

A2P Abstandsgesetz und Absorption von Gammastrahlung

Grundlagen

Radioaktive Atomkerne wandeln sich spontan, d.h. ohne äußeren Anlass, unter Emission von Alpha- oder Betastrahlung in andere Kerne um. Diese Umwandlungen sind außerdem meist mit der Emission von Gammastrahlung verbunden.

Die Anzahl der Kerne dN , welche sich in einer bestimmten Zeit dt umwandeln, wird als Aktivität des Strahlers bezeichnet. Sie wird in der Maßeinheit Becquerel ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$) gemessen. Die Aktivität des Strahlers ist von der Zahl der vorhandenen Kerne N linear abhängig.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (1)$$

Der stoffspezifische Proportionalitätsfaktor λ ist die Zerfallskonstante. Die Anzahl der zu einer beliebigen Zeit noch nicht umgewandelten Kerne kann ausgehend von (1) mit

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

bestimmt werden. N_0 bezeichnet die Anzahl der anfänglich vorhandenen Kerne. Die Aktivität des Strahlers nimmt ebenfalls exponentiell mit der Zeit ab, was leicht zu erkennen ist, wenn (2) mit der Zerfallskonstanten multipliziert wird.¹ Nach der Halbwertszeit

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3)$$

hat sich die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Kerne umgewandelt und die Aktivität ist auf die Hälfte gesunken.

Trifft ionisierende Strahlung auf ein beliebiges Material, wird sie teilweise oder ganz absorbiert. Die pro Masseneinheit des Materials absorbierte Energie $D = dQ/dm$ wird als Energiedosis bezeichnet. Ihre Maßeinheit ist das Gray ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$).

Wird die Wirkung der Strahlung auf den Menschen betrachtet, muss berücksichtigt werden, dass verschiedene Strahlungsarten und Strahlungsenergien unterschiedliche biologische Wirkungen haben. Deshalb führt man die Äquivalentdosis H ein. Zur Unterscheidung wird sie in Sievert (Sv) gemessen. Für Gammastrahlung hat sie etwa den gleichen Zahlenwert wie die Energiedosis. Ausgehend von der Aktivität kann die Äquivalentdosis im Abstand r vom Strahler mit

$$H = \Gamma_H \cdot \frac{A \cdot t}{r^2} \quad (4)$$

berechnet werden. Γ_H ist die Dosisleistungskonstante des betreffenden Strahlers. Die auf die Zeit bezogene (Energie- bzw. Äquivalent-) Dosis wird als Dosisleistung bezeichnet.

¹Alternativ erhält man die Aktivität aus der Ableitung von (2).

Wie auch die Dosis nimmt sie quadratisch mit dem Abstand zum Strahler ab, da sich die von einem Punkt ausgehenden Strahlen auf einer immer größer werdenden Kugeloberfläche verteilen.

Breitet sich die Strahlung nicht im Vakuum, sondern in Stoffen aus, wird sie bei einer durchstrahlten Länge dx um $dI = -I\mu dx$ geschwächt. Mit μ wird der material- und energieabhängige Schwächungskoeffizient bezeichnet.

Für eine endliche Schichtdicke ergibt sich durch Integration somit ein Schwächungsfaktor von

$$F = \frac{I_0}{I} = e^{\mu d}, \quad (5)$$

welcher das Verhältnis der Strahlungsintensität vor, zur Strahlungsintensität nach dem Durchdringen der Schicht darstellt. Er ist exponentiell von der Dicke des durchstrahlten Materials abhängig. Bei einer Schichtdicke von $d_{1/2} = \ln 2/\mu$ wird die Hälfte der Strahlung absorbiert, weswegen diese Schichtdicke als Halbwertsschicht bezeichnet wird. Der Schwächungskoeffizient μ ist annähernd proportional der Anzahl der im Material vorhandenen Elektronen pro Volumeneinheit und damit zur Dichte ρ des Materials.² Der Massenschwächungskoeffizient $\mu^* = \mu/\rho$ ist daher für verschiedenen Materialien etwa gleich.

Versuchsvorbereitung

- Atomaufbau
- α , β^- , β^+ , K , γ - Strahlung bzw. Zerfall
- natürliche Radioaktivität
- Grenzwerte für Strahlenbelastung in Deutschland
- Photo- und Comptoneffekt, Anregung bzw. Ionisation von Atomen
- Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs
- Leiten Sie die Beziehungen (2) und (3) her!
- Berechnen Sie die momentane Aktivität des verwendeten Strahlers Cs-137, der eine Halbwertszeit von 30,17 Jahren hat und am 23.12.1992 eine Aktivität von 333 kBq hatte!

²Die Anzahl der Elektronen ist gleich der Ordnungszahl und damit indirekt von der Massenzahl abhängig. Die Anzahl der Atome je Volumeneinheit unterscheidet sich für verschiedene Festkörper kaum und spielt somit nur eine untergeordnete Rolle.

- Logarithmische Darstellung.
Welchen qualitativen Verlauf hat die doppellogarithmische Darstellung der Strahlungsintensität in Abhängigkeit des Abstandes zu einem punktförmigen Strahler?
- Poissonverteilung.
Wie hängen der zufällige Fehler und die Anzahl der Ereignisse miteinander zusammen?

Aufgaben

- Auf Grund der geringen Aktivität des verwendeten Strahlers kann der Nulleffekt nicht vernachlässigt werden, sondern muss bei allen Messungen berücksichtigt werden. Messen Sie den Nulleffekt mit einem vorgegebenen maximalen zufälligen Fehler!
- Messen Sie mit einem Geiger-Müller-Zähler die Impulsrate (Impulse/Zeit) in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Quelle und Zählrohr. Wählen Sie die Abstände in der Art, dass sie in logarithmischer Darstellung äquidistant sind.
Zeichnen Sie die Impulsrate in einer doppellogarithmischen Darstellung!
- Berechnen Sie die Äquivalentdosisleistung mittels (4) für die bei der Messung benutzten Abstände ($\Gamma_H = 88 \mu\text{Sv m}^2 \text{h}^{-1} \text{GBq}^{-1}$).
- Bestimmen Sie den Kalibrierfaktor (Äquivalentdosis/Impulse) des verwendeten Zählrohrs!
- Messen Sie die Impulsrate in Abhängigkeit von der Dicke verschiedener zu durchstrahlender Materialien.
Stellen Sie den daraus ermittelten Schwächungsfaktor F logarithmisch in Abhängigkeit der Schichtdicke dar. Bestimmen Sie aus dem Anstieg der erhaltenen Geraden die Halbwertsdicke $d_{1/2}$.
- Berechnen Sie den Schwächungskoeffizienten μ^* .