Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

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

Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung
Nr. 169

Über Atomzertrümmerung durch α-Strahlen

IV. Abbau von Stickstoff und Sauerstoff. — Helium als Abbauprodukt

Von

Gerhard Kirsch

(Mit 4 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Juli 1924)

Einleitung.

Die sogenannten weitreichenden α-Strahlen aus Ra*C* und anderen radioaktiven Substanzen waren bereits wiederholt Gegenstand von Untersuchungen im Cavendish Laboratorium. Die ersten Beobachtungen über das Auftreten solcher Strahlen beim Durchgehen von schnellen α-Strahlen durch Luft, Glimmer u. s. w. reichen ziemlich weit zurück.[1] Im Rahmen seiner klassischen Untersuchungen über Zusammenstöße von schnellen α-Partikeln mit leichten Atomen beobachtete sodann E. Rutherford derartige Effekte beim Durchgang von Ra*C*-α-Strahlen durch Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure u. s. w.[2] In Analogie zu den Erscheinungen beim Wasserstoff (den sogenannten natürlichen H-Strahlen) rechnete er beim Zusammenstoß von α-Partikeln mit den Atomkernen anderer Leichtelemente mit dem eventuellen Auftreten einfach geladener Atome dieser Elemente, die durch elastischen Stoß in Bewegung gesetzt eine berechenbare Geschwindigkeit bekommen und — infolge ihrer einfachen Ladung — eine über die der Ra*C*-α-Partikeln hinausgehende Reichweite besitzen sollten. Obwohl die Reichweite der aus Sauerstoff erhaltenen Teilchen nicht mit der theoretischen übereinstimmte, zog doch Rutherford zunächst zur Deutung seiner Versuchsergebnisse die Möglichkeit heran, daß es sich um raschbewegte, einfach geladene Sauerstoff- und Stickstoffatome handle, die bis 9 *cm* Luftäquivalent Gesamtabsorption den α-Teilchen ähnliche, helle Szintillationen hervorbrächten.

Den zweiten Deutungsversuch gab er in der Bakerian Lecture 1920,[3] wo er diese Teilchen auf Grund magnetischer Ablenkungs-

[1] E. Marsden and P. B. Perkins, Phil. Mag. *27*, 690, 1914. E. Rutherford and A. B. Wood, Phil. Mag. *31*, 379, 1916; siehe auch A. B. Wood, Phil. Mag. *41*, 575, 1921.

E. Rutherford, Phil. Mag. *37*, 576, 1919.

[3] Proc. Roy. Soc. *97*, 388 ff., 1920.

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

versuche als He-isotope vom At.-Gew. 3 erklärte, die den Kernen der zertrümmerten Stickstoff- und Sauerstoffatome entstammen sollten.

Schließlich ließ er auch diese Erklärung fallen.[1] Ein Abschnitt aus dem Berichte Rutherfords vor der Société Française de Physique am 20. April 1922, der in gedrängter Kürze eine vollständige Geschichte der Bemühungen im Cavendish-Laboratorium um die vorliegende Frage aus Rutherfords eigenem Munde darstellt, lautet in wörtlicher Übersetzung folgendermaßen: Es handelt sich jetzt um die Frage, ob andere Teilchen als Wasserstoffkerne durch Beschießung mit α-Strahlen befreit werden können. Ich habe schon vor einiger Zeit, wenn ich Ra *C* als Strahlenquelle benützte, gefunden, daß eine kleine Zahl heller Szintillationen bis zu einer maximalen Reichweite in Luft von 9 *cm* beobachtet werden konnte. Es war naheliegend anzunehmen, daß das auf eine neue Art α-Strahlen aus der radioaktiven Substanz zurückzuführen sei. Nichtsdestoweniger hat mich der Effekt, den Aluminiumfilter hervorbrachten, indem sie die Reichweite der Teilchen herabsetzten, dazu geführt, zu glauben, daß sie in den verwendeten Gasen selbst erzeugt würden, d. h. im Stickstoff und im Sauerstoff. Durch Vergleich der magnetischen Ablenkung dieser Partikeln mit der von H-Partikeln aus Wasserstoff wurde ich zu dem Schlusse veranlaßt, daß ihre Masse ungefähr gleich 3 sein müsse und daß sie zwei positive Ladungen trügen. Neuere Versuche haben mir aber die Undurchführbarkeit der Methode, mit feststehender Strahlungsquelle zu arbeiten, gezeigt, wegen der bedeutenden Schwankungen der Dicke dünner Metallfolien. Indem ich mich einer direkteren und einfacheren Methode bediente, habe ich die Überzeugung gewonnen, zumindest was den Sauerstoff betrifft, daß diese Partikeln ihren Ursprung in der radioaktiven Substanz und nicht im Gase selbst haben. Unter diesen neuen Bedingungen ist die vergleichende Methode der Massenabschätzung der Partikeln nicht mehr sicher. Obwohl eine große Zahl von Experimenten notwendig wäre, um die Natur der Strahlen endgültig sicherzustellen, so drängt doch alles zu der Ansicht, daß sie Teilchen von der Masse 4 seien, die aus der Strahlungsquelle stammen und eine neue Art des Zerfalles von Ra *C* darstellen.«

Rutherford hat dann dieses Problem, das ihn vier Jahre bebeschäftigt hatte, zwei Schülern zu näherer Bearbeitung zugewiesen, die vor allem je drei neue Gruppen von α-Strahlen aus Th *C*, Ra *C* und Po feststellten und deren genaue Zahlen und Reichweiten unter ziemlichem Aufwand an Messungen aufs genaueste bestimmten.[2]

Bei den Versuchen über Atomzertrümmerung in den hiesigen Instituten war nun stets die Vorsicht gebraucht worden, die Ra *C*-Strahlen außer durch die zu zertrümmernde Substanz nur durch sekundärstrahlenfreie Materialien laufen zu lassen.[3] Hierbei wurden

---

Journal de Physique (6) *3*, 145, 1922. La Desintegration artificielle des elements.

L. F. Bates und J. S. Rogers, Proc. Roy. Soc. *105*, 97, 360, 1923 und 1924.

[3] G. Kirsch und H. Pettersson, Diese Berichte *132*, 305, 1923.

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

diese Strahlen weder annähernd in der von Bates und Rogers angegebenen Anzahl, noch mit solchen Reichweiten beobachtet. Wir hielten daher nach wie vor an der Ansicht fest, es handle sich um Abbauprodukte getroffener Atomkerne. Besonders legte dies auch die von Bates und Rogers gegebene Tabelle in ihrer zweiten Arbeit nahe, aus der für alle weitreichenden α-Strahlengruppen eine Abnahme der Zahl mit der Energie der Hauptgruppe zu entnehmen war. Schon Dagmar Pettersson[1] hebt in ihrer Arbeit die unabsehbaren Konsequenzen hervor, die das Vorhandensein derartiger Strahlen für das ganze Gebiet der Radioaktivität haben müßte. Würden doch weitreichende H-Strahlen aus Ra*C* zu einer Revision der ganzen Untersuchungen Rutherfords über natürliche H-Strahlen zwingen. Ferner wären entweder komplizierte Zerfallsschemata notwendig, um der Geiger-Nutall'schen Gleichung zu genügen, oder man müßte die allgemeine Gültigkeit dieser Beziehung fallen lassen angesichts des Umstandes, daß die α-Strahlen der Radioelemente nicht homogen sind. Hatten nach allen bisherigen Untersuchungen die α-Spektren sozusagen nur eine einzige Linie aufzuweisen, so kam nach den Untersuchungen von Bates und Rogers nun neben der Hauptlinie noch ein Bandentriplett dazu mit den rationalen Intensitätsverhältnissen 1 : 2 : 6, 1 1 : 4 u. s. w., wie sie sich sonst auch bei optischen Spektren finden und ja recht bestechend zugunsten der Deutung der weitreichenden Strahlen als kernecht wirken.

Die Frage der Existenz von weitreichenden Strahlen, sowohl α- als auch H-Strahlen, zunächst aus Ra*C* wurde darum im hiesigen Institut von D. Pettersson einer eingehenden Untersuchung unterzogen und die Abwesenheit der H-Strahlen sowie der beiden längeren α-Strahlgruppen beim Totlaufen der Primärstrahlung in unverdächtigen Substanzen, schweren Elementen, nachgewiesen.

Angesichts der Bedeutung eines derartigen Phänomens, das Rutherford solange beschäftigt hat, für weite Gebiete der physikalischen Forschung, sollte wohl Klarheit geschaffen werden. Sowohl der Umstand, daß beim Einschalten von Glimmer in den Anfang der Strahlenbahn bei Ra*C* sofort weitreichende α-Strahlen in größerer Zahl auftraten, als auch die merkwürdigen rationalen Verhältnisse zwischen den von Bates und Rogers bei Th*C*, Ra*C* und bei Po festgestellten Strahlengruppen, brachten mich zunächst auf den Gedanken, wenigstens eine teilweise Erklärung der abnormal weitreichenden α-Strahlen in der Anisotropie des Glimmers zu suchen, der ja beinahe eine Standardsubstanz für Absorptionsfilter darstellt. Bemerkt doch Rutherford in seinen jüngsten Arbeiten,[2] wie große Inhomogenität in ein α-Strahlbündel bereits durch ein relativ dünnes Glimmerblatt gebracht werde. Ich machte nämlich die Annahme, daß nicht nur in bestimmten Richtungen, sondern parallel zu bestimmten Netzebenen die Krystalle eine erhöhte Durchlässigkeit

---

[1] D. Pettersson, Diese Berichte, Mitt. Ra-Inst. Nr. 163.

Phil. Mag. *47*, 282, 1924.

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

für α-Strahlen besitzen, und zwar stellte ich mir vor, daß α-Partikeln, die zufällig genau parallel zu den Netzebenen zwischen zwei solche eintreten, nur einen um einen bestimmten Prozentsatz herabgesetzten Widerstand finden, weil sie nur Räume durchfliegen, in denen Elektronen ganz bestimmten Bremsvermögens sich befinden. Auch wenn der Krystall leicht deformiert ist, so war es wohl naheliegend anzunehmen, daß eine α-Partikel, einmal in eine solche Bahn geraten, in ihr durch die Gitterkräfte weitergeleitet würde, zeigten doch die schönen Untersuchungen nach der Wilsonmethode von Debendra Bose,[1] daß α-Partikeln, unter gewissen Winkeln auf Krystalle auftreffend, möglicherweise ihre Richtung ändern und an ihnen entlanggleiten können. Bedenkt man nun noch, daß ein Glimmerblatt von z. B. 10 μ aus weniger als 100.000 Netzebenen besteht und sich also die Tiefe zur Breite eines Spaltes, den zwei auf die Oberfläche senkrechte Netzebenen bilden, nicht einmal wie 100.000 : 1 verhält, so wäre die erhöhte Durchlässigkeit für α-Strahlen in diesem Ausmaße, also gerade mit der Ausbeute, die Bates und Rogers angeben, wahrlich nicht wunderzunehmen. Auch das Auftreten von mehreren Gruppen weitreichender Strahlen mit rationalen Zahlenverhältnissen könnte so Erklärung finden, indem jeder Gruppe eine Netzebenenschar mit besonders niedrigen Indices entspricht. Doch ließen die orientierenden Vorversuche mich von diesem Gedanken bald wieder abkommen.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit lag in der Annahme, daß es sich um einfach geladene, durch Stoß in Bewegung gesetzte Atome handle. Mit den von Rutherford berechneten Reichweiten für einfach geladene Sauerstoff- und Stickstoffatome stimmten zwar die experimentell gefundenen Reichweiten nicht überein, aber mit der Annahme, daß beim Zusammenstoß mit der α-Partikel das Atom in das mit nächst niedrigerer Ordnungszahl übergeht und dieses Restatom den theoretischen Impuls bekommt, erhält man für mehrere Fälle von Sekundärstrahlen eine geradezu glänzende Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment. Die theoretischen Reichweiten für die ersten Elemente im periodischen System sind:[2]

für He	Li	Be	B	C	N	O
28·0	19·6	15·4	12·4	11·2	9·3	7·8 *cm.*

Man sieht sofort, daß die aus Luft, also aus Sauerstoff und Stickstoff erhaltenen Reichweiten 9·3 und 11·2 den nächst niedrigeren Elementen Stickstoff und Kohlenstoff entsprechen. Hierzu kommen noch die von H. Pettersson und mir aus Be erhaltenen H-Strahlen von 18 *cm* Reichweite (ohne Absorption in der Substanz gerechnet, also zirka 20 *cm* mit der Substanz), die mit der von einfach geladenen Lithiumatomen verblüffend genau übereinstimmt.

---

[1] ZS. f. Phys. *12*, 207, 1923.

[2] Nach E. Rutherford, Phil. Mag. *37*, 573, 1919.

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

Wie H-Strahlen könnten diese erscheinen, wegen der geringen Masse des Li-Atoms; sind doch auch die Szintillationen der einfach geladenen α-Partikeln sehr H-ähnlich. Demgegenüber war jedoch von vornherein größtes Mißtrauen am Platze gegen die Vorstellung, daß ein Stickstoffatom samt seinen 6 Elektronen durch viele 100.000 Luftatome hindurchgehen sollte, ohne ein Elektron zu verlieren. Wie sich zeigen wird, sind die Versuchsresultate denn auch mit einer solchen Annahme unverträglich.

Allgemeine Vorbemerkungen.

Zu den dieser Arbeit beigefügten Absorptionskurven haben wir folgendes zu bemerken: Die Ordinaten geben die Zahl der beobachteten Partikel an, pro Million Primärstrahlen, die im Gesichtsfelde sichtbar würden, falls sämtliche Hindernisse, Absorptionsfilter, Blenden, Gasfüllung u. s. w., aus dem Wege geräumt würden. Diese Zahl der Primärstrahlen wird für jede Zählung berechnet aus der Präparatstärke, gemessen vor und nach der Versuchsreihe durch Bestimmung des γ-Äquivalentes Ra, aus der Abklingungskurve des aktiven Niederschlages, den geometrischen Bedingungen der Anordnung und dem Wirkungskoeffizienten des Szintillationsschirmes. Die Präparatstärke wurde im allgemeinen nach dem Versuch in guter Übereinstimmung mit dem aus der Abklingungskurve berechneten Werte gefunden. Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse wurde die Zahl der von einem Gramm Radium sekundlich ausgesendeten α-Partikeln zu $3 \cdot 7 . 10^{10}$ angenommen.

Der Wirkungskoeffizient der Szintillationsschirme wurde durch Eichung mit einem Po-Präparate bekannter Stärke in stets reproduzierbarer Lage bestimmt und bei guten Schirmen stets für die verschiedenen verwendeten optischen Anordnungen gleich gefunden. Die Eichung geschah also nur mit α-Strahlen von etwa 2 *cm* restlicher Reichweite. Eichung der Schirme mit einem H-Strahlenstandard ist in Vorbereitung. Doch lassen eine Reihe von Erfahrungen es als höchst wahrscheinlich erscheinen, daß der Wirkungsgrad der Schirme für α- und H-Strahlen derselbe ist. Die zur Verwendung gelangten Schirme reagierten gewöhnlich auf 50 bis 60% der auffallenden Teilchen mit sichtbaren Szintillationen bei einem nur wenig höheren Bedeckungskoeffizienten.

Die Unterscheidung von H- und α-Szintillationen.

Da Stickstoff jedenfalls nicht nur α-Strahlen, sondern auch H-Strahlen als Abbauprodukt gibt, so ist es von Interesse, über die Unterscheidbarkeit von H- und α-Strahlen in der von uns verwendeten Optik etwas zu sagen.

Die verwendeten Schirme sind aus Zinksulfid-Kupferphosphor der Firma Kunheim (Berlin-Niederschöneweide) hergestellt, der ein

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

ganz ausgezeichnetes Material darstellt, von vollkommen gleichmäßiger Korngröße. Vor allem ist bei diesem Produkt von allen von uns versuchten Zinkblenden die Beschaffenheit der Szintillationen am gleichmäßigsten.

Die α-Teilchen erzeugen auf Schirmen mit einfacher Körnerlage und zirka 70% Bedeckung große Szintillationen, die einen hellen Kern und einen großen lichtschwächeren Hof besitzen; nur bei stärkerem Fluoreszieren des Schirmes infolge γ-Strahlung, also z. B. mit Präparaten von 60 bis 80 Millicurie auf 2 *cm* Abstand, wird dieser Hof unsichtbar. H-Strahlen sind dann überhaupt nicht mehr sichtbar. Gegen das Ende der Reichweite zu werden die Szintillationen weicher, der Hof bleibt zunächst noch in voller Größe sichtbar. 5 bis 3 *mm* vom Ende der Reichweite verschwindet der Hof bei mäßiger γ-Fluoreszenz, wie man sie gewöhnlich bei Beginn der Zählungen hat. Sichtbar bleibt nur der Kern und dieser erscheint schon ziemlich klein und lichtschwach.

Bei sehr schwacher γ-Fluoreszenz und ohne dieselbe verschiebt sich dieses Stadium immer mehr gegen das Ende der Reichweite. Auf jeden Fall erstreckt sich dieses Stadium der H-Ähnlichkeit der α-Szintillationen über nicht mehr als 3 *mm*.

Die H-Strahlen erzeugen nämlich auf unseren Schirmen ausschließlich scharfe, kleine Punkte und nur bei völliger Abwesenheit von γ-Fluorenszenz und besonders gutem Zustand der Augen, etwa am ersten Tag der Woche und bei Beginn der Zählungen, wenn das Sehvermögen noch nicht durch eine bedeutendere Dosis γ-Strahlung herabgesetzt ist, erscheinen auch diese Szintillationen von einem schwachen, kleinen Hof umgeben. Die Entscheidung, ob es sich bei derartigen Szintillationen tatsächlich um H-Strahlen handelt, ist im allgemeinen sehr leicht und mit ziemlicher Sicherheit möglich. Denn aus dem Charakter der Absorptionskurve etwa vorhandener α-Strahlen läßt sich ja an jeder Stelle aus der Steilheit der Kurve ableiten, ein wie großer Prozentsatz der α-Strahlen sich in den kritischen letzten drei Millimetern befindet. Ist die Zahl der H-Strahlen wesentlich größer als dieser Prozentsatz der α-Strahlen, wie durchwegs bei Stickstoff von 7 bis 11 *cm* Reichweite, so ist die Trennung der α- und H-Strahlen mit befriedigender Sicherheit möglich. Auch die Versuche mit CO_2 mit den H-Strahlen aus Kohlenstoff sprechen dafür.

Dies geht auch aus den Messungen an Sauerstoff hervor. Hier konnte allerdings das Vorhandensein von H-Strahlen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Die Zahl der gezählten H-Strahlen war aber in allen Fällen sehr gering (wenige Prozent der Gesamtzahl der Szintillationen) und erreichte nur bei 9 bis 9·5 *cm* Absorption einen relativ größeren Wert, also dort, wo relativ sehr viele α-Strahlen sich im kritischen H-ähnlichen Stadium befinden.

Über die α-Strahlen aus Stickstoff und Sauerstoff.

Versuche mit ungeschwächten Ra*C*-Strahlen.

Orientierende Versuche mit Luft, Glimmer und Aluminium auf vorwärtige Sekundärstrahlung zeigten, daß bei Bestrahlung von Leichtelementen stets ähnliche Gruppen von α-Strahlen auftreten, wie sie von Bates und Rogers gefunden wurden, und lassen es daher begreiflich erscheinen, daß Rutherford glaubte, es ausschließlich mit Strahlen der radioaktiven Substanz zu tun zu haben. Beim Arbeiten mit reinem O und N zeigte sich aber, daß es sich wohl um einen Effekt handeln müsse, bei dem die durchstrahlte Substanz wesentlich beteiligt sei. Die bei diesen Versuchen verwendeten Gase waren:

Stickstoff: aus Luft durch Absorption des Sauerstoffes und darauffolgende Trockung hergestellt. Da sich Pyrogallol hierbei als nicht besonders zuverlässig erwies, gelangte ausschließlich Natriumhydrosulfit bei den meisten Versuchen zur Verwendung, das bei jeder Temperatur rapid und absolut zuverlässig wirkt. Der Stickstoff hatte also noch den Argongehalt der Luft.

Sauerstoff: sowohl Bombensauerstoff (anfangs) als auch (bei den weitaus meisten Versuchen) aus analysenreinem $KMnO_4$ (Kahlbaum) hergestellter und sorgfältig gereinigter Sauerstoff. Figur 1 gibt die beiden charakteristischen Absorptionskurven wieder, die man erhält, wenn man die α-Strahlen von Ra*C* sich vollständig in O, respektive N totlaufen läßt. Zum Vergleiche sind die Absorptionskurven der natürlichen H-Strahlen gegeben, die von Ra*C*-Strahlen im Anfang, respektive im zweiten Zentimeter ihrer Bahn erzeugt werden.[1] Es fällt sofort die Ähnlichkeit der O-Kurve mit dem Ende der ersten und die der N-Kurve mit der zweiten H-Strahlenkurve auf. Es ist leicht zu zeigen, daß wahrscheinlich diese Kurvenformen mit der Winkelstreuung der Strahlenbündel zusammenhängen und das Experiment bestätigte das auch für die natürlichen H-Strahlen. Demnach war zu erwarten, daß es sich beim Sauerstoff um vorzugsweise in der Einfallsrichtung der stoßenden α-Partikel weiterfliegende Teilchen handeln würde, während bei Stickstoff eine bedeutende Winkelstreuung der Sekundärstrahlen zu erwarten war. Vor allem schien die Menge der unter einem gewissen Winkel zur einfallenden Primärstrahlung auftretenden Sekundärstrahlen von Interesse für den Nachweis, daß es sich um Atomtrümmer handle. Die hierbei verwendeten Anordnungen, übrigens zum Teil dieselben, mit denen auch die obenerwähnten Vorversuche bereits ausgeführt wurden, seien im folgenden kurz beschrieben:

Ein zylindrisches Gefäß aus Messing mit zwei seitlichen Rohransätzen für die Zu- und Ableitung der zu untersuchenden Gase trägt oben eine Öffnung, die luftdicht mit Glimmer von 3 bis 6 *mm*

---

[1] Nach Rutherford, Phil. Mag. *37*, 550, 1919.

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

Luftäquivalent verschlossen ist; 4 *mm* darüber befindet sich der Szintillationsschirm, zwischen dem Verschlußglimmer und dem Schirm werden die Absorptionsfilter eingeschoben. Unten ist das Gefäß z. B. mit einem Metallschliff verschlossen, dessen Stöpsel durchbohrt und mit einer Stopfbüchse versehen ist und durch den der Präparatenträger verschiebbar durchgeführt ist; außen und innen sitzen Stoppringe, die von vornherein festgestellt, bestimmte Lagen-

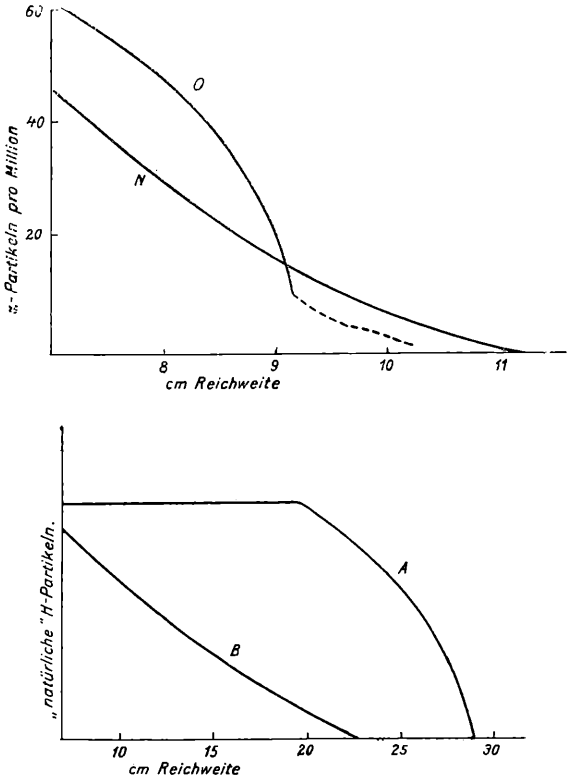

Fig. 1 *a* und *b*.

änderungen des Präparates auch im Dunkeln raschest ermöglichen. Der ganze Apparat befindet sich selbstverständlich während der Zählungen, wie immer bei Versuchen mit direkten Strahlen, zwischen den Polen eines starken Elektromagneten. Kurve *A*, Fig. 2, ist mit einem derartigen Apparat von 24 *mm* Weite aufgenommen. Präparat auf Goldscheibe von 8 *mm* Durchmesser, Anfangsstärke 15 Mc (Millicurie).

In diesen Apparat wurde nun z. B., bei 45 *mm* Abstand Präparatschirm, 18 *mm* vom Präparat eine Scheibe von 11 *mm* Durchmesser in den Weg der direkten Strahlung gestellt, so daß diese nicht auf den Schirm gelangen konnte und auch der Verschlußglimmer an

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

keinem Punkte der direkten Strahlung des Präparates ausgesetzt war. Zur Beobachtung gelangten somit nur sekundäre Strahlen, die unter einem gewissen Winkel von mindestens 10° zum einfallenden Primärstrahl von dem getroffenen Stickstoffatom ausgesandt werden, und — bei entsprechend herabgesetzter Gesamtabsorption unterhalb 7 *cm* — an Stickstoffatomen oder den Gefäßwänden reflektierte Primärstrahlen. Kurve *C* (Fig. 2) ist mit dieser Anordnung aufgenommen. Unterhalb 7 *cm* Gesamtabsorption, wo die reflektierten Primärstrahlen auftreten, geht sie plötzlich steil in die Höhe. Mit

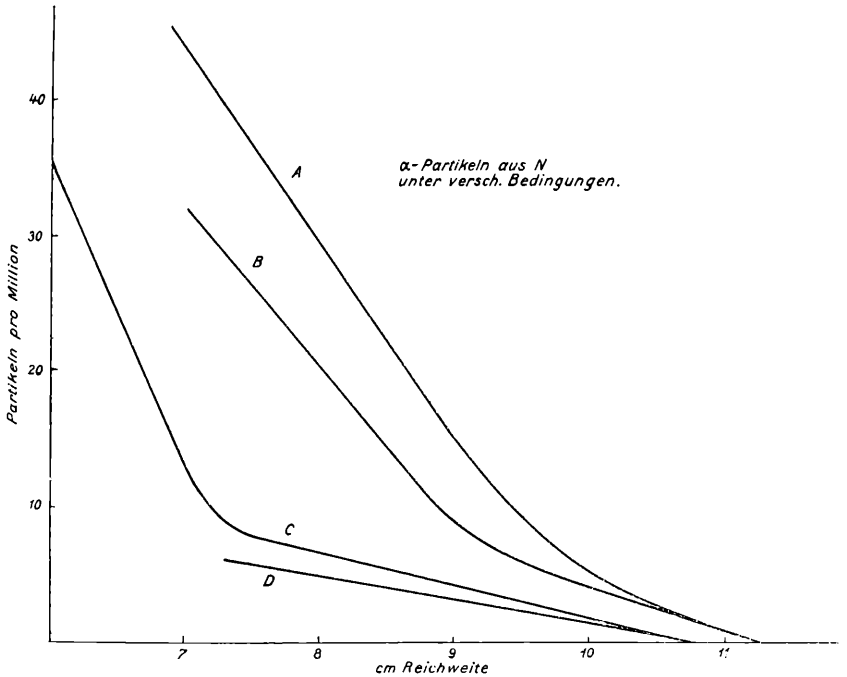

Fig. 2.

einem andern derartigen Apparat von nur 12 *mm* Weite ist Kurve *B* aufgenommen; Präparat auf Messingscheibe, 37 Mc Anfangsstärke, Abstand von Schirm 60 *mm*. Hier fiel natürlich eine gewisse Anzahl Partikel, die im weiteren Apparat in der Nähe der Wand erzeugt worden waren, weg. Dementsprechend sind die Ordinaten besonders bei den niedrigeren Absorptionswerten kleiner. In diesem engeren Apparat gelangte z. B. auch ein Pt-Draht, dessen zugespitztes Ende mit ein paar Mc aktiviert war, als Strahlungsquelle zur Verwendung. 5 *mm* vor der Spitze war eine Blende angebracht, ein Scheibchen von 2 *mm* Durchmesser, das wiederum die Aufgabe hatte, die direkte Strahlung abzuhalten, so daß wieder nur Strahlen »ums Eck« zur Beobachtung gelangten (Kurve *D*). Die Reichweite dieser Strahlen ist natürlich etwas geringer als die der direkten, im vorliegenden Falle 10·6 *cm*.

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

Bei Sauerstoff wurde, wie erwartet, nur eine bedeutend kleinere Zahl von Strahlen ums Eck erhalten, z. B. bei der Anordnung, die mit Stickstoff Kurve *C* ergab, weniger als die Hälfte des Stickstoffeffektes bei 7·2 *cm* Gesamtabsorption (Fig. 4). Die konvexe Kurvenform kam bei den meisten Sauerstoffversuchen immer wieder zum Vorschein, sowohl bei den eben erwähnten ums Eck, als auch bei Versuchen mit Kohlensäure. Auf die letzteren soll hier nicht näher eingegangen werden, da diese zusammengesetzten Effekte aus Sauerstoff und Kohlenstoff an anderer Stelle besprochen werden sollen. Interessant ist der Befund an komprimiertem Sauerstoff. Bei einem solchen Versuch wurde mit einer 25 Mc starken Pt-Spitze von 1 *mm* Durchmesser gearbeitet und da zeigte sich außer den α-Strahlen aus O eine H-Strahlengruppe (zirka 3 pro Million), die bis zirka 20 *cm* Absorption konstant blieb, bei etwa 28 *cm* maximaler Reichweite. Es handelt sich hier wohl sichtlich um »natürliche« H-Strahlen, die ganz zu Anfang des Weges der Ra *C*-α-Strahlen erzeugt wurden, also um einen Wasserstoffgehalt des Platins. Auf den kleinen Schwanz an der Sauerstoffkurve werden wir in dem Abschnitt über die H-Strahlen noch zurückkommen.

Über die H-Strahlen aus Stickstoff und Sauerstoff.

Da die H-Strahlen aus Stickstoff von E. Rutherford und J. Chadwik[1] bereits im Bereiche der größeren Reichweite, sowohl nach vorwärts, wie nach rückwärts, sowie in ihrer Abhängigkeit von der Reichweite der erzeugenden α-Strahlen ziemlich eingehend untersucht worden sind, so beschränkte ich mich darauf, die Zahl der H-Strahlen unter gewöhnlichen Bedingungen im Gebiete der kleineren Absorptionen bis 7 *cm* herab genauer festzustellen. In Fig. 3 gibt die ausgezogene Kurve die Zahl der gezählten α-Partikeln, die punktierte Kurve entspricht den Summen aller Szintillationen, also H und α zusammen. Die Aufnahme dieser Kurve geschah derart, daß α- und H-Partikeln getrennt gezählt wurden. Die Übereinstimmung der Resultate von verschiedenen Zählern und zu verschiedenen Zeiten, mit stärkerem und schwächerem Leuchten des Schirmes usw. läßt auf einige Zuverlässigkeit der Ordinaten für H- und α-Strahlen schließen. Auch die bei den Versuchen mit Kohlensäure in dieser Hinsicht gemachten Erfahrungen mit den H-Strahlen aus Kohlenstoff sprechen dafür. Was die Trennung der beiden Strahlenarten betrifft, schätzen wir die Genauigkeit, die im Falle des Stickstoffes erreicht wurde, auf etwa 10%. Es ergibt sich daraus, daß das Ansteigen der H-Strahlen-Absorptionskurve aus Stickstoff von den höheren Absorptionswerten her über 12 *cm* herunter nicht stetig fortsetzt, sondern bedeutend rascher wird. Ein stetiger Kurvenverlauf ließe sich nur durch eine gewaltsame Biegung des experimentellen Materiales erreichen.

---

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

Die bei Sauerstoff gezählten H-Szintillationen waren an Zahl fast immer so gering, daß sie sich beinahe, wie schon erwähnt, als α-Szintillationen im H-Stadium erklären ließen.

Es ist uns daher derzeit nicht möglich, mit Sicherheit zu entscheiden,

1. ob Sauerstoff tatsächlich das einzige von allen bisher dem künstlichen Abbau unterworfenen Elementen ist, das keine H-Strahlen liefert, und ob somit der kleine Schwanz an der α-Strahlenabsorptionskurve, der über 9·3 *cm* hinausgeht, real ist;

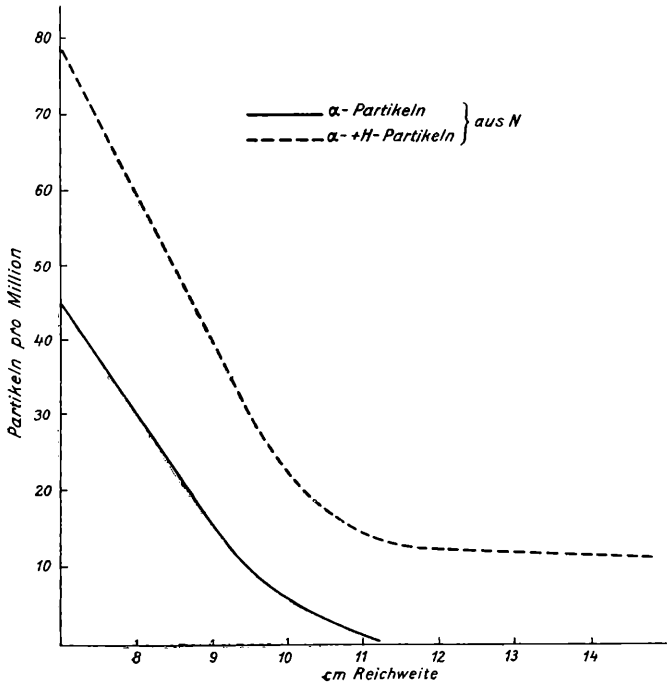

Fig. 3.

2. ob Sauerstoff doch H-Strahlen abgibt, aber bei den bisher zugänglichen Absorptionswerten jedenfalls nur eine geringe Anzahl, die für 7·2 *cm* Reichweite 10 pro Million keinesfalls erreichen würde.

Als Fazit aus sieben Versuchen über diesen Schwanz Klarheit zu schaffen, möchten wir, rein auf Grund der Experimente, ohne theoretische Gesichtspunkte zu Worte kommen zu lassen, die erste Frage eher bejahen als verneinen.

Als deutlichstes Anzeichen für das Auftreten von H-Strahlen liegen die Versuche mit O »ums Eck« vor, bei denen auch wenige H-Strahlen beobachtet wurden (Fig. 4), die infolge der Seltenheit von α-Strahlen aber doch in gleicher Größenordnung mit diesen vorhanden waren. Da bei diesen Versuchen nur aus $KMnO_4$ (analysenrein, Kahlbaum) frisch hergestellter O Verwendung fand, der vor

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

der Einführung in den Apparat durch H_2SO_4 und P_2O_5 getrocknet wurde, so sind Anwesenheit von N oder Feuchtigkeit vollkommen ausgeschlossen. Nach Fig. 4 wäre sogar eine Reichweite von 13 *cm* wahrscheinlich, ebenso wie nach Versuchen in O mit verkürzter Reichweite der Primärstrahlen.

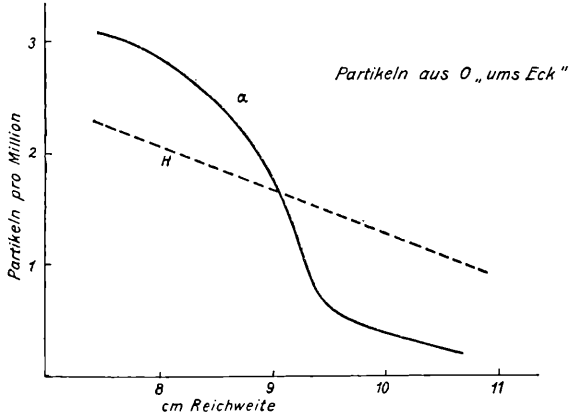

Fig. 4.

Theoretische Betrachtungen.

Energetische Beziehungen.

Schon im ersten Stadium der Erkenntnis über die Abbaumöglichkeit der Elemente, als Rutherford nur bei sechs Elementen die H-Strahlen allergrößter Reichweite hatte fassen können, untersuchte er sofort auch den Einfluß der Primärstrahlenenergie auf die Sekundärstrahlenenergie. Mehr als eine beiläufige Proportionalität vermochte er aber nicht aus seinen Ziffern herauszulesen. Wir wollen im folgenden versuchen zu zeigen, was sich für interessante energetische Beziehungen aus Rutherfords Messungen im Lichte der Explosionshypothese von H. Pettersson[1] ergeben.

Wir nehmen mit H. Pettersson an, daß der Stoß des α-Teilchens auf den N-Kern unelastisch verläuft, also beide schließlich dieselbe Geschwindigkeit haben, die sich leicht berechnen läßt. Dann bedeutet die Differenz zwischen der kinetischen Energie dieses Systems und der kinetischen Energie der α-Partikel vor dem Stoß einen gewissen Teilbetrag der inneren Energie dieses Systems, und zwar den einzigen, der sich mit der Geschwindigkeit der stoßenden α-Partikel ändert.

In Tabelle I sind diese Energiebeträge in Zeile 4 für verschiedene Reichweiten der Primär-α-Strahlen in willkürlichen Einheiten angegeben.

---

[1] Proc. Phys. Soc. of London, *36* (3), 194, 1924.

Für dieselben Reichweiten der Primär-α-Strahlen berechnen wir nun auch die bei der Kernexplosion freiwerdende Energie, die in Form einer raschen H-Partikel auftritt. Aus der Reichweite erhalten wir die Geschwindigkeit der H-Partikeln relativ zur Versuchsanordnung, die um die Geschwindigkeit des explodierenden Kernes zu vermindern ist, um die Geschwindigkeit der H-Partikel relativ zum explodierenden Kern zu erhalten. Proportional dem Quadrat dieser Geschwindigkeit ist die bei der H-Emission freiwerdende Energie, die unter Berücksichtigung der Massen des H-Teilchens und des zurückbleibenden Kernes zu berechnen ist.

Tabelle I.[1]

Reichweite der Primärstrahlen . . .		8·6	7·0	6·0	4·9
Geschwindigkeit	von N-Kern + α-Teilchen nach dem unelastischen Stoß	0·455	0·425	0·405	0·38
Kinetische Energie		0·93	0·81	0·73	0·64
Zuwachs an innerer Energie . .		3·27	2·84	2·58	
Differenzen der inneren Energie		0·43	0·26	0·35	
Reichweite der H-Strahlen		51	40	34	26
Geschwindigkeit der H-Strahlen		3·71	3·42	3·24	2·97
Geschwindigkeit der H-Strahlen bezug auf den Kern		3·255	2·995	2·835	2·59
Bei der H-Emission zum Vorschein kommende Energie		2·79	2·36	2·12	1·77
Differenzen dieser Energien		0·43	0·24	0·35	

Diese Energien sind in Tabelle I, Zeile 9, angeführt. Zeile 5 und 10 enthalten die Differenzen der Energien, die einerseits das α-Teilchen in den N-Kern mitgebracht hat, und der Energien anderseits, die bei der Emission des H-Teilchens zum Vorschein kommen. Und diese Differenzen sind praktisch dieselben. Das bedeutet, daß bei der Emission einer H-Partikel aus einem getroffenen Atomkern die freiwerdende Energie aus einem (positiven oder negativen) konstanten Teil und der von der stoßenden α-Partikel in das explodierende System mitgebrachten Energie besteht. Bei N ist der konstante Summand negativ und beträgt etwa 13% der Energie der Ra *C*-α-Partikel.

[1] Geschwindigkeiten und Energien in willkürlichen Einheiten.

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

Diese quantitativen Verhältnisse sind wohl ein weiterer Beweis für die Annahme, daß das stoßende α-Teilchen in den N-Kern aufgenommen wird, eine Annahme, die schon durch in der letzten Zeit hier ausgeführte Versuche nahegelegt wurde, die in anderem Zusammenhang beschrieben werden sollen.

Zur Theorie der Absorptionskurven.

Wir wollen nun noch versuchen, die Grundform der Absorptionskurve einer winkelgestreuten Partikelgruppe unter vereinfachten Annahmen theoretisch abzuleiten. Diese Annahmen sind:

1. Die Erzeugung der Sekundärstrahlen findet so nahe am Präparat statt, daß man in erster Annäherung diese Entfernung gegenüber der Entfernung des Szintillationsschirmes vom Präparat vernachlässigen kann. Im Falle der Bestrahlung fester Substanzen ist diese Forderung bei nicht zu großer Ausdehnung des Präparates ziemlich strenge erfüllt.

2. Die Sekundärstrahlrichtung ist unabhängig von der Primärstrahlrichtung (Explosionshypothese!).

3. Die Sekundärstrahlgeschwindigkeit in bezug auf den explodierenden Kern ist konstant (Explosionshypothese!).

Dann ist das den Schirm erreichende Strahlenbündel inhomogen in bezug auf die Geschwindigkeit ausschließlich wegen der verschiedenen Größe der Geschwindigkeitskomponente in der Richtung auf den Schirm zu, die es der verschiedenen Richtung des stoßenden Primärstrahles verdankt. Diese Primärstrahlrichtung ändert sich bei senkrecht zur Strahlungsrichtung stehendem scheibenförmigen Präparat vom Winkel 0° bis 90° Die Wahrscheinlichkeit nun, daß die Größe der veränderlichen Geschwindigkeitskomponente eines Sekundärstrahlteilchens zwischen v und $v + dv$ liegt, ist gleich der Wahrscheinlichkeit, daß der Primärstrahl eine um das Präparat gedachte Kugelfläche im Abstand V (Maximum von v) innerhalb einer Kugelzone durchstößt von der Höhe dv, und im Abstand v vom Präparat, also proportional der Fläche dieser Kugelzone, da ja die Ra C-α-Teilchen in jeder Richtung gleich häufig sind. Die Fläche dieser Kugelzone ist $\frac{dv}{\sin \alpha} . 2 \pi \sin \alpha$, also proportional dv. Jede Geschwindigkeit innerhalb der Maximal- und Minimalgeschwindigkeit ist also gleich wahrscheinlich.

Auf der Abszissenachse sind aber bei den Absorptionskurven Reichweiten aufgetragen. Aus der Geiger'schen Beziehung

$$v = a \sqrt[3]{R}$$

erhalten wir

$$dv = \frac{a}{3} R^{-\frac{2}{3}} dR.$$

Die beobachtete Partikelzahl n nimmt mit abnehmender Reichweite zu, daher

$$n \sim -\frac{a}{3}\int R^{-\frac{2}{3}}\,dR + C = -a\sqrt[3]{R} + C.$$

Da die Partikelzahl bei maximaler Reichweite Null wird, so ist

$$-a\sqrt[3]{R_{\max}} + C = o$$

und die Integrationskonstante

$$C = a\sqrt[3]{R_{\max}},$$

also

$$n = K\left(\sqrt[3]{R_{\max}} - \sqrt[3]{R}\right)$$

die Gleichung der Absorptionskurve unter den angenommenen Bedingungen von der Maximalreichweite bis zu dem Punkt, wo keine Partikeln mehr zuwachsen und den wir als minimale Reichweite bezeichnen wollen.

Die Gestalt dieser Kurve ist ganz leicht nach oben konkav. Eine solche Kurve ist also z. B. auch zu erwarten, wenn wir die H-Strahlen aus Stickstoff in Betracht ziehen, die von Th*C*-Strahlen im Anfang ihrer Bahn bis zur Restreichweite 7 *cm* erzeugt werden, da hier die eingangs erwähnte Bedingung 1 genügend streng erfüllt ist. Diese Kurve experimentell bestimmt und durch Subtraktion der mit Ra*C* erhaltenen von der mit Th*C* erhaltenen gebildet, gibt Rutherford in Phil. Mag. *42*, 815 (Fig. 3) als Kurve *F* wieder; sie hat genau die von der Theorie geforderte Gestalt. Das bedeutet, daß die H-Partikeln aus Stickstoff nach allen Richtungen gleich wahrscheinlich sind — eine starke Stütze für die Explosionshypothese.

Sauerstoff.

Das bisher rätselhafteste Element in Beziehung auf Sekundärstrahlabgabe bei Beschießung mit schnellen α-Strahlen ist unstreitig der Sauerstoff. Erstens ist er von allen in Cambridge und Wien bisher untersuchten Elementen von Wasserstoff bis Calcium das einzige, bei dem bisher H-Strahlen nicht unbedingt sichergestellt werden konnten. Doch mag die Hauptmenge der H-Strahlen eine so kleine Reichweite haben, daß sie bisher nicht gefaßt werden konnten.

Das merkwürdigste ist jedoch das Fehlen einer bedeutenderen Winkelstreuung und die damit wohl zusammenhängende Form der Absorptionskurve der sekundären α-Strahlen.

Das Fehlen einer bedeutenderen Winkelstreuung bei den α-Strahlen aus O ist vielleicht so zu erklären, daß der O-Kern eine bestimmte Orientierung zur Flugrichtung annimmt, ebenso wie der He-Kern von einer gewissen Geschwindigkeit an mehr und mehr

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

wie ein positiv geladenes Scheibchen wirkt, das mit seiner Achse parallel zur Flugrichtung steht und daher natürliche H-Strahlen mit immer geringerer Winkelstreuung erzeugt. Die α-Teilchen werden dann in bezug auf den emittierenden Kern nur in bestimmter Richtung ausgesendet und die Winkelstreuung derselben bei den verschiedenen Elementen würde von der Strenge, mit der die Orientierung der Kerne zur Flugrichtung erfüllt ist, abhängig sein.

Eine andere Möglichkeit wäre, an sogenannte Stöße zweiter Art zu denken, deren Existenz von O. Klein und S. Rosseland[1] aus thermodynamischen Gründen auf Grund der Versuche von J. Franck und G. Hertz fordern. Bei diesen Stößen ist die Energie der stoßenden Elementarladung nach dem Stoß größer als vorher. Sie hat Energie von dem gestoßenen System übernommen.

Dann wäre also der Vorgang der, daß die beobachteten α-Strahlen größerer Reichweite tatsächlich aus dem Ra *C* stammen und ihre Mehrenergie gelegentlich von Zusammenstößen mit Sauerstoffkernen empfangen haben. Der Sauerstoff würde dabei in einen Parasauerstoff übergehen, vielleicht auch sofort eine Partikel (H- oder α-, oder beides) ohne Energie abgeben.

Es verlohnt sich derzeit wohl noch nicht, diese Gedanken weiter zu verfolgen, wir vermögen gegenwärtig mit Bestimmtheit jedenfalls nur so viel festzustellen:

Da beim Zusammenstoß von schnellen α-Partikeln mit Sauerstoffkernen anscheinend ein Energiebetrag zum Vorschein kommt, dessen Herkunft anderweitig nicht erklärt werden kann, so ist wohl anzunehmen, daß mit dem Sauerstoffkern eine wesentliche Veränderung vor sich geht und in diesem Sinne dürfen wir auch beim Sauerstoff von einer Atomzertrümmerung reden.

Zusammenfassung.

Es wird der Nachweis erbracht, daß beim Durchgang von schnellen α-Strahlen durch N nicht nur H-Strahlen, sondern anscheinend auch sekundäre α-Strahlen in ähnlicher Menge entstehen. Ebenso wurden α-Strahlen auch aus O erhalten. Die Abhängigkeit der Zahl und Reichweite dieser Strahlen von verschiedenen Versuchsbedingungen macht es höchstwahrscheinlich, daß bei Zusammenstößen von schnellen α-Teilchen mit leichten Atomen nicht nur H, sondern auch He als Abbauprodukt erhalten wird. In die Energie der H-Strahlen geht die von der stoßenden α-Partikel übertragene Energie als Summand ein.

---

[1] ZS. f. Phys. *4*, 46, 1921; siehe auch A. Smekal (mit Beziehung auf radioaktive Erscheinungen), ZS. f. Phys. *25*, 1924.

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): Kirsch Gerhard

Artikel/Article: Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung Nr. 169. Über Atomzertrümmerung durch a-Strahlen. IV. Abbau von Stickstoff und Sauerstoff. Helium als Abbauprodukt. 461-476