

Sitzungsberichte

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen
Abteilung

der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften
zu München

1933. Heft I
Januar-März-Sitzung

München 1933

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung

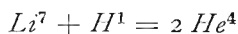
Nebelkammeraufnahmen der Zertrümmerungsprodukte von Lithium und Bor bei der Beschießung mit schnellen Wasserstoffkanalstrahlen.

Von F. Kirchner.

Mit 3 Tafeln.

Vorgetragen von A. Sommerfeld in der Sitzung vom 4. März 1933.

Cockroft und Walton¹ haben gefunden, daß Lithium und andere Elemente durch Bombardement mit Protonen, die eine Beschleunigungsspannung von einigen Hunderttausend Volt durchlaufen haben, zertrümmert werden können. C. u. W. haben die Reichweite der Trümmer von Lithium mittels Leuchtschirmbeobachtungen und Ionisationskammermessungen zu $8\frac{1}{2}$ cm bestimmt. Die Stärke der Szintillationen und des Ionisationseffekts machen es sehr wahrscheinlich, daß die Trümmer aus α -Teilchen bestehen. Der gemessenen Reichweite entspricht dann eine Energie von ungefähr 8 Millionen Volt. Nach C. u. W. ist diese Energie gerade dann zu erwarten, wenn der Zertrümmerungsprozeß nach der Gleichung verläuft



oder in Massenzahlen:

$$7,008 + 1,007 = 2 \cdot 4,000 + 0,015.$$

Der auf der rechten Seite stehende Massendefekt liefert nach Multiplikation mit c^2 die bei dem Umwandlungsprozeß freierwerdende Energie. Wenn diese den beiden Heliumkernen als kinetische Energie übertragen wird, erhält jedes einzelne 7 Millionen e -Volt. Ist diese Vorstellung richtig, dann müssen bei jedem einzelnen Zerfallsprozeß zwei α -Teilchen in entgegengesetzten Richtungen ausgeschleudert werden. Zur Prüfung dieser Folgerung haben C. u. W. auf zwei Leuchtschirmen, die

¹ J. D. Cockroft und E. T. S. Walton, Nature **129**, 649, 1932. Proc. Roy. Soc. **137**, 229, 1932.

München Ak. Sb. 1933, I

auf entgegengesetzten Seiten eines Lithiumpräparats angebracht waren, nach systematischen Koinzidenzen der Szintillationen gesucht; das Resultat der Messungen deuteten sie als Bestätigung der obigen Annahme. Da aber die Versuche schon wegen ihres statistischen Charakters nicht vollkommen überzeugend sind, habe ich eine direkte Prüfung durch photographische Aufnahmen der Trümmerspuren in einer Wilson'schen Nebelkammer in Angriff genommen.

Die Versuchsanordnung ist die folgende: Protonen, die eine hohe Entladungsspannung durchlaufen haben (etwa 200 kV), fallen von oben auf eine 10^{-5} cm dicke Lithiumschicht, die durch Aufdampfen im Vakuum hergestellt wurde. Die Lithiumschicht befindet sich in einer Kapsel, die in die Nebelkammer hineinragt und gegen diese mit Hilfe eines sehr dünnen Glimmerblättchens hochvakuumdicht abgeschlossen ist. Die von der Lithiumschicht ausgehenden Kerntrümmer können durch das Glimmerblättchen in die Nebelkammer gelangen; ihre Spuren werden mit Hilfe einer Stereokamera unmittelbar nach ihrer Entstehung photographiert. Die Bedingungen werden so gewählt, daß nur wenige Trümmerspuren in der Kammer sichtbar sind. Dadurch gelingt es, die bei der Zertrümmerung des einzelnen Lithiumatoms nach entgegengesetzten Seiten ausgeschleuderten beiden Heliumkerne festzustellen (vgl. Abb. 1—3).

Bei genauerer Betrachtung der Aufnahmen erkennt man, daß die beiden zusammengehörigen Trümmerspuren nicht genau einen Winkel von 180° miteinander bilden, sondern etwas nach unten geneigt sind. Diese Erscheinung zeigt an, daß das von oben kommende Proton bei seinem Eindringen in den Lithiumkern einen merklichen Impuls übertragen hat. Die Anwendung von Energie- und Impulserhaltungssatz auf den Zertrümmerungsprozeß liefert die beiden Beziehungen

$$m_P \cdot v_P = m_a (v_{a_1} - v_{a_2})$$

$$\frac{m_P}{2} v_P^2 + W = \frac{m_a}{2} (v_{a_1}^2 + v_{a_2}^2),$$

wobei W die infolge des Massendefekts freiwerdende Energie bedeutet. Die Kombination dieser beiden Gleichungen gibt eine Beziehung zwischen dem Winkel ϑ (zwischen Proton und

dem α_1 -Teilchen), und dem kleinen Winkel ε (zwischen der Emissionsrichtung des α_1 -Teilchens und der rückwärtigen Verlängerung des α_2 -Teilchens). Für den symmetrischen Fall ($\varepsilon = \text{Max.}$) erhält man

$$\sin \frac{\varepsilon}{2} = \sqrt{\frac{m_P}{2 m_a} \cdot \frac{E_{\text{kin}, P}}{W + E_{\text{kin}, P}}}.$$

Bei den vorliegenden Versuchen betrug die kinetische Energie der Protonen etwa 200 000 e-Volt. Setzt man für W die aus dem Massendefekt berechnete Energie ($14 \cdot 10^6$ e-Volt) ein, so erhält man

$$\sin \frac{\varepsilon}{2} = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \frac{0,2}{14,2}} = 0,042;$$

daraus würde sich $\varepsilon = 4^0 50'$ ergeben. Die Ausmessung der Aufnahmen lieferte für ε im Mittel den Wert 5^0 ; das ist innerhalb der bisher erreichten Meßgenauigkeit in vollständiger Übereinstimmung mit der obigen Folgerung aus den Erhaltungssätzen für Energie und Impuls.

Der hier vorliegende Zerfallsprozeß des Lithiums scheint damit vollständig geklärt zu sein. Die gleichzeitige Emission einer schwachen γ -Strahlung kann natürlich noch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden; sie ist aber wenig wahrscheinlich. Nun haben allerdings Cockroft und Walton in ihrer letzten Note (Nature 131, 23, 1933) berichtet, daß sie außer den Trümmern mit einer Reichweite von $8\frac{1}{2}$ cm noch eine ungefähr ebenso große Zahl mit einer Reichweite von etwa 2 cm gefunden haben. Ich habe nach diesen Trümmern von kleiner Reichweite ebenfalls gesucht, aber ohne Erfolg — obwohl das Lithium von der Nebelkammer nur durch eine Glimmerschicht von 1 cm Luftäquivalent getrennt war. Nach meinen Erfahrungen am Bor (s. u.) hätte ich α -Teilchen von 2 cm Reichweite unbedingt beobachten müssen; ich muß deshalb den Schluß ziehen, daß bei den von mir verwendeten Protonenenergien (100—200kV) am Lithium keine Atomtrümmer mit kürzeren Reichweiten (2 cm) in einer mit den großen Reichweiten ($8\frac{1}{2}$ cm) vergleichbaren Häufigkeit auftreten. Wenn es sich bei den von C. u. W. beobachteten kurzen Reichweiten tatsächlich um Lithiumtrümmer

handelt, so muß man, da C. u. W. mit ungefähr doppelt so großer Protonenenergie arbeiteten, annehmen, daß die Häufigkeit der kurzen Reichweiten erst bei größeren Protonenenergien stark ansteigt.

Schließlich sei noch auf eine Folgerung über die Reichweiten der normalen Lithiumtrümmer hingewiesen, die sich aus den Erhaltungssätzen von Energie und Impuls ergibt. Wenn die Emissionsrichtung der beiden α -Teilchen von dem oben betrachteten symmetrischen Fall abweicht, dann wird, wie leicht einzusehen ist, die Energie, und damit auch die Reichweite der beiden (natürlich immer noch in annähernd entgegengesetzten Richtungen austretenden) α -Teilchen verschieden. Im Grenzfall ($v_{a_1} \parallel v_P$ und daher $v_{a_2} \parallel -v_P$) wird

$$m_P v_P = m_a (v_{a_1} - v_{a_2}).$$

Diese Beziehung liefert bei Kombination mit dem Energieerhaltungssatz nach einfacher Rechnung:

$$\Delta E = E_{\text{kin}, a_1} - E_{\text{kin}, a_2} = E_{\text{kin}, P} \sqrt{\frac{m_P}{m_a} \left(\frac{2W}{E_{\text{kin}, P}} + 2 - \frac{m_P}{m_a} \right)}.$$

Für eine Protonenenergie von 150 kV ergibt sich daraus mit $W = 16 \cdot 10^6$ e -Volt eine maximale Energiedifferenz der beiden α -Teilchen von

$$\Delta E = 1,1 \cdot 10^6 \text{ } e\text{-Volt},$$

für eine Protonenenergie von $2 \cdot 10^6$ e -Volt bereits eine solche von $4,2 \cdot 10^6$ e -Volt.

Anhangsweise soll über das Ergebnis der Auswertung einiger hundert Nebelkammeraufnahmen der von einer massiven Borschicht emittierten Kerntrümmer berichtet werden. Cockroft und Walton haben (l. c.) am Bor eine Hauptgruppe mit einer Reichweite von etwa 3 cm und außerdem Anzeichen für einzelne Reichweiten bis zu 5 cm gefunden. Aus den Nebelkammeraufnahmen (vgl. Abb. 4—6) ergibt sich, daß im Gegensatz zum Lithium überhaupt keine Einzelgruppen mit scharf definierten Reichweiten auftreten, sondern daß die Trümmer sich kontinuierlich über einen Reichweitenbereich von 1,5—etwa 6 cm

verteilen.¹ Die häufigste Reichweite liegt — in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Cockroft und Walton — bei ungefähr 3 cm. Eine Reichweite zwischen 4 und 6 cm haben von insgesamt 275 ausgemessenen Spuren 20, d. h. ca. 7 %. Die genauere Form der Energieverteilungskurve soll demnächst auf Grund einer größeren Zahl von Reichweitenmessungen ermittelt werden.

Bei der Betrachtung der Nebelkammeraufnahmen fällt ferner auf, daß weitaus die meisten Kerntrümmer in einer Richtung emittiert werden, die nahezu senkrecht zum Protonenstrahl (von oben!) liegt, aber deutlich „nach vorn“ geneigt ist. Da diese Richtungsbevorzugung aber zu einem großen Teil durch die geometrischen Bedingungen in der Nebelkammer verursacht ist, habe ich eine genauere Untersuchung der Richtungsverteilung mit einer abgeänderten Versuchsanordnung in Angriff genommen, bei der die geometrische Austrittswahrscheinlichkeit in verschiedenen Richtungen gleich groß ist. (Zylindrisch gebogenes Glimmerblättchen mit der Achse senkrecht zum Protonenstrahl, Beobachtung in Richtung der Zylinderachse!) Bei Verwendung dieser Anordnung scheint die Bevorzugung der Richtung senkrecht zum Protonenstrahl verschwunden zu sein; dagegen bleibt ein ganz erheblicher Überschuß der Emission in die vordere Halbkugel gegenüber derjenigen „nach rückwärts“.

Von der genauen Ermittlung der Richtungs- und Reichweitenverteilung der Trümmer kann man eine weitere Klärung des Mechanismus des Kernzerfalls erhoffen.

Die Untersuchung, bei der Herr cand. phys. H. Neuert in dankenswerter Weise geholfen hat, wurde durch eine Bewilligung der Rockefeller-Stiftung an das Institut für theoretische Physik ermöglicht.

¹ Die untere Grenze der Reichweite ist offensichtlich nur dadurch bedingt, daß noch langsamere Teilchen nicht mehr durch das abschließende Glimmerhäutchen in die Nebelkammer gelangen konnten.

Erklärung der Tafeln.

Nebelkammeraufnahmen der Zertrümmerungsprodukte von Lithium und Bor.

Fig. 1 und 2. Lithium. Eine dünne Li-Schicht befindet sich in der Mitte der Kapsel. Die Protonen treten von oben hinein. Je zwei Teilchen werden nach nahe entgegengesetzten Richtungen ausgeschleudert. (Das zu der dritten Spur auf der linken Seite des Bildes gehörende Gegenteilchen ist aus apparatuellen Gründen nicht sichtbar.) Die beiden Figuren sind Bilder des gleichen Vorgangs, in verschiedenen Richtungen aufgenommen.

Fig. 3. Lithium, Anordnung wie Fig. 1 und 2. (Das zu der zweiten Spur rechts gehörende Gegenteilchen ist verdeckt.)

Fig. 4—6. Massive Borschicht; Kerntrümmer von stark verschiedener Reichweite.



Fig. 1 Lithium

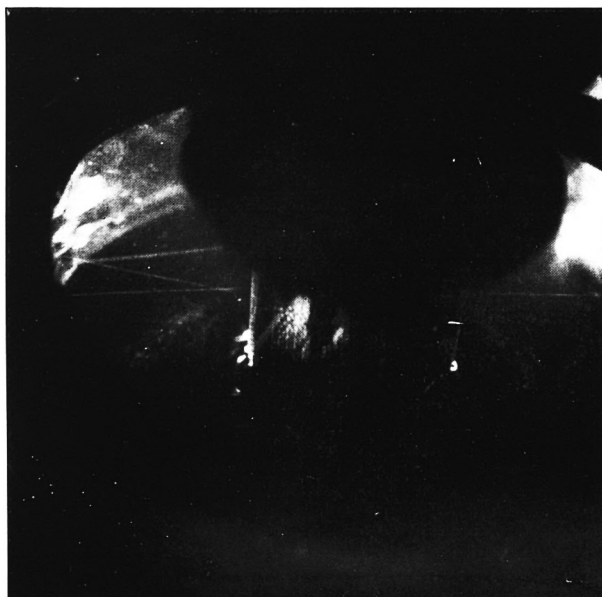


Fig. 2 Lithium

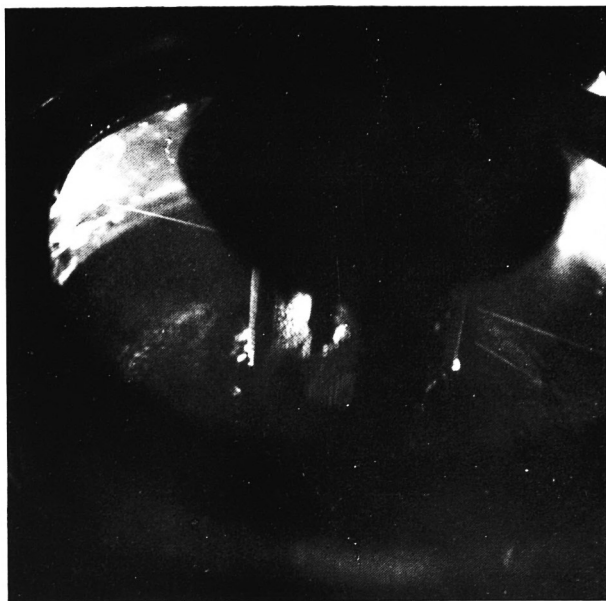


Fig. 3 Lithium

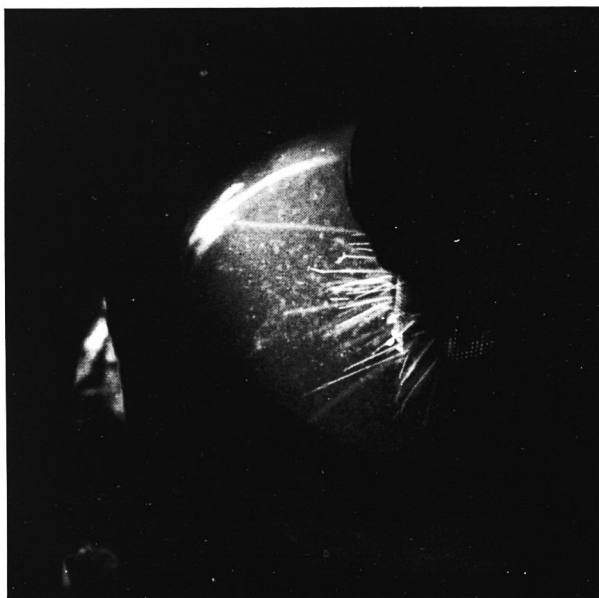


Fig. 4 Bor

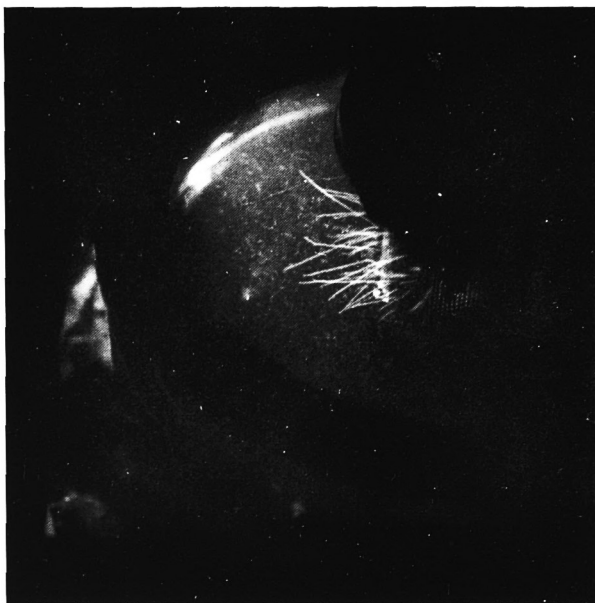


Fig. 5 Bor

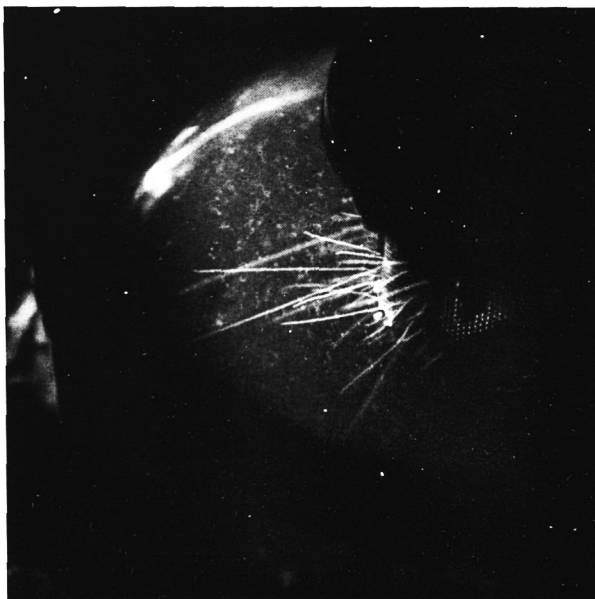


Fig. 6 Bor