

V701: Reichweite von α -Strahlung

Ziel: Es soll die Reichweite von α -Strahlung in Luft bestimmt werden.

Stichworte: α -, β -, und γ -Strahlung, Abschirmung, Bremsvermögen, Energieverlust, Gauß- und Poissonverteilung, Halbwertszeit, Lebensdauer, mittlere freie Weglänge, Reichweite, Sperrschichtzähler, Vakuumpumpe, Vielkanalanalysator, Zerfallsgesetz

Theoretische Grundlagen

Die **Energie** von α -Strahlung kann durch **Messen ihrer Reichweite** bestimmt werden. Beim Durchlaufen von Materie kann ein α -Teilchen durch **elastische Stöße mit dem Material** (Rutherford Streuung) **Energie abgeben**. Dieser Prozess spielt jedoch für den Energieverlust eine untergeordnete Rolle. Neben Ionisationsprozessen können die α -Teilchen ihre Energie auch durch **Anregung oder Dissoziation von Molekülen** verlieren. Der Energieverlust $-dE_\alpha/dx$ hängt dabei von der **Energie der α -Strahlung** und der **Dichte des durchlaufenen Materials** ab, wobei bei kleinen Geschwindigkeiten die Wahrscheinlichkeit zur Wechselwirkung zunimmt. Für hinreichend **große Energien** läßt sich der Energieverlust der α -Teilchen durch die **Bethe-Bloch-Gleichung** beschreiben

$$-\frac{dE_\alpha}{dx} = \frac{z^2 e^4}{4\pi\epsilon_0 m_e} \frac{n Z}{v^2} \ln\left(\frac{2m_e v^2}{I}\right). \quad (1)$$

dabei ist z die Ladung und v die Geschwindigkeit der α -Strahlung. Z ist die Ordnungszahl, n die Teilchendichte und **I die Ionisierungsenergie des Targetgases**. Bei sehr **kleinen Energien** treten **Ladungsaustauschprozesse** auf und die Bethe-Bloch Gleichung verliert ihre Gültigkeit.

Die Reichweite R eines α -Teilchens ist die Wegstrecke bis zur **vollständigen Abbremsung** und läßt sich über den Zusammenhang

$$R = \int_0^{E_\alpha} \frac{dE_\alpha}{-dE_\alpha/dx} \quad (2)$$

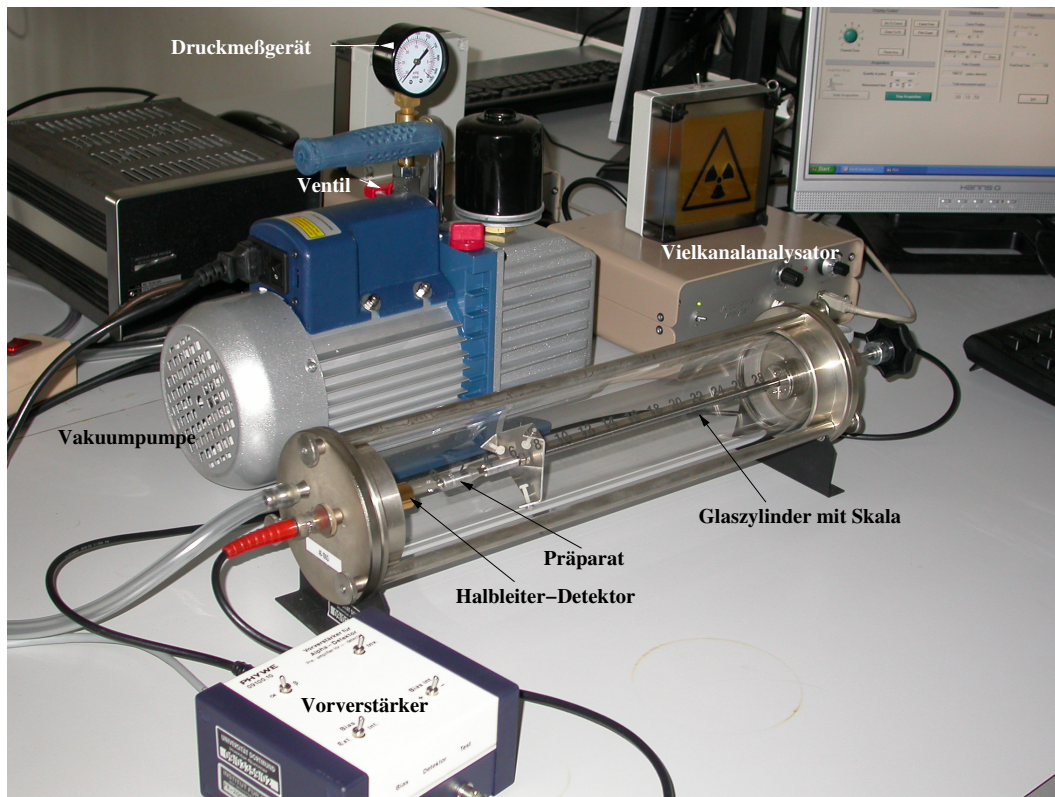
berechnen. Da mit niedriger werdenden Energien Ladungsaustauschprozesse vermehrt zunehmen, läßt sich der Energieverlust in diesem Energiebereich nicht mehr durch die Bethe-Bloch-Gleichung beschreiben. Aus diesem Grund verwendet man zur Bestimmung der mittleren Reichweite¹ **empirisch gewonnene Kurven**, wobei man für die mittlere Reichweite von α -Strahlung in Luft mit Energien **$E_\alpha \leq 2.5 \text{ MeV}$** auch die Beziehung **$R_m = 3.1 \cdot E_\alpha^{3/2}$** verwenden kann (R_m in mm, E_α in MeV).

Die Reichweite von α -Teilchen **in Gasen** ist bei konstanter Temperatur und konstantem Volumen **proportional zum Druck p** . Aus diesem Grund kann man zur Bestimmung der Reichweite eine **Absorptionsmessung** machen, bei der man den Druck p variiert. Bei einem festen **Abstand x_0 zwischen Detektor und α -Strahler** gilt für die 'effektive Länge' x_0 die Beziehung

$$x = x_0 \frac{p}{p_0} \quad (3)$$

wobei für $p_0 = 1013 \text{ mbar}$ der Normaldruck eingesetzt werden muß.

¹Da die Anzahl der Stöße zwischen α -Teilchen und Luftmolekülen pro Wegelement dx nicht für alle α -Teilchen mit derselben Anfangsenergie gleich ist, wird eine **mittlere Reichweite R_m** definiert. Das ist die Reichweite, die **die Hälfte der vorhandenen α Teilchen noch erreichen**.



Vorbereitung

Informieren Sie sich über die Funktionsweise eines Halbleiter-Sperrschichtzählers.

Aufgaben

- Untersuchen Sie den Energieverlust von α -Strahlung in Luft und berechnen Sie hieraus die Reichweite.
- Überprüfen Sie die Statistik des radioaktiven Zerfalls.

Versuchsaufbau und Durchführung

Das Experiment ist gemäß der obigen Abbildung aufgebaut. In einem evakuierbaren Glaszylinder befinden sich ein α -Präparat und ein Detektor. Als Strahlungsquelle dient ein Am-Präparat, das mit einer Halbwertszeit $T_{1/2} = 458$ a entsprechend



zerfällt. Der α -Strahler befindet sich auf einem verschiebbaren Halter, sodaß der Abstand x zwischen Präparat und Detektor variiert werden kann. Bei dem Detektor handelt es sich um einen Halbleiter-Sperrschichtzähler, der ähnlich einer Diode aufgebaut ist, die in Sperrrichtung betrieben wird. Ein einfallendes Ion erzeugt in der Verarmungszone Elektronen-Loch Paare, die zu einem Strompuls führen. Der Puls wird von einem Vorverstärker verstärkt und einem Vielkanalanalysator entsprechend seiner Pulshöhe analysiert. Die Energie der α -Teilchen ist proportional zur Pulshöhe und kann in Form eines Histogramms aufgenommen werden.

- Überprüfen Sie zuerst die Verkabelung des Versuchsaufbaus. Beachten Sie, daß der Sperrschichtzähler nur im spannungslosen Zustand verkabelt werden darf!!!
- Machen Sie sich mit dem Programm *Multichannel Analyzer* zur Steuerung des Vielkanalanalysators vertraut. Zum Ansprechen des Vielkanalanalysators muß dieser mit dem Computer verbunden sein und der 'Schalter' im MCA² Programm unter *MCA STATUS* auf *connectet* gestellt werden.

Der MCA kann zum Messen eines Energiespektrums mittels Pulshöhenanalyse verwendet werden. Er fungiert aber auch als Zähler: so kann man die *Gesamtzählrate* des Spektrums unter *pulses detected* ablesen.

Die *Meßzeit* kann durch die Schalterstellung *MANUEL* mit *Start Acquisition* und *Stop Acquisition* geregelt werden. Beim Messen wird man jedoch die Meßzeit mit *Measurement time* bzw. durch *Quantity of pulses* einstellen. Hierzu muß der Schalter auf *AUTO* stehen.

- Bevor mit den Messungen begonnen werden kann müssen die *Diskriminatorschwellen* am Vielkanalanalysator eingestellt werden. Vergrößern sie hierzu bei Atmosphärendruck den *Abstand Quelle-Detektor auf ein Maximum*. Stellen Sie die Schwelle so ein, daß sie unter *pulses detected* *keine Pulse mehr zählen*. Verringern Sie den Abstand Quelle-Detektor *bis der MCA anfängt zu zählen*. Fixieren Sie die Quelle in dieser Position und beginnen Sie mit den Messungen.

Bestimmung der Reichweite von α -Strahlung

- *Evakuieren Sie den Glaszylinder*. Schließen Sie hierzu das Belüftungsventil und stellen Sie die Drehschieberpumpe an. Wenn ein Druck von $p \approx 0$ mbar erreicht ist, schließen Sie das *rote Ventil* zwischen Pumpe und Glaszylinder und stellen Sie die *Pumpe aus*. Der Druck in der Apparatur sollte konstant bleiben.
- Aufgrund des geringeren Druckes und der daraus resultierenden *größeren Reichweite* der α -Strahlung sollte die Zählrate zunehmen. Messen Sie die *Energieverteilung* und die Zählrate der α -Strahlung in *Abhängigkeit vom Druck p* in Abständen von ca. *50 mbar*. Den Druck können Sie durch vorsichtiges öffnen und schließen des *Belüftungsventils* regeln. Die Meßzeit sollte mindestens *120 s* betragen. Notieren Sie sich bei jedem Druck die *Position des Energiemaximums* und die *Gesamtzählrate*. Bei ca. 0 mbar entspricht die Position des Maximums einer Energie von ca. 4 MeV. Wenn Sie von einer linearen Energieskala ausgehen, können sie hierdurch die *Energien der α -Teilchen als Funktion des Druckes* bestimmen.
- Tragen Sie die *Zählrate als Funktion der effektiven Länge* graphisch auf und ermitteln Sie hieraus die *mittlere Reichweite* der α -Teilchen. Welcher Energie entspricht die ermittelte Reichweite?
- Tragen Sie die *Energie als Funktion der effektiven Länge* auf und bestimmen Sie aus der Kurve den *Energieverlust* $-\frac{dE}{dx}$.
- Bestimmen Sie die *Zählrate als Funktion des Druckes* für einen *weiteren Abstand*. Ermitteln Sie wieder die Reichweite und daraus die Energie der α -Strahlung und vergleichen Sie das Ergebnis mit der vorherigen Messung.

²Multichannel Analysator

Statistik des radioaktiven Zerfalls

- Überprüfen Sie die Statistik des radioaktiven Zerfalls indem sie bei evakuiertem Glaszylinder die Zerfälle pro Zeiteinheit mindestens 100 mal bestimmen. Tragen Sie die Zerfallsraten in einem Histogramm auf und bestimmen sie aus der gemessenen Zählraten den Mittelwert und deren Varianz. Verwenden Sie diese Größen um die gemessene Verteilung mit einer Poisson- und einer Gaußverteilung zu vergleichen. Damit sie eine sinnvolle Verteilung erhalten, sollte die Meßzeit ca. 10 s betragen. Jedoch spielt auch die Wahl der Breite ΔN im Histogramm eine entscheidende Rolle. Orientieren sie sich an der mittleren Zählrate und der berechneten Varianz.

Literatur

- [1] W. Walcher, Praktikum der Physik (Teubner, Stuttgart 2004), § 6.4.3
- [2] W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments (Springer 1994)
- [3] W. Stolze, Radioaktivität (Hauser 1990), § 8.1.1