

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung

Nr. 168

Über die Atomzertrümmerung durch α -Partikeln

III. Die Zertrümmerung von Kohlenstoff

Von

Hans Pettersson

(Mit 6 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Juli 1924)

In einer früheren Mitteilung habe ich zusammen mit Dr. Gerhard Kirsch einige Versuche beschrieben, bei welchen es uns gelang, unter Verwendung von neuen Methoden mittels Bestrahlung mit α -Partikeln aus Radium C, H-Partikeln aus Beryllium, Magnesium und Silicium zu erhalten.¹ Dieselben Elemente wurden früher von Rutherford und Chadwick auf H-Partikeln geprüft, und zwar mit negativem Ergebnis, da die von den erwähnten Autoren benutzten Methoden die Entdeckung von H-Partikeln kürzerer Reichweite als etwa 30 cm nicht ermöglichten.² Betreffs des von zwei Schülern Rutherfords gemachten Versuches, unsere Ergebnisse anders zu deuten, sowie über die Widerlegung dieser Vermutung durch im hiesigen Institut ausgeführte Untersuchungen, verweise ich auf die bezüglichen Originalabhandlungen.³ Bei den Versuchen von Rutherford und Chadwick konnten zunächst nur Atome von der Masse $M = 4n + 3$ (B, Fl, Na, Al, und P) und außerdem nur Stickstoff $M = 4n + 2$ zertrümmert werden. Von den drei bei unseren Versuchen zerlegten Atomen ist Beryllium vom Typus $4n + 1$, während die beiden Magnesiumisotope vom Typus $4n$, respektive $4n + 2$ und die Siliciumisotope vom Typus $4n$, respektive $4n + 1$ sind. Da es zunächst unentschieden blieb, ob bei den letzt-erwähnten Elementen beide Isotope oder nur das eine von beiden zertrümmert wurde, darf man nicht ohne weiteres behaupten, daß Atomkerne von der Masse $4n$ wirklich unter Emission von H-Partikeln zerlegbar sind. Andererseits bietet die Struktur ähnlich gebauter Atomkerne besonderes Interesse, weil sie ja der Masse sowie der Ladung nach Heliummultipel sind, d. h. aus lauter α -Partikeln als Subnuclei aufgebaut sein können. Die Untersuchung auf Zertrümmerbarkeit eines isotopenfreien Elementes von dem erwähnten

¹ G. Kirsch und H. Pettersson, Mitteil. Ra-Inst. Nr. 160. Wiener Bericht, IIa, 132, p. 299, 1923.

² E. Rutherford und J. Chadwick, Phil. Mag. (6), Vol. 42, p. 809, 1921.

³ L. F. Bates und S. J. Rogers, Proc. Roy Soc. A. Vol. 105, p. 97, 1924. D. Pettersson, Mitteil. Ra-Inst. Nr. 163; E. Kara-Michailova und Hans Pettersson, Mitteil. Ra-Inst. Nr. 164.

Typus schien mir deshalb eine besonders wichtige Aufgabe zu sein und ich habe infolgedessen eine beträchtliche Zahl von Versuchsserien unter variierten Bedingungen über die Zertrümmerbarkeit von Kohlenstoff, sowohl als Element als in Verbindungen, im Laufe der letzten sechs Monate ausgeführt. Über einige bei dieser Arbeit gemachte Erfahrungen soll im folgenden ein gedrängter Bericht erstattet werden.

Frühere Versuche mit Kohlenstoff.

Bei seinen grundlegenden Untersuchungen über die Zusammenstöße zwischen α -Partikeln und Atomen der leichteren Elemente¹ hatte Sir Ernest Rutherford auch einige Versuche mit Kohlensäure gemacht, aus welcher er, so wie bei den Versuchen mit Sauerstoff, eine kleine Zahl Szintillationen von Partikeln größerer Reichweite erhielt. Zunächst neigte er zu der Auffassung, daß sie einfach geladene, durch Stoßwirkung in Bewegung gesetzte Sauerstoffatome waren, später hat er andere Deutungsversuche gemacht. Bei den schon erwähnten Untersuchungen von seinen beiden Schülern behaupteten diese auch bei Versuchen mit Kohlensäure eine Art α -ähnlicher Partikeln von $11 \cdot 3 \text{ cm}$ maximaler Reichweite gefunden zu haben, welche sie als eine neue, dem Radium C selbst entstammende Gattung α -Partikeln ansahen. Andere Versuche, um aus Kohlenstoff Atomtrümmer zu erhalten, scheinen nicht ausgeführt worden zu sein. Allerdings hat ein Mitarbeiter von Rutherford sich bemüht, die Reflexion unter großem Winkel von primären α -Partikeln an verschiedenen Elementen, u. a. Graphit, zu studieren, aber im Falle des letzterwähnten Elementes mit einem vollständig negativen Ergebnis.² Seinen Zweck, die Gültigkeit der Stoßgleichungen bei der Kollision zwischen einem sehr leichten Atomkern und einer α -Partikel zu verifizieren, konnte er mit Graphit nicht erreichen, und zwar weil bei den erforderlichen sehr kleinen Drucken immer wieder eine allgemeine »Verseuchung« seines innen mit Graphit ausgekleideten Versuchsapparates auftrat.

Methodik.

In einer früheren, zusammen mit Dr. Kirsch veröffentlichten Mitteilung³ habe ich das Prinzip einer neuen Methode entwickelt für die Untersuchung der Atomtrümmer kürzerer Reichweite als 7 cm . Im wesentlichen besteht sie darin, daß man nicht wie gewöhnlich die in der Flugrichtung der primären α -Partikeln ausgeschleuderten Fragmente beobachtet, sondern die, welche unter 90° von dieser Richtung hinaustreten. Dadurch, daß man bei dieser Methode die

¹ E. Rutherford, Phil. Mag. Vol. 37, p. 576, 1919.

L. B. Loeb, Phil. Mag. Vol. 38, p. 533, 1919.

³ Mitteil. Ra-Inst. Nr. 167, 1924; Verh. D. phys. Ges. Wien, 25. Februar 1924.

sekundären Partikeln sozusagen »um die Ecke« wahrnehmen kann, entgeht man größtenteils den Komplikationen seitens der enorm viel zahlreicheren Primärpartikeln; allerdings nicht vollständig, denn einige von diesen werden durch exzentrische Stöße gegen Atomkerne der bestrahlten Substanz unter verschiedenen Winkeln, also auch unter 90° abgelenkt. Die Reichweite ähnlicher Partikeln ist aber in einem nach den Stoßgleichungen berechenbaren Verhältnis (unter Voraussetzung eines elastischen Stoßes!) herabgesetzt, und zwar um so mehr, je leichter das getroffene Atom ist. So sollten die gegen Kohlenstoffkerne unter 90° abgelenkten Partikeln von RaC eine von 7 auf 2.5 cm verminderte Reichweite haben. Bis zu dieser Grenze herab ließen sich demnach sowohl α -Partikeln als auch H-Partikeln, einer Zertrümmerung des Kohlenstoffkernes entstammend, noch feststellen, wenn man nicht annimmt, daß durch irgendeine Entwicklung intranuclearer Energie bei dem Zusammenbruch des Kernes die zurückprallende α -Partikel eine erhöhte Reichweite bekäme. Letztere Annahme erscheint aber um so unwahrscheinlicher, als bei dem notwendigerweise recht exzentrischen Kerntreffer, welcher zu einer Ablenkung um nur 90° führt, eine bedeutend verminderte Stoßwirkung von der α -Partikel auf den Kohlenstoffkern ausgeübt wird.

In der erwähnten Mitteilung von mir und G. Kirsch wird ein Versuchsapparat beschrieben, in dem ein ausgeblendetes Bündel α -Partikeln von einer aktivierten Platinspitze gegen eine Graphitscheibe gerichtet wurde und die unter 90° abgelenkten Partikeln in Wasserstoff untersucht wurden. Diese Anordnung gab keine definitiven Resultate, hauptsächlich weil die Zahl der beobachtbaren Atomtrümmer relativ sehr klein war, wegen sehr unvollständiger Ausnützung der Primärstrahlung. Um die Ausbeute zu erhöhen, wurde ein Apparat nach einem etwas abweichenden Prinzip konstruiert, welcher in einer späteren Ausführungsform hier als Fig. 1 abgebildet wird. Ein Messingzylinder von 22 mm lichter Weite und 46 mm Länge hat unten ein Loch von 11 mm Durchmesser, das mit einem Glimmerfenster von 0.7 cm Luftäquivalent verschlossen ist. Ein oben eingeschliffener Stöpsel hat einen durchgehenden Präparatsträger, woran die mit RaC aktivierte Messingscheibe von 8 mm Durchmesser angeschraubt ist. Die Scheibe wird in der oberen Mündung eines kurzen Hohlkonus von Kupfer angebracht, so daß die von der über die Innenfläche des Kupfers verteilten zu bestrahlenden Substanz ausgehenden Sekundärpartikeln, welche auf den Szintillationsschirm *Z* fallen, einen Winkel von ungefähr 90° mit der Richtung der Primärstrahlung bilden. Die zentral im Apparat angebrachte Schutzblende *B* verhindert die primären α -Partikeln von der Strahlungsquelle auf den Szintillationsschirm zu fallen. Der obere Teil des Schutzes ist konkav, so daß man durch eine Senkung des Präparatsträgers die Scheibe darin einschließen kann, um bei ausgeschalteter Primärstrahlung auf Verseuchung zu prüfen. Durch die beiden seitlich angebrachten

Zuleitungsrohren kann während des Versuches Wasserstoff oder reines Helium durch den Apparat zirkulieren. Es empfiehlt sich, in einem von diesen Gasen zu arbeiten, erstens wegen der Abwesenheit von sekundären Partikein (Atomtrümmer aus der Gasfüllung), zweitens wegen der relativ kleinen Absorption der H- und α -Partikeln in diesen Gasen. Da die Form des Apparates es nicht ermöglichte, einige durch Stoß gegen Atome der Gasfüllung unter weniger als 90°

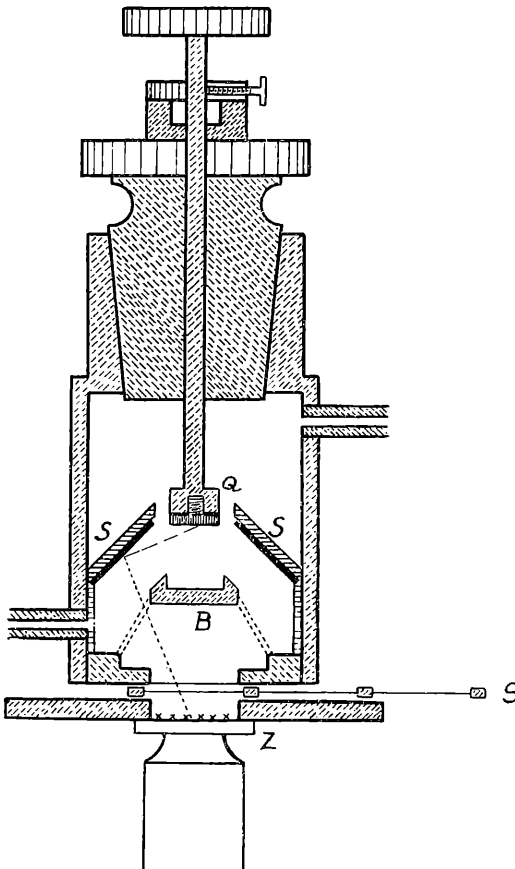


Fig. 1.

abgelenkte primäre α -Partikeln, beziehungsweise durch einen ähnlichen Stoß in Bewegung gesetzte sekundäre Partikeln vom Auftreffen auf dem Szintillationsschirm vollständig abzuhalten, so ist bei Untersuchungen auf H-Partikeln Helium dem Wasserstoff vorzuziehen. Um den sehr dünnen Verschlussglimmer unten im Apparat zu schonen, wurde nicht evakuiert, sondern mittels Durchleitens von reinem Helium die Luft im Apparat verdrängt. Um die Reichweite der erzeugten Atomtrümmer bestimmen zu können, werden zwischen Verschlussglimmer und Szintillationsschirm auf kleinen Messingrahmen

S befestigte Glimmerblättchen von bekanntem Luftäquivalent eingeschoben.

Wegen der schrägen Richtung der durch den Glimmer fallenden Partikeln sind die Absorptionswerte um etwa 25% der bei senkrechter Inzidenz gefundenen Zahlen erhöht. Die Minimalabsorption, im Helium innen im Apparat, in dem Verschlussglimmer und in der Luftschicht zwischen letzterem und dem Schirm betrug bei den verschiedenen Versuchsserien 1.7 bis 2 *cm* Luftäquivalent.

Tabelle I gibt die Resultate von einer Versuchsserie, bei welcher der Konus mit reinem Paraffin ausgekleidet war. Da der Winkel von 90° zwischen Primärstrahlung und beobachteten Sekundärpartikeln für die Substanz selbst nirgends unterschritten wurde, können nach den Stoßgesetzen keine von den beobachteten H-Partikeln natürliche H-Partikeln dem Wasserstoff des Paraffins entstammend sein. Die in der Tabelle angegebenen Zahlen der H-Partikeln sind pro Million der primären α -Partikeln berechnet, welche bei vollkommener Reflexion an der Oberfläche der Substanz in dem Gesichtsfeld des Mikroskopes wahrnehmbar werden würden. Die Zahl dieser Partikeln fällt von einem Anfangswert 25 bei der Absorption 1.7 *cm* auf 5 bei der Absorption 4.8 ab, woraus sich eine Reichweite der H-Partikeln von etwa 7 *cm* Luft ergibt. Die bei bedeutend höherer Absorption noch beobachteten, einer sehr kleinen Zahl von gezählten Szintillationen entsprechenden H-Partikeln, rühren möglicherweise von einer kleinen Verunreinigung mit Stickstoff her, welche bei diesem Apparat schwer vermeidbar war.

Der Versuch wurde mit reinem sibirischen Graphit auf der konischen Fläche anstatt des Paraffins wiederholt. Tabelle II gibt die Resultate einer ähnlichen Versuchsreihe, woraus sich unter Annahme, daß die wenigen H-Partikeln, welche bei den größten Absorptionswerten beobachtet wurden aus einer Stickstoffbeimengung stammen, die maximale Reichweite der H-Partikeln aus Kohlenstoff zu etwa 8 *cm* gibt. Andere Versuchsserien mit Graphit in demselben Apparat gaben immer H-Partikeln mit ähnlichen Absorptionskurven, zeigten aber relativ beträchtliche Schwankungen der Absolutwerte, welche von sehr kleinen Verststellungen der Strahlungsquelle verursacht werden können. Bei sämtlichen diesen Versuchen wurden auch einige α -Partikeln beobachtet, deren Reichweite aber nicht 3.4 *cm* überstieg. Allerdings wurde die Prüfung auf α -Partikel durch das Auftreten einer beschränkten Zahl auf Verseuchung zurückgeführte Szintillationen vom α -Typus erschwert, so daß die Versuche nicht beweiskräftig erschienen punkto Abwesenheit von α -Partikeln größerer Reichweite als die aus den Stoßgleichungen zu berechnenden 2.5 *cm*. Der Versuchsapparat zeigte auch gewisse Nachteile, welche ihn für genauere Messungen weniger zweckmäßig machten. Erstens ist wegen der schon erwähnten schrägen Richtung der auf den Szintillationsschirm fallenden Partikeln die von ihnen durchsetzte Absorption einigermassen

unbestimmt und die Strahlung schon infolgedessen inhomogen. Zweitens aber ist die Bleiblede in der Mitte ein relativ wenig effektiver Schutz gegen γ -Strahlung vom Präparat, wodurch bei nicht ganz schwachen Präparaten ein für die Beobachtung von H-Partikeln nachteiliges Hintergrundleuchten des Schirmes hervorgebracht wurde. Zuletzt ist die relativ große Ausdehnung der Fläche, auf die die zu bestrahlende Substanz verteilt werden muß, ungünstig, besonders mit Substanzen, wovon nur kleine Quantitäten verfügbar sind.

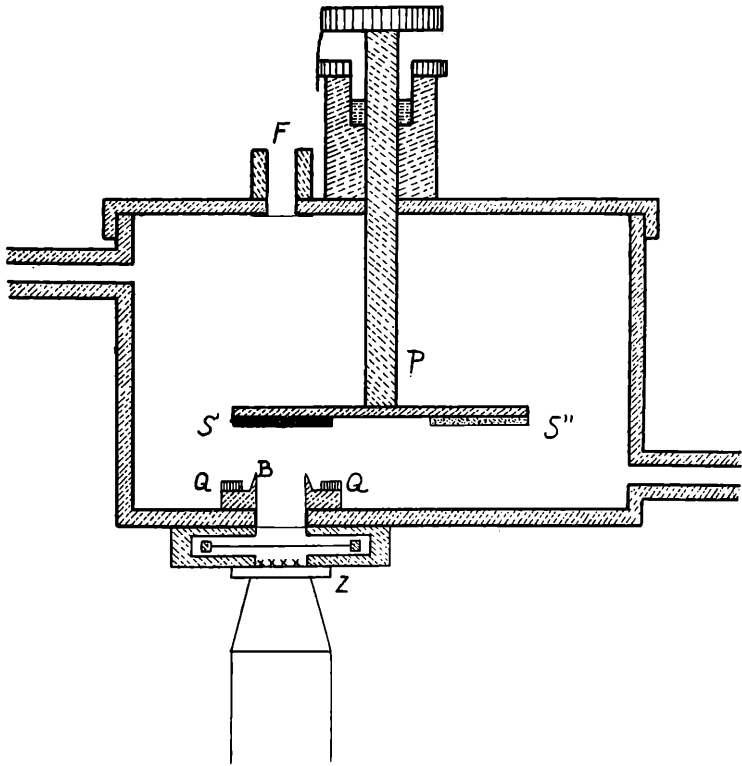


Fig. 2.

Um diesen Nachteilen abzuhelpfen, wurde der in Fig. 2 gezeichnete Apparat konstruiert. Ein zylindrisches Gefäß aus Messing von 4 cm inneren Durchmesser und 4 cm Höhe mit abschraubbarem Deckel hat unten ein exzentrisches Loch, wodurch die Atomtrümmer von den zu untersuchenden Substanzen austreten und auf den Szintillationsschirm Z fallen. Die Strahlungsquelle Q hat ringförmige Gestalt und wird nach der Kondensationsmethode in einem Aktivierungsgefäß besonderer Konstruktion mit Radium C aktiviert. Die primären α -Partikeln fallen schräg nach oben auf die Substanz S, welche auf einem drehbaren und in der Höhe verschiebbaren dreiarmligen Präparatträger P befestigt ist. Durch Drehung kann man

mit derselben Strahlungsquelle drei verschiedene Substanzen abwechselnd zur Untersuchung einstellen. Zwischen Szintillationsschirm und Verschlussglimmer können, wie gewöhnlich, Rahmen mit Glimmerblättern bekannter Absorption eingeführt werden. Die mit einem Glimmerblatt verschlossene obere Öffnung F erleichtert die genaue Zentrierung des Mikroskopes im Verhältnis zu dem von den Substanzen austretenden Strahlenbündeln. Bei den hier zu erwähnenden Versuchen war der Abstand zwischen Strahlungsquelle und Substanz viel kleiner als in der Figur, um den rechten Winkel zwischen

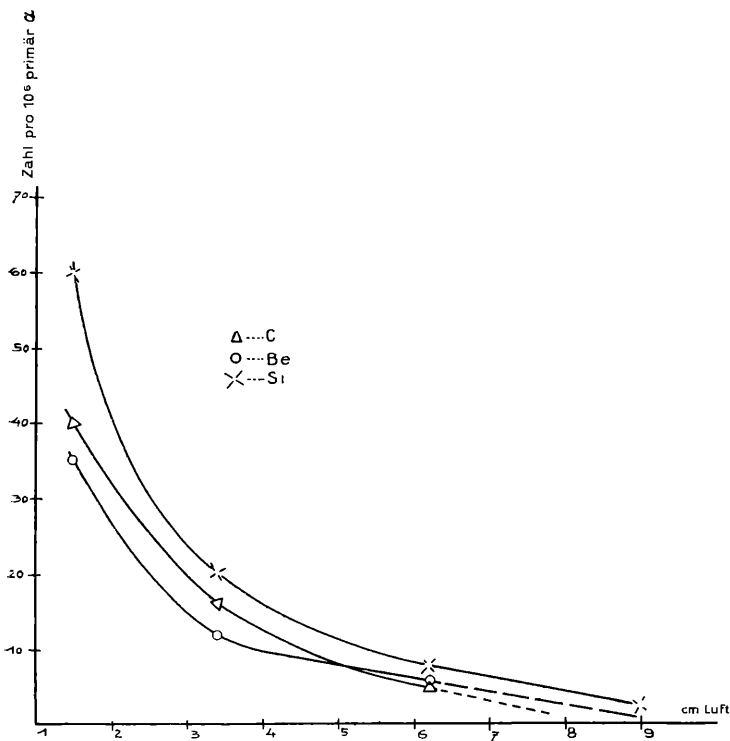


Fig. 3.

Primär- und Sekundärstrahlung angenähert einzuhalten. Andererseits kann wegen der ringförmigen Blende B der rechte Winkel nirgends unterschritten werden für die im Apparat befindliche Gasfüllung (reines He). Auch wird das Einfallen auf den Schirm von an den Apparateilen reflektierten primären α -Partikeln vollkommen verhindert.

Mit diesem Apparat wurden Versuche gemacht mit Kohlenstoff als pulverisiertem Diamant, mit Beryllium als Be_2O_3 und mit Silizium als Element (Tabelle III). Die Zahl der H-Partikeln von den verschiedenen Substanzen wird auch durch die in Fig. 3. wiedergegebenen Absorptionskurven dargestellt.

Man sieht, daß aus sämtlichen drei Substanzen H-Partikeln ausgeschleudert werden, und zwar beträgt die maximale Reichweite der H-Partikeln aus Diamant ungefähr 8 *cm*, die aus Berylliumoxyd 9 *cm* und die aus Silicium (extrapoliert) ungefähr 10 *cm*. Die Absolutzahlen sind für Kohlenstoff und Berylliumoxyd ungefähr die gleichen, 30 bis 35 H-Partikeln pro Million Primärpartikeln bei der Absorption von 1·5 *cm*, währenddem von Silicium ungefähr 50% mehr Partikeln kamen. Die α -Partikeln sind weniger zahlreich als die H-Partikeln, besonders bei Silicium, wo sie außerdem nur bei der kleinsten Absorption beobachtet wurden, obschon die um 90° von Siliciumkernen abgelenkten Partikeln eine Reichweite von 4·5 *cm* haben sollten. Auf diese auffallende Tatsache, die auch durch andere Messungen bestätigt worden ist, werde ich in anderem Zusammenhang zurückkommen.

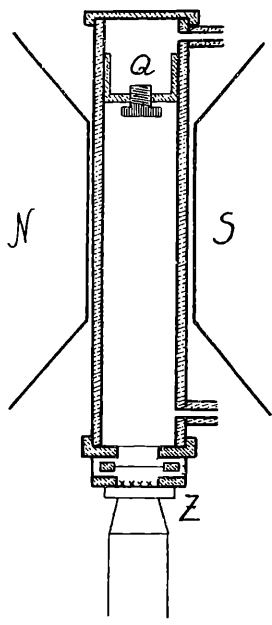


Fig. 4.

Wegen der Schwierigkeiten, aus den geometrischen Verhältnissen die Ausbeute an Sekundärteilchen exakt zu berechnen, sind die Absolutwerte der H- und α -Teilchenzahlen bei diesen Apparaten mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet. Auch erscheint es nicht unmöglich, daß einigen von den bei den kleinsten Absorptionsstufen in den Tabellen als H-Teilchen bezeichneten Partikeln tatsächlich α -Teilchen am Ende ihrer Reichweite waren.

Der in Fig. 2 gezeichnete Apparat bietet mehrere Vorteile für die Untersuchung von sowohl senkrechten als auch mehr oder weniger retrograden Partikeln aus zertrümmerten Atomen, hat aber auch Nachteile konstruktiver Art. Ein verbessertes, nach demselben Prinzip gebautes evakuierbares Zertrümmerungsgefäß wurde deshalb auf

Basis der schon gemachten Erfahrungen für mich verfertigt, womit es gelungen ist, Kohlenstoff sowohl als auch andere Elemente auf Atomtrümmer der aller kürzersten Reichweite (bis zu 0·3 *cm* herab) zu untersuchen. Über die mit diesem neuen Apparat gemachten Messungen wird in einer folgenden Mitteilung berichtet werden.

Nach vorwärts gerichtete Atomtrümmer aus Kohlenstoff.

Infolge Mangel an genügend dünnen Schliffen von Diamant sind Versuche über die nach vorwärts ausfliegenden Atomtrümmer aus Kohlenstoff nur mit gasförmigen Kohlenstoffverbindungen ausführbar. Der zu diesem Zweck benutzte Apparat ist in der Fig. 4 dargestellt. Ein zylindrisches Rohr aus Messing von 14 *mm* Weite

und 90 *mm* Länge ist unten mit dem gewöhnlichen Verschlußglimmer, Zinksulfidschirm und auswechselbaren Glimmerabsorptionen versehen, ein innen angebrachtes, der Röhrenlänge nach verschiebbares Messingstück dient als Träger des Präparates, einer mit 20 bis 60 millicuries aktivierten Messingscheibe von 8 *mm* Durchmesser. Der Apparat wird zwischen den Polen eines Leybold'schen Elektromagneten angebracht zur Ablenkung der β -Strahlung von der Quelle. Durch Zuleitungsrohre können beliebige Gase durch den Apparat geleitet werden.

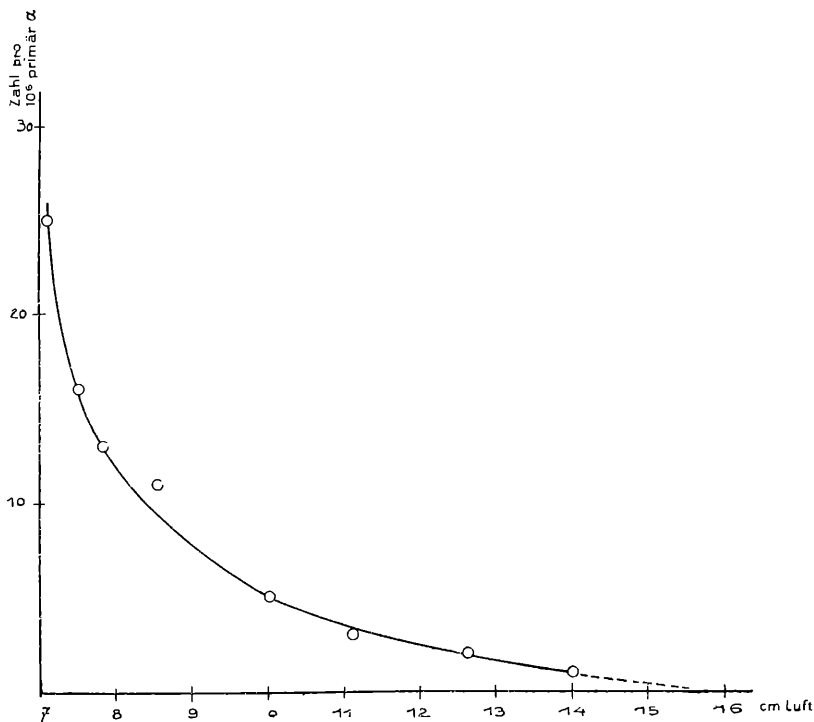


Fig.

Mit diesem Apparat wurden Versuche sowohl mit trockener Kohlensäure als trockenem Acetylen ausgeführt. Die Resultate von einem Versuch mit Kohlensäure sind in der Tabelle IV und in Fig. 5 wiedergegeben. Neben α -Partikeln von weniger als etwa 10 *cm* Reichweite (nicht wiedergegeben in der Kurve) traten H-Partikeln in beträchtlicher Zahl auf, welche der Absorptionskurve nach eine maximale Reichweite von etwa 16 *cm* haben. Da nach in diesem Institut in anderem Zusammenhang zu beschreibenden Versuchen aus Sauerstoff höchstens sehr wenige H-Partikeln von so großer Reichweite nach vorwärts erhalten werden, so dürfen die in der Tabelle und der Figur wiedergegebenen H-Partikeln wohl aus dem Kohlenstoff in der Kohlensäure stammen. Die

Tabelle I.

Paraffin.	
Absorption	H-Partikeln pro $10 \cdot 6 \alpha$
1·7 <i>cm</i>	
2·6	18
3·4	14
4·0	12
4·8	6
11·8	(2)

Tabelle II.

Graphit.	
Absorption	H-Partikeln pro $10 \cdot 6 \alpha$
1·7 <i>cm</i>	30
2·6	12
3·4	9
4·0	6
4·8	
7·6	
11·2	(1·5)

Tabelle III.

Absorption	Diamant		Berylliumoxyd		Silicium	
	α	H	α	H		H
1·5 <i>cm</i>	10	30	10	35		50
3·4	2	16		12	0	20
6·2	0		0	6	0	8
9·1	0	(1)	0	0	0	5

Tabelle IV

Kohlensäure.	
Absorption	H-Partikeln
7·1 <i>cm</i>	25
	16
7·8	13
8·6	11
10·0	5
11·1	3
12·6	
14	1

Tabelle V

Acetylen.	
Absorption	α -Partikeln
7·2 <i>cm</i>	20
	10
7·9	6
8·2	
8·6	
8·9	1·5
9·8	(1)

Zahl dieser Partikeln erscheint bei größeren Absorptionen als 10 *cm* relativ klein; bei Absorptionen von weniger als 9 *cm* ist eine genaue Bestimmung ihrer Zahl schwierig, da die Unterscheidung zwischen H-Partikeln und α -Partikeln nahe am Ende ihrer Reichweite immer relativ unsicher ist. Bei einigermaßen starkem Hintergrundleuchten des Schirmes von der γ -Strahlung eines starken Präparates wird die Zählung von lichtschwachen H-Partikeln in der Anwesenheit einer größeren Zahl lichtstarker α -Szintillationen relativ unsichere Werte geben, weshalb die in der Tabelle angegebenen Zahlen für nach vorwärts gerichteter H-Partikeln aus Kohlenstoff zunächst als Näherungswerte anzusehen sind.

Um zu erfahren, ob aus Kohlenstoff auch möglicherweise α -Teilchen größerer Reichweite kommen, habe ich zuletzt einige Versuchsserien mit Acetylen in demselben Apparat ausgeführt. Die dabei auftretenden sehr zahlreichen natürlichen H-Partikeln aus dem Wasserstoff im Acetylen geben eine beträchtliche Zahl von Szintillationen mit für H-Partikeln relativ großer Lichtstärke. Es gelingt jedoch mit Hilfe des bei diesen Untersuchungen verwendeten, sehr lichtstarken Mikroskops, die α -Partikeln von den H-Partikeln zu unterscheiden und die ausgeführten Zählungen bewiesen, daß mit Acetylen auch α -Partikeln auftreten, deren Reichweite bei etwa 10 *cm* Luft liegen.

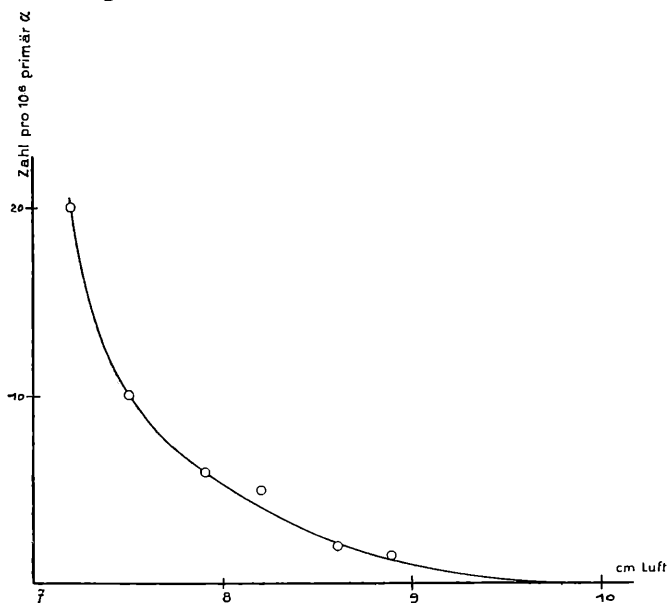


Fig. 6.

Um dieses Ergebnis sicherer zu stellen, habe ich eine Methode benutzt, welche es erlaubt, α -Partikeln von mehr als etwa 0.5 *cm* restlicher Reichweite auch bei Anwesenheit von vielfach zahlreicheren H-Partikeln ungestört von letzteren zu zählen. Zu dem Zweck wird unmittelbar hinter dem Mikroskopobjektiv senkrecht zu den Lichtstrahlen ein Grauglas bekannten Absorptionsvermögens eingeführt, und zwar wählt man ein Glas, welches bei guter Akkomodation des Auges die Szintillationen von natürlichen H-Partikeln unsichtbar macht.

In einer früheren Mitteilung wurde eine Methode beschrieben,¹ welche es ermöglicht, mit Hilfe von ähnlichen Graugläsern die relative Helligkeit von den durch H- und α -Partikeln hervorgerufenen

¹ E. Kara-Michailova und H. Pettersson. Mitteil. Ra-Inst. Nr. 164. Diese Berichte. 133, 163, 1924.

Szintillationen zu messen. Die in diesem Zusammenhang gemachten Erfahrungen bewiesen, daß eine α -Partikel mit 0·4 *cm* restlicher Reichweite eine Szintillation hervorbringt, welche dieselbe Helligkeit besitzt, wie die von einem H-Partikel. Da man ein etwas stärker absorbierendes Grauglas wählen muß, als genau dem Verschwinden der H-Szintillationen entspricht, so muß man damit rechnen, daß auch die α -Partikeln, deren Reichweite 0·5 oder 0·6 *cm* entspricht, zusammen mit den H-Partikeln unsichtbar werden. Eine entsprechende Korrektur muß deshalb eingeführt werden, so daß die mit dem Grauglas zusammen benutzten Glimmerfilter einer um 0·5 bis 0·6 *cm* höheren Absorption zugerechnet werden muß.

Die mit einem Grauglas bestimmte Zahl von α -Partikeln wird in Tabelle V und Fig. 6 wiedergeben. In der Tabelle sind die angegebenen Absorptionswerte schon mit der erwähnten Korrektur versehen, in der Kurve aber nicht. Sowohl die mit Grauglas bestimmten Kurven als auch direkte Zählungen ohne Grauglas gaben in Übereinstimmung für die maximale Reichweite dieser α -Partikeln einen Wert um 10 *cm*.

Ob diese α -Partikeln wirklich aus Kohlenstoff stammen oder einer Art α -Teilchen anormal großer Reichweite aus der Strahlungsquelle selbst entsprechen, wie es die Cambridger Physiker behaupten, ist eine Frage, die zur Zeit wohl offen gelassen werden muß.

Zusammenfassung der Messungsergebnisse.

Die oben beschriebenen Versuche haben erwiesen, daß von Kohlenstoff sowohl nach vorwärts wie unter rechtem Winkel H-Partikeln ausgeschleudert werden, und zwar beträgt die Reichweite ersterer (aus Kohlensäure erhalten) ungefähr 16 *cm*, währenddem die senkrecht ausfliegenden H-Partikeln (aus Paraffin, Graphit und Diamant) eine maximale Reichweite von 6 bis 8 *cm* haben. Wegen der erwähnten Schwierigkeit, sehr wenig zahlreiche Partikeln genau zu zählen, ist es allerdings nicht unwahrscheinlich, daß die endgültig festzustellenden maximalen Reichweiten sich um einige Zentimeter höher erweisen werden.

Mit Acetylen wurden außerdem auch nach vorwärts ausfliegende α -Partikeln gefunden, und zwar ergaben sowohl direkte Zählungen mit subjektivem Unterscheiden von H- und α -Szintillationen voneinander, wie Zählungen mit Grauglas zum Unterdrücken der ersteren, übereinstimmende Reichweite von 10 *cm*, währenddem die Zahl ähnlicher Partikel, deren Reichweite 7·2 *cm* übersteigt, ungefähr 20 pro Million der Primärpartikeln beträgt.

Theoretisches.

Auf Grund ihrer Beobachtungen über die Zertrümmerung mittels α -Partikeln von sechs der leichteren Elemente haben Rutherford und Chadwick eine etwas eigenartige Theorie für

die Struktur des Atomkernes sowie für den Mechanismus der Zertrümmerung vorgeschlagen.¹ Nach dieser, als Satellithypothese zu bezeichnenden Erklärung sollte, wenigstens im Falle der erwähnten sechs Elemente, der Atomkern von einem äußeren in einem gewissen Abstand befindlichen H-Satellit umkreist sein. Die Zertrümmerung sollte durch eine direkte Kollision zwischen der sich annähernden α -Partikel und dem Satellit zustande kommen, wobei ein großer Teil des Impulses von den α -Partikeln auf den H-Kern übertragen würde, ohne einer entsprechenden Wirkung auf die Hauptmasse des Kernes. Je nach der Lage des H-Kernes in seiner Bahn in dem Moment des Stoßes würde er nach vorwärts oder nach rückwärts ausgeschleudert werden. Unzertrümmerbare Atome wären solche, bei denen entweder ein äußerer H-Kern fehlt oder wo er so nahe an den Restkern gebunden ist, daß eine selektive Übertragung des erforderlichen Stoßimpulses nicht möglich ist.

Gegen diese Auffassung, nach welcher Zertrümmerbarkeit eine ausnahmsweise vorkommende, auf spezieller Struktur einiger besonderer Arten von Atomkernen beruhende Eigenschaft wäre, habe ich mich schon auf Basis der ersten hier im Institut gemachten positiven Resultate über die Zertrümmerbarkeit einiger anderer Elemente gewendet und die Annahme ausgesprochen, daß Zertrümmerbarkeit wahrscheinlich eine allgemeine Eigenschaft der Atome sei, welche sämtlichen Elementen mit Ausnahme allein von Wasserstoff, und eventuell auch Helium, zukomme.² Die Zertrümmerung wird dabei als eine Art Explosion des durch die Stoßwirkung instabil gemachten Kernes betrachtet und die von Rutherford und Chadwick beobachteten Unterschiede an Geschwindigkeit zwischen nach vorne und hinten fliegenden H-Kernen wird auf die Eigengeschwindigkeit des Kernes im Moment der Explosion zurückgeführt, welche sich in dem einen Falle zu der wahren Austrittsgeschwindigkeit aus dem Kern addiert, in dem anderen Falle davon subtrahiert. Die aus dieser Annahme und Rutherfords und Chadwicks Messungen erhaltenen Werte der Eigengeschwindigkeit W des Kernes zeigen für vier von ihren sechs Elementen eine gute Übereinstimmung mit der aus den Stoßgesetzen bei zentralem Stoß zu berechnenden Kerngeschwindigkeit W' , wenn man annimmt, daß die Explosion des Kernes in dem Augenblick der größten Annäherung zwischen α -Partikel und Kern stattfindet, wo sie sich wie ein Körper mit gleicher Geschwindigkeit zusammenbewegen.

Die bei den beiden leichteren Elementen von dem Typus $M = 4n + 3$ gefundenen Abweichungen zwischen der gefundenen und der berechneten Kerngeschwindigkeit dürfte dem Zeichen der Abweichungen nach auf eine früher eingetretene Instabilität ihrer Kerne deuten, unter Berücksichtigung, daß die zur Hervorrufung

¹ E. Rutherford und J. Chadwick, Phil. Mag. (6), Vol. 42, p. 809, 1921; Vol. 44, p. 417, 1922.

² H. Pettersson, Proc. Phys. Soc. London. Vol. 36, Part. 3, p. 194, 1924.

Tabelle VI.

Element	$A = \text{Atomgewicht}$	$W = \frac{1}{2} [w_v - w_r]$	$W' = \frac{4}{4+A} \cdot V$
Bor...	11	0·14 V	0·27 V
Stickstoff..	14	0·23	0·22
Fluor	19	0·11	0·17
Natrium...	23	0·15	0·15
Aluminium.	27	0·12	0·13
Phosphor	31	0·10	0·11

der Instabilität erforderliche Intensität des Stoßes im allgemeinen kleiner bei leichteren als bei schwereren Elementen zu erwarten wäre. Für die weitere Begründung der Explosionshypothese muß auf die Originalabhandlung verwiesen werden.

Der Bestimmung der Geschwindigkeit der unter verschiedenen Winkeln zur Primärstrahlung austretenden Atomtrümmer kommt nach der Explosionshypothese ein besonderes Interesse zu, indem die daraus berechenbare Kerngeschwindigkeit im Moment der Explosion ein direktes Maß für die Stabilität des betreffenden Kernes geben würde.

Für die H-Partikeln aus Kohlenstoff erlaubt das hier mitgeteilte Beobachtungsmaterial eine approximative Berechnung der Kerngeschwindigkeit W , indem letztere in erster Annäherung dem einfachen Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten der nach vorwärts und der unter 90° gegen die Primärstrahlung austretenden H-Partikeln maximaler Reichweite gleichkommt.

$$W = w_v - w_r.$$

Für die nach vorwärts gerichteten Partikeln haben die Versuche mit Kohlensäure eine maximale Reichweite von etwa 16 cm ergeben, währenddem die unter annähernd rechtem Winkel aus Paraffin oder Graphit austretenden H-Partikeln eine Reichweite von 8 cm haben. Die hieraus mittels der Geiger'schen Gleichung (deren Richtigkeit für H-Partikeln allerdings nicht erwiesen ist) berechneten Geschwindigkeiten sind, auf die Anfangsgeschwindigkeit der α -Partikeln aus RaC = V als Einheit bezogen $w_v = 1\cdot33 V$ und $w_r = 1\cdot06 V$. Woraus sich ergibt $W = 0\cdot27 V$. Die aus den Stoßgleichungen zu ermittelnde gemeinsame Geschwindigkeit von Kohlenstoffkern und α -Partikeln im Moment der größten Annäherung ergibt sich zu

$$W' = \frac{4}{4+12} V = 0\cdot25 V,$$

wo 4 der Masse der α -Partikel und 12 der des Kohlenstoffkerns entspricht. Man erhält also eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den beiden Werten der Kerngeschwindigkeit, was nach der Explosionshypothese so zu deuten wäre, daß auch der Kohlenstoffkern, wie es mit N, Na, Al und P der Fall zu sein scheint, im

Moment der größten Annäherung zwischen Kern und α -Partikel explodiert. Es muß aber betont werden, daß die Schwierigkeiten, die maximale Reichweite der wenig zahlreichen und relativ sehr lichtschwachen H-Partikeln genau zu bestimmen, immerhin eine beträchtliche Unsicherheit mit sich bringen, so daß der gefundenen numerischen Übereinstimmung nicht zu großes Gewicht beigemessen werden muß.

Auch für die als Vergleichssubstanz zusammen mit Kohlenstoff untersuchten Elemente Beryllium und Silicium erlauben die Resultate eine wenigstens angenäherte Nachprüfung gleicher Art. Für nach vorwärts gerichteten H-Partikeln aus diesen beiden Elementen hatten Dr. Kirsch und ich die maximalen Reichweiten 18, respektive 12 *cm* gefunden,¹ welche Werte aber im Lichte späterer Berechnungen auf etwa 20, respektive 14 *cm* zu erhöhen sind. Für die maximale Reichweite der rechtwinkligen Partikeln geben die in der Tabelle III und der Kurve Fig. 3 dargestellten Resultate Werte von 9 *cm* mit Beryllium, während sich für Silicium der extrapolierte Wert von 10 *cm* ergibt. Die hieraus berechneten Geschwindigkeiten werden für Beryllium $w_v = 1.43 V$, $w_r = 1.09 V$, so daß $W = w_v - w_r = 0.34 V$ wird, währenddem die Kerngeschwindigkeit bei größter Annäherung $W' = \frac{4}{4+9} = 0.31 V$ wird, also wiederum eine genügende Übereinstimmung.

Für Silicium wird analog $w_v = 1.26 V$, $w_r = 1.13 V$, so daß $W = w_v - w_r = 0.13 V$ wird, gegenüber dem Werte aus der Formel

$$W' = \frac{4}{4+28} = 0.125 V \text{ für die Kerngeschwindigkeit bei größter}$$

Annäherung.

Abgesehen von der numerischen Übereinstimmung in den beiden Fällen, ist es von Interesse zu beobachten, daß man, ohne die Explosionshypothese zu berücksichtigen, wohl erwartet hätte, daß von Beryllium, dessen vorwärtige Partikeln so bedeutend größere Reichweite haben als die von Silicium, auch die rechtwinkligen Partikeln eine ähnliche Überlegenheit erweisen sollten, während das Umgekehrte der Fall ist.

Es erscheint sehr erwünscht, die auf der Explosionshypothese fußenden Betrachtungen auch auf Partikeln anzuwenden, welche unter Winkeln von mehr als 90° gegen die Primärstrahlung aus Atomkernen von diesen und anderen der Leichtelemente austreten. Besonderes Interesse gebührt der Untersuchung ähnlicher retrograder oder annähernd retrograder Partikeln auch mit Rücksicht auf das Schicksal der unter diesen Winkeln zurückfliegenden primären α -Partikeln. Diese müssen nämlich einen solchen zentralen Stoß auf den getroffenen Atomkern ausgeübt haben, daß das dabei über-

¹ G. Kirsch u. H. Pettersson, *Mitteil. Ra-Inst. Nr. 160, diese Ber., 132, p. 306, 1923.*

tragene, beinahe maximale Stoßmoment wohl ausreichen müßte, um eine Instabilität des getroffenen Kernes hervorzurufen. Rechnet man mit einem elastischen Zurückprallen der so auftreffenden α -Partikel mit einer nach den Gleichungen für den elastischen Stoß zu berechnenden, beziehungsweise wegen Energieentwicklung bei der Explosion überschüssigen Reichweite, so würde das Verhältnis an Zahl ähnlicher Partikeln und die Gesamtzahl der beobachteten H-Partikeln wichtige Schlüsse über die Frage, wie radikal die Explosion verläuft, ermöglichen, d. h. ob aus demselben Kern ein oder mehrere H-Partikeln ausfliegen.

Es muß aber auf eine andere Möglichkeit hingedeutet werden. Es ist denkbar, daß der zentrale Stoß zwischen α -Partikel und Atomkern einen nicht elastischen Verlauf hat, daß z. B. die auftreffende α -Partikel, die ja im Moment der größten Annäherung zusammen mit dem Atomkern einen um 4 Masseneinheiten und um $+2e$ höheren Kern, wenigstens vorübergehend, synthetisiert, auch weiter mit dem getroffenen Kern vereint bleibt, währenddem ein oder mehrere H-Partikeln aus letzterem herausfliegen. Der so erzeugte neue Kern von dem Typus $A+He-x\cdot H$ kann entweder stabil sein und eine weitere Existenz als Kern eines neuen Atoms haben, oder er kann instabil sein und nach kürzerer oder längerer Frist einem spontanen Zerfall ähnlich dem radioaktiven unterliegen.

Das bis heute vorliegende Beobachtungsmaterial erlaubt nicht eine Entscheidung zwischen diesen beiden Alternativen zu treffen, obwohl einige Befunde für die letzterwähnte Alternative zu sprechen scheinen. Indessen werden Versuche vorbereitet, um sowohl die eventuelle multiple Emission von Atomtrümmern bei einer radikal verlaufenden Explosion zu beobachten als auch um die Zahl und Reichweite der retrograd verlaufenden Partikeln verschiedener Herkunft festzustellen.

Zusammenfassung.

Unter Beobachtung der unter 90° gegen die einfallende Primärstrahlung ausfliegenden Atomtrümmer ist es gelungen, H-Partikeln von Kohlenstoff als Paraffin und als reinsten Graphit nachzuweisen. Mit einer verbesserten Versuchsanordnung wird dasselbe Resultat mit pulverisiertem Diamant bestätigt. Nach vorwärts ausfliegende H-Partikeln aus Kohlenstoff werden durch Versuche in Kohlensäure nachgewiesen. Bei Versuchen in Acetylen wurden auch α -Teilchen beobachtet, deren Ursprung, ob aus der Strahlungsquelle oder aus dem Kohlenstoff, zunächst unentschieden erscheint. Die Reichweite der H-Partikeln wird nach vorwärts zu 16 cm, nach der 90° Richtung zu 8 cm festgestellt. Die Beobachtungen werden im Einklang mit der früher dargestellten Explosionshypothese gefunden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: [133_2a](#)

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

Artikel/Article: [Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr.
168. Über die Atomzertrümmerung durch \$\alpha\$ -Partikeln III. Die
Zertrümmerung von Kohlenstoff. 445-460](#)