

RADIOAKTIVER ZERFALL

GPI

Halbwertszeiten von ^{108}Ag und ^{110}Ag Stichworte

Kernaufbau. Radioaktiver Zerfall; Zerfallsschema, Energie (Quantenenergie), Energiespektrum. Zeitliches Verhalten des Zerfalls; Zerfallsgesetz, Lebensdauer und Halbwertszeit. Kernreaktionen. Zählstatistik; Strahlungsnachweis.

Ziele des Versuchs

Phänomenologische Betrachtung des Kernzerfalls. Einführung in Kernstrahlungsnachweis und -messtechniken.

Literatur

[4]: Kapitel 47, 49

Skript *STRAHLENSCHUTZANWEISUNG* im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung.

Aufgaben

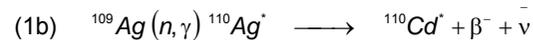
1. Gemeinsame Aufgabe zur sofortigen Auswertung: Messung der natürlichen Ionendosisleistung und der Ionendosisleistung an der Außenseite des Neutronengenerators mit einem Ionendosisleistungs-Messgerät (*Hand-Monitor*). Umrechnung auf Äquivalentdosiswerte pro Jahr in mS/Jahr und mrem/Jahr.
2. Messung des mit dem Geiger-Müller-Zählrohr registrierten Nulleffektes.
3. Aktivierung der radioaktiven Isotope ^{108}Ag und ^{110}Ag . Messung der Zeitabhängigkeit der Zerfallsrate für verschiedene Aktivierungszeiten. Bestimmung der Zerfallskonstanten und der Halbwertszeiten der beiden Silberisotope.
4. Berechnung der Sättigungszählraten für die beiden Isotope und des Verhältnisses ihrer Wirkungsquerschnitte für Neutroneneinfangreaktionen. Vergleich mit dem Literaturwert (siehe Nuklidkarte am Versuchsplatz).

Physikalische GrundlagenDosimetrie

Siehe Skript *STRAHLENSCHUTZANWEISUNG* in Anlage VII dieser Praktikumsanleitung.

Aktivierung durch Kernreaktionen

Natürliches Silber besteht zu 51,83 % aus Ag-107 und zu 48,17 % aus Ag-109 (*natürliches Isotopengemisch*). Die Aktivierung der beiden instabilen, radioaktiven Isotope Ag-108 und Ag-110 erfolgt durch (n, γ) -Reaktionen, wonach sich die Silberisotope durch β -Zerfall in Cadmium-Isotope umwandeln:



Der Stern (*) an den Isotopen bezeichnet, dass sich die Kerne in einem angeregten Zustand befinden.

Die zur Aktivierung erforderlichen langsamen Neutronen werden mit einer Americium-Beryllium-Neutronenquelle (*Neutronengenerator*) erzeugt. Die α -Strahlung eines radioaktiven Am-241-Präparats löst durch eine (α, n) -Reaktion mit Beryllium hochenergetische Neutronen aus, die durch elastische Stöße innerhalb eines Paraffinmoderators abgebremst werden:

Radioaktives Gleichgewicht (Mutter-Tochter-System)

Während der Aktivierung werden mit annähernd konstanter Rate radioaktive Kerne erzeugt, da die Zahl der stabilen Ausgangskerne N sehr groß gegen die Umwandlungsprozesse und damit praktisch konstant ist. Der gleichzeitig einsetzende Zerfall dagegen hängt von der Zahl der momentan vorhandenen radioaktiven Kerne $n(t)$ ab und nimmt zunächst zu. Für die Anzahl radioaktiver Kerne gilt insgesamt:

$$dn = dn|_{\text{Reaktion}} + dn|_{\text{Zerfall}}$$

$$(3) \quad = \sigma \phi N dt - \lambda n dt$$

wobei σ der Wirkungsquerschnitt der Kernreaktion, ϕ die Neutronenflussdichte und λ die Zerfallskonstante sind. Die Integration von (2) liefert:

$$(4) \quad n(t) = \frac{\sigma \phi N}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

Für die sich während der Aktivierung aufbauende Aktivität $A(t) = \lambda \cdot n(t)$ erhält man:

$$(5) \quad A(t) = \sigma \phi N (1 - e^{-\lambda t}) = A_s (1 - e^{-\lambda t})$$

Für große Zeiten stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Zerfall ein. Die dabei erreichbare Aktivität A_s wird Sättigungsaktivität genannt.

Aktivität nach der Aktivierung

Nach Abschluss der Aktivierung verläuft der Zerfall nach dem einfachen Zerfallsgesetz, wobei die momentane erreichte Aktivität (5) die Anfangsaktivität darstellt.

Strahlungsnachweis

Zum Nachweis der Zerfälle werden die nach (1a,b) freigesetzten, hochenergetischen β -Teilchen mit einem dünnwandigem *Geiger-Müller-Zählrohr* und einem nachgeschalteten Zählgerät registriert. Zur Funktion des Zählrohrs siehe Skript *KERNELEKTRONIK* im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung.

Fehler von Zählgrößen beim radioaktiven Zerfall

Für den Fehler Δn einer Anzahl n von Ereignissen eines stochastischen Prozesses gilt (siehe Skript *STATISTIK* im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung):

$$(6) \quad \Delta n = \sqrt{n}$$

Apparatur und Geräte

Geiger-Müller-Zählrohr in Bleiabschirmung mit Zählgerät.
Silberzylinder. Am-Be-Neutronengenerator. Stoppuhr.

Versuchsdurchführung und Auswertung

Zur Versuchsdurchführung ist die STRAHLENSCHUTZANLEITUNG im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung zu beachten!

Zu Aufgabe 1 (Dosisleistung)

Es ist ein integriertes Messgerät mit einem Geiger-Müller-Zählrohr vorhanden (*Hand-Monitor*), mit dem die Ionendosisleistung gemessen werden kann. Zur Umrechnung in die Äquivalentdosisleistung sind die Grundlagen zur Dosimetrie zu berücksichtigen (siehe STRAHLENSCHUTZANWEISUNG).

Zu Aufgabe 2 (Nulleffekt)

Der Strahlungsnachweis an den Silberzylindern geschieht mit einem Geiger-Müller-Zählrohr. Zur Messung der Zählrate (Ereignisse pro Zeitintervall) ist ein automatischer Zähler vorhanden, der periodisch Messungen in 10-s-Intervallen durchführt: Nullsetzen des Zählers (Reset); Messung während etwa 9 s; Anzeige des Messwertes für etwa 1 s. Die Messung besteht dann in einer laufenden Beobachtung und Notierung der Messwerte.

Vor Beginn der Messung ist über einen geeigneten Zeitraum der Nulleffekt ohne zusätzliche radioaktive Quelle zu bestimmen, der bei den späteren Messungen als Korrektur berücksichtigt werden muss.

Zu Aufgabe 3 (Zerfallkurven)

Für zwei verschiedene Aktivierungszeiten (1 min und 12 min) wird der Silberzylinder in einem der zentralen Kanäle des Neutronengenerators aktiviert. Mit dem Herausnehmen des zu Ende der Aktivierungszeit wird der Zählzyklus an dem Zählgerät gestartet und der Silberzylinder über das Zählrohr gebracht (Hinweise zur Bedienung des Zählers im Platzskript).

Die Synchronisation zwischen Ende der Aktivierung und Start des Zählers (der Zeitachse) ist genau einzuhalten, da anderenfalls die beobachtete Anfangsaktivität wegen der kurzen Halbwertszeit von Ag-110 stark verfälscht wird.

Die Messzeit ist bei allen Aktivierungszeiten über 12 min zu erstrecken, auch wenn sich bei der kurzen Aktivierungszeit der (täuschende) Eindruck ergibt, dass die Aktivität schon nach kürzerer Zeit bis auf den Nulleffekt abgeklungen ist. Die Halbwertszeit des langlebigen Isotops Ag-108 beträgt etwa 2^{1/2} Minuten, und für eine eindeutige Festlegung des Funktionsverlaufs mit der Trennung der beiden Komponenten ist eine Beobachtung über etwa 5 Halbwertszeiten erforderlich.

Zur Auswertung werden die Messwerte um den Nulleffekt korrigiert und einfachlogarithmisch dargestellt. Im Kurvenverlauf ergeben sich dabei zwei Komponenten entsprechend den unterschiedlichen Zerfallskonstanten der beiden Isotope. Für große Zeiten kann angenommen werden, dass die kurzlebige Komponente praktisch vollständig abgeklungen ist. Dieser Bereich wird direkt durch Festlegung einer Ausgleichsgeraden ausgewertet, anhand der die Zerfallskonstante und die Sättigungsaktivität $A_s = A(t=0)$ für Ag-108 bestimmt werden können.

Anschließend wird von den Messwerten für kleine Zeiten der zugehörige langlebige Anteil entsprechend den Werten der Ausgleichsgeraden für Ag-108 subtrahiert und anschließend ebenfalls einfachlogarithmisch ausgewertet. (Die Kurven für die beiden Aktivierungszeiten können in gemeinsamen Diagrammen dargestellt werden).

Literaturwerte

(*Seelmann-Eggebert, Pfennig, Münzen*; NUKLID-KARTE; Kernforschungszentrum Karlsruhe. Siehe auch Exemplar der Nuklidkarte im Versuchsraum).

Halbwertszeiten

$$(7a) \quad T_{1/2}(\text{Ag-108}) = 2,41 \text{ min}$$

$$(7b) \quad T_{1/2}(\text{Ag-110}) = 24,6 \text{ s}$$

Wirkungsquerschnitte

$$(8a) \quad \sigma(\text{Ag-107} \rightarrow \text{Ag-108}_{\text{Grundzustand}}) = 34,2 \text{ b (Barn)} \\ = 34,2 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$(8b) \quad \sigma(\text{Ag-109} \rightarrow \text{Ag-110}_{\text{Grundzustand}}) = 89 \text{ b}$$