

6.5 Absorption radioaktiver Strahlung in Materie; quadratisches Abstandsgesetz

Vor allem im Hinblick auf die biologische Wirkung der radioaktiven Strahlung und der daraus folgenden Maßnahmen zum Strahlenschutz ist die Kenntnis der Art der Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie ganz wesentlich. Grundsätzlich gilt, dass energiereiche Strahlung beim Durchgang durch Materie ihre Energie ganz oder teilweise an die durchstrahlte Materie abgibt und dabei selbst eine Schwächung erfährt, die bei genügend dicken Materieschichten dazu führen kann, dass die Strahlung hinter der Schicht überhaupt nicht mehr nachweisbar ist.

Bei dieser Wechselwirkung können die Korpuskeln oder Quanten der energiereichen Strahlung entweder mit den Elektronen der Atomhülle oder mit den Atomkernen in Wechselwirkung treten. Im einzelnen lassen sich dabei folgende Wirkungen unterscheiden:

1. Mittelbare Absorption (allmähliche Abbremsung, Wärmeentwicklung)
2. elastische oder inelastische Streuung
3. echte Absorption (Wärmeentwicklung oder Sekundärstrahlung)
4. Ionisation.

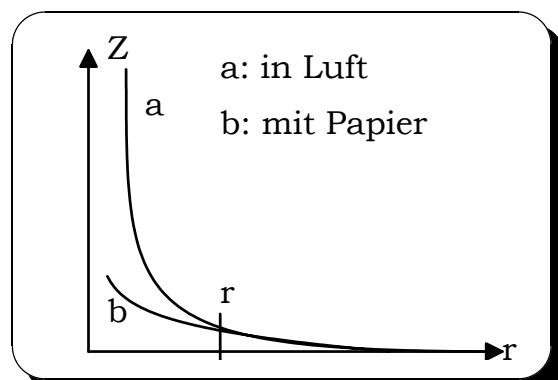
Im folgenden werden einige charakteristische Experimente vorgestellt und durchgeführt.

Die Reichweite von α -Strahlen

Die Reichweite von Alpha-Teilchen lässt sich aus Nebelkammeraufnahmen direkt bestimmen. Man erhält dabei für das verwendete Präparat typische Reichweiten von einigen Zentimetern. Dieses Ergebnis lässt sich leicht überprüfen:

Versuch: Ein Am-241-Präparat steht in variabler Entfernung vor einem Geiger-Müller-Zählrohr, das die einfallenden Teilchen registriert. Dazwischen werden verschiedene Absorber eingebracht.

Skizze:



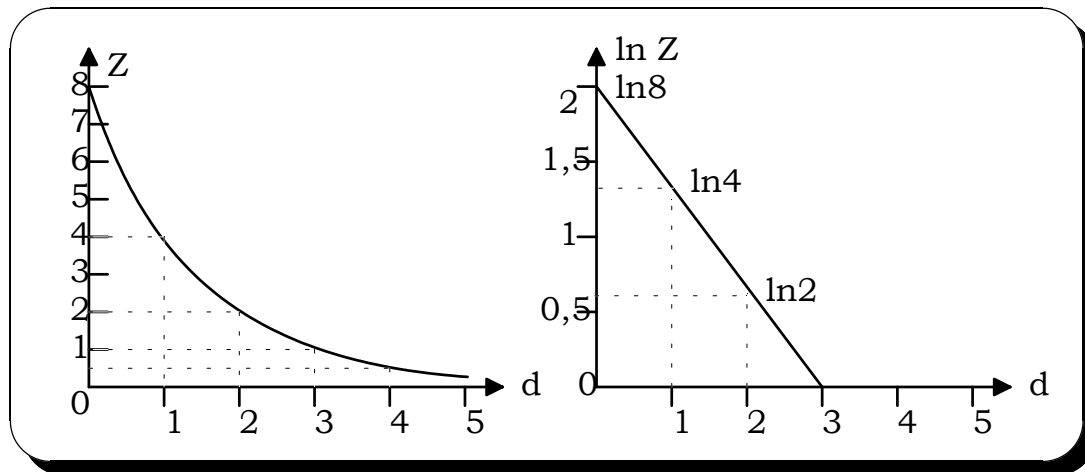
Ergebnis: Bei einem bestimmten Abstand Präparat-Zählrohr sinkt die Zählrate - abhängig vom Absorber - ab.

Zusammenfassung: α -Teilchen haben eine für das verwendete Präparat typische Energie und Reichweite. In Luft beträgt die Reichweite auch für energiereiche Teilchen weniger als 10 cm, in fester Materie weniger als 0,1 mm.

Absorption von β -Strahlen

Versuch: Im Versuchsaufbau wie oben wird nun ein Sr-90-Präparat verwendet. Die Dicke des Absorbers (Aluminium) wird sukzessive gesteigert.

Skizze:



Ergebnis: Die Zählrate Z sinkt nach einem Exponentialgesetz ab:
 $Z(d) = Z_0 \cdot e^{-\alpha \cdot d}$.

Dabei ist Z_0 die Zählrate ohne Absorbermaterial, d die Absorberdicke und α der sog. Absorptionskoeffizient.

Unter der Halbwertsdicke D versteht man die Absorberdicke, die die Zählrate auf den halben Anfangswert absinken lässt. Für den Zusammenhang zwischen α und D gilt

$$\frac{Z_0}{2} = Z_0 \cdot e^{-\alpha \cdot D} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\alpha \cdot D} \Rightarrow \ln \frac{1}{2} = \ln 1 - \ln 2 = -\ln 2 = -\alpha \cdot D$$

oder

$$D = \frac{\ln 2}{\alpha}.$$

Eine weitere, häufig verwendete Größe ist der Massenabsorptionskoeffizient

$$\frac{\alpha}{\rho} = \frac{\ln 2}{D \cdot \rho} = \frac{\ln 2}{D \cdot \frac{m}{V}} = \frac{\ln 2}{\frac{m}{A}}.$$

Dabei ist $\frac{m}{A}$ diejenige Masse, die beim Querschnitt A die einfallenden Strahlen so schwächt, dass hinter dem Absorber die Zählrate $\frac{Z_0}{2}$ registriert wird.

Messungen an verschiedenen Stoffen haben ergeben, dass bei fester Elektromengeschwindigkeit der Massenabsorptionskoeffizient nicht von der Art des durchstrahlten Stoffes abhängt, wenn unabhängig von der Stoffart die

gleiche Masse durchstrahlt wird (Lenardsches Massengesetz). Dieses Ergebnis ist in Einklang mit der Vorstellung, dass Elektronen von Materie um so besser absorbiert werden, je dichter sie ist.

Anmerkung:

Nach einer gewissen Strecke werden β -Teilchen vollständig absorbiert; man nennt diese Strecke die Reichweite der β -Strahlen in dem entsprechenden Material.

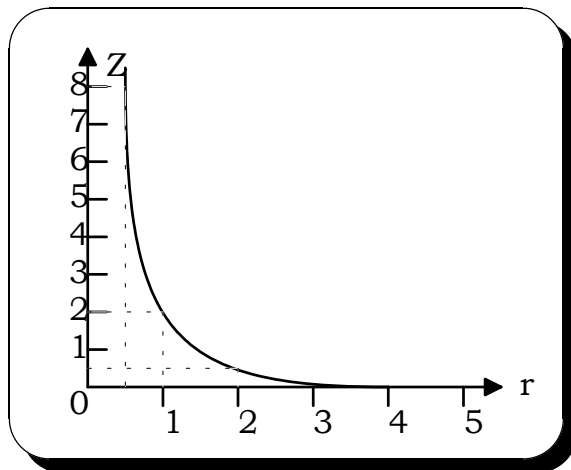
Zusammenfassung: Die Reichweite von β -Teilchen aus radioaktiven Nukliden kann in Luft bis zu einigen Metern, in fester Materie bis zu einigen Millimetern und in Körpergewebe ein bis zwei Zentimeter betragen. Die Abschwächung von β - und γ -Strahlen erfolgt nach einem Exponentialgesetz. Eine Reichweite von Gammastrahlen in Materie kann man nicht angeben, wohl aber die Halbwertsdicke D .

Das Abstandsgesetz

Um sich vor radioaktiven Strahlen zu schützen, ist, insbesondere wegen der γ -Strahlen, ein möglichst großer Abstand von radioaktiven Präparaten zu halten.

Versuch: Bei einem Aufbau wie oben wird der Abstand zwischen einem Sr-90-Präparat und dem Zählrohr variiert. Für die Zählrate erhält man in Abhängigkeit vom Abstand folgenden Zusammenhang:

Skizze:



Ergebnis: Man erkennt, dass die Zählrate und damit die Strahlungsleistung umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes ist:

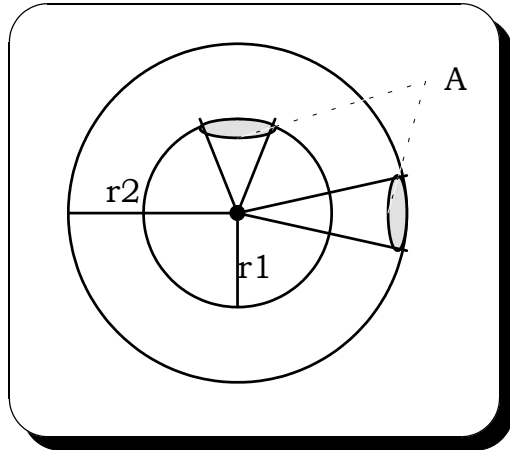
$$P(r) = \text{const} \cdot \frac{1}{r^2}.$$

Dieses Abstandsgesetz lässt sich leicht mathematisch begründen, wenn man einige vereinfachende Annahmen macht:

1. Das Präparat ist punktförmig.

2. Die Strahlung wird isotrop emittiert.
3. Die Strahlung wird zwischen Präparat und Zählrohr nicht absorbiert.
4. Jedes auf die Frontfläche treffende Teilchen wird dort nachgewiesen.

Skizze:



Um das Präparat denkt man sich zwei konzentrische Kugeln gelegt, in deren Mittelpunkt sich das Präparat befindet. Befindet sich das Zählrohr mit seiner konstanten Fensteröffnung A im Abstand r_1 , so registriert es die Strahlungsleistung

$$\frac{P_1}{P} = \frac{A}{O_{\text{Kugel1}}} = \frac{A}{4 \cdot \pi \cdot r_1^2} \Rightarrow P_1 = \frac{P \cdot A}{4 \cdot \pi \cdot r_1^2};$$

im Abstand r_2 gilt analog

$$\frac{P_2}{P} = \frac{A}{O_{\text{Kugel2}}} = \frac{A}{4 \cdot \pi \cdot r_2^2} \Rightarrow P_2 = \frac{P \cdot A}{4 \cdot \pi \cdot r_2^2} .$$

Für das Verhältnis der Strahlungsleistungen folgt daraus unmittelbar

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \text{ bzw. } P \sim \frac{1}{r^2} .$$