

LK Physik * Die Entdeckung des Neutrons

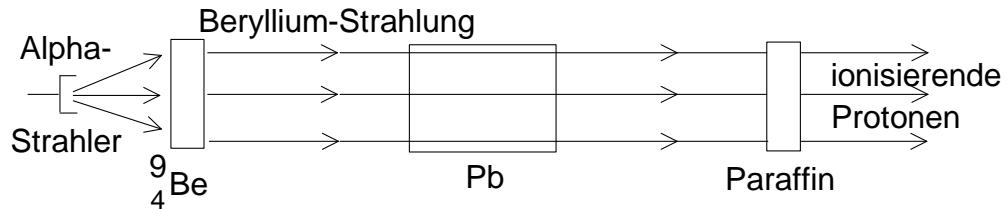
(Es wurde von Rutherford seit 1920 vergeblich gesucht. Bis 1932 wurde angenommen, die Atomkerne seien aus Protonen und Elektronen aufgebaut.)

1930:

Bothe-Becker: Beschossen Li, Be, B mit Alphateilchen, um Kernreaktionen zu untersuchen.

Joliot-Curie: Wirkten bei der Untersuchung der sich ergebenden Strahlung mit.

Sie fanden:



Eine Strahlung, die

- nicht ionisiert,
- keine direkten Nebelkammer-spuren hinterlässt,
- Pb stärker durchdringt als bisher bekannte Gammastrahlung,
- in wasserstoffhaltigen Substanzen Protonen auslöst.

Man sprach zunächst von „**Beryllium-Strahlung**“ bzw. „**Bothescher Gamma-Strahlung**“.

Gegen die Hypothese einer Gamma-Strahlung sprach freilich:

- Es wurde kein Photoeffekt ausgelöst.
- Es wurden Rückstoßkerne beobachtet, z.B. in Nebelkammern mit H-, N-, bzw. Ar-Füllung.

Man versuchte dies als Compton-Effekt an Kernen zu deuten.

Aber eine Berechnung mit der Compton-Formel (Für die Elektronenmasse muss man die die Kernmasse einsetzen!) führte zu folgendem Widerspruch:

Aufgabe:

Aus der Reichweite der Rückstoßprotonen bzw. Rückstoßstickstoffkerne kann man auf deren Anfangsenergie schließen. Die maximale Energie der Protonen beträgt nach diesen Beobachtungen ca. 5,7 MeV, die maximale Energie der Stickstoffkerne ca. 1,2 MeV.

Zeigen Sie durch eine geeignete Rechnung, dass die hypothetischen Gammaquanten nach der Streuung an den Protonen eine Energie von ca. 50 MeV, dieselben Gammaquanten dagegen nach der Streuung an Stickstoffkernen eine Energie von ca. 90 MeV besitzen müssten. (Gammaquanten einer Energie von 50 MeV bis 90 MeV werden zudem durch Blei wesentlich stärker absorbiert als die beobachtete Beryllium-Strahlung.)

Chadwick 1932:

Chadwick ging von den beiden folgenden Annahmen aus:

- Es sind keine Photonen sondern Teilchen mit einer Ruhemasse und mit der elektr. Ladung Null. (Teilchenname: **Neutron**)
- Die beobachteten Rückstoßkerne erfuhren elastische Stöße.

Aufgabe:

Bei zentralem elastischen Stoß zwischen einem Neutron (n) und dem zunächst ruhenden Kern (K) ist der Energieübertrag auf den Kern am größten. Zeigen Sie, dass gilt:

$$v'_k = \frac{2m_n v_n}{m_n + m_k}$$

Folgern Sie daraus mit den angegebenen Maximalenergien der Rückstoßprotonen bzw. Rückstoßstickstoffkernen, dass die Neutronenmasse ungefähr 0,8 u beträgt. (Eliminieren Sie aus den beiden Gleichungen die unbekannte Geschwindigkeit v_n !)

Chadwicks unter diesen Annahmen durchgeführte Massenberechnung führte bei seinen Messdaten zu $m_n \approx 1,16$ u.

Das gesuchte Neutron war gefunden! Es wurde in vielen weiteren Versuchen bestätigt und seine Masse durch Auswertung von Kernreaktionen sehr genau bestimmt.

Heutiger Literaturwert: $m_n = 1,008665$ u
 vgl.: $m_p = 1,007277$ u

Neutronen ionisieren nicht, weil sie mit der Atomhülle aufgrund ihrer fehlenden Ladung nicht wechselwirken. Sie werden in der Atomhülle nicht gebremst.

Die Wechselwirkungskräfte mit den Atomkernen sind nicht elektrischer Art (sog. starke Wechselwirkung).

7. D. Bedeutung leichter Kerne für die Beeinflussung und den Nachweis von Neutronen

Abschirmung:

- Neutronen können Kernreaktionen auslösen. Dabei entstehende Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung kann auf bekannte Weise abgeschirmt werden.
- Neutronen geben bei elastischen Stößen Energie an die Rückstoßkerne ab. Bei einem zentralen Stoß mit einem Kern der Masse m gilt für die Energieabgabe ΔW :

$$\Delta W = \frac{4 m m_n}{(m + m_n)^2} \cdot W$$

Bestimmen Sie ΔW für die Rückstoßkerne Wasserstoff ($m = m_n$) :
 Helium ($m = 4 m_n$) :
 Blei ($m = 207 m_n$) :

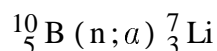
Man verwendet also zum Abbremsen und Abschirmen Substanzen mit leichten Kernen, vornehmlich wasserstoffhaltige, wie Paraffin oder auch Wasser. Zur guten Abschirmung trägt zusätzlich bei, dass bei ihnen die Kernzahl pro Volumeneinheit und damit die Stoßhäufigkeit besonders groß ist. Z.B. ist nach etwa 18 Stößen mit Protonen die Energie von Neutronen mit 5,8 MeV so weit abgesunken, dass sie der Temperatur der Bremssubstanz entspricht (sog. **thermische Neutronen**). Berechnen Sie v und E_{kin} für $T = 300$ K!

Thermische Neutronen sind also langsame Neutronen. Sie sind in der Kernphysik und -technik von Bedeutung, weil bei ihnen die Häufigkeit von Kernreaktionen größer ist als bei schnellen Neutronen (jeweils längerer Aufenthalt in der Nähe von Kernen).

Eine Bremssubstanz, die speziell dazu gedacht ist, aus schnellen Neutronen thermische zu machen, heisst **Moderator**.

Nachweismethoden (indirekt):

- Rückstoßkerne in Nebelkammern mit geeigneter Füllung
- aus Paraffin ausgelöste Protonen in normaler Nebelkammer
- Kernreaktionen, z.B. (n;p)-Reaktionen mit Protonen-Nachweis
- Zählrohr, dessen Innenwand mit Bor verkleidet ist, denn Neutronen lösen in Bor die folgende Kernreaktion aus:



Die frei werdenden Alpha-Teilchen werden gezählt.