

Praktikum „Radioaktivität und Dosimetrie“

Absorption von β -Strahlung

1. Aufgabenstellung

- 1.1 Bestimmen Sie die Schichtdicke von Glimmerplättchen aus der Absorptionskurve.
- 1.2 Ermitteln Sie den Massenabsorptionskoeffizienten von Papier und Kunststofffolie.
- 1.3 Ermitteln Sie die β -Energie von Tl^{204}

2. Theoretische Grundlagen

Stichworte zur Vorbereitung:

Radioaktivität, α -, β -, γ -Strahlung, Wechselwirkung radioaktiver Strahlung mit Materie, Bremsmechanismen, Strahlungsdetektoren, gasgefüllte Detektoren, Zählrohrcharakteristik, Absorptionsgesetz, Statistik des radioaktiven Zerfalls

Literatur:

H. Lindner	Grundriss der Atom- und Kernphysik, Kap. 8, 9 und 10 Fachbuchverlag Leipzig 1988
Krieger, Petzold	Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz Band 1, Kap. 3 und 5
W. Stolz	Radioaktivität B. G. Teubner Verlagsgesellschaft
W. Walcher	Praktikum der Physik, Kap. 6.4, Teubner Verlag 1989
W. Ilberg, M. Krötzsch	Physikalisches Praktikum, Kap. 7, Teubner Verlag 1992

2.1 Absorption von β -Strahlung

Aufgrund ihrer wesentlich geringeren Masse als α -Teilchen werden β -Teilchen im Gegensatz zu α -Teilchen beim Durchgang durch Materie sehr stark gestreut.

Die beim β -Zerfall freiwerdende Energie verteilt sich unterschiedlich auf das β -Teilchen und ein ebenfalls entstehendes Neutrino, so dass für die β -Strahlung ein kontinuierliches Energiespektrum zu beobachten ist.

Für die Schwächung von β -Strahlung einer bestimmten maximalen Energie (E_{\max}) ergibt sich für kleine Absorberdicken x in guter Näherung die folgende Abhängigkeit:

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad . \quad (1)$$

Dabei ist ϕ die Teilchenflussdichte hinter dem Absorber, ϕ_0 die Teilchenflussdichte vor dem Absorber und μ der Schwächungskoeffizient.

Im Strahlenschutz ist es üblich und vorteilhaft, anstatt der Schichtdicke x die Flächenmasse $d = \rho \cdot x$ (ρ : Dichte) des Absorbers anzugeben. Aus Gl. (1) folgt

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} d} \quad (2)$$

mit dem Massenabsorptionskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$. Im Bereich der Gültigkeit der

Gl. (1) und (2) (bis etwa 3 Halbwertsdicken) ist μ / ρ näherungsweise nur von der Energie der Strahlung, nicht aber vom Material abhängig (mit Ausnahme von stark wasserstoffhaltigen Materialien). Es gilt letztlich:

$$\frac{\mu}{\rho} \sim \frac{Z}{Z + N} \quad (3)$$

(Z:Protonenzahl, N:Neutronenzahl)

Für $\phi = \frac{\phi_0}{2}$ ergibt sich aus Gl. (2) die Halbwertsflächenmasse $d_{1/2}$.

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu / \rho} \quad . \quad (4)$$

Für die Abhängigkeit der Halbwertsflächenmassen $d_{1/2} = f(E_{\max})$ gibt es mehrere empirische Beziehungen. Die beste Übereinstimmung mit den Messergebnissen liefert folgende Gleichung:

$$\frac{d_{1/2}}{g / \text{cm}^2} = 0,046 \left(\frac{E_{\text{max}}}{\text{MeV}} \right)^{3/2} . \quad (5)$$

Wird die Dicke der zu durchdringenden Schicht größer als etwa drei Halbwertsdicken, so zeigt die reale Absorptionskurve größere Abweichungen vom exponentiellen Verlauf (Abb. 1)

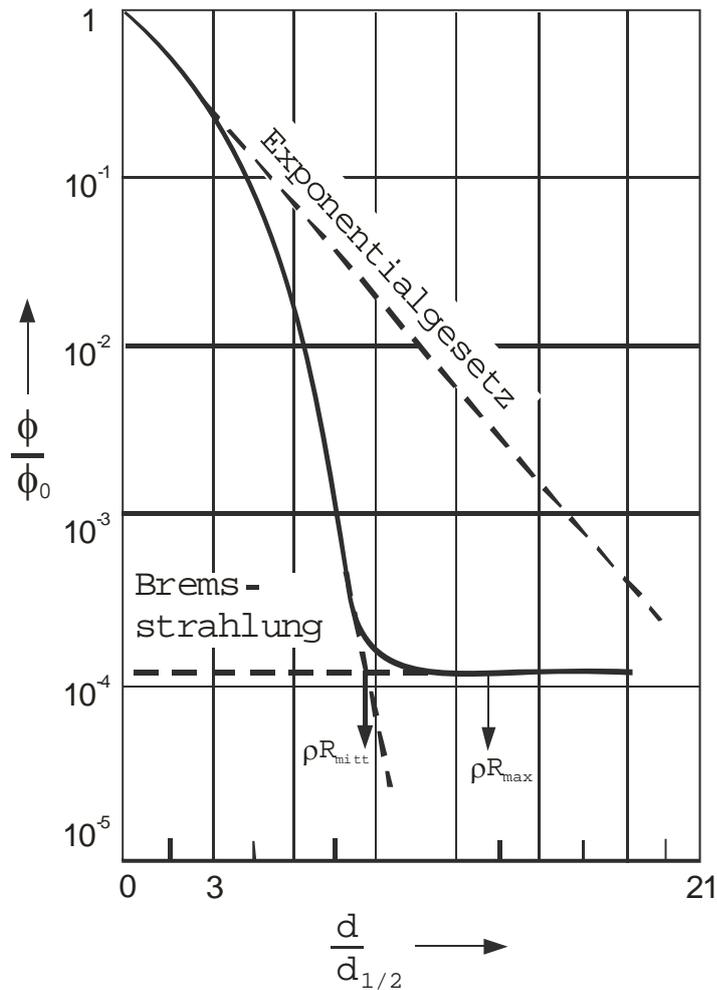


Abb. 1: Absorptionskurve für β -Strahlung

Bei relativ großen Absorberdicken sinkt die Impulsrate \dot{N} schneller als es dem exponentiellen Abfall entspricht. Aber selbst bei sehr großen Absorberdicken ist noch eine Strahlung festzustellen. Dieser Untergrund wird im wesentlichen durch die beim Abbremsvorgang erzeugte Röntgen-Bremsstrahlung verursacht. Durch Subtraktion des Untergrundes kann die maximale Reichweite R_{max} und durch den

Schnittpunkt der Wendetangente mit der geradlinigen Verlängerung des Bremsstrahluntergrundes die mittlere Reichweite R_{mittel} der β -Teilchen bestimmt werden.

Der Massenabsorptionskoeffizient ist nur von der Energie der β -Strahlung abhängig.

Da das Verhältnis $\frac{Z}{Z + N}$ bei stabilen Isotopen etwa $\frac{1}{2}$ beträgt, (mit Ausnahme von

Wasserstoff und Elementen sehr hoher Ordnungszahl), ist auch der Massenabsorptionskoeffizient μ / ρ für alle Elemente ungefähr gleich. Aufgrund dieser Tatsache lässt sich unter Anwendung der Gl. (2) für einen bestimmten Strahler nach der Aufnahme einer Kalibrierungskurve (üblicherweise mit Al-Absorbern) bei gegebener Dichte der zu untersuchenden Probe und Messung der Zählrate deren Schichtdicke ermitteln.

3. Versuchsdurchführung

Die für den Versuchsaufbau maßgeblichen Geräteparameter sowie die Messzeiten sind am Arbeitsplatz angegeben. Die dort vorhandenen Hinweise müssen vor Beginn des Versuches aufmerksam gelesen werden. Das radioaktive Präparat (Tl^{204} , $E_{max} = 0,766$ MeV) erhalten Sie vom Betreuer!

Im Messcontainer ist das Präparat in die unterste Messposition einzuschieben.

3.1 Schichtdickenbestimmung

Beginnend mit der Messung des Nulleffektes \dot{N}_0 wird mit dem am Arbeitsplatz befindlichen Al-Absorbersatz die Absorptionskurve aufgenommen und halblogarithmisch dargestellt.

Da nach dem Ansprechen des Zählrohres eine Entladung aufgebaut wird, die ca. $\tau = 200\mu s$ dauert, werden Teilchen, die in dieser Zeit eintreffen, nicht gezählt.

Deshalb muss die gemessene Impulsrate \dot{N}_g , wenn sie größer als 50 Impulse/sec. ist, korrigiert werden nach

$$\dot{N}_k = \frac{\dot{N}_g}{1 - \tau \cdot \dot{N}_g} \quad . \quad (6)$$

\dot{N}_k :Korrigierte Zählrate

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass durch die Höhenstrahlung und andere Strahlungsquellen stets eine Nulleffektrate vorhanden ist. Die wirkliche Impulsrate der Anordnung ist deshalb

$$\dot{N}_{Netto} = \dot{N}_k - \dot{N}_0 \quad . \quad (7)$$

Der Nulleffekt ist allerdings nur dann zu berücksichtigen, wenn er größer ist, als der Fehler der Nettoimpulsrate $\Delta\dot{N} = \sqrt{\dot{N}} / t$.

Begonnen wird mit dem Absorber der Flächenmasse Null. Alle Absorber werden im vorletzten Einschub von oben positioniert. Nehmen Sie die Absorptionskurve auf und stellen Sie diese grafisch dar, dabei gilt $\phi \sim \dot{N}$.

Die Schichtdicken zweier unterschiedlicher Glimmerblättchen werden unter Vorgabe der Dichte von Glimmer $\rho = 3,0g / cm^3$ sowie der zugehörigen gemessenen Impulsraten aus der Absorptionskurve bestimmt.

3.2 Bestimmung der Massenabsorptionskoeffizienten

Für zwei verschiedene Substrate (Folie, Papier) wird der Massenabsorptionskoeffizient bei bekannter Flächenmasse durch Messung der zugehörigen Impulsraten errechnet.

3.3 Bestimmung der Energie

Schätzen Sie die maximale Energie des verwendeten Strahlers Tl^{204} ab. Der Literaturwert für E_{max} beträgt $E_{max}=0,766$ MeV

4 Kontrollfragen

- 4.1 Welche Detektoren sind für welche Strahlenarten besonders geeignet?
- 4.2 Warum lässt sich aus der Absorptionskurve der Al-Absorber auch Schichtdicken anderer Materialien bestimmen?
- 4.3 Welche Bremsmechanismen treten vorwiegend bei der Wechselwirkung von β -Strahlung mit Materie auf?
- 4.4 Welche Arten des β -Zerfalls gibt es?
- 4.5 Worin besteht die Gefahr bei der Abschirmung eines β -Strahlers durch relativ dünne Pb-Wände (Dicke der Wand \sim max. Reichweite der β -Strahlung)?
Hinweis: Beachten Sie Abb. 1 der Anleitung!