatz nicht gilt, wenn man nur  $\alpha$ -Teilchen und getroffenen Atomkern in Betracht zieht, andererseits berechtigt das beobachtete Versagen von Energie- und Impulssatz beim Reflexionsvorgang um große Winkel das Auftreten von so zahlreichen anders gearteten Partikeln neben den in der berechneten Anzahl vorhandenen reflektierten  $\alpha$ -Teilchen auf eine eingetretene Veränderung der getroffenen Kerne, also auf eine Atomzertrümmerung zurückzuführen.

Auch von den ThC-Versuchen geben die meisten ein nicht zu übersehendes Plus an Gesamtpartikelzahl über die bei der Absorption Null zu erwartende Anzahl von  $\alpha$ -Partikeln beider Gruppen, während bei den Versuchen mit Po- $\alpha$ -Teilchen wohl bei einigen Elementen ähnliche Resultate erhalten wurden, welche durch in Gang befindliche Untersuchungen nachgeprüft werden.

## H-Strahlen aus mittelschweren und schweren Elementen.

Abgesehen von den beiden genannten Momenten, Qualität und Zahl der Partikeln bei der Absorption Null, ist die Anwesenheit so zahlreicher H-Strahlen bei der Absorption Null aus einem dritten Grunde zu erwarten. Bei mehreren Elementen sind nämlich H-Strahlen nicht nur über die Reichweite der reflektierten  $\alpha$ -Strahlen hinaus, sondern zum Teil auch über  $7 \text{ cm}$ , bei einigen sogar in nicht unbeträchtlicher Anzahl festgestellt worden. Nur bei einer Minderheit von relativ spärlich untersuchten Elementen fehlen bisher deutliche Anzeichen von H-Strahlen außerhalb der Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen. Das allgemeine Auftreten dieser Erscheinung läßt auch für die Fälle, wo H-Teilchen über die Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen hinaus nicht beobachtet wurden, den Gedanken nicht mehr befremdend erscheinen, daß auch hier ein bedeutender Anteil der bei Null beobachteten Partikeln H-Strahlen sind. Einige typische Beispiele von Elementen, bei denen man wegen besonders gut gelungenen



Versuchsserien annehmen darf, daß die quantitative Erfassung der H-Partikeln verwirklicht war, mögen im folgenden etwas näher betrachtet werden.

### Eisen.

Das bei den Versuchen verwendete Material, schwedisches Eisenblech, war mehrere Stunden im Hochvakuum auf Rotglut erhitzt worden, um sich gegen den von F. Rutherford und J. Chadwick<sup>1</sup> behaupteten Stickstoffeffekt zu sichern. Die Versuchsergebnisse

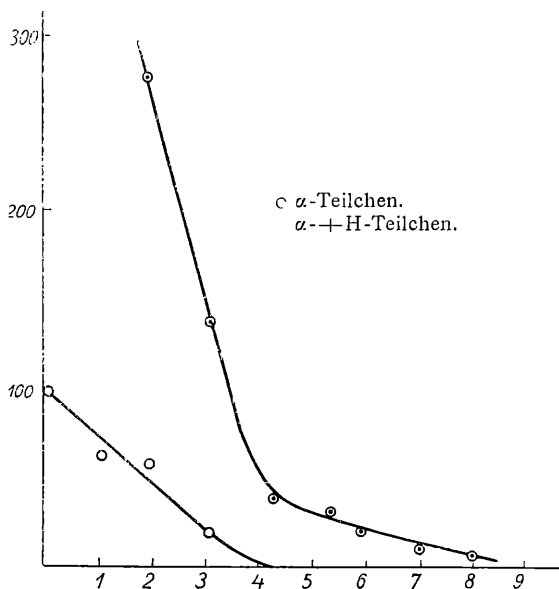


Fig. 2

sind unter sehr verschiedenen Umständen gewonnen. Ein Versuch vom vergangenen Dezember ist in der Apparattypen 1 mit Heliumfüllung gemacht, ein anderer Versuch im Februar in demselben Apparat aber mit Vakuum. Das Versuchsergebnis in einem Apparat der Typen 2 vom März ist in Fig. 2 wiedergegeben. Alle drei lassen übereinstimmend auf eine maximale Reichweite der H-Strahlen von 9 bis 10 cm schließen. Hier sei bemerkt, wie so eine Reichweitenangabe aufgefaßt werden will. Sie bedeutet, daß die Kurve in der Art und Weise, wie sie im großen und ganzen verläuft — also hier z. B. von 4 bis 8 cm Absorption —, extrapoliert bei zirka 9 bis 10 cm die Abszissenachse schneiden würde. Die Existenz einer längeren Gruppe

<sup>1</sup> E. Rutherford und J. Chadwick, Proc. Phys. Soc., London, 36, 417, 1924.

in einer geringeren Anzahl kann und soll damit natürlich nicht ausgeschlossen werden. Wie man sieht, handelt es sich um recht bedeutende Mengen von H-Partikeln; wo die reflektierten  $\alpha$ -Teilchen hinzutreten beginnen, beträgt ihre Anzahl bereits ungefähr 40 pro Million Primärpartikeln, die sich in der Substanz totlaufen. An diesem Tage wurden bedeutend mehr H-Partikeln bei kleineren Absorptionen — also dort, wo sie neben den  $\alpha$ -Partikeln gezählt werden müssen — wahrgenommen als bei den anderen Versuchen. Die Präparatstärke war an diesem Tage nämlich von vornherein geringer, und es wurde auch noch mit dem Präparat gearbeitet, als

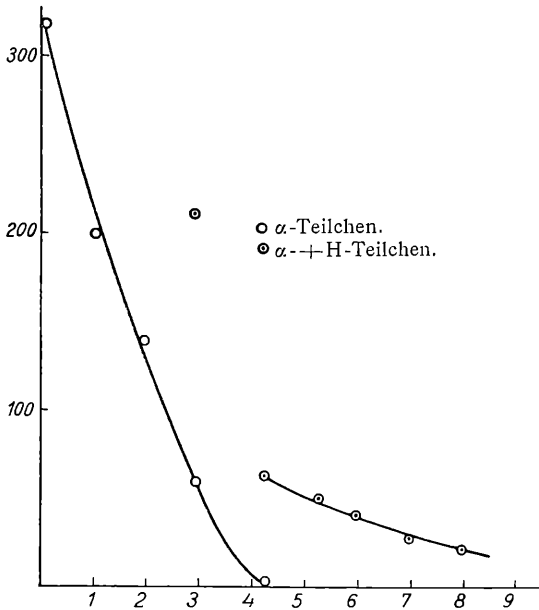


Fig 3.

es schon weniger als 1 mg Stärke hatte, 200 H-Teilchen pro Million ist die höchste Ausbeute, die bei der Absorption 2 wirklich gemessen wurde. Extrapoliert man auf die Absorption Null geradlinig, so erhält man einen noch bedeutend höheren Wert. Dagegen beträgt die berechnete Ausbeute an reflektierten  $\alpha$ -Teilchen 84 pro Million.

### Selen und Zinn.

Fig. 3 gibt das Resultat einer Versuchsserie mit Zinn wieder. Die Verhältnisse liegen ähnlich wie bei Eisen, und alles dort Gesagte gilt sinngemäß auch hier. Die Zinnversuche mit RaC ergaben übereinstimmend eine maximale Reichweite der H-Strahlen von zirka 12 cm. Der Betrag an natürlichen Szintillationen war

ebenso wie bei den Eisenversuchen verschwindend gering, etwa 1·2 pro Million bei allen Absorptionen.

Die größte H-Strahlenreichweite unter den daraufhin untersuchten Elementen scheint Selen zu geben; sie waren bei 9 *cm* Absorption noch so zahlreich, daß sie auf eine Reichweite von 14 bis 15 *cm* hindeuten. Selen wurde auch einmal mit abgekürzten RaC-Strahlen von zirka 1·1 bis 1·3 Restreichweite untersucht und ergab reichlich H-Partikeln, die mit abnehmender Zahl bei 0, 3, 5, 6, 7 und 8 *cm* Absorption verfolgt wurden.

### Gold.

Versuche mit Gold, die in größerer Zahl gemacht wurden, sind aus mehreren Gründen von Interesse. Besonders gilt das von Versuchen mit dünnen Folien. Angesichts der Reichweitenverkürzung waren ja verschiedene Erklärungsmöglichkeiten für dieselbe ins Auge zu fassen. Es könnte sein, daß in der obersten Schicht die  $\alpha$ -Teilchen in die zentral getroffenen Kerne eindringen und stecken bleiben und nur aus einer gewissen Tiefe der Substanz reflektierte  $\alpha$ -Teilchen kommen, die bei ihrem innigen Zusammenstoß mit einem Atomkern bereits eine verminderte Geschwindigkeit hatten. Oder die Teilchen wurden auch, so lange sie ihre volle Wucht besaßen, schon reflektiert, erlitten dabei aber eine Einbuße an Energie. Die erste Möglichkeit ist nun durch die Versuche von H. Geiger und E. Marsden<sup>1</sup> eigentlich schon sehr unwahrscheinlich gemacht, obwohl diese Autoren einen wahrscheinlichen Fehler ihrer Absolutwertbestimmung von 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> selbst angeben. Diese Autoren haben sich auch durch Einschalten von Absorption in den Sekundärstrahlenweg von der »Homogenität« der von einer dünnen Folie reflektierten Strahlen überzeugt. Ob damit eine approximative Reichweitenbestimmung gemeint ist, geht aus ihren Mitteilungen nicht hervor. Obwohl unsere Anordnungen den Winkel von 150° zum Teil überschreiten, haben unsere Versuche doch quantitative Übereinstimmung mit der Theorie innerhalb der Versuchsfehler ergeben. Aber auch bei diesen Versuchen mit dünnen Folien von Gold traten H-Strahlen in der gleichen Größenordnung wie reflektierte  $\alpha$ -Strahlen auf. Ihre quantitative Erfassung ist bei den Elementen mit sehr hohem Atomgewicht gegenüber den mittleren Elementen bedeutend erschwert durch das bei diesen viel kräftigere Hintergrundleuchten. Gold ist speziell ein Beispiel für die Schwierigkeit dieser Untersuchungen, weil hier nur wenige H-Strahlen über die  $\alpha$ -Reichweite hinausgehen. Da die reflektierten  $\alpha$ -Teilchen von Gold bereits eine beträchtliche Reichweite haben, zeigt sich die H-Teilchengruppe nicht so deutlich durch die Kurvenform der Gesamtpartikelzahl wie bei vielen mittleren Elementen. Die H-Teilchengruppe ist relativ kurz, ihre Kurve steigt steil an, ist vom Reich-

1 1.

weiterende herkommend etwas divergent gegen die  $\alpha$ -Kurve und ein solches Diagramm bietet ungefähr das Bild wie das Resultat einer Zählung von ausschließlich  $\alpha$ -Partikeln mit schlechten Zählern, die bald den ganzen, bald den halben letzten Zentimeter der  $\alpha$ -Strahlen als H-Strahlen bezeichnen. Da das Reichweitendefizit bei Gold nicht groß ist, so ist gerade in diesem Falle das Erzwingen einer Entscheidung nicht leicht, zumindest beim Arbeiten mit dicker Schicht.

Bei dünnen Substanzschichten erhält man aber eine relativ homogene Gruppe reflektierter  $\alpha$ -Teilchen, deren Reichweitenstreuung berechenbar ist. Wenn wir z. B., wie dies bei einem Versuch der Fall war, eine Goldfolie von  $0.64 \text{ cm}$  Äquivalent bestrahlen, so ist die Größe der Reichweitenstreuung der reflektierten  $\alpha$ -Teilchen gegeben durch die Summe des Hin- und Rückweges der  $\alpha$ -Partikeln, die auf der vom Präparat abgewendeten Seite reflektiert werden, denn diese ist

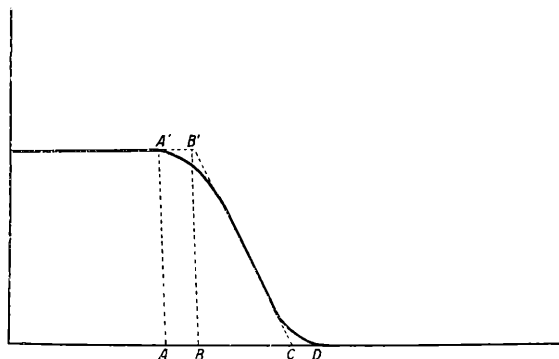


Fig. 4.

der größte vorkommende Reichweitenunterschied. In erster Annäherung müßte dann, wenn (Fig. 4)  $BC$  die Größe dieser Reichweitenstreuung ist, die Absorptionskurve die Gestalt  $A' B' C D$  haben.

Hiezu kommt noch die natürliche Abnahme an Zahl am Ende jedes an sich homogenen  $\alpha$ -Strahlenbündels, die die Kurve derart verändert, daß der Abfall an jedem Ende um den halben Betrag dieser Reichweitenstreuung verlängert wird und die Gestalt der ausgezogenen Kurve annimmt. Unsere oben bezeichnete Folie wird nun im Apparat schief durchstrahlt, so daß ihr Äquivalent für die auffallenden Primärstrahlen sowohl als auch für die reflektierten  $8 \text{ mm}$  beträgt, wir haben daher zu erwarten, daß der Abfall bei unserer Kurve sich mit der Anfangs- und Endkrümmung über  $16 \text{ mm} +$  natürliche Reichweitenstreuung, d. i. also ungefähr  $24 \text{ mm}$ , erstrecken wird. Die obere Kurve in Fig. 5 kommt daher schon aus dem Grunde nicht in Betracht als Absorptionskurve der reflektierten  $\alpha$ -Teilchen, weil ihre Form eine ganz andere ist. Die untere Kurve hat ungefähr die erwartete Form, außerdem ist ihre Null-Ordinate die berechnete. Die Absorptionskurven aus dicken

Schichten sehen entsprechend aus. Ein ähnliches Bild bieten die Kurven vieler ganz schwerer Elemente, auch die mit ThC erhaltenen, nur daß die Spannung zwischen H- und  $\alpha$ -Kurve oft 2 *cm* überschreitet.

### H-Strahlen aus anderen Elementen.

Infolge der Verhältnisse bei den schweren Elementen, wie sie am Beispiel des Goldes dargelegt wurden, muß betont werden, daß neben der subjektiven Einschätzung eines großen Teiles der Partikeln als H-Teilchen nach der Beschaffenheit ihrer Szintillationen,

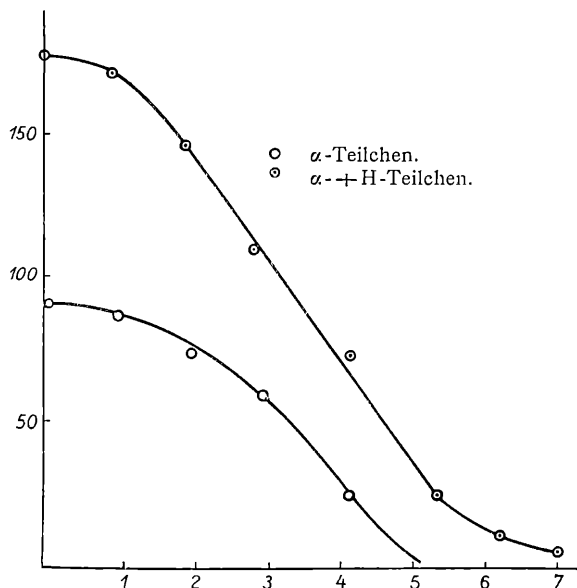


Fig.

die sich allerdings bei den mittelschweren Elementen als ganz brauchbar erwiesen hat, das einzige Argument von Gewicht die Überschreitung der berechneten  $\alpha$ -Teilchenzahlen ist. Über deren Größe bei den verschiedenen Elementen gibt die Tabelle III Auskunft. Die geringen Anzahlen H-Teilchen, die über die Reichweiten der  $\alpha$ -Teilchen hinausgehen, können noch nicht als endgültig sicher gestellt gelten.

Dagegen versprechen einige Versuche mit Po- $\alpha$ -Partikeln und verkürzten RaC-Partikeln mit sehr kleiner Restreichweite interessante Aufschlüsse. Se, Zr und sogar Tl geben mit Strahlen von 2 *cm* Restreichweite unverkennbar H-Partikeln von über 6 *cm* Reichweite.

Von den in unserer vorläufigen Mitteilung als sicher H-Strahlen gebend bezeichneten Elementen muß daß Resultat bei V noch als

etwas zweifelhaft bezeichnet werden, weil wir einen beträchtlicheren Sauerstoffgehalt unseres Präparates nicht auszuschließen vermögen und Sauerstoff auch H-Partikeln gibt.

Nicht nur infolge der großen Unterschiede zwischen berechneter und beobachteter Partikelzahl in unseren Anordnungen, sondern auch durch Feststellung außerhalb der  $\alpha$ -Reichweite als sicher gestellt können die H-Teilchen aus Brom gelten, die zirka 9 *cm* Reichweite haben; ferner geben auch Te und J bei  $\alpha$ -Bombardement Protonen ab. Bei Pt, Hg und Pb sind mit RaC H-Partikeln über 6 *cm* beobachtet, aber noch nicht systematisch geprüft worden.

Das Gesamtbild der Untersuchungen, über die hier auszugswise berichtet wurde, ist jedenfalls geeignet zu zeigen, daß die Veränderungen an den Atomkernen bis zu den schwersten Elementen hinauf in den heutigen experimentellen Hilfsmitteln zugängliches Gebiet sind.

### Zusammenfassung.

Es wird über größeres Versuchsmaterial mehr orientierenden Charakters nach der retrograden Methode berichtet, aus dem hervorgeht, daß bei innigen Zusammenstößen zwischen  $\alpha$ -Teilchen und Atomkernen auch bis zu den schwersten Elementen hinauf der Energie- und Impulssatz nicht gilt, wenn man nur das  $\alpha$ -Teilchen und den getroffenen Kern als unveränderliches Gebilde in Betracht zieht. Die Versuche ergaben ferner, daß »Atomzertrümmerung« unter Abgabe von Protonen wahrscheinlich bei allen Elementen ein mit den heutigen Hilfsmitteln (Beschießung durch  $\alpha$ -Strahlen) erzielbarer Vorgang ist, der überdies in viel größerem Umfange vor sich geht, als man dies bisher angenommen hat.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://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): Kirsch Gerhard, Pettersson Hans

Artikel/Article: [Über die Reflexion von  \$\alpha\$ -Teilchen an Atomkernen II 491-512](#)