A2 Abstandsgesetz und Absorption von Gammastrahlen

Physikalische 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 Gammastahlung 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 ($1Bq = s^{-1}$) gemessen. Die Aktivität des Strahlers ist entsprechend der Definition von der Zahl der vorhandenen Kerne N linear abhängig.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \tag{1}$$

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

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

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

Nach der Halbwertszeit

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \tag{3}$$

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

Treffen ionisierende Strahlen auf ein beliebiges Material, werden sie teilweise oder ganz absorbiert. Die pro Masseneinheit des Materials absorbierte Energie $D = dQ/dm$ wird als Energiedosis bezeichnet. Ihre Maßeinheit ist das Gray ($1Gy = 1J/kg$).

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

$$H = \Gamma_H \cdot \frac{A \cdot t}{r^2} \tag{4}$$

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

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

Für eine endliche Schichtdicke ergibt sich somit ein Schwächungsfaktor von

$$F = e^{\mu d}, \tag{5}$$

welcher das Verhältnis der Strahlungsintensität vor, zur Strahlungsintensität nach dem Durchdringen der Schicht darstellt. Er ist exponenziell 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 Hüllenelektronen pro Volumeneinheit und damit zur Dichte ρ des Materials. Der Massenschwächungskoeffizient $\mu^* = \mu/\rho$ ist daher für die 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!
- logarithmische Darstellung
  Welchen qualitativen Verlauf hat die doppel-logarithmische Darstellung der Strahlungsintensität in Abhängigkeit des Abstandes zu einem punktförmigen Strahler?

AUFGABEN

- Auf Grund der geringen Aktivität des verwendeten Stahlers kann der Nulleffekt nicht vernachlässigt werden sondern muss bei allen Messungen berücksichtigt werden. Messen Sie den Nulleffekt!
- Messen Sie mit einem Geiger-Müller-Zähler die Impulsrate (Impulse/Zeit) in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Quelle und Zählrohr.
  Zeichnen Sie die Impulsrate in einer doppel-logarithmischen Darstellung!
- Berechnen Sie die Äquivalentdosisleistung mittels (4) für die bei der Messung benutzten Abstände ($\Gamma_H = 88\,\mu\mathrm{Sv}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{h}^{-1}\mathrm{GBq}^{-1}$).
  Bestimmen Sie den Eichfaktor (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. Lesen Sie die Halbwertsdicke $d_{1/2}$ ab.
  Berechnen Sie daraus den Schwächungskoeffizienten μ^*.