

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung

Nr. 181

Die Bestimmung des Quotienten Ladung/Masse für natürliche H-Strahlen und Atomtrümmer aus Aluminium

Von

Georg Stetter

(Mit 6 Textfiguren)

Aus dem II. Physikalischen Institut der Universität in Wien

(Vorgelegt in der Sitzung am 4. Februar 1926)

Wenn man ein bewegtes, elektrisch geladenes Teilchen durch ein elektrisches oder magnetisches Feld aus seiner Bahn ablenkt, so kann man aus der Größe der Ablenkung im ersten Falle den Wert $\frac{e}{m v^2}$, im zweiten Falle $\frac{e}{m v}$ berechnen (e Ladung, m Masse, v Geschwindigkeit); aus beiden Versuchen bekommt man also den für das Teilchen charakteristischen Term $\frac{e}{m}$.

Es lag nahe, durch derartige Versuche die zunächst unbekanntesten Strahlen, die bei der Atomzertrümmerung¹ zur Beobachtung gelangen, zu prüfen, um die Masse und damit die Art der Teilchen festzustellen. Da nämlich nach allen bisherigen Erfahrungen die Ladung nur ein ganzzahliges Vielfaches des Elementarquantums sein kann, sind meist bündige Schlüsse auf die Masse der Partikel möglich. Jedoch schien die Durchführbarkeit solcher Untersuchungen, zu denen ich vor etwa 2 Jahren den Plan faßte, von vornherein keineswegs sicher, vor allem wegen der außerordentlich geringen Intensität der Strahlung, die auch zur Folge hat, daß zum Nachweis einzig die Szintillationsmethode in Betracht kommt.

Dazu kommt noch die schwere Ablenkbarkeit (Härte) der Strahlen, da es sich hier um die größten Geschwindigkeiten handelt, die bei positiven Korpuskularstrahlen überhaupt vorkommen. Wie diese Schwierigkeiten im einzelnen berücksichtigt und überwunden wurden, darüber ist an anderer Stelle ausführlich berichtet worden;² hier sollen nur kurz die Prinzipien der Methode skizziert sowie

¹ Vgl. Pettersson-Kirsch, Atomzertrümmerung, woselbst weitere Literatur angegeben.

² G. Stetter, Massenbestimmung von α -Partikeln, Zeitschr. f. Physik, 34 158, 1925.

einige Angaben über ihre Leistungsfähigkeit und die Auswertung der Resultate gemacht werden.

Es muß die Beweiskraft des Experiments erhöhen, wenn beide Ablenkungen (elektrisch und magnetisch) gleichzeitig, also in einem Versuch, vorgenommen werden, wie es u. a. bei der Aston'schen Anordnung¹ der Fall ist, bei der die Ablenkung in der gleichen Ebene mit entgegengesetzten Vorzeichen erfolgt. Diese Anordnung hat außerdem den Vorteil, daß Strahlen verschiedener Geschwindigkeit am Ende ihrer Bahn in einem Punkte vereinigt werden, was eine für unseren Zweck sehr wichtige Intensitätsersparnis bedeutet. Den Strahlengang in dem — in der gleichen Absicht — äußerst kompensiös gebauten Apparat zeigt Fig. 1, die technische Ausführung Fig. 6.

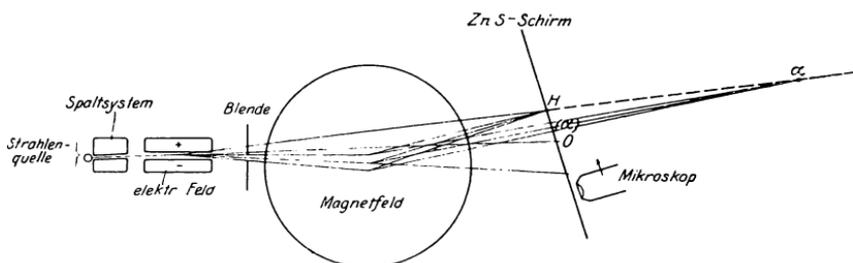


Fig. 1.

Schema des Massenspektroskops

Statt eines Spaltes ist ein Parallelspaltsystem besonderer Konstruktion verwendet, das bei kleiner Bildbreite eine mehrfach größere Strahlenmenge durchläßt als ein einzelner Spalt. Das — ganz kurze — elektrische Feld muß Feldstärken von 75.000 bis 150.000 Volt/cm aushalten, was nur bei ausgezeichnetem Vakuum (10^{-6} mm Hg) möglich ist.

Die im elektrischen Felde um einen Winkel ϑ nach unten gekrümmten Strahlen werden nun im Magnetfeld wieder um einen Winkel φ nach aufwärts gebogen; wählt man nun die magnetische Feldstärke, z. B. so, daß $\varphi = 4 \vartheta$ wird für Wasserstoffkerne, deren

$\frac{e}{m} = 1$ ist (wobei als Einheit das elektrische Elementarquantum,

beziehungsweise die Masse des Wasserstoffkerns genommen wird), so werden H-Strahlen verschiedener Geschwindigkeit in einem Punkt (H) vereinigt, der symmetrisch zum elektrischen Dispersionspunkt in bezug auf den Mittelpunkt des Magnetfeldes liegt. Die »Brennpunkte« für Strahlen anderer Masse (nach unseren Vorstellungen über den Atombau sind nur $\frac{e}{m}$ -Werte < 1 möglich)

liegen weiter zurück auf einer Geraden, die in Fig. 1 strichliert

¹ F. W. Aston, Phil. Mag., 39, 611, und 40, 628, 1920.

gezeichnet ist. Der ZnS-Schirm ist nun — wieder aus Intensitätsgründen — nicht in dieser Fokalebene, sondern senkrecht zum

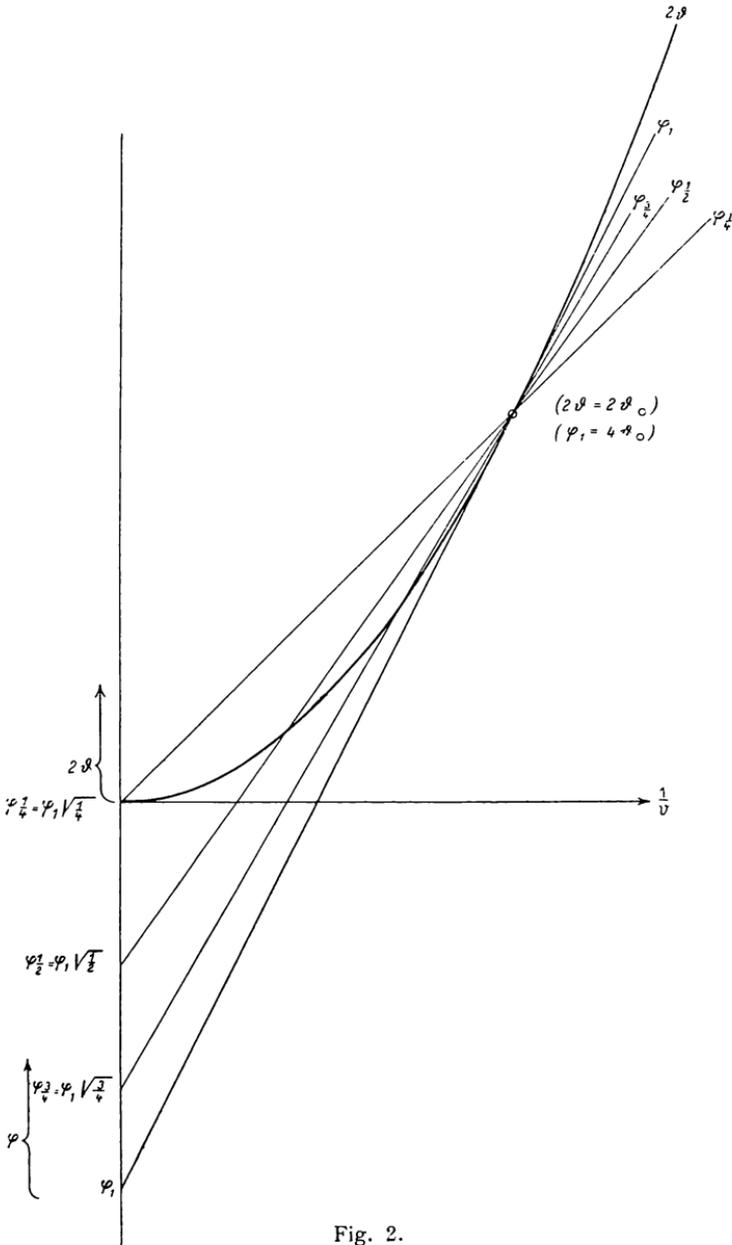


Fig. 2.

Graphische Tabelle des Fokussierungsfehlers für verschiedene Blendenweiten.

Strahlengang angeordnet. Der Nachteil, daß das $\frac{e}{m}$ -Spektrum dadurch zum Teil unscharf wird, wird behoben, indem durch Variation

der sorgfältig geeichten Felder nacheinander auf verschiedene $\frac{e}{m}$ -Werte »scharf eingestellt« werden kann.

Nun tritt die Fokussierung nach v nach Aston und Fowler¹ nur dann ein, wenn der benützte Winkelbereich $d\vartheta$ klein ist gegen ϑ , also für einen sehr kleinen Geschwindigkeitsbereich; tatsächlich kann man aber bei verminderten Genauigkeitsansprüchen diesen Bereich viel größer nehmen, wobei man wegen der minimalen Intensität an die Grenze des Möglichen gehen wird. Über den dabei begangenen Fehler kann man sich für jede Blendenweite an Hand einer graphischen Darstellung wie Fig. 2 Rechenschaft geben.

In der Fig. 2 sind als Abszisse die reziproke Geschwindigkeit, als Ordinaten die absoluten Ablenkungen (Winkel mal Radius) aufgetragen. Die elektrische Ablenkung wird in diesem Falle durch eine quadratische Parabel dargestellt, die magnetische durch eine Gerade (wegen $2\vartheta = \frac{k}{v^2}$ $\cdot \varphi = \frac{k'}{v}$). Wenn man nun das Koordinatensystem für φ so weit nach unten verschiebt, daß dem Bildpunkt im Massenspektroskop ein gemeinsamer Punkt der beiden Kurven entspricht (für $\varphi_1 = 4\vartheta_0$ um $2\vartheta_0$), so findet für $\varphi_1 = 4\vartheta_0$ nach einem bekannten Satz der analytischen Geometrie in diesem Punkte Berührung statt. In der Umgebung dieses Punktes v (ϑ_0) ist also die Fokussierung vollkommen; für andere v , beziehungsweise ϑ kann man den Fehler unmittelbar aus der Zeichnung als

Differenz der Ordinaten ablesen. Partikeln von anderem $\frac{e}{m}$, zum

Beispiel $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{4}$ werden bei gleichem ϑ natürlich ein anderes φ

haben: diese drei Fälle sind in der Figur noch durch die entsprechenden Geraden dargestellt. (Dabei ist zu bemerken, daß die hier in einer Zeichnung vereinigten Darstellungen nicht unmittelbar vergleichbar sind, weil sie verschiedenen Parametern entsprechen; wenn man aber bei der Ablesung immer von ϑ ausgeht, braucht man sich darum nicht zu kümmern.) Die Fokussierung ist, wie man sieht, um so unvollkommener, je mehr sich das betreffende $\frac{e}{m}$ von dem gerade eingestellten (hier $\frac{e}{m} = 1$) unterscheidet; sie reicht aber in der Regel zu einer vorläufigen Bestimmung aus, die dann durch »Scharfeinstellen« verifiziert werden kann.

Aus den ausgemessenen Bildstellen auf dem ZnS -Schirm bestimmt sich das gesuchte Verhältnis $\frac{\text{Ladung}}{\text{Masse}}$ nach der Gleichung

$$\frac{e}{m} = \frac{lX}{\vartheta_0(LH)^2} \operatorname{arctg}^2 \frac{\sin \alpha}{\frac{r}{a+\sigma} - \cos \alpha}$$

¹ Aston u. Fowler, Phil. Mag., 43, 514, 1922.

Hier bedeutet IX das elektrische, LH das magnetische Feldintegral, a die Ablenkung vom Bild des unabgelenkten Strahles aus gemessen; das übrige sind Apparatkonstanten. Die obige Funktion wird durch eine etwas abgeflachte quadratische Parabel dargestellt; für die Umgebung des eingestellten Punktes ist $\frac{e}{m}$ an-

nähernd linear proportional der Ablenkung a .

Die Ausmessung der Maxima auf dem Schirm kann bei starken Strahlenquellen direkt durch Einstellen des verschiebbaren Mikroskops erfolgen. Hiebei läßt sich die Genauigkeit auf etwa 1% treiben; tatsächlich sind durch die Eichmessungen mit Polonium (α -Strahlen) die Felder und die Apparatkonstanten mit dieser Genauigkeit geprüft. Bei den geringen Intensitäten, mit denen wir es bei Messungen an Atomtrümmern zu tun haben, kommt man nur durch Zählungen von Millimeter zu Millimeter zum Ziele, was die Genauigkeit natürlich herabsetzt.

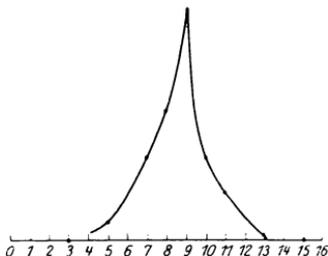


Fig. 3.

Massenspektrum für natürliche H-Strahlen.

Zunächst wurde eine Massenbestimmung an natürlichen H-Strahlen (durch elastischen Stoß in Bewegung gesetzten Wasserstoffkernen) vorgenommen,¹ wofür sich nach einer Reihe von Versuchen eine mit Paraffin ausgekleidete Emanationskapillare als vorteilhafteste Strahlungsquelle erwies. Die aus einem derartigen Versuch bestimmte Masse der H-Strahlen stimmte auf weniger als 1% mit dem bekannten Wert für Wasserstoff überein. Dabei war allerdings wegen der günstigen Ausbeute eine direkte Einstellung möglich gewesen; die zur Kontrolle durch Felderaus zählen gewonnene Kurve ist in Fig. 3 wiedergegeben.

Hier liegt der berechnete Wert für $\frac{e}{m} = 1$ etwa bei 9,2;

für $\frac{e}{m} = \frac{1}{2}$ (α -Strahlen) müßte das Maximum etwa bei 4 liegen.

Die unsymmetrische Gestalt der Kurve war vorauszusehen und hängt mit der unvollständigen Fokussierung zusammen.

¹ Vgl. G. Stetter, Zeitschr. f. Phys., 34, 158, 1925.

Beim Übergang zur Messung von Atomtrümmern war wieder eine Reihe von Vorversuchen nötig. Als Substanz wählte ich fürs erste Aluminium, u. a., weil dieses Element bisher am gründlichsten untersucht worden ist. Nun haben innen mit Al ausgekleidete Kapillaren den Nachteil, daß sie, je nach der Wandstärke, entweder die primäre α -Strahlung durchlassen, in deren Masse andere Strahlen unbemerkbar werden, oder aber auch von den »H«-Partikeln nur die schnellen, gerade wenig zahlreichen Gruppen austreten lassen; im zweiten Fall erfordert der Versuch extrem starke Präparate, die eben nicht immer zur Verfügung stehen. Versuche mit aktiviertem (RaC) Aluminium als Strahlungsquelle (es wird dabei auf nach

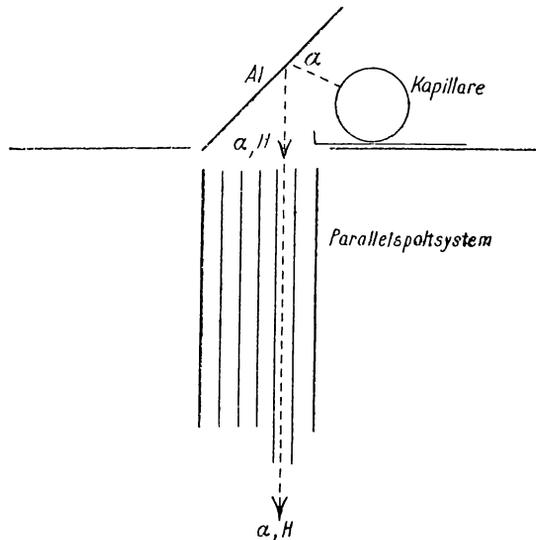


Fig. 4.

rückwärts emittierte Atomtrümmern ausgegangen) wurden gleichfalls durch die große Masse der primären α -Strahlen sowie fast immer durch Verseuchung beeinträchtigt. Wegen der unvermeidlich kleinen Ausbeute mit diesem Apparat machen sich eben schon geringe Spuren von Verseuchung höchst störend bemerkbar. Mit den erwähnten Anordnungen konnten somit nur unklare Resultate erhalten werden. Die letzte Methode, die dann zum Ziele führte, benützt wieder Emanationskapillaren als Primärstrahlenquelle, aber von extrem kleiner Wandstärke, 10 bis 15 μ bei einem Durchmesser von zirka 1 *mm*. (Man bewegt sich dabei an der Grenze des mechanisch möglichen, weil das Röhrchen beim Auspumpen leicht vom äußeren Luftdruck eingedrückt wird, andererseits, gasgefüllt, ebenso leicht im Vakuum des Apparates explodiert.) Bei dem hier wiederzugebenden Experiment war die Anordnung (Fig. 4) so gewählt, daß ein Winkelbereich etwa von 80 bis 150° (zwischen

Primär- und Sekundärstrahlen) zur Beobachtung gelangte. Die hoch- α -durchlässige Kapillare liegt seitlich vom Spalt auf einem Aluminiumbord, um die Streustrahlung vom Rande möglichst klein zu halten. Gerade über dem Spalt befindet sich, unter zirka 45° Neigung, ein Al-Streifen, so daß nur reflektierte Strahlen und Atomtrümmer in den Apparat gelangen können. Eine mit dieser Anordnung durch Felderaus zählen gewonnene Kurve ist in Fig. 5 wiedergegeben.

Die Abszissenskalenteile bedeuten Millimeter, sind aber sonst willkürlich. Man sieht deutlich ein Maximum an der Stelle

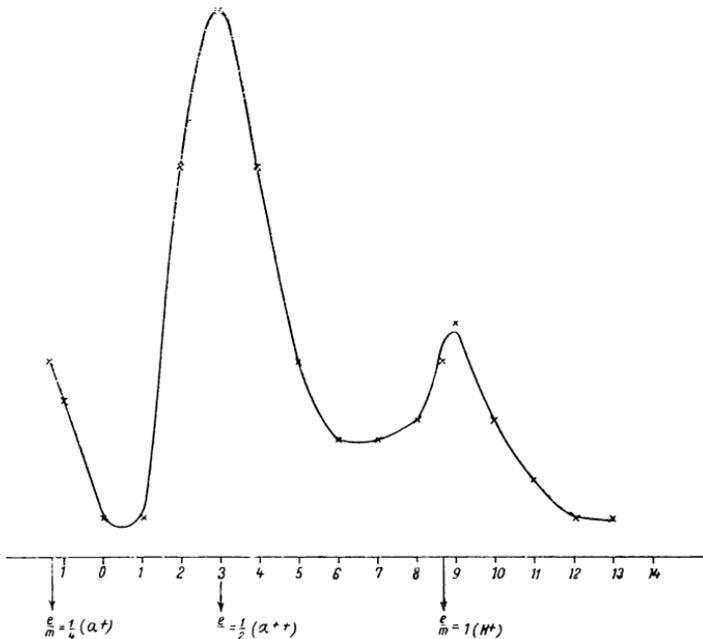


Fig.

Massenspektrum der Sekundärstrahlung aus Aluminium

$\frac{e}{m} = 1$, das nur von H-Strahlen herrühren kann; ein zweites

höheres Maximum bei $\frac{e}{m} = \frac{1}{2}$ ist offenbar den reflektierten α -Strahlen

zuzuordnen. Der Wiederanstieg der Kurve gegen $\frac{e}{m} = \frac{1}{2}$ deutet

auf einfach geladene He-Atome, die ja bei der überwiegend sehr kleinen Reichweite der hier beobachteten α -Strahlen durch Umladung in erheblicher Zahl zum Vorschein kommen müssen,¹ doch wurde auf die zahlenmäßige Sicherheit des betreffenden Kurventeils

¹ E. Rutherford, Phil. Mag., 47, 277, 1924.

bei diesem Versuch kein besonderer Wert gelegt. Nicht ganz befriedigend sind die etwas zu hohen Werte zwischen den beiden Maximis; zu dem Übergreifen der Ausläufer von links und rechts kommt eben immer die Möglichkeit einer ganz schwachen Verseuchung, respektive natürlicher Schirmszintillationen. Die Frage, ob es außer den H-Strahlen noch weniger zahlreiche Partikeln anderer Art gibt, muß daher vorläufig offengelassen werden und wird, wie viele andere, durch neue Versuche, insbesondere mit sehr starken Strahlungsquellen, entschieden werden. Die Versuche mit Al ergeben aber schon jetzt ein weiteres Resultat von Interesse:

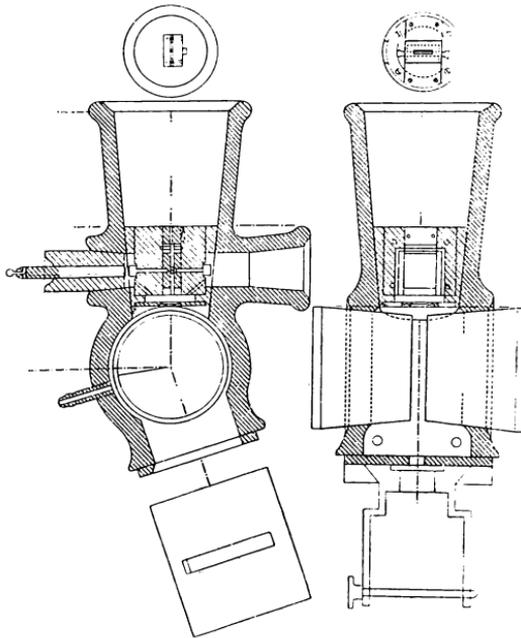


Fig. 6.

wenn man die Zahl der beobachteten H-Szintillationen zu der Intensität der primären α -Strahlung ins Verhältnis setzt, so findet man, gleichmäßige Verteilung im Raum vorausgesetzt, 30 H-Partikeln pro Million α -Strahlen, auf 1 Wegzentimeter Aluminium gerechnet. Das ist aber dieselbe Zahl, die E. A. W. Schmidt auf Grund seiner ausführlichen Arbeiten über die Zertrümmerung des Al¹ angibt. Wenn auch diese Übereinstimmung, da in die Ausbeuteberechnung macherlei Schätzungen eingehen, nur als beiläufige zu betrachten ist, kann doch die Tatsache, daß die bei den Wiener Untersuchungen beobachteten »H«-Strahlen aus Al wirklich alle H-Strahlen sind, mindestens größenordnungsmäßig als sichergestellt gelten. Viel mehr kann man bei der quantitativen Unsicherheit von Szintillations-

¹ E. A. W. Schmidt, Mitt. d. RaInst. 178.

zählungen ja überhaupt kaum erwarten. Gestützt wird diese Berechnung übrigens dadurch, daß die Zahl der beobachteten reflektierten α -Strahlen gut mit der nach der Theorie zu erwartenden übereinstimmt.

Zum Schlusse sei bemerkt, daß von anderen Elementen nur Fe und C in je einem provisorischen Experiment untersucht wurden, ohne daß aus den Resultaten zunächst mehr festgestellt werden kann, als daß dieselben der Annahme von H-Kernen als Atomtrümmer auch bei diesen Elementen nicht widersprechen.

Zusammenfassung.

Es wurde eine Anordnung geschaffen, mit der es möglich ist, für die außerordentlich harten und wenig zahlreichen »H«-Strahlen, wie sie bei der Atomzertrümmerung auftreten, den Quotienten Ladung/Masse durch gleichzeitige elektrische und magnetische Ablenkung zu bestimmen. Nach ausführlichen Eichmessungen mit bekannter α -Strahlung waren H-Strahlen aus Paraffin untersucht worden: die aus den Versuchen zu berechnende Masse stimmte auf weniger als 1% mit der Masse des Wasserstoffatoms, beziehungsweise dessen Kerns, überein.

Die nunmehr durchgeführten Untersuchungen an Atomtrümmern aus Aluminium ergeben ein Massenspektrum, in dem neben den (reflektierten) α^{++} - und α^+ -Partikeln deutlich die H-Strahlen hervortreten, und zwar stimmt nicht nur der $\frac{e}{m}$ -Wert mit der für Protonen zu erwartenden, sondern auch die beobachtete Zahl mit der bei den Zertrümmerungsversuchen im Radiuminstitut und II. Physikalischen Institut (E. A. W. Schmidt) angegebenen Ausbeute gut überein. Versuche an Atomtrümmern anderer Elemente sind in Vorbereitung.

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: 1926

Band/Volume: [135_2a](#)

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

Artikel/Article: [Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr. 181.
Die Bestimmung des Quotienten Ladung/Masse für natürliche H-Strahlen
und Atomtrümmer aus Aluminium. 61-69](#)