

GAMMA-SPEKTROSKOPIE

GPI

Stichworte

Kernaufbau. Radioaktiver Zerfall; Zerfallsschema, Energie (Quantenenergie), Energiespektrum. Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie; Photoeffekt, *Comptoneffekt*, Paarbildungseffekt. Zählstatistik. Strahlungsnachweis.

Ziele des Versuchs

Einführung in die Phänomene des Kernzerfalls und der unterschiedlichen radioaktiven Strahlungsarten. Einführung in zugehörige Messtechniken.

Literatur

[4]: Kapitel 47, 48

Skripte *STATISTIK*, *KERNSTRAHLUNGSDETEKTOREN*, *DOSIMETRIE* und *STRAHLENSCHUTZANWEISUNG* im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung.

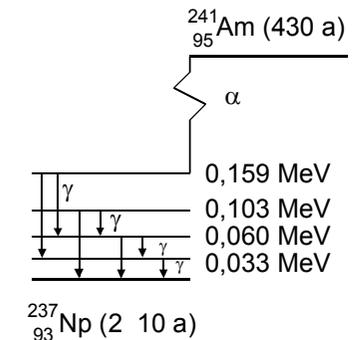
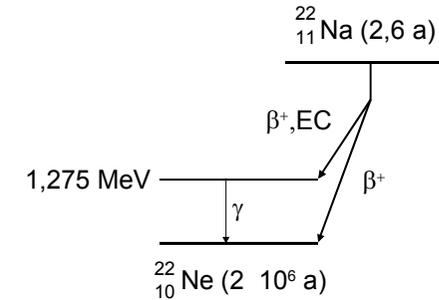
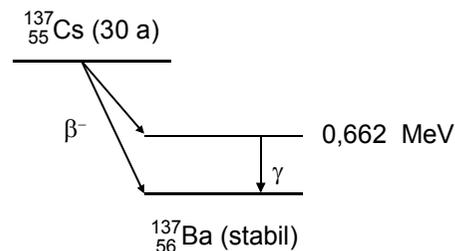
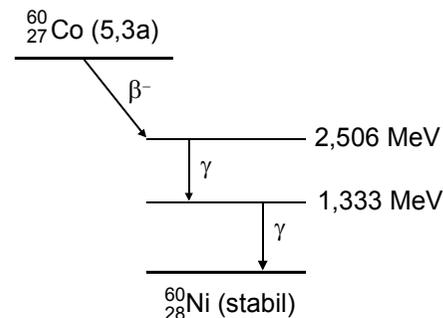
Aufgaben

- Aufgabe zur sofortigen Auswertung: Messung der natürlichen Äquivalentdosisleistung und der Dosisleistung des ^{60}Co -Präparates in 0,5 m Abstand mit einem integrierten Äquivalentdosisleistungsmessgerät. Umrechnung auf die Äquivalentdosiswerte pro Jahr in Sv/a und mrem/a.
- Aufnahme der γ -Spektren von ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{22}Na und ^{241}Am und Kalibrierung des Spektrometers (Kalibrierkurve).
- Bestimmung der Energie der e^+e^- -Vernichtungsstrahlung und Vergleich mit der *Einsteinschen Beziehung* ($E=mc^2$).
- Bestimmung des Auflösungsvermögens des Spektrometers für die γ -Linie von ^{137}Cs .

- Bestimmung der maximalen Übertragsenergie beim *Compton-Streuprozess (Compton-Kante)* für die γ -Linie von ^{137}Cs und Vergleich mit dem theoretischen Wert aus der Streuformel.
- Überprüfung des Absorptionsgesetzes und Bestimmung der Schwächungskoeffizienten und Halbwertsdicken für Eisen und Blei für die 0,662 MeV- γ -Strahlung von ^{137}Cs .

Physikalische GrundlagenDosimetrie

Siehe Skript *DOSIMETRIE und STRAHLENSCHUTZANWEISUNG* im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung.

Zerfallschemen der verwendeten StrahlungsquellenWechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie

Unter der Voraussetzung, dass die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit der durchstrahlten Schichtdicke dx proportional ist, und dass ein Strahlungsquant bei einer Wechselwirkung dem Strahlungsfeld verloren geht, ergibt sich ein Exponentialgesetz für die Intensität:

$$(1) \quad I = I_0 e^{-\mu x}$$

Der Absorptionskoeffizient μ (*linearer Schwächungskoeffizient*) hängt dabei im Wesentlichen von der Energie der Strahlung und der Dichte des Absorbermaterials ab. Die Größe μ/ρ (Dichte ρ) ist bei vorgegebener Strahlungsenergie in etwa konstant und wird als *Massenschwächungskoeffizient* bezeichnet.

Für die Absorption sind hauptsächlich drei Prozesse verantwortlich:

Photoeffekt

Beim Photoeffekt wird das γ -Quant durch ein Elektron (der inneren Schalen) eines Atoms gestoppt, und dessen Energie vollständig auf das Elektron übertragen. Das Elektron verlässt den Atomverband.

Das Atom selber reorganisiert sich durch einen elektronischen Übergang in das Loch in der inneren Schale unter Aussendung von charakteristischer Röntgenstrahlung.

Compton-Effekt

Der *Compton-Effekt* (ARTHUR HOLLY COMPTON; 1892-1962; am. Physiker) ist eine inelastische Streuung von γ -Quanten an freien oder schwach gebundenen Elektronen. Die an das Elektron übertragene Energie T ist dabei vom Streuwinkel Θ abhängig:

$$(2) \quad T = \frac{E_0}{1 + \frac{m_0 c^2}{(1 - \cos \Theta) E_0}}$$

wobei E_0 die Energie der einfallenden γ -Quanten ist. Der maximale Energieübertrag findet bei Rückwärtsstreuung statt ($\Theta = 180^\circ$).

Paarbildungseffekt

Beim Paarbildungseffekt materialisiert sich Strahlung entsprechend der *Einsteinschen Beziehung* (Albert Einstein; 1897-1955; dt./am. Physiker):

$$(3) \quad E = m c^2$$

Die Paarbildung geschieht bei ausreichender Energie durch Wechselwirkung mit dem Feld eines Atomkerns, wobei ein Elektron-Positron-Paar entsteht.

Die Paarbildung ist der Gegenprozess zur Umwandlung eines Elektron-Positron-Paares in Strahlungsenergie (Vernichtungsstrahlung), wobei aus Erhaltungsgründen zwei γ -Quanten entstehen. Diese Vernichtungsstrahlung kann an β^+ -Strahlern, wie z.B. Na-22, beobachtet werden.

Strahlungsnachweis und Spektrometer; Auflösungsvermögen

Siehe Skript KERNSTRAHLUNGSEKTEKTOREN in Anlage VI dieser Praktikumsanleitung.

Fehler von Zählgrößen beim radioaktiven Zerfall

Für den Fehler Δn einer Anzahl n von Ereignissen eines stochastischen Prozesses gilt (siehe Skript STATISTIK in Anlage VIII dieser Praktikumsanleitung):

$$(4) \quad \Delta n = \sqrt{n}$$

Apparatur und Geräte

NaJ-Szintillationsspektrometer mit Hoch- und Hilfspannungsversorgung. PC-gestützter Vielkanalanalysator.

Eisen- und Bleiabsorber unterschiedlicher Dicke.

Versuchsdurchführung und Auswertung

Zur Versuchsdurchführung ist die STRAHLENSCHUTZANWEISUNG im allgemeinen Teil der Versuchsanleitung zu beachten!

Zu Aufgabe 1 (Ionendosisleistung)

Zur Messung der Ionendosisleistung ist ein analoges Ionendosisleistungsmessgerät vorhanden (*Hand-Monitor*). Führen Sie die Messungen über einen bestimmten Zeitraum aus, um den Fehler der Messung abschätzen zu können. Die zugehörigen Auswertungen sollen gleich nach der Messung und durch die gesamte Gruppe durchgeführt werden.

Spektrometer und Vielkanalanalysator

Zur Inbetriebnahme des Spektrometers müssen die Hochspannung (des Sekundärelektronenvervielfachers), das Netzgerät des Analog-Digital-Wandlers (*Peak-Detector-Interface*) und der PC eingeschaltet werden.

Die Hochspannung (Grobeinstellung) muss auf den markierten Wert eingestellt sein (ca. 700 V).

Das Vielkanal-Programm auf dem Rechner startet selbsttätig nach dem Einschalten, die Mess- bzw. Programmfunktionen sind intuitiv verständlich. Zusätzliche Erläuterungen sind im Platzskript angegeben. Machen Sie sich vor Beginn der Messungen ausgiebig mit den Funktionen des Vielkanalanalysators vertraut.

Die Verstärkung des Systems wird am Peak-Detector-Interface mit dem Schiebeschalter ($1\times$) und dem Drehknopf (2..6) so eingestellt, dass die 1,33-MeV-Linie von Co-60 gerade noch am rechten Rand des Spektrums erfasst wird.

Zu Aufgabe 2 und 3 (Kalibrierung des Spektrometers; e^+e^-)

Zur Kalibrierung des Spektrometers und Bestimmung der Energie der e^+e^- -Vernichtungsstrahlung (am Na-22 Präparat) werden die Spektren der Präparate einzeln aufgenommen und die Lagen (Kanalnummern k) der jeweiligen γ -Linien bestimmt. Die statistisch genaue

Lage einer Linie ist durch ihren Schwerpunkt \bar{k} gegeben (Mittelwert, 1. Moment):

$$(5) \quad \bar{k} = \frac{\sum n(k)k}{\sum n(k)}$$

wenn $n(k)$ der jeweilige Kanalinhalt ist (Ereigniszahl). Die Messungen sind mit der 662-keV-Linie von Cs-137 zu beginnen. Für diese Linie soll der Schwerpunkt über einige Kanäle in der Umgebung des Maximums berechnet und mit der Lage des Maximums selbst messbegleitend verglichen werden.

Als Kalibrierkurve des Spektrometers werden die gemessenen Kanalnummern der Linien über der Energie aufgetragen. Aus der Kurve kann dann die Energie der e^+e^- -Vernichtungsstrahlung abgelesen werden.

Um ein anschauliches Bild von einem Spektrum im Messprotokoll zu erhalten, soll zusätzlich der Verlauf des gesamten Spektrums von Cs-137 vom Bildschirm des Oszilloskops skizziert werden.

Zu Aufgabe 4 (Auflösungsvermögen)

Die gesamte 662-keV-Linie wird punktweise aufgenommen und später grafisch dargestellt. Die Messwerte

werden (mit einem Kurvenlineal) durch eine Glockenkurve ausgeglichen und daraus die volle Breite bei halben Maximum abgelesen. Das relative Auflösungsvermögen lässt sich unabhängig von der Kalibrierung direkt aus die Kanalnummern bestimmen.

Zu Aufgabe 5 (Compton-Kante)

Als Lage der *Compton-Kante* wird die Mitte der abfallenden Flanke nach dem *Compton-Plateau* geschätzt.

Zu Aufgabe 6 (Absorptionsgesetz)

Auch die Überprüfung des Absorptionsgesetzes geschieht an der 662-keV-Linie von Cs-137. Es sind verschiedene Eisen- und Bleiabsorber vorhanden, die zwischen Quelle und Detektor gebracht werden können. Bei diesen Messungen müssen Intensitäten berücksichtigt werden, die direkt mit der Funktion *Fläche* des Systems ermittelt werden können.

Bedenken Sie bei diesen Messungen mögliche systematische Verfälschungen, deren Minimierung und deren möglicher Einfluss auf das Ergebnis. Benutzen Sie bei den Messungen gegebenenfalls die Funktion *Impulsgrenze*.

Zur Auswertung der Schwächungskoeffizienten bzw. der Halbwertsdicken werden die Messungen einfachlogarithmisch dargestellt.