

Versuch 500

γ - Strahlung

1. Aufgabe

Mit einer Cs-137 Strahlungsquelle sind für verschiedene Materialien durch Absorptionsmessung bei unterschiedlichen Schichtdicken die totalen Absorptionskoeffizienten μ , die Massenschwächungskoeffizienten μ/ρ (ρ -Dichte) sowie die Halbwertsdicken $x_{1/2}$ zu bestimmen!

2. Grundlagen

Stichworte:

radioaktiver Zerfall, γ -Strahlung, Extinktion, Photoeffekt, Comptoneffekt, Paarbildung, Szintillationsdetektor, Nulleffekt

2.1 γ -Strahlung

Die γ -Strahlung ist eine sehr energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei radioaktiven Zerfallsprozessen freigesetzt wird. Ihre Registrierung erfolgt mittels geeigneter Detektoren (vgl.Lit.), denen i. allg. ein Impulzzähler nachgeschaltet ist, der die Anzahl der pro Zeitintervall eintreffenden γ -Quanten misst (Zählrate Z). Da die Impulshöhe proportional zur Energie der γ -Quanten ist, kann mit Hilfe eines Diskriminators (der jeweils nur die Ereignisse innerhalb eines kleinen wählbaren Spannungsintervalls registrieren läßt) das Spektrum der Strahlungsquelle aufgenommen werden (Bild 1). Dies ist allerdings nicht Aufgabe des vorliegenden Versuches.

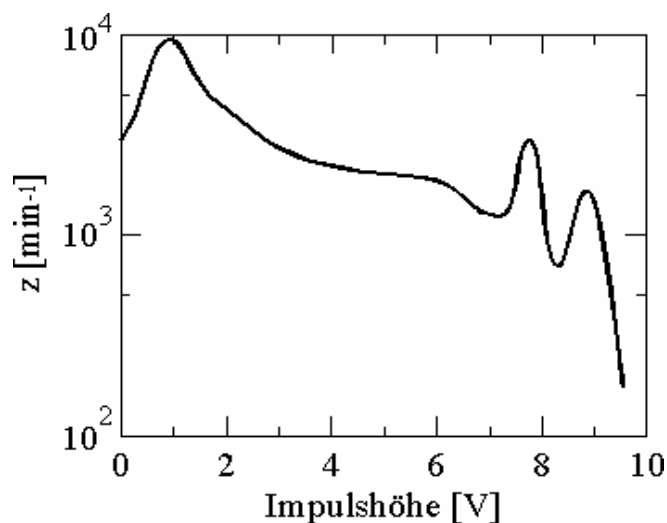


Bild 1: Beispiel eines Impuls-Energiespektrums

2.2 Schwächung von γ -Strahlung

Beim Durchgang von γ -Strahlung durch Substanzen wird die Intensität der Strahlung durch Wechselwirkungen (Absorption, Streuung) mit der Substanz geschwächt. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten solcher Wechselwirkungen ist für jedes γ -Quant gleich groß und unabhängig vom Ort der Wechselwirkung. Für die Intensitätsabnahme der γ -Strahlung dI nach Durchlaufen einer Schichtdicke dx des Absorbers mit einem totalen Schwächungskoeffizienten μ gilt demnach

$$dI = -\mu \cdot I(x) dx \quad (1)$$

I ist dabei die Intensität der Strahlung in der Tiefe x des Absorbers, gerechnet von der Strahleintrittsfläche. Die Integration dieser Beziehung ergibt:

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot x} \quad \text{bzw.} \quad \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\mu \cdot x \quad (2)$$

I_0 - Intensität beim Eintritt in den Absorber

I - Intensität nach Durchgang durch den Absorber mit der Dicke x

Für die Absorption der γ -Quanten sind drei Elementarprozesse verantwortlich:

- Photoeffekt
- Comptoneffekt
- Paarbildungseffekt

Der totale Absorptionskoeffizient μ setzt sich additiv aus den Anteilen dieser Elementarprozesse zusammen.

2.3 Meßmethode

Die γ -Strahlung einer Quelle wird z.B. mit einem Szintillationsdetektor gemessen. Dabei ist der ebenfalls zu messende Nulleffekt zu subtrahieren. (Die Zählraten sind den Intensitäten proportional). Dann schiebt man zwischen Quelle und Detektor Absorberplatten mit unterschiedlicher Dicke und mißt die Intensität der durchgegangenen Strahlung. Trägt man nun die bei den verschiedenen Schichtdicken erhaltenen Intensitäten in halblogarithmischer Darstellung über der Schichtdicke x auf, so muß sich bei Gültigkeit des Absorptionsgesetzes eine Gerade ergeben, aus deren Anstieg man den Absorptionskoeffizienten μ nach Gl. 2 ermitteln kann. Teilt man μ durch die Dichte des jeweiligen Absorbermaterials, so erhält man den Massenschwächungskoeffizienten μ/ρ . Die Halbwertsdicke $x_{1/2}$ ist diejenige Schichtdicke des Absorbers, bei der die Intensität der Strahlung auf die Hälfte des Ausgangswertes gesunken ist. Nach Gl. 2 bedeutet das

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3)$$

3. Versuchsdurchführung

3.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Strahlungsdetektor, der in diesem Fall ein Szintillationsdetektor ist, einem Strahlungsmeßgerät zur Zählung und Auswertung der Detektorimpulse, einer Strahlungsquelle sowie verschiedenen Absorberplatten.

3.1.1 Szintillationsdetektor

Der Szintillationsdetektor besteht aus zwei wesentlichen Teilen, dem Szintillationskristall und dem Sekundärelektronenvervielfacher (SEV). Im Szintillationskristall entsteht beim Durchgang von ionisierender Strahlung (Röntgen-, radioaktive Strahlung) eine Lumineszenzerscheinung. Dabei wird ein Teil der Strahlungsenergie in Lichtquanten umgewandelt. Deren Anzahl ist der Energie der einfallenden Strahlung direkt proportional. Das bedeutet, daß hier ein Detektor vorliegt, der eine Energieanalyse der auffallenden Strahlung gestattet. Der Nachweis des im Szintillationskristall entstehenden Lichtes erfolgt mit einem SEV. Im SEV werden durch die Lichtquanten aus einer Fotokathode Elektronen ausgelöst, die nach Beschleunigung durch ein elektrisches Feld auf Elektroden (Dynoden) treffen, um dort Sekundärelektronen auszulösen. Diese Dynoden sind mit einem Material hoher Sekundärelektronenausbeute bedeckt, so dass ein auffallendes Elektron im Mittel mehrere Elektronen auslöst. Die an der ersten Dynode entstehenden Elektronen werden auf eine weitere Dynode beschleunigt usw., so dass über eine Anzahl von Dynoden (10-14) eine kaskadenartige Vervielfachung erreicht wird. Der Vervielfachungsfaktor beträgt $10^6 \dots 10^{10}$. Die auf die Anode treffende Ladung fließt über einen Arbeitswiderstand ab und liefert einen entsprechenden Spannungsimpuls, der der Energie des auf den Kristall einfallenden γ -Quantes proportional ist.

3.1.2 Strahlungsmeßgerät

Das Strahlungsmeßgerät dient zum Zählen der vom Szintillationsdetektor abgegebenen Spannungsimpulse, wobei sowohl die Impulse pro Zeiteinheit gezählt werden als auch die Zeit bis zum Erreichen einer bestimmten Impulszahl gemessen werden kann. Es ist auch möglich, gezielt Impulse mit bestimmter Spannung, das heißt γ -Quanten mit bestimmter Energie, zu zählen und somit das Energiespektrum des γ -Strahlers zu bestimmen. Das Strahlungsmeßgerät stellt außerdem die vom SEV benötigte Hochspannung zur Verfügung.

Hinweise zur Bedienung des Gerätes erhalten Sie vom Assistenten. Es wird bei diesem Versuch grundsätzlich die Impulszahl N pro (fest vorgegebenem) Zeitintervall t gemessen, woraus sich die Zählrate Z ergibt

$$Z = N/t \quad (4)$$

3.1.3 Strahlungsquelle und Absorber

Das Cs-137-Präparat wird vom Assistenten zu Versuchsbeginn ausgegeben. Als Absorbiermaterialien stehen Blei, Stahl, Aluminium und Plexiglas ($\rho = 1,18 \text{ g/cm}^3$) zur Verfügung. Die Dicke der absorbierenden Schicht lässt sich durch Übereinanderstapeln einer mehr oder weniger großen Zahl von Absorberplatten verändern. Die Dicken der einzelnen Platten werden mit einem Messschieber ermittelt.

Die aus dem Präparat gleichzeitig mit austretende β -Strahlung wird bereits durch die Kapsel so weit geschwächt, dass sie für die Messung ohne Bedeutung ist.

3.2 Hinweise zur Messung und Auswertung

Als erstes wird der Nulleffekt Z_0 (Impulszahl N_0 pro Zeiteinheit t ohne Präparat) bestimmt. Danach werden die Zählraten Z bei verschiedenen Absorberdicken x gemessen und $Z - Z_0$ logarithmisch über x aufgetragen. Nach Gl. 2 ergibt sich eine Gerade mit dem Anstieg μ . Die Anstiegsbestimmung erfolgt grafisch oder durch lineare Regression.

Aus dem totalen Absorptionskoeffizienten lassen sich in einfacher Weise der Massenschwächungskoeffizient und die Halbwertsdicke berechnen.

Infolge des statistischen Charakters der radioaktiven Zerfallsprozesse schwankt die Zählrate um einen Mittelwert \bar{Z} . Für den mittleren statistischen Fehler $\Delta\bar{Z}$ der Zählrate gilt (Poisson-Verteilung):

$$\Delta\bar{Z} = \frac{\Delta\bar{N}}{t} = \frac{\sqrt{\bar{N}}}{t} \quad (5)$$

Erfolgt die Ermittlung des Geradenanstiegs mit Hilfe des Rechnerprogramms „Lineare Regression“, so kann auch der dort angegebene Anstiegsfehler als Grundlage für die Bestimmung von $\Delta\mu$, $\Delta(\mu/\rho)$ und $\Delta x_{1/2}$ verwendet werden.

Bemerkungen zur Strahlenschutzmeßtechnik:

Die Strahlenschutzmeßtechnik befaßt sich mit Methoden zur Bestimmung einer **erfolgten** Strahlenbelastung (Dosimetrie) als auch mit solchen zur Abschätzung einer zu **erwartenden** Strahlenbelastung. Eine Schädigung durch ionisierende Strahlung hängt in erster Linie von der absorbierten Energie ab. Die Energiedosis wird in der Einheit Gray (Gy), [1 Gy = 1 J/kg] gemessen. Wichtiger für uns ist die sogenannte Äquivalentdosis, bei der die Art der Strahlung mit berücksichtigt wird. Deren Einheit ist das Sievert (Sv) [1 Sv = 1 J/kg (ältere Einheit: „rem“; 1 Sv = 100 rem)]. Eine direkte Energiemessung ist meßtechnisch schwieriger zu realisieren als z.B. die Messung der elektrischen Ladung, die von ionisierender Strahlung in einem definierten Luftvolumen erzeugt wird. In der praktischen Dosimetrie ist deshalb die Größe Ionendosis gebräuchlich. Deren SI-Einheit C/kg, eine SI fremde Einheit, ist das Röntgen (R) mit $1\text{R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$.

Bei Bestrahlung mit Röntgen- bzw. γ -Strahlung gilt für Gewebe: Der Ionendosis 1R entspricht die (Äquivalent-) Energiedosis 1 rem, d.h.(inSI-Einheiten):

$$1 \text{ Sv} \hat{=} 100 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-2} \text{ C/kg.}$$

Die zulässigen Grenzwerte für die Strahlenbelastung der Bevölkerung liegen in der Größenordnung 1mSv/a (Milli-Sievert pro Jahr). Für beruflich strahlenexponierte Personen betragen sie 50 mSv/a. Eine lebensgefährliche Größenordnung wird bei 1000 mSv erreicht (genaue Zahlen vgl. Strahlenschutzmerkblatt am Versuchsplatz).

Bei einmaliger Durchführung des Versuches 500 liegt die max. erreichbare Dosis (drei Stunden Aufenthalt in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle) bei 0.3 mSv. Bei sachgerechtem Umgang mit dem Präparat (Beachten des quadratischen Abstandsgesetzes und Nutzen der vorhandenen Abschirmungen) liegt die Belastung um das Hundert- bis Tausendfache darunter.

Literatur :

Herforth / Koch: Praktikum der Radioaktivität und der Radiochemie
Birkhäuser - Verlag 1981, Barth - Verlagsgesellschaft 1992