

# P2-80,82: Absorption von Beta- und Gammastrahlung

Vorbereitung

Jascha Meißner, Arnold Seiler

## 0. Grundlagen

### 0.1 Radioaktiver Zerfall:

Zerfall eines radioaktiven instabilen Atomkerns

- in Protonen und Neutronen (z.B.  $\alpha$ -Strahlung  $\hat{=}$  He-Kernen)
- $\beta$ -Strahlung, z.B. Elektronen-Strahlung  $\beta^-$  oder Positron  $\beta^+$
- $\gamma$ -Strahlung: hochenergetische, elektromagnetische Strahlung (Photonen)

### 0.2 kontinuierliches $\beta$ -spektrum

Der  $\beta$ -Zerfall ist ein aperiodischer Vorgang, so kann man diesen Vorgang in ein kontinuierliches Spektrum zerlegen.

Die Zerlegung eines aperiodischen Vorgangs ist näherungsweise eine lineare. (Zerlegung in ein Fourier-Integral  $\Rightarrow$  Voraussetzung: stetige Änderung der Frequenz)

### 0.3 $\gamma$ -Linienspektrum

$\gamma$ -Strahlung  $\hat{=}$  Photonen  $\hat{=}$  Wellen. Ein periodischer Vorgang lässt sich in ein Linienspektrum zerlegen. Die spektrale Zerlegung eines period. Vorgangs (z.B. durch Beugung am Gitter) ergibt ein Linienspektrum.

(Zerlegung in eine Fourier-Reihe  $\Rightarrow$  Voraussetzung: Frequenz  $\gg$ , quantisiert)

### 0.4 Wechselwirkung von $\beta$ -Strahlen mit Materie

Strahlung von Elektronen kein Durchgang durch Materie. Das Elektronenbündel wird geschwächt, da die  $e^-$  Energie abgeben (z.B. bei Ionisierung) oder durch elastische Streuung abgelenkt werden.

$\beta$ -Absorption entspricht Ionisierung von Atomen.

## 0.5 Wechselwirkung von $\gamma$ -Strahlung mit Materie

Compton Effekt:

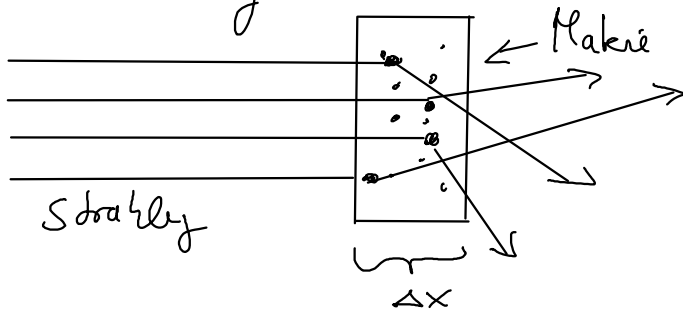
Monochromatische  $\gamma$ -Strahlen werden an Materie gestreut, wobei  $n$  des Photons mit größerem  $\lambda$  (Streuungswinkel) ebenfalls größer wird (nicht wie beim sichtbaren Licht).

Photoeffekt: ( $\gamma$ -Absorption)

Durch  $\gamma$ -Strahlung werden  $e^-$  aus Atomen gelöst, d. h. die Strahlung wird absorbiert unter Abgabe von  $e^-$ .

## 0.6 Wirkungsquerschnitt

z. B. Streuung an Materie



$$\rho = \frac{Z \sigma_s}{S}$$

$\rho$ : Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens

$Z$ : Anzahl Nucleonen in Materie

$\sigma_s$ : Stopfquerschnittsfläche

$S$ : Gesamtfläche

## 0.7 Absorptionskoeffizient

$\alpha$  für einen Teilchenstrahl:  $N = N_0 \cdot e^{-\alpha x}$

$N_0$ : Anzahl Teilchen vor Absorption

$N$ : Anzahl nach Durchlauf der Strecke  $x$ .

$\mu$  für  $\gamma$ -Strahlung:  $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$

$\mu$ : Schwächungskoeffizient

$x$ : Dicke des Materials

$I_0$ : Auftreffende Intensität

$I$ : Intensität nach Durchlauf der Strecke  $x$ .

## 0.8 Massenaabsorptionskoeffizient $k = \frac{\mu}{\rho}$ [ $\frac{cm^2}{g}$ ]

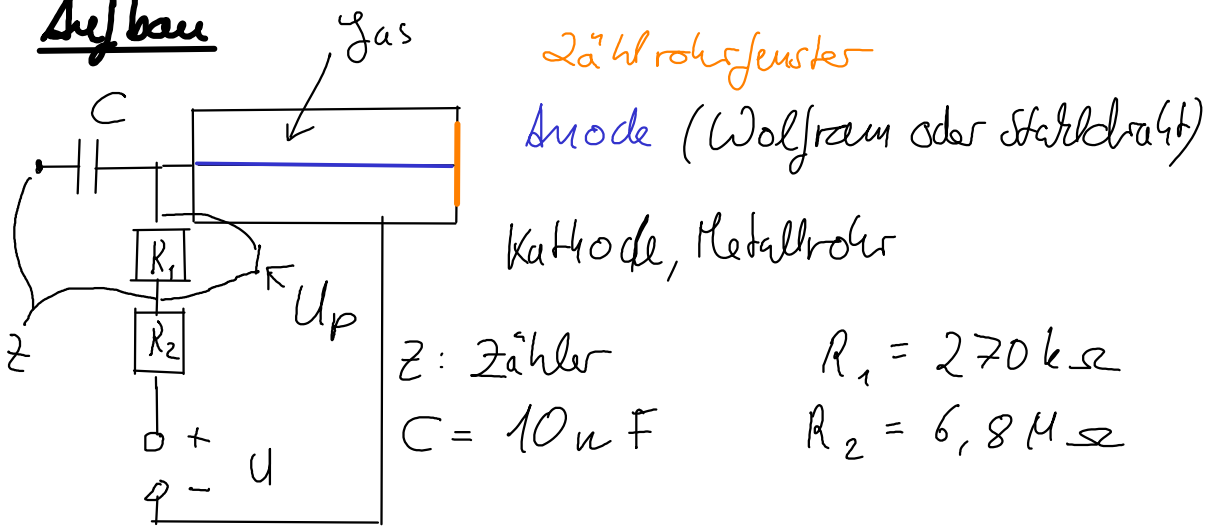
$\rho$ : Dichte des Absorbers

$$\mu = \sum \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_i p_i$$

$p_i$ : Masseanteil des  $i$ -ten Elements

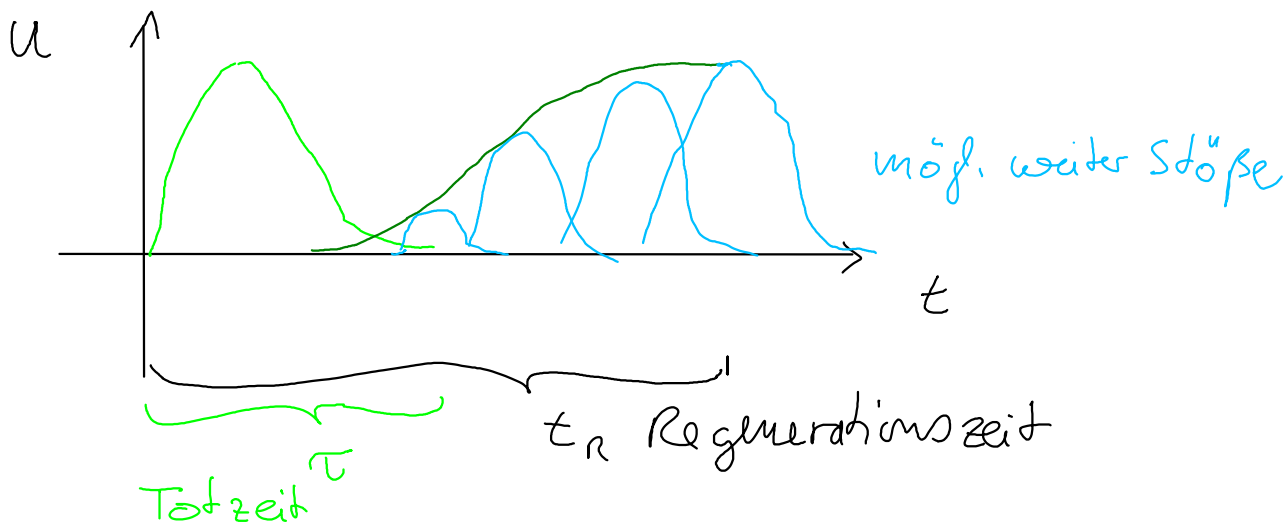
# 0.9 Geiger-Müller-Zählrohr (Auslöse-Zählrohr)

## Aufbau



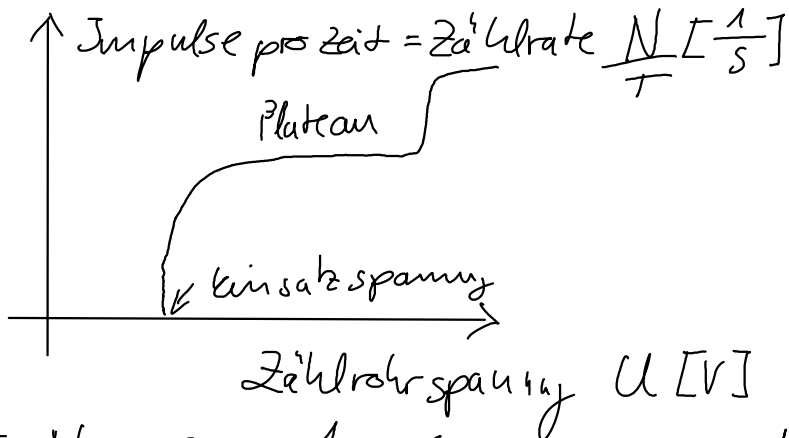
Funktion: Wird das Gas durch Strahlung ionisiert, wird das gelöste Elektron zur Anode beschleunigt und das pos. Ion Richtung Kathode. Das Elektron ionisiert auf dem Weg weitere Gasatome, es entsteht ein Lawinenphänomen. Das  $E$ -Feld der Anode wird durch die pos. Ionen geschwächt, dies führt zum Abbruch der Ionisation. Die pos. Ionen neutralisieren sich an der Kathode (viel langsamer als  $e^-$ ). Das  $E$ -Feld der Anode baut sich wieder auf und das Zählrohr ist bereit für eine weitere Ionisation.

Die negativen Ionen ( $e^-$ ) stauen sich an  $R_1 \hat{=}$  negative Spannungsimpulse (ca.  $50 \mu\text{s}$  Anstiegszeit,  $250 \mu\text{s}$  Abfallzeit). Die Impulse werden über eine Kondensator  $C$  ausgekoppelt, mit einem Verstärker verstärkt lösen sie das Zählwerk aus.  $\Rightarrow$  Auslöse-Zählrohr.



# 1. Geiger-Müller-Zählrohr und $\beta$ -Absorption

## 1.1 Zählrohrcharakteristik



Für  $\frac{N}{T} < 300 \frac{1}{s}$  (groß genug Abstand Quelle - Zählrohr)  
zusätzlich mit dem Oszilloskop  $U(U_p)$

$U_p$ : Impulshöhe  $[V] \hat{=} \text{Spannung am Widerstand.}$

Angabe des Bereichs in dem die Impulshöhen fallen.  
beliebige  $\beta$ -Quelle.

## 1.2 Bestimmung der Totzeit $\tau$ des Zählrohrs

$U_p(t) \hat{=} \text{zeitliche Folge der Zählrohrimpulse bei großem } z$   
Auch Impulse am Verstärkerausgang beobachten.

Zeitspanne nach der ersten Auslenkung bis zur nächsten Auslenkung entspricht  $\tau$ .

## 1.3 Totzeit aus Zählresultaten

a) Sr-90/Y-90-Betastrahlungspräparat  $N_1$  c) mit beiden Quellen  $N_{12}$

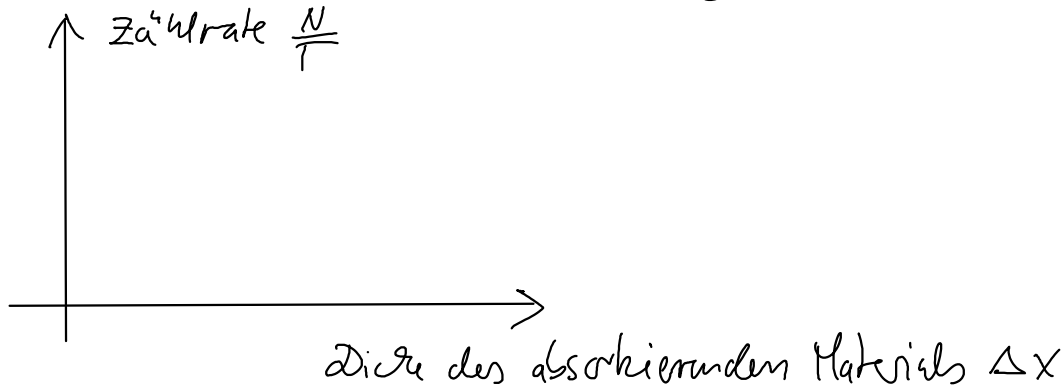
b) Co-60-Betastrahlungspräparat  $N_2$

1)  $\frac{N_{12}}{T} \approx 500 \frac{1}{s}$  2)  $\frac{N_{12}}{T} \approx 150 \frac{1}{s}$   $T$ : Messzeit

• Zwei Bestimmungen bei unterschiedl. Zählraten

$N_1' + N_2' = N_{12}'$  und  $N' = \frac{N}{(1 - \frac{N\tau}{T})}$  mit der Annahme, dass die Zählrohrauslösung eine feste  $\frac{N\tau}{T}$  Zeit  $\tau$  auslöst und beeinflusst von zwischenzeitlich einfallenden Teilchen.

# 1.4 Absorptionskurve der $\beta$ -Strahlung für Aluminium



a) Quelle: Sr-90/Y-90 zeigt 2  $\beta$ -Zerfälle  
 $Sr-90 \rightarrow Y-90$  und  $Y-90 \rightarrow Zr-90$

Für beide Teil gilt exponentielles Abfall in Abhängigkeit von  $\Delta x$

- Präparatabdeckung, Zählrohrfenster und Luftweg  $\hat{=}$  ca. 12  $\mu m$  Al
- Absorberdicken bei 200  $\mu m$  in 25  $\mu m$  Schritten  
 bei 1000  $\mu m$  in 100  $\mu m$  Schritten  
 bei 5000  $\mu m$  in sehr großen Schritten

- $\frac{N}{T} \geq 10000$
- Einzelmessung  $T < 400s$
- weiteren Absorber verwenden

b) Quelle: Co-60 mit  $\beta$ -Grenzenergie 310 keV und gammauntergehend

- Schritte bei Absorberdicken wesentlich kleiner
- $k = 17 \cdot E^{-1,43} \left[ \frac{cm^2}{g} \right]$   $W, E = [MeV]$   $R = [cm]$   $\rho = \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$   
 empirische Flammensfeld-Beziehung: (Reichweite)

$$W = 1,92 \cdot (R^2 \rho^2 + 0,22 \cdot R \rho)^{\frac{1}{2}}$$

## 1.5 Bestimmung der Aktivität von der Co 60-Quelle

Cu-Lochblende  $d = 16 \text{ mm}$ ,  $b = 3 \text{ mm}$  (bei allen Messungen)

Aus dem Zählraten und unter Berücksichtigung der Lochblende, der Untergrund  $\gamma$ -Strahlung und der Zählerverluste durch die Totzeit  $\tau$  ergibt sich die Aktivität  $A$ :

Aktivität auf Blendenfläche hochgerechnet auf Kugelfläche ergibt  $\times A$  der Quelle.

Wichtig ist aber auch die Effizienz des Geiger-Zählers.

## 1.6 Zeitintervallverteilungen

Poisson Verteilung:  $\lambda$ : Zählrate  $[\frac{1}{T}]$

$$P = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda}$$

$P$ : Wahrscheinlichkeit

$n$ : Anzahl

Man misst das Zeitintervall zwischen zwei Ereignissen und bestimmt die Häufigkeit von bestimmten Zeitintervallen.

## 2. $\gamma$ -Absorption

### 2.1 Massenabsorptionskoeffizienten

$\gamma$ -Strahler: Co-60

• Absorptionskoeffizient  $\mu$  bestimmen (siehe 0.)

• Halbwertsdicke:  $x$  durch  $\frac{I}{I_0} = 0,5$   $x = -\frac{\ln(0,5)}{\mu}$

Man misst die Zählrate (wahre Zählrate  $N' = \frac{N}{(1 - \frac{N\tau}{T})} = T \frac{N}{T - N\tau}$ )

• mit Absorber (verschiedene Dicken)

• ohne Absorber

### 2.2 Absorptionsserien

$$\frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - \frac{I}{I_0}$$

Messung wie bei 2.1

• verschiedene Absorber gleicher Dicke.