

Versuch 13

Radioaktivität

Spezielle Informationen zum Versuch

Zusammenhang zwischen Aktivität und Zählrate:

Der Zusammenhang zwischen der Zählrate R (Anzahl der pro Sekunde gezählten Impulse) und der Aktivität A eines radioaktiven Präparates wird durch Gleichung (1) beschrieben:

$$R = f_{Ab} \cdot f_S \cdot f_T \cdot f_R \cdot f_U \cdot f_E \cdot f_G \cdot f_A \cdot A \quad (1)$$

Die einzelnen Faktoren haben folgende Bedeutung:

- f_{Ab} : Absorptionsfaktor. Er berücksichtigt die Absorption im Detektorfenster und der zwischen Detektor und Quelle befindlichen Luftschicht.
- f_S : Selbstabsorptionsfaktor, berücksichtigt die Absorption im Präparat selbst. Er kann bei dünnen Präparaten gleich 1 gesetzt werden.
- f_T : Zeitauflösungsfaktor, muss bei hohen Zählraten wegen der Totzeit des Detektors beachtet werden.
- f_R : Rückstrefaktor, erfasst die Rückstreuung von β -Teilchen durch die Präparatunterlage.
- f_U : Dieser Faktor beschreibt ein mögliche Einstreuung aus der Umgebung.
- f_E : Anzahl der Quanten pro Zerfall. Diese ist vom verwendeten Nuklid abhängig und aus dem Zerfallsschema im Nuklidatlas zu entnehmen.
- f_G : Geometriefaktor. Der Detektor erfasst stets nur einen Bruchteil der vom Präparat ausgehenden Strahlung, die sich auf einen Raumwinkel 4π verteilt. Das Verhältnis des wirksamen Raumwinkels zum Raumwinkel 4π ist der Geometriefaktor.
- f_A : Ansprechwahrscheinlichkeit. Nicht jedes der in den Detektor eintretenden Quanten löst auch einen Zählimpuls aus. Das Verhältnis der gezählten Quanten zur Anzahl der in das Detektorvolumen eintretenden Quanten ist die Ansprechwahrscheinlichkeit.

Die angegebenen Faktoren lassen sich oft nur empirisch ermitteln oder nur näherungsweise berechnen.

Zur Aktivitätsbestimmung des β -Strahlers ^{204}Tl :

Die Ermittlung der Aktivität eines radioaktiven Präparates ist auf zwei verschiedenen Wegen möglich. Bei der relativen Aktivitätsbestimmung wird die Probe unbekannter Aktivität mit einer Probe bekannter Aktivität unter gleiche geometrischen und apparativen Bedingungen verglichen, wozu aber geeignete Eichpräparate erforderlich sind. Im vorliegenden Versuch wird deshalb die absolute Aktivitätsbestimmung nach Gleichung (1) angewendet.

Das Präparat ist scheibenförmig und wird direkt auf das Zählrohrfenster aufgelegt (**sehr vorsichtig!**). Dadurch ist der Geometriefaktor einfach zu ermitteln. Der Absorptionsfaktor, der auch die Absorption in der Abdeckung des Präparates berücksichtigt, beträgt in diesem Versuch $f_{Ab} = 0,8$. Alle übrigen Faktoren einschließlich der Ansprechwahrscheinlichkeit können in diesem Versuchsteil gleich 1 gesetzt werden.

Zur Bestimmung der Ansprechwahrscheinlichkeit f_A :

Auch diese Messung wird mittels entsprechender Umstellung von Gleichung (1) durchgeführt.

Als Strahlungsquelle wird die γ -Strahlung eines nahezu punktförmigen ^{60}Co -Präparates verwendet. Die ebenfalls entstehende β -Strahlung wird durch die Umhüllung des Präparates absorbiert. Die Aktivität des Präparates betrug im Januar 1962 $A = 3,7$ MBq, die Halbwertszeit von ^{60}Co ist $T_{1/2} = 5,272$ a.

Der Faktor f_E ist aus dem Zerfallsschema des ^{60}Co -Nuklids zu ermitteln.

Geometriefaktor f_G : Für ein punktförmiges Präparat und einen Detektor, bei dem die Strahlung nur durch ein der punktförmigen Quelle zugewandtes kreisförmiges Fenster eintritt, kann der Geometriefaktor hinreichend genau nach Gleichung (2) berechnet werden:

$$f_G = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \right), \quad (2)$$

wobei r der Radius der Strahlenfensters und a der Abstand von der Quelle bis zur Mitte des Strahleneintrittsfensters sind.

Abgesehen von f_A können alle weiteren Faktoren f bei der Messung von γ -Strahlung näherungsweise 1 gesetzt werden.

Zum Impulshöhenspektrum:

Zur Aufnahme des Impulshöhenspektrums einer γ -Strahlung werden meist Halbleiterdetektoren, Szintillationszähler oder Proportionalzählrohre eingesetzt. Diese Detektoren geben einen Spannungsimpuls ab, dessen Höhe eine meist lineare Funktion der von ihnen absorbierten γ -Energie ist. Nach Verstärkung der Impulse werden diese einem Analysator zugeführt, der nur solche Impulse an das Zählwerk abgibt und registrieren lässt, deren Spannung innerhalb eines gewählten Kanals zwischen der Pegelspannung und der um die Kanalbreite erhöhten Pegelspannung liegt.

Eine bestimmte im Szintillator absorbierte γ -Energie liefert also Impulse, die bei einer ganz bestimmten Kanallage registriert werden. Da die Kanallage außer von dieser Energie auch von apparativen Parametern wie der eingestellten Hochspannung und der Impulshöhenverstärkung abhängig ist, ist es nötig, für die verwendete Apparatur und die gewählten Einstellungen mit Hilfe von Messungen bekannter γ -Spektren den Spannungskanälen die entsprechenden Energien zuzuordnen.

Bei der Auswertung der aufgenommenen Spektren muss berücksichtigt werden, dass die Wechselwirkung der Strahlung mit Materie infolge unterschiedlicher Effekte erfolgt (Photo-, Compton- und Paarbildungseffekt), bei denen unterschiedliche Anteile der Energie der einfallenden γ -Quanten absorbiert werden. Somit kann eine monoenergetische γ -Strahlung Impulsratenmaxima bei bis zu drei verschiedenen Spannungskanallagen erzeugen. Für die Energiebestimmung wird meist das durch den Photoeffekt bedingte Impulsratenmaximum herangezogen, das bei dem Kanal mit der höchsten Spannungsschwelle liegt.

Wie bereits oben erwähnt, ist die Impulshöhe eine annähernd lineare Funktion der absorbierten Energie. Deshalb lässt sich eine Kalibrierung bereits mit Hilfe von nur zwei bekannten γ -Energien (Eine größere Zahl verbessert natürlich das Ergebnis!) als Energiegerade der Form

$$E = a \cdot U + b \quad (3)$$

durchführen.

E : Absorbierte γ -Energie

a, b : Konstanten

U : Pegelspannung des Kanals, in dem das Maximum des Photopeaks liegt.

Im Versuch erfolgt die Kalibrierung mit Hilfe eines ^{60}Co -Präparates, das beim Zerfall zwei γ -Quanten mit den Energien $E_{\gamma 1} = 1,33 \text{ MeV}$ und $E_{\gamma 2} = 1,17 \text{ MeV}$ abstrahlt. Wegen der unvermeidbaren Ungenauigkeit bei der Bestimmung der Peakposition und der nah beieinander liegenden Energien ist es zweckmäßiger, eine Energiegerade durch den Ursprung in der Form

$$E = a \cdot U \quad (4)$$

als Kalibrierkurve zu berechnen.