

## Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung

Nr. 201

# Die Bestimmung des Quotienten Ladung zu Masse für Atomtrümmer aus Kohlenstoff, Bor und Eisen<sup>1</sup>

Von

Georg Stetter

Aus dem II. Physikalischen Institut der Universität in Wien.

(Mit 4 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 28. April 1927)

### Zur Methodik.

In Nr. 181 dieser Mitteilungen habe ich kurz<sup>2</sup> ein Massenspektroskop für schnelle und seltene Korpuskularstrahlen beschrieben und von den damit ausgeführten Untersuchungen im besonderen über natürliche H-Strahlen aus Paraffin und Atomtrümmer aus Aluminium berichtet. Die Fortsetzung der Versuche an Atomtrümmern verzögerte sich dadurch, daß bei einer gemeinsam mit Fräulein Dr. E. Rona ausgeführten Arbeit mit Actinium<sup>3</sup> eine starke Verseuchung eintrat, die zunächst nicht wieder beseitigt werden konnte. Die im folgenden angeführten Versuche geschahen daher mit einem neuen Apparat, der sich jedoch von seinem Vorgänger nur in einigen mehr technischen Einzelheiten unterscheidet, während die hauptsächlichsten geometrischen Beziehungen absichtlich gleich gemacht wurden, so daß die neuen Versuche mit den früheren durchaus vergleichbar sind. Es soll deshalb auf die erwähnten Änderungen hier nicht eingegangen werden, zumal über die experimentell interessanten Details an anderer Stelle (l. c.) berichtet wird. Eine Reihe von Probemessungen sowohl mit  $\alpha$ -Strahlen als auch mit natürlichen H-Strahlen ergab, daß die an dem ersten Massenspektroskop errechneten, beziehungsweise gemessenen Daten für den neuen Apparat ihre Gültigkeit behielten. Auch die Versuche mit Atomtrümmern aus Aluminium wurden gelegentlich wiederholt — teils zu Vergleichszwecken, teils zur Abtastung des Geschwindigkeitsbereiches, worüber im letzten Abschnitt Näheres mitgeteilt werden soll — und ergaben vollkommene Übereinstimmung mit den früheren Ergebnissen.

Die Anordnung von Quelle, Substanz und Spalt bei diesen und den folgenden Versuchen war prinzipiell die gleiche wie in

<sup>1</sup> Ein ausführlicher Bericht erfolgt demnächst  
Ausführlich *Z. f. Ph.* 34, 158 (1925).  
Siehe *Verh. d. D. P. G.* 7, 34 (1926).

*Zeitschrift für Physik.*

Mitt. Nr. 181 beschrieben.<sup>1</sup> eine indirekte Methode, bei der die untersuchte Sekundärstrahlung einen Winkel von 80 bis 150° (in einigen Fällen noch größere Winkel, siehe unten) mit der Primärstrahlungsrichtung einschließt und wo sorgfältig darauf geachtet ist, die Störungen von ungewollter  $\alpha$ -Streustrahlung sowie von natürlicher H-Strahlen ausgeschlossen sind. (Die genauen, für diesen Zweck eingehaltenen Abmessungen werden in der ausführlichen Abhandlung, in der Zeitschrift für Physik gegeben.) Da genügend starke Poloniumpräparate, die ja wegen des Wegfalls der durchdringenden Strahlung die ideale Quelle wären,<sup>2</sup> vorläufig nicht hergestellt werden können, bei Ra C die rasche Abklingung und die Verseuchungsgefahr Schwierigkeiten bereiten, blieb auch in der Folge Strahlungsquelle ein äußerst dünnwandiges, mit Ra Em gefülltes Glasröhrchen. Man hat den Vorteil einer während des Versuchs praktisch konstanten Aktivität, der absoluten Verseuchungsfreiheit sowie der Ausnützung von  $3\alpha$ -Strahlern gleichzeitig. Um die Ausbeute nicht andererseits wieder stark herabzusetzen, muß freilich die Glaswand sehr dünn, 10  $\mu$  und weniger, sein, um von den Strahlen, die ja zum großen Teil die Wand schieb durchsetzen, nicht allzuviel zu verlieren. Diese Kapillaren, die natürlich eine sehr zarte Behandlung erfordern, zeigen noch eine zunächst unwillkommene, aber physikalisch nicht uninteressante Erscheinung: sie werden vom äußeren Luftdruck eingedrückt.<sup>3</sup>

Die so bewirkte Formänderung setzt die Ausbeute so herab, daß die Kapillare als Strahlungsquelle unbrauchbar wird, weshalb man sie zwischen den Versuchen in einem evakuierten Gefäß aufheben muß. Gleichzeitig schützt man dadurch die Arbeitsräume und den Apparat vor Verseuchung bei einer allfälligen Verletzung des Röhrchens (auch Undichtwerden ohne Bruch nach einigen Tagen kommt bei starken Kapillaren vor).

Daß auch eine verhältnismäßig dünne Glaswand die austretenden Strahlen stark vermindert, beziehungsweise verkürzt, kann man leicht berechnen: z. B. beträgt für eine Wandstärke von 10  $\mu \sim 2$  cm Luftäquivalent die Menge der mit mehr als 1 cm Restreichweite bei unserer Anordnung zur Wirkung kommenden Strahlen von Ra C nur zirka 8 %; für die kürzeren Strahlen liegen die Verhältnisse natürlich noch ungünstiger. (Näheres über die Ausbeuteberechnung im letzten Abschnitt.)

<sup>1</sup> Siehe auch Ark. f. Mat. Astr. och Fys. 19B, Nr. 10 (1926), ferner Phys. Z. 27, 735 (1926) (Vortrag auf der Düsseld. Naturforscherversammlung)

<sup>2</sup> E. A. W. Schmidt, Mitt. d. Inst. f. Radiumf. Nr. 178.

<sup>3</sup> Darunter ist nicht etwa ein Bruch der Kapillarenwandung zu verstehen, wie er bei sehr geringer oder ungleichmäßiger Wandstärke durch äußeren oder inneren Überdruck natürlich auch vorkommen kann, sondern die Glaswand biegt sich der dünneren Seite im Verlaufe von Stunden oder Tagen nach innen, so daß eine Kapillare, die am Abend noch vollkommen zylindrisch war, am nächsten Morgen wie ein kleiner Trog aussieht und etwa einen Querschnitt zeigt wie in Abb. 1 angedeutet.

Die starke Volumsverminderung deutet auf einen Innendruck, der meist viel kleiner ist als der, bei dem die Kapillare abgeschmolzen war; vermutlich werden

Zur Beobachtung diente diesmal noch die Szintillationsmethode. Die neuerdings verbesserte<sup>1</sup> elektrisch-akustische Methode zum Nachweis einzelner Korpuskularstrahlen ist ja in der Durchführung der Zählungen lange nicht so mühsam und zeitraubend wie die erstere, war aber doch noch nicht genügend erprobt. Andererseits war es für diese nächsten Arbeiten erwünscht, eine Methode zu verwenden, deren Eigenheiten wohl bekannt sind, wenn sie auch durchaus nicht immer befriedigt hat. So war es viel leichter, einen Vergleich mit früheren Ergebnissen sowie ein Urteil über abweichende Resultate anderer Physiker zu gewinnen.

Im folgenden sollen nun Versuche mit den Elementen C, B, Fe besprochen und weitere Einzelheiten, soweit notwendig, gelegentlich ihrer speziellen Anwendung mitgeteilt werden.

### Kohlenstoff.

Wegen des großen theoretischen Interesses, das C als Heliummultipel (Atomgewicht  $12 = 3 \times 4$ ) vom Standpunkt der Kernforschung hat<sup>2</sup>, schien es richtig, die folgenden Versuche auf dieses



Abb. 1.

Element zu konzentrieren. Wie außerordentlich schwierig jedoch gerade hier die Aufgabe lag, zeigte sich erst im Verlaufe der Arbeit. Die vom Kohlenstoff abgegebenen Atomtrümmer sind ja überwiegend von sehr kurzer Reichweite und geben dementsprechend nur sehr lichtschwache Szintillationen. Während diese aber bei relativ größerer Zahl, wie etwa bei Aufnahme einer Absorptionskurve, von geübten Beobachtern noch ziemlich sicher gezählt werden, ist die Zählung bei der kleinen Ausbeute in meinem Apparat schon sehr anstrengend.

durch die intensive Strahlung die Gase zum Teil in die Glaswand getrieben. Daß bei dieser Verformung eine Verletzung auftritt, ist ausgeschlossen, da bei den großen Präparatstärken das kleinste Loch sofort durch die auftretende Verseuchung bemerkt würde. Ob es sich hier um eine rein thermische Wirkung oder eine andere Veränderung des Glases durch die Strahlung handelt, ist ohne ausführliche Versuche nicht zu entscheiden, da man zwar leicht die beim Zerfall entwickelte, aber nur sehr ungenau die durch die Luft abgeleitete Wärme berechnen kann. Eine Temperatur von  $100^{\circ}$  C. genügt jedenfalls auch bei längerer Dauer nicht, um den Effekt hervorzurufen, wovon ich mich durch Blindversuche mit ungefüllten, evakuierten Kapillaren überzeugt habe. Es ist aber, wie man leicht überschlägt, durchaus möglich, daß bei der minimalen Wärmekapazität die Temperatur des Röhrchens auch einmal höher steigt, wenn gerade aus irgend einem Grund die Wärmeableitung ungünstiger ist.

<sup>1</sup> G. Ortner und G. Stetter. Phys. Z. 28, 70, 1927.

<sup>2</sup> H. Pettersson, diese Mitteilungen, Nr. 168.

Da außerdem die Ausbeute bei C (siehe weiter unten) bedeutend kleiner ist als bei A1, wird die physiologische Schwierigkeit der schlechten Sichtbarkeit zum ersten Hindernis. Eine Verbesserung scheint der auch nicht gerade einfache Weg zu höheren Präparatstärken zu sein, der auch beschritten wurde. Es gelang für zwei der C-Versuche je eine Kapillare mit 300 Millicurie Ra Em zu füllen. Die erste war schon nach einem Tag eingedrückt (siehe oben) und dann unverwendbar, der zweiten war ein längeres Leben beschieden. Die Resultate waren aber in beiden Fällen unbrauchbar, weil, wie sich nach einigen derartigen Versuchen klar zeigte, die Augen durch die intensive  $\gamma$ -Strahlung in kürzester Zeit (10 bis 15 Minuten) zur Beobachtung untauglich wurden. Die Zählergebnisse beginnen dann derartig zu streuen, daß man den Versuch verloren geben muß. Da es unmöglich ist, in so kurzer Zeit eine Spektralkurve aufzunehmen, auch wenn man alle Einstellungen usw. vorbereitet und die in einem anderen Zimmer dunkeladaptierten Zähler sogleich nach dem Eintritt in den Versuchsraum beginnen läßt, wurde einerseits der Bleischuttschild auf das räumlich mögliche Maximum vergrößert, andererseits starke Strahlungsquellen nicht mehr verwendet. Weiter galt es, die Sichtbarkeitsbedingungen zu verbessern. Nach nochmaliger Überprüfung der verfügbaren Proben wurde ein sehr gleichmäßiger dünner Schirm aus Sidotblende von Guntz in Nancy gemacht und zwischen Schirm und Mikroskopobjektiv eine Ölimmersion gebracht, was eine langsame Schlittenbewegung des Mikroskops nicht verhinderte. Ferner wurde zwischen die Polschuhe ein passendes Bleistück eingefügt, das den Weg für die gekrümmten Strahlen natürlich freiließ, die  $\gamma$ -Strahlung aber zum größten Teil absorbierte. Das Gesichtsfeld war dann nach Auslöschung des Schirmes mit rotem Licht so dunkel, daß seine Begrenzung auch mit dunkeladaptiertem Auge zeitweise nicht gesehen wurde, die Sichtbarkeitsverhältnisse also auch für schwache Szintillationen so gut wie eben möglich.

Das Fehlen einer ausreichenden Intensität bei Reichweite über 2 bis 3 cm bringt ferner eine Einengung des verwendbaren Geschwindigkeitsbereiches mit sich, da ja die untere Grenze — das Aufhören der Sichtbarkeit — unverschiebbar ist. Eine ungünstig gewählte Feldstärke<sup>1</sup> konnte die Ausbeute stark beeinträchtigen, dafür bot der verhältnismäßig enge Bereich den Vorteil, daß die Blende hinter dem elektrischen Feld wegbleiben konnte, ohne die »Schärfe« zu beeinträchtigen. Daß das ohnehin unscharfe  $\alpha$ -Bild dadurch noch unschärfer wird, ist deswegen ohne Bedeutung, weil

die Verbreiterung ausschließlich nach der Seite kleineren  $\frac{e}{m}$  erfolgt

<sup>1</sup> Der Zusammenhang zwischen der sichtbaren »Szintillationsreichweite« und der wahren Reichweite, wie man sie experimentell etwa durch Nebelbahnen verifizieren oder nach Geiger's Formel in genügender Annäherung berechnen kann, war ja bis vor kurzem (E. Kara-Michailowas' nicht abgeschlossene Versuche nicht einmal für Strahlen von sicherem H Charakter bekannt.

<sup>2</sup> Siehe die Diskussion der Abbildungsverhältnisse in Mitt. d. Inst. Radiuml. Nr. 181.

und daher nach der H-Stelle zu  $\left(\frac{e}{m} > \frac{1}{2}\right)$  nicht stören kann. Die Linien  $\alpha^{++}$  und  $\alpha^+$  fließen dann zusammen, weshalb bei dieser und auch bei den folgenden Versuchen dieser linke Teil der Spektralkurve wenig beachtet wurde, schon um die anderen, wichtigen Punkte in der kurzen Versuchsdauer besser belegen zu können. Man muß im Auge behalten, daß einem dabei Atomtrümmer von einem  $\frac{e}{m} < \frac{1}{2}$  entgehen müssen; doch kann diese Frage bei anderen Einstellungen ( $\alpha^{++}$  scharf) geprüft werden, was auch in zwei orientierenden Versuchen geschah — mit negativem Erfolg.

Die Ausbeute konnte außer durch die Weglassung der Blende noch verbessert werden durch Verwendung eines fünfteiligen Parallelspaltsystems statt der früher verwendeten sechs Teilspalte. Die damit verbundene Linienverbreiterung konnte in Kauf genommen werden. Von den zahlreichen Kohlenstoffversuchen war eine Anzahl unbrauchbar, teils wegen der oben angegebenen experimentellen Mängel, teils durch Indisposition der Beobachter (vorhergegangene Anstrengungen,  $\gamma$ -Strahlung, latente Erkältungskrankheiten usw.).<sup>1</sup> Drei oder vier Versuche können als gut gelungen bezeichnet werden; der beste, dem eine mehrtägige Erholungspause der Beobachter vorangegangen war, ist in der Spektralkurve Abb. 2 wiedergegeben (es sei aber — unter Vorwegnahme des Resultates — gleich betont, daß auch bei den weniger guten Versuchen stets H-Teilchen an der ihnen zukommenden Stelle gezählt wurden in einer die Streuung usw. überwiegenden Menge; nur war in diesen Fällen die Trennung von der  $\alpha^{++}$  Linie oder die Lage des Maximums überhaupt undeutlich).

Die Strahlungsquelle war eine Gaskapillare, 9 mm lang, 0,55 mm weit, von einer Wandstärke von nur 6  $\mu$ , an der der Substanz zugewendeten Seite. Füllung Ra Em von 150 Millicurie; Gammastrahlenschutz außer verschiedenen Metallteilen ca. 6 cm Blei, außen, wie üblich, mit Pappendeckel verkleidet. Guntz-Schirm, Öl-Immersion, Mikroskop Watson II mit Hartgummi-Augenstück (wegen der sekundären  $\beta$ -Strahlung). Das Material, in früheren Versuchen meist Acheson-Graphit, einmal auch Diamant, war zuletzt immer ein 0,04 mm starkes Kohlenstoffblech, das Herr Generaldirektor Dr. A. Lederer freundlichst zur Verfügung gestellt hatte und das nach Analysen im hiesigen chemischen Institut bis auf 10/100 aus reinem Kohlenstoff besteht.

In der Abbildung bedeutet die Abszisse wieder eine parallel zum Schirm laufende Millimeterskala, die Ordinaten die Zahl der Szintillationen auf einem Gesichtsfeld von  $3 \times 2\frac{1}{4}$  mm. Die ausgezogene

<sup>1</sup> Die Beurteilung erfolgt natürlich nicht nach der mehr oder minder vorhandenen Übereinstimmung mit der Erwartung, sondern außer anderen experimentellen Gesichtspunkten hauptsächlich aus der Übereinstimmung der Einzelzählungen (an gleicher Stelle) in sich; bei schlechten Beobachtern ergeben diese heiklen Zählungen oft sehr große Schwankungen. Solche Ergebnisse wurden nicht verwendet.

Kurve ist aus Mittelwerten aller (vier) Beobachter zusammengestellt, die strichlierte Kurve gibt die Zählergebnisse der an diesem Abend am besten arbeitenden Beobachterin. Das Maximum an der  $H^+$ -Stelle läßt wohl keinen Zweifel mehr an dem Charakter der Atomrümpfe aus Kohlenstoff. Das aus maßstäblichen Gründen in der Figur nicht gezeichnete  $\alpha^{++}$ (reflektiert)-Maximum, das bei diesen Versuchen, wie oben erläutert, nach links mit der  $\alpha^+$ -Linie zusammenfließt, ist etwa 5 mal so hoch wie das  $H^+$ -Maximum. Diese — im Vergleiche zu Aluminium — zunächst auffällige Tatsache erklärt sich sehr einfach:

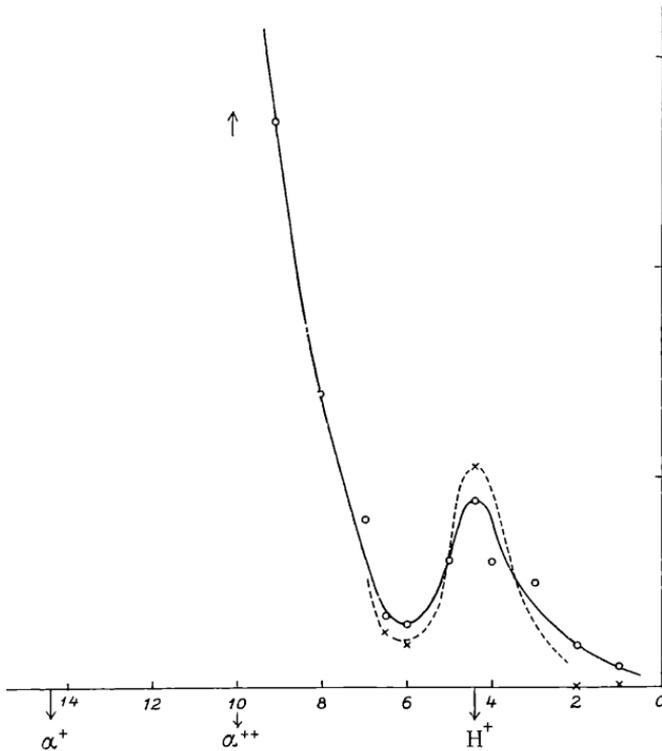


Abb. 2. Massenspektrum der Sekundärstrahlung aus Kohlenstoff.

durch den Wegfall der Geschwindigkeitsblende, die gerade die Zahl der  $\alpha$ -Strahlen wegen des Überwiegens der langsamen Teilchen sehr stark beeinflusst. Ein — sonst vergleichbarer — Versuch mit Blende ergab denn auch kaum die Hälfte der hier gefundenen  $\alpha$ -Intensität.

Außerdem ist freilich die Zahl der H-Teilchen, nicht nur im Vergleich zu den reflektierten  $\alpha$ -Teilchen, sondern auch absolut kleiner als erwartet, nämlich, wie auch Vergleichsversuche mit Aluminium zeigten, etwa die Hälfte der bei diesem Element gefundenen Zahl, während bisher ein Verhältnis 3 4 (C Al) angenommen wurde. Zur Erklärung kommt folgendes in Betracht: erstens geben

Pettersson und Kirsch<sup>1</sup> selbst an, daß sich das obige Verhältnis ohne das vom Al herrührende Hintergrundleuchten zuungunsten des Kohlenstoffs verschieben müßte<sup>2</sup>. Zweitens ist die Zertrümmerungsfähigkeit zwar bei Al bis zu etwa 1 cm Reichweite herab gesichert, bei C aber nicht; in Pettersson's Versuchen wird aber mit nahezu homogenen  $\alpha$ -Strahlen von Ra C oder Po gearbeitet, während meine Emanationskapillare ein Strahlengemisch liefert, in dem die kleinen Reichweiten überwiegen. Drittens bezieht sich jenes Verhältnis auf einen etwas verschiedenen Winkelbereich, viertens wäre es schließlich denkbar, daß von den sonst beobachteten H-Teilchen aus C ein Teil — wegen der kleinen Geschwindigkeit — durch Einfangung eines Elektrons neutralisiert wäre: diese H<sup>0</sup>-Teilchen würden in meinem Apparat, der nur die H<sup>+</sup>-Strahlen feststellt, natürlich nicht zur Beobachtung gelangen. Obwohl es nach allem, was man über die Umladung bisher weiß, nicht wahrscheinlich ist, daß diese bei H-Strahlen in dem durch Szintillationen noch sichtbaren Gebiet schon zu einem merkbaren Prozentsatz auftritt, wurden doch diesbezüglich einige Experimente gemacht, die in dem letzten Abschnitt kurz beschrieben werden und die zeigen, daß dieser Effekt zur Erklärung der obigen Ausbeutedifferenz nicht in Frage kommt.

### Bor.

Die  $\frac{e}{m}$ -Bestimmung für die Atomtrümmer aus diesem Element

war nun eine verhältnismäßig leichte Sache. Eine Störung durch die reflektierten  $\alpha$ -Strahlen ist ja wegen der niedrigen Atomnummer von B auch bei den wie für C erweiterten Bedingungen nicht zu erwarten; die Reichweite der Atomtrümmer aber ist im Mittel etwas größer als bei Kohlenstoff, die Sichtbarkeit bei Anwendung der gleichen Mittel also besser.

Käufliches »Bor amorph« von Kahlbaum wurde in dicker Schicht auf eine Paraffinunterlage aufgepreßt und die Anordnung so getroffen, daß der rechte Winkel nicht unterschritten werden konnte, um natürliche H-Strahlen aus der Unterlage sicher auszuschließen. Das Präparat enthält nach freundlicher Information der Firma Kahlbaum mindestens 90% reines Bor; die möglichen Verunreinigungen, nämlich Mg, O, eventuell auch N, geben aber, wie bekannt ist, eine kleinere, sicher keine größere als die hier gefundene Ausbeute, so daß der hier gemessene Effekt sicher dem Bor zuzuschreiben ist.

Zwei Versuche genügten zur einwandfreien Aufnahme des Massenspektrums, das wiederum ein deutliches Maximum an der H<sup>+</sup>-Stelle aufwies (Abb. 3).

<sup>1</sup> Atomzertrümmerung, Seite 120.

<sup>2</sup> Durch neuere Versuche H. Petterssons (Mitt. Nr. 200) wurde tatsächlich ein kleineres Verhältnis, etwa 1:2, gefunden, so daß die besprochene Unstimmigkeit nicht mehr vorhanden ist.

Bei dem hier wiedergegebenen Versuch war Quelle Ra E<sub>1</sub> von 210 Millicurie in einem Röhren von der Wandstärke 0,4 (Luftäquivalent ca. 18 mm). Daß das H-Bild etwas breiter erscheint (bes. nach links) als bei C, hat vielleicht seine Ursache in dem größeren Geschwindigkeitsbereich; im übrigen darf man den Details der Kurvenform kein zu großes Gewicht beimessen, weil hier, wie auch sonst, die meisten Zählungen bei den wichtigen Punkten

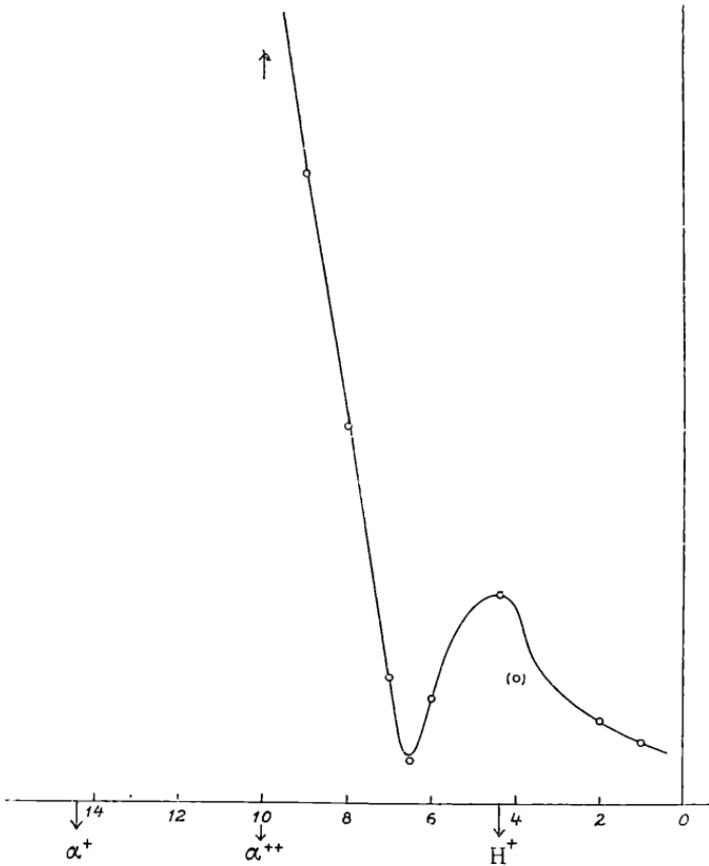


Abb. 3. Massenspektrum der Sekundärstrahlung aus Bor.

(Maximum und Minimum) vorgenommen wurden, so daß die Zwischenpunkte wegen der beschränkten Versuchsdauer natürlich weniger gut belegt sind.

Die Ausbeutefrage kann man wohl nur an Hand einer größeren Zahl von Versuchen sicher beantworten; man kann aber sagen, daß die Zahl der H-Partikeln ungefähr ebenso groß ist wie bei C. Was die α-Teilchen betrifft, so scheint ihre Zahl etwas größer als bei vergleichbaren Kohlenstoffversuchen zu sein, wohl auch die Geschwindigkeit übernormal; Bestimmtes läßt sich aus dem vorliegenden Material jedoch noch nicht sagen.

## Eisen.

Außer den drei bisher behandelten Leichtelementen B, C und Al schien es wünschenswert, wenigstens ein Element höherer Atomnummer noch in die Untersuchung einzubeziehen. Von den Stoffen, über die schon andere Versuche vorliegen, wählte ich Eisen, das nach Kirsch und Pettersson zahlreiche H-Partikeln gibt. Gegenüber dem Vorigen ergibt sich die Komplikation der großen Zahl von reflektierten  $\alpha$ -Strahlen (wegen der größeren Kernladung des Fe-Atoms), da dann die  $\alpha^+$ -Linie nicht nur intensiver, sondern auch breiter wird, wohl wegen der Streuung, die die geometrisch gegebene Begrenzung des Strahlenbildes erweitert. Dieser bei einigen älteren Versuchen gemachten Erfahrung mußte bei den (fünf) letzten

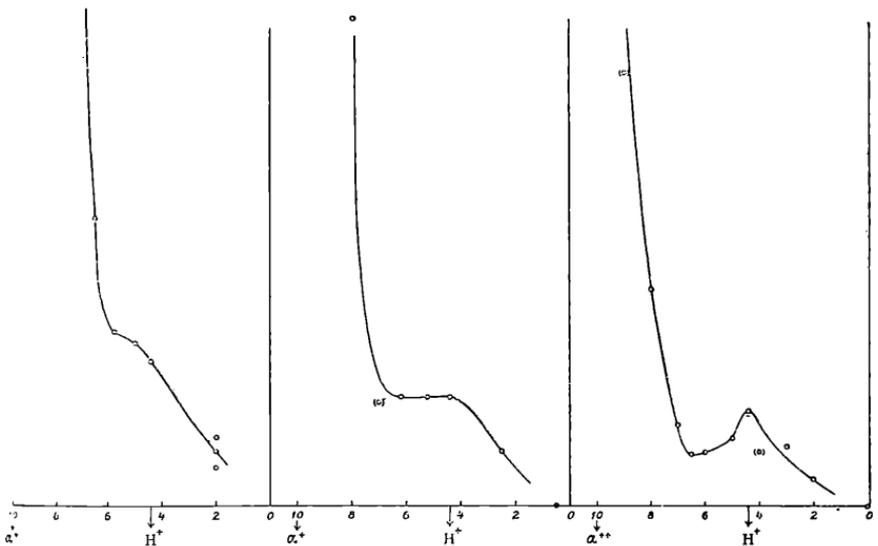


Abb. 4. Massenspektrum der Sekundärteilchen aus Eisen I—III.

Serien Rechnung getragen werden. Eine Wiederherstellung des sechsteiligen Spaltsystems wäre natürlich von Vorteil gewesen, wurde aber wegen der Schwierigkeit dieser Präzisionsarbeit zunächst unterlassen, und der Erfolg zeigte, daß das Fünfersystem für die Untersuchung von Fe gerade noch genügte. Für schwerere Elemente wird ein System mit engeren Teilspalten nicht zu entbehren sein. Eine Verbesserung brachte die Wiedereinführung der Geschwindigkeitsblende sowie die Verwendung eines Streuschutzes aus Aluminiumblech über den Polschuhen. Das Material war reinstes schwedisches Walzeisen (Blech) und wurde außerdem vor den Versuchen entgast. Diese Substanz wurde nun sukzessive vom Kapillareträger zurückversetzt, um die störende Intensität der reflektierten Strahlen zu vermindern, die ja mit wachsendem Streuwinkel verhältnismäßig rasch abnimmt. Die Verschiebung nach rückwärts (oben) betrug z. B. in drei Versuchen 0,5 mm, 1 mm und 2 mm. Die drei in Abb. 4

wiedergegebenen Spektralkurven zeigen wohl am besten, wie es zu dieser Weise gelang, aus dem schmaler werdenden  $\alpha$ -Bild das  $H^+$ -Maximum, das dabei natürlich auch etwas kleiner wird, herauszuschälen.

Die drei Kurven sind allerdings nicht streng vergleichbar, weil die experimentellen Bedingungen nicht ganz die gleichen waren (z. B. ist bei dem ersten Versuch noch keine Geschwindigkeitsblende verwendet), der erwartete Gang in der Verteilung ist aber ohne weiteres erkennbar. Die  $\alpha$ -Intensitäten dürften sich ungefähr wie  $3 : 2 : 1$  verhalten, eher sind die Verhältnisse etwas größer; es ist ja unmöglich, so viele Teilchen zu zählen, man kann sich aber, da die genaueren Daten hier ohne Bedeutung sind, mit Schätzungen begnügen. Auch über die  $H$ -Ausbeute kann ich vorläufig keine verlässlichen Zahlen geben, hauptsächlich aus dem Grunde, weil — aus Ausbeutegründen — die Eisenversuche meist erst am dritten oder vierten Versuchstag einer Kapillare gemacht wurden, wo eben die Augen der Beobachter schon etwas ermüdet sind. Immerhin kann man sagen, daß die Zahl der aus Eisen abgegebenen  $H$ -Teilchen mindestens doppelt so groß ist wie aus Aluminium, was mit den Ergebnissen von Kirsch und Pettersson nicht in Widerspruch steht.

### Reichweiten-, Ausbeute- und Umladungsfragen.

Die massenspektroskopischen Versuche sind weder darauf angelegt noch besonders dafür geeignet, auf Reichweite- und Ausbeutefragen präzise Antworten zu geben. Nun besteht aber bei vielen andern Experimenten prinzipiell die Möglichkeit der Verwechslung zwischen  $\alpha$ - und  $H$ -Strahlen; im  $\frac{e}{m}$ -Spektrum ist dieser — auch sonst nicht sehr triftige und mehrfach widerlegte — Einwand natürlich sinnlos. Es lohnt sich daher wohl, wenn auch die Berechnung hier keine genauen Daten liefern kann, diese Fragen bei den massenspektroskopischen Versuchen wenigstens roh zu überprüfen.

Die Geschwindigkeit der untersuchten Korpuskularstrahlen fällt ja bei der  $\frac{e}{m}$ -Bestimmung experimentell heraus, dadurch, daß Teilchen verschiedener Geschwindigkeit, wenn sie nur gleiches  $\frac{e}{m}$  haben,

an einer Stelle vereinigt werden; es kommt aber doch — insbesondere bei Verwendung der Blende zwischen den beiden Feldern — immer nur ein bestimmter Geschwindigkeitsbereich zur Beobachtung, der, außer von der Lage der Blende, von den verwendeten Feldstärken abhängt. Bei den schon früher veröffentlichten Versuchen mit Aluminium lag der Schwerpunkt dieses Bereichs bei Geschwindigkeiten der  $H$ -Strahlen, die, umgerechnet, Reichweiten von  $2\frac{1}{2}$ , bzw.  $4\text{ cm}$  Luft entsprechen. (Die Grenzen für die Mitte des Parallelspaltsystems waren  $1.1$  bis  $8.6\text{ cm}$  und  $1.8$  bis  $14.5\text{ cm}$ ); bei den späteren Versuchen

wurden meistens die kleineren Feldstärken verwendet. Daraus kann man aber schon schließen, daß bei allen vier untersuchten Elementen (und bei den hier in Betracht kommenden Emissionsrichtungen) die Hauptmenge der Atomtrümmer kleine Reichweiten — einige Zentimeter Luft — haben muß; denn bei einer Einstellung auf einen solchen Bereich hätte der Verlust an Intensität die Versuche gar nicht zustande kommen lassen. Um aber ganz sicher zu gehen, wurden Versuche mit Aluminium gemacht, bei denen der Bereich durch Versetzen der Blende und Wahl kleiner Feldstärken gegen kleinste Reichweiten<sup>1</sup> verschoben wurde. Bei einem durchgelassenen Bereich von 0·9 bis 5·5 *cm* war die Zahl der H-Teilchen noch ungefähr ebenso groß wie bei den früheren Versuchen; erst bei einer Herabsetzung auf die Hälfte dieser Werte war eine merkliche Verminderung der Intensität festzustellen. Hieraus ergeben sich mit Sicherheit für die Hauptmenge der Atomtrümmer aus Al Reichweiten von weniger als 5 *cm*. Keinesfalls kann, wie von anderer Seite behauptet wird<sup>2</sup>, eine Minimalreichweite bei 9 oder gar 13 *cm* Reichweite existieren<sup>3</sup>.

Für B, C und Fe liegen die Verhältnisse nicht viel anders, doch sei von einer ausführlichen Durchrechnung hier abgesehen, da die Feststellung genauer Daten in diesem Punkte nicht Sache dieser Versuche sein kann.

Von einer Ausbeuteberechnung explizite sei hier gleichfalls abgesehen, zumal die Verhältnisse für jeden Versuch etwas verschieden sind. Es soll nur gezeigt werden, auf welche Weise man da zu einigermaßen verlässlichen Zahlen kommen kann. Die Emanationskapillare als Strahlungsquelle liefert ein Gemisch von  $\alpha$ -Strahlen verschiedener Reichweite, wobei die kleinen Reichweiten überwiegen. Man berechnet zunächst für die drei Gruppen von Ra *En*, Ra *A* und Ra *C* die Menge der Strahlen, die überhaupt die Kapillare verlassen und auf der Substanz wirksam werden kann. Dabei läßt man die Strahlen unter 1 *cm* Austrittsreichweite weg, um dem Umstand Rechnung zu tragen, daß über deren Zertrümmerungsfähigkeit nichts Sicheres bekannt ist. Durch Summierung über die verschiedenen Reichweiten erhält man dann das Produkt Strahlenmenge mal Zentimeter (Luftäquivalent) durchstrahlter Substanz, auf Grund dessen

<sup>1</sup> Es ist hier der leichteren Verständigung wegen immer von Reichweiten statt von Geschwindigkeiten die Rede, obwohl aus den Ablenkungsmessungen natürlich nur die letzteren bestimmt werden können. Daraus sind einfach nach  $v^3 = aR$  die Reichweiten gerechnet, die von den wahren Reichweiten sicher nicht sehr verschieden sind.

<sup>2</sup> E. Rutherford und J. Chadwick, Proc. Phys. London 36, 417 (1924), J. Chadwick, Phil. Mag. 2, 1056 (1926).

Es könnte hier der Einwand gemacht werden, daß durch die Selbstabsorption in der zertrümmerten Substanz eine Verkürzung der Reichweite hervorgerufen und so eine weichere Strahlung vorgetäuscht wird; diese Erklärung wäre zwar prinzipiell möglich, reicht aber quantitativ nicht entfernt aus. In diesem Falle müßte nämlich die Zahl der beobachteten H-Strahlen gegen kleinere Reichweiten abnehmen und zwar wegen der Zusammensetzung der Primärstrahlen ziemlich rasch. Gerade das Gegenteil ist aber der Fall, wie die angeführten Beobachtungen zeigen.

ein Vergleich mit anderen Versuchen ermöglicht ist. Zur Bestimmung der H-Strahlenausbeute (und überhaupt der Ausbeute von Sekundärstrahlen, also auch der reflektierten  $\alpha$ -Strahlen) ist außer der geometrischen Ausbeute des Massenspektroskops (etwa  $3 \times 10^{-5}$ , verschieden je nach Spaltsystem, Blende, Gesichtsfeld) noch die Selbstabsorption in der Substanz und die Geschwindigkeitsverteilung zu berücksichtigen; über diese beiden Punkte besteht freilich — abgesehen etwa vom Aluminium — einige Unsicherheit. Schließlich ist noch der Schirmkoeffizient in die Rechnung einzuführen, er ist, da der Schirm zur Erfassung weichster Strahlen immer nur dünn mit ZnS belegt sein darf, beträchtlich kleiner als 1, etwa 50 bis 70 %.

Wenn man in Betracht zieht, daß bei dieser Ausrechnung gerade bei Al eine schöne Übereinstimmung mit der von E. A. W. Schmidt<sup>1</sup> angegebenen Zahl, nämlich 30 H-Teilchen pro Million  $\alpha$ -Teilchen und *cm* Luftäquivalent Al, gefunden wurde, und die anderen Versuche als Relativversuche in puncto Ausbeute auffaßt, so kann man die Angaben an den betreffenden Stellen als ziemlich verlässlich ansehen; keinesfalls besteht über die Größenordnung irgend ein Zweifel.

Auch die Intensität der reflektierten  $\alpha$ -Strahlen steht in guter Übereinstimmung mit der nach der Theorie zu erwartenden Zahl, obwohl es auf den ersten Blick überraschen könnte, daß im Massenspektrum die  $\alpha$ -Intensität immer die Menge der H-Teilchen bedeutend übertrifft, während bei den von Pettersson-Kirsch angegebenen Resultaten gerade das Umgekehrte der Fall ist. Daß dieser Widerspruch nur ein scheinbarer ist, sieht man sofort, wenn man die Verschiedenheit der beiderseitigen Anordnungen ins Auge faßt. Erstens ist nämlich der mittlere Reflexions(Streu)winkel bei mir bedeutend kleiner, zweitens aber wird bei den meisten anderen Zertrümmerungsversuchen mit homogenen Strahlen der vollen Reichweite gearbeitet, während die von mir benützte Emanationskapillare ein Strahlengemisch liefert, in dem die ganz kurzen Reichweiten überwiegen. Da nun die Zahl der bei einem bestimmten Winkel reflektierten  $\alpha$ -Strahlen mit abnehmender Geschwindigkeit sehr rasch zunimmt (nach der Theorie  $\sim \frac{1}{v^4}$ ), ist es klar, daß durch diesen Umstand das obige Verhältnis sich vollkommen — in der beobachteten Weise — ändern muß.

Schließlich war noch ein Umstand in Erwägung zu ziehen, der bei einem Ausbeutevergleich zwischen meinen Ablenkungsversuchen und den anderen Experimenten sich hätte bemerkbar machen können. Es ist ja anzunehmen, daß die H-Teilchen, ähnlich wie dies bei den  $\alpha$ -Teilchen bekannt ist, gegen Ende ihrer Bahn ihr Hüllen-Elektron einfangen und, wahrscheinlich unter vielfacher Umladung, einen Teil des Weges dann als H<sup>0</sup>-Strahlen, rasch bewegte

<sup>1</sup> Diese Mitt. Nr. 178.

neutrale Wasserstoffatome, zurücklegen. Bei der Szintillationszählung würde das vermutlich keinen Unterschied bewirken; dagegen könnten bei Ablenkungsversuchen wie eben im Massenspektroskop nur die  $H^+$ -Teilchen zur Beobachtung gelangen. Da aber nach Versuchen von E. Kara-Michailowa, die demnächst in diesen Mitteilungen veröffentlicht werden sollen, die Szintillationssichtbarkeit der H-Strahlen schon 1 bis 3 cm vor dem Ende der Bahn nach und nach aufhört, kann man von vornherein nicht wissen, ob der Effekt sich überhaupt bemerkbar machen wird. Die bisherigen Erfahrungen an Wasserstoffkanalstrahlen sprechen unter diesen Umständen dagegen, ebenso die Resultate der Rutherford'schen Untersuchungen<sup>1</sup> über die Umladung von  $\alpha$ -Strahlen. Man kann nämlich unter Benützung der Fowler'schen<sup>2</sup> Theorie dieser Erscheinungen ausrechnen, daß das Mengenverhältnis  $H^0/H^+$  rund ein Viertel des entsprechenden Wertes  $He^+/He^{++}$  sein müßte (wegen des kleineren Ionisationspotentials des  $H^0$ ).

Es wurden nun zur experimentellen Bestimmung dieses Verhältnisses, das natürlich für jede Geschwindigkeit einen anderen Wert hat, Ablenkungsversuche mit natürlichen H-Strahlen aus Paraffin vorgenommen, die an anderer Stelle<sup>3</sup> beschrieben werden. Allerdings werden diese Versuche durch die schlechte Sichtbarkeit der langsamen Teilchen und das  $\gamma$ -Leuchten des Schirms stark beeinträchtigt, so daß es derzeit unmöglich erscheint, Zahlenmaterial von der erwünschten Genauigkeit zu bekommen; es läßt sich aber eine obere Grenze angeben, nämlich etwa 5%, die der Anteil  $H^0/H^+$  sicher nicht überschreitet. Diese Angabe bezieht sich auf Strahlen von einer Restreichweite von 2 cm und 1 cm und darunter, soweit sie noch sichtbar sind. Andererseits ergibt sich aus der eben angeführten Rechnung, daß der Quotient  $H^0/H^+$  bei 1 cm etwa 3%, bei  $1/2$  cm erst 10% wäre, was bei der verschwindenden Sichtbarkeit der letzteren Gruppe mit dem experimentellen Ergebnis durchaus in Einklang steht.

Für die Beurteilung des Ausbeutevergleichs bei nicht abgelenkten und abgelenkten Strahlen ergibt sich, daß ein solcher innerhalb der heutigen Genauigkeitsgrenzen ohneweiters zulässig ist, ohne Rücksicht auf die Umladung auch bei den kleinsten noch »sichtbaren« Reichweiten.

### Zusammenfassung.

Unter gleichzeitiger Weiterentwicklung der Methodik wurde im Massenspektroskop die Sekundärstrahlung untersucht, die von den Elementen Kohlenstoff, Bor und Eisen ausgeht, wenn sie von  $\alpha$ -Strahlen getroffen werden. Die Experimente gestalteten sich bei C besonders schwierig wegen der kurzen Reichweite und somit schlechten Sichtbarkeit der Atomrümler; bei Fe erforderte die

<sup>1</sup> Phil. Mag. 47, 277 (1924).

<sup>2</sup> Phil. Mag. 47, 416 (1924).

<sup>3</sup> Z. f. Phys. 42, 759, 1927.

intensive  $\alpha$ -Streustrahlung besondere Maßnahmen. Es gelang jedoch in allen drei Fällen einwandfrei, im Massenspektrum neben den (reflektierten)  $\alpha^{++}$ - und  $\alpha^+$ -Teilchen die  $H^+$ -Partikeln an der ihnen zukommenden Stelle nachzuweisen mit einer für diese Zwecke mehr als ausreichenden Genauigkeit ( $\pm 5\%$ ). Somit erscheint die Zertrümmerbarkeit auch dieser Elemente und der Charakter der emittierten Atomtrümmer als Wasserstoffkerne endgültig bewiesen. Aus den Versuchen im Massenspektroskop ließen sich außer der  $\frac{e}{m}$ -Bestimmung noch einige andere Daten — wenn auch mit geringerer Genauigkeit — ableiten, die eine Bestätigung von Ergebnissen anderer Untersuchungen in den Wiener Instituten bilden: die Hauptmenge der Atomtrümmerstrahlen hat kleine Reichweiten (einige Zentimeter), die von anderer Seite behauptete Minimalreichweite (untere Grenze) ist nicht vorhanden; die Ausbeute an Atomtrümmern stimmt im großen und ganzen mit den von G. Kirsch und H. Pettersson, beziehungsweise E. A. W. Schmidt gefundenen Zahlen überein. Schließlich wurde noch der Umladungseffekt an H-Strahlen, soweit er für den Ausbeutevergleich hätte in Betracht kommen können, untersucht.

Sämtliche Beobachtungen wurden diesmal noch nach der recht mühsamen — Szintillationsmethode ausgeführt, hauptsächlich um sie eher zu einem Vergleich mit anderen Experimenten, beziehungsweise zu deren Widerlegung, heranziehen zu können. Infolgedessen konnten die Versuche nicht über eine größere Zahl von Elementen ausgedehnt werden, sondern mußten auf einige wichtige Fälle beschränkt werden. Kohlenstoff, seinem Atomgewicht nach ein isotonenfreies Heliummultipel, ist hier von prinzipiellem Interesse; C und Fe gehören zu jenen Elementen, die von anderer Seite, zum Teil auf Grund theoretischer Erwägungen, bisher für unzertrümmerbar gehalten worden waren.

---

# 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: 1927

Band/Volume: [136\\_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Stetter Georg

Artikel/Article: [Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung Nr. 201. Die Bestimmung des Quotienten Ladung zu Masse für Atomtrümmer aus Kohlenstoff, Bor und Eisen. 307-320](#)