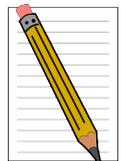


# Radioaktivität

In diesem Versuch experimentieren Sie mit  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen. Sie werden mit einem Geiger-Müller-Zählrohr untersuchen, wie groß die Reichweite dieser Strahlen ist und wie sie sich effektiv abschirmen lassen. Um die biologischen Wirkungen zu verstehen, ist es hilfreich, die atomaren Prozesse bei der Wechselwirkung zu kennen. Die Aktivität und die Strahlungsbelastung werden mit einem handelsüblichen Dosimeter ermittelt.

## Schriftliche VORbereitung:

- Aufbau des Periodensystem der Elemente, Durchmesser von Atomen und Atomkernen.
- Größenordnung der chemischen Bindungsenergie und der Kernbindungsenergie
- Wie entsteht  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - Strahlung? Welche Eigenschaften haben diese Strahlen?
- Welche Nachweismethoden existieren für radioaktive Substanzen?
- In welcher Einheit wird die Aktivität eines radioaktiven Präparates gemessen?
- Kann man mit einem Geiger-Müller-Zählrohr die Aktivität eines Präparates messen?
- Wie lautet das Zerfallsgesetz? (Zerfallskonstante, Halbwertszeit)
- Welche radioaktiven Nuklide werden in unserem Körper gespeichert?
- Um die biologische Wirkung abschätzen zu können, benutzt man die Größen:
  - (I) Ionendosis J,
  - (II) Energiedosis D,
  - (III) Äquivalentdosis H und
  - (IV) Äquivalentdosisleistung  $\dot{H}$ . Was versteht man darunter?



Die radioaktiven Präparate, die Sie hier im Praktikum benutzen, sind nach der Strahlenschutzverordnung für den Schulbetrieb zugelassen und werden jährlich überprüft.

## Literatur

Schulbücher: Dorn/Bader und Metzler; Physik, Oberstufe

Hier finden Sie alles, was zur Vorbereitung wichtig ist. Bilder und Versuche sind aus diesen beiden Schulbüchern entnommen worden.

Hering/Martin/Stohrer; Physik für Ingenieure; VDI Verlag

Das Buch gibt auch einen kurzen Überblick zu den vielfältigen Anwendungen in Medizin und Technik.

Demtröder, Experimentalphysik, Bd. 3 und 4

Weitere nützliche Hinweise: <http://www.bfs.de> (bfs: Bundesamt für Strahlenschutz)

## Wussten sie schon?

Die *natürliche* Strahlenbelastung eines Menschen beträgt in der Bundesrepublik in etwa 2,4 mSv/a.

Den größten Anteil, 1,4 mSv/a, inhalieren wir mit dem Radon, das überall in der Atmosphäre vorhanden ist. Die terrestrische Strahlung von Böden, Gesteinen und die kosmische Strahlung aus dem Weltraum bewirken etwa 0,7 mSv/a.

Schließlich nehmen wir mit jedem Kilogramm Nahrung radioaktive Nuklide mit ca 100 Bq zu uns, die resultierende Dosis daraus beträgt ca 0,3 mSv/a

Da die radioaktive Substanzen einige Zeit im Körper verbleiben, beträgt die Gesamtaktivität eines erwachsenen Menschen selbst etwa 9000 Bq.

In einem Jahr absorbiert 1 kg unseres Körpergewebes im Mittel  $2,4 \times 10^{-3}$  J durch diese Strahlenbelastung. In 1 s daher  $2,4 \times 10^{-3} \text{ J} / 3,15 \times 10^7 = 0,76 \times 10^{-10} \text{ J}$ . (1 Jahr =  $3,15 \times 10^7$  s)

Für 1 Ionisation eines Moleküls werden ca.  $50 \times 10^{-19} \text{ J} (\approx 30 \text{ eV})$  gebraucht.

In 1 kg unseres Körpergewebes werden also in jeder Sekunde im Mittel mehr als

10 000 000 Ionenpaare

( $76 \times 10^{-12} \text{ J} / 50 \times 10^{-19} \text{ J}$ ) gebildet. Auch wenn dies nur eine grobe Abschätzung ist; unsere Zellen müssen über eine Vielfalt von Mechanismen verfügen, die der Fehlerbeseitigung dienen.

## 1 Grundlagen

### Was passiert im Geiger-Müller-Zählrohr?

Ein Geiger-Müller-Zählrohr ist mit Edelgas (Argon bei 100 mPa) und einem Löschgas (Ethanol) befüllt. Durch das  $\mu\text{m}$ -dünne Glimmerfenster gelangen die Strahlen ohne großen Energieverlust.

Die  $\gamma$ -Strahlen schlagen beim Auftreffen auf die Kathode Elektronen heraus, die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen ionisieren Gasatome im Inneren und erzeugen so ebenfalls Elektronen.

Diese freien Elektronen werden zur Anode hin stark beschleunigt und erzeugen durch Stoßionisation sofort weitere Ionen und freie Elektronen. Es entsteht eine lawinenartige Gasentladung, die sich schnell längs der Anode ausbreitet und diese einhüllt. Da die Elektronen wegen ihrer geringen Masse wesentlich beweglicher sind als die Ionen, wandern Sie schneller zur Anode als die Ionen zur Kathode. Eine Elektronenlawine strömt zur Anode.

Die trägen Ionen bilden dagegen zunächst eine positive Raumladung aus um die Anode aus, schirmen sie ab und verhindern damit, dass sich eine neue Elektronenlawine entwickeln kann. Während dieser *Totzeit* spricht das Zählrohr auf weitere einfallende Strahlung nicht an.

Ohne Löschgas würden die Ionen die Kathode nach etwas  $10^{-4}$  s erreichen und bei ihrem Aufschlagen wieder freie Elektronen erzeugen und damit eine weitere Gasentladung auslösen. Mit dem Löschgas wird dies unterbunden. Die Ionen

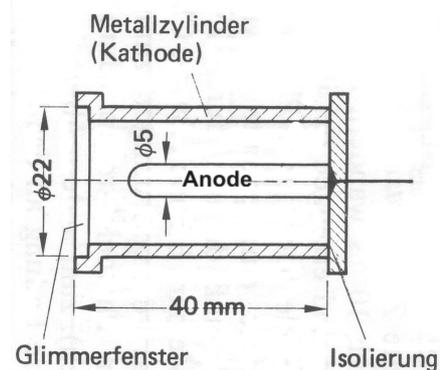


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Geiger-Müller-Zählrohrs

übergeben auf ihrem Weg zur Kathode durch Stoß ihre Ladung dem Löschgas. Wenn sich diese großen, langsamen Moleküle an der Kathode entladen, werden keine Sekundärelektronen mehr erzeugt.

## Wie wird gemessen?

Die Elektronenlawine (etwas  $10^9$  Elektronen) aus der Gasentladung fließen über den Widerstand  $R \approx 10 \text{ M}\Omega$  und erzeugt an ihm eine Spannung, die einem Verstärker zugeführt und mit einem Lautsprecher oder Zähler registriert wird. Mit jedem Spannungsimpuls wird die Zähleranzeige um 1 erhöht.

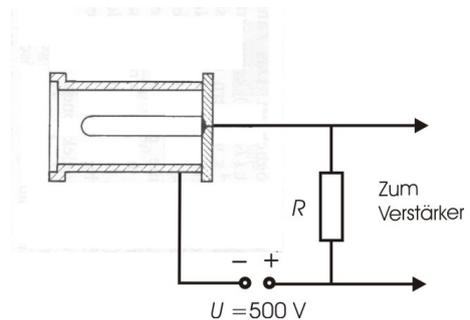


Abbildung 2: Schaltbild

## Was messen Sie?

$$z = \frac{Z}{t} \quad \text{Zählrate}$$

cps

$$\Delta Z = \pm \sqrt{Z}$$

$$\Delta Z/Z = \sqrt{Z}/Z = 1/\sqrt{Z}$$

Mit dem Zählrohr messen Sie die Impulszahl  $Z$  in der Zeit  $t$ :

Die Zählrate  $z$  wird hier im Versuch in *counts per seconds* angegeben. Da die Zählrate auch vom verwendeten Zählrohr und der Geometrie des Aufbaus abhängt, ist sie proportional zur Aktivität der Quelle.

counts per seconds

*Messabweichung* von der gemessenen Impulszahl  $Z$  (unabhängig von der Zeit)

relative Messabweichung.

Da jedes Zählrohr trotz Bleiabschirmung der stets vorhandenen Umgebungs- und Höhenstrahlung den „Nulleffekt“  $Z_0$  registriert, ist die Radioaktivität eines zu messenden Präparates durch die Differenz der Zählraten anzugeben:

$$z = Z_m/t_m - Z_0/t_0; \quad Z_m : \text{gemessene Impulszahl in der Zeit } t_m \text{ mit Präparat}$$

$$Z_0 : \text{gemessene Impulszahl in der Zeit } t_0 \text{ ohne Präparat}$$

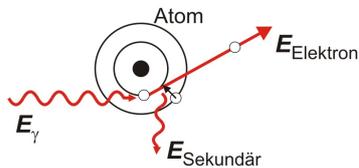
$$\Delta z = \Delta z_m + \Delta z_0 = \frac{\sqrt{Z_m}}{t_m} + \frac{\sqrt{Z_0}}{t_0} \quad \text{ist die Messabweichung, wenn man die der Zeitmessung vernachlässigt.}$$

Will man eine Genauigkeit von 1% erreichen, so muss man wegen  $\frac{\Delta z}{z} \approx \frac{\Delta Z_m}{Z_m} = \frac{1}{\sqrt{Z_m}} = 0,01$  mindestens 10.000 Impulse registrieren, für 10% Genauigkeit reichen bereits ... Impulse aus. Bei großen Zählraten werden schnell hintereinander folgende Teilchen infolge der Totzeit nur als ein Impuls registriert. Bei Zählraten  $z < 1000$  cps beträgt der Verlust der im Praktikum verwendeten Zählrohren jedoch weniger als 1%, der Effekt kann daher bei den Messungen hier vernachlässigt werden.

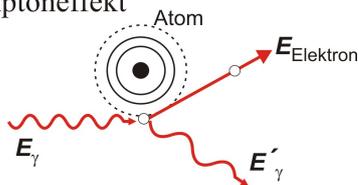
## Wie verliert die $\gamma$ -Strahlung ihre Energie?

Für die Wechselwirkung von  $\gamma$ -Strahlen mit Materie gibt es im wesentlichen drei Prozesse:

### Fotoeffekt



### Comptoneffekt



### Paarbildungseffekt

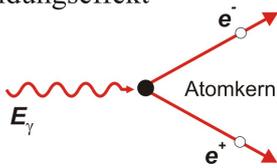


Abbildung 3: Wechselwirkungen von  $\gamma$ -Strahlen

(I) Beim *Fotoeffekt* gibt das  $\gamma$ -Quant seine gesamte Energie an ein gebundenes Elektron ab. Das  $\gamma$ -Quant wird von dem Atom absorbiert und ein Elektron aus dessen Hülle ausgeschlagen. Die Energie  $E_{Elektron}$  dieses Fotoelektrons ist gleich der Energie  $E_\gamma$  des  $\gamma$ -Quants vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons. Besonderes Merkmal des Fotoeffekts ist das Auftreten starker Absorptionsmaxima für  $\gamma$ -Quanten, deren Energie gleich der Bindungsenergie der Elektronen in den jeweiligen Schalen ist.

(II) Beim *Comptoneffekt* gibt das  $\gamma$ -Quant nur einen Teil seiner Energie an ein äußeres, fast freies Elektron des Atoms ab. Das  $\gamma$ -Quant wird an dem Elektron gestreut und ändert seine Richtung. Die Größe der Energieübertragung zwischen  $\gamma$ -Quant und Elektron ist abhängig von der Richtung, in die das  $\gamma$ -Quant gestreut wird.

(III) Wenn die Energie des  $\gamma$ -Quants größer als die zweifache Ruheenergie  $E = 2 m_e c^2 = 1,02 \text{ MeV}$  des Elektrons, so kann Paarerzeugung stattfinden, d.h. das  $\gamma$ -Quant erzeugt ein Elektron-Positron-Paar. Diese Reaktion ist jedoch nur im Coulomb-Feld eines Atomkerns möglich, da sonst nicht gleichzeitig der Energie- und der Impulserhaltungssatz ihre Gültigkeit behalten würden.

Im Umgang mit radioaktiven Substanzen ist **äußerste Vorsicht** geboten.  
Der beste Schutz ist großer Abstand.

## Absorptionsgesetz

Durchdringt ein  $\gamma$ -Strahl Materie, so wird seine Intensität mit wachsender Schichtdicke immer kleiner. Die  $\gamma$ -Strahlung der Eingangsintensität  $I_0$  (Abb. 4) habe nach der Strecke  $x$  noch die Intensität  $I(x)$ . In der folgenden dünnen Schicht der Dicke  $\Delta x$  führt ein im Vergleich zu  $I(x)$  kleiner Anteil  $\Delta I$  der Photonen einem der drei oben genannten Prozesse zufallsbedingt durch und scheidet damit aus dem Strahlquerschnitt aus. Dabei gilt, dass  $-\Delta I$  proportional zu  $I(x)$  und  $\Delta x$  ist, also  $\Delta I = -\mu I(x) \Delta x$  mit  $\mu$ : Absorptionskoeffizient, der sowohl vom Material als auch von der Energie der  $\gamma$ -Strahlung abhängig ist.

Die Lösung dieser Differentialgleichung ist die unter Abb. 4 angegebene Exponentialfunktion.

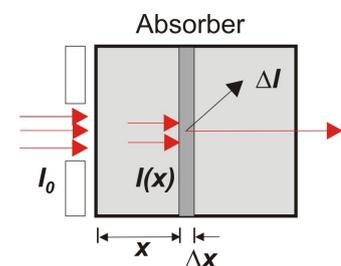


Abbildung 4:  $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$

Anschaulicher als der Absorptionskoeffizient und auch leichter zu merken ist die Halbwertsdicke. Sie gibt an, nach welcher Schichtdicke sich die Intensität halbiert hat.

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad \text{Halbwertsdicke}$$

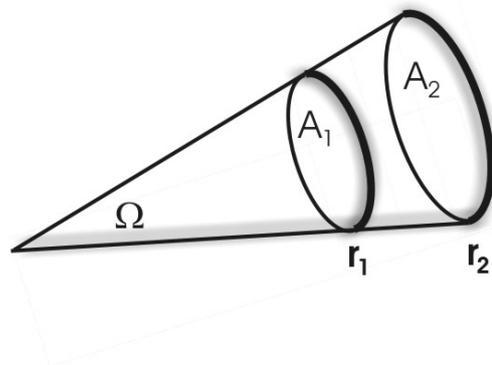
Absorbermaterial	Halbwertsdicke in cm		
	0,1 MeV	1 MeV	10 MeV
<b>Blei</b>	0,01	1,1	1,2
<b>Wasser</b>	4	10	30
<b>Luft</b>	3500	8200	29000

**Tabelle 1:** Halbwertsdicken für  $\gamma$ -Strahlen verschiedener Energien

## Abstandsgesetz

Die Strahlung wird von den radioaktiven Atomen im Mittel in alle Raumrichtungen abgestrahlt. Ein Bruchteil davon wird in den Raumwinkel  $\Omega$  ausgesandt. Die Anzahl  $N$  der Teilchen, welche die im Abstand  $r_1$  und  $r_2$  liegenden Flächen  $A_1$  und  $A_2$  durchsetzen, ist gleich; sie verteilen sich aber mit größerem Abstand  $r$  auf eine immer größere Fläche.

Wegen  $A_1 = \Omega r_1^2$  und  $A_2 = \Omega r_2^2$  ist der Teilchenstrom  $I$  (= Zahl  $N$  der durch eine Fläche  $A$  pro Zeiteinheit hindurchtretende Teilchen) umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung Quelle/Empfänger.



**Abbildung 5:**  $I = \text{const.}/r^2$

## Zerfallsgesetz

Die Atomkerne senden die Strahlung in unregelmäßigen, zufallsbedingten Abständen aus. Aber obwohl Atomkerne stochastisch zerfallen, kann man dennoch eine Gesetzmäßigkeit angeben:

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

Zur Zeit  $t = 0$  sei die Anzahl der Kerne  $N_0$ . Nach der Zeit  $t$  sind dann  $N(t)$  Atomkerne noch nicht zerfallen. Den Zusammenhang zwischen der Zerfallskonstanten  $\lambda$  und der Halbwertszeit  $T_{1/2}$  kann man mit nachstehender Überlegung herleiten:

$$N(T_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2} N_0.$$

$$\text{Es ist } T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}.$$

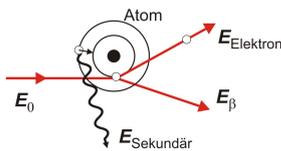
Im Umgang mit radioaktiven Substanzen ist **äußerste Vorsicht** geboten.

Der beste Schutz ist großer Abstand.

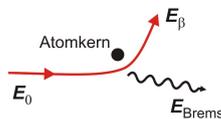
### Wie weit kommen $\beta$ -Strahlen?

Die  $\beta$ -Teilchen (Elektronen) werden in Materie durch Stöße an Elektronen oder durch die Coulomb-Wechselwirkung mit dem Kern abgebremst.

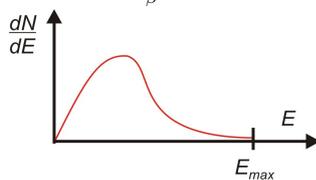
Ionisationsbremsung



Strahlungsbremsung



**Abbildung 6:** Ein  $\beta$ -Teilchen mit der Energie  $E_0$  hat nach dem Wechselwirkungsprozess nur noch die geringere Energie  $E_\beta$ .



**Abbildung 7:** Energiespektrum eines  $\beta$ -Strahlers

*Ionisationsbremsung:* Bei der Wechselwirkung mit einem Hüllenelektron wird das getroffene Atom *angeregt* oder *ionisiert*. Bei jedem Stoß verliert das  $\beta$ -Teilchen einen Teil seiner Energie und wird dabei selbst abgelenkt.

Energie der $\beta$ -Teilchen	Ionenpaare in Luft pro $\text{mm}^3$
10 keV	250
100 keV	15
1000 keV	4

Wird ein Atom ionisiert, so lagert sich das weggeschlagene Elektron an ein neutrales Atom an, es entstehen Ionenpaare.

*Strahlungsbremsung:* Bei der Wechselwirkung mit einem Atomkern (unelastische Streuung) wird das  $\beta$ -Teilchen stark abgelenkt. Es emittiert dabei die typische *Bremsstrahlung* (Röntgenstrahlung) und verliert selbst Bewegungsenergie.

Natürliche  $\beta$ -Strahler besitzen keine diskrete Energieverteilung, sondern ein nach höheren Energien abfallendes Kontinuum mit endlicher Maximalenergie. Deswegen und infolge der Vielfachstreuung haben sie auch keine definierte Reichweite; man kann nur eine *maximale Reichweite* in Materie angeben. In erster Näherung ist diese Reichweite proportional zur Anfangsenergie und natürlich abhängig vom Absorbermaterial.

Die Reichweite von $\beta$ -Teilchen beträgt in		
Luft	Körpergewebe	Blei, Aluminium
bis zu einigen Metern	einige Zentimeter	nur Millimeter

Diese Prozesse finden ständig auch in unserem Körpergewebe statt. Durch die Umgebungsstrahlung werden die Moleküle und Atome in den Zellen lokal ionisiert oder angeregt. Wird dabei z.B. ein Elektron herausgeschlagen, das die chemische Bindung eines Moleküls herstellt, so zerbricht das Molekül. Da eine Zelle zu ca. 80% aus Wasser besteht, entstehen zumeist H- und OH-Radikale. Diese Radikale sind chemisch extrem aktiv, sie lagern sich sofort anderen Molekülen an. Die Struktur und Funktion eines betroffenen Moleküls wird dadurch verändert oder zerstört. Verliert nur eine Zelle dabei ihre Wachstumsregulation, so kann unregelmäßiges Wachstum beginnen. So entsteht ein Tumor und im bösartigen Fall Krebs. Reagieren die Radikale mit der DNA, kann die Zelle abgetötet werden. Noch kritischer wird es, wenn dabei eine Mutation ausgelöst wird. Trifft es eine Keimzelle, so ist diese eine Mutation später in allen Tochterzellen zu finden. Der Schaden kann dann bei den Nachkommen Erbkrankheiten (z.B. Leukämie) hervorrufen.

## 2 Experimente

**Achten Sie bitte bei ihren Messungen darauf, die am Arbeitsplatz ausliegenden Plattensätze nicht durcheinander zu bringen!**

### Erste Messung

Zählgerät einschalten, Zeit auf  $\infty$ . Stellen Sie das Cs-Präparat (vom Assistenten) unter das Zählrohr (s. Abb. 8a) und regeln Sie die Betriebsspannung für das Zählrohr langsam hoch.

Bei etwa 400 V spricht das Zählgerät an, der Lautsprecher (buzzer) fängt an zu knacken. Die Spannung wird leider nicht angezeigt, nur die Impulszahl erscheint auf dem Display. Drehen Sie bitte den Spannungsregler noch um eine viertel Umdrehung weiter und lassen Sie ihn so für alle weiteren Versuche unverändert. Die Messzeit lässt sich am Zählgerät fest vorgeben.

(M1) Testen Sie verschiedene Zeiten aus.

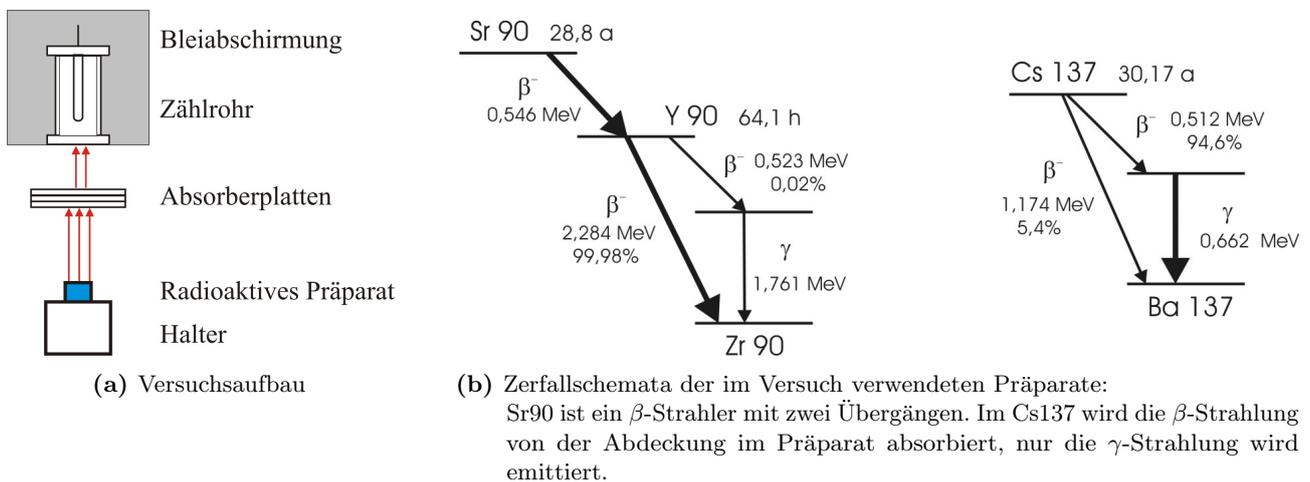


Abbildung 8: Aufbau und Zerfallsabläufe im Versuch

### Bestimmung des Nulleffekts

Die Messung führen Sie am besten während des Haupttestats durch. Stellen Sie bitte alle Präparate zurück in den Schrank. Die Messung soll mit 10% Genauigkeit erfolgen. Wie erreichen Sie diese Genauigkeit?

Da Ihr Messwert von der Größe, Empfindlichkeit und Abschirmung des benutzten Geiger-Müller-Zählrohrs abhängig ist, sagt er nichts aus über die im Raum tatsächlich vorhandene Radioaktivität. Allein das in der Luft überall vorhandene Radon führt zu etwa  $15 \text{ Bq/m}^3$  im Freien und zu  $50 \text{ Bq/m}^3$  in Gebäuden.

(M2) Bestimmen Sie den Nulleffekt.

## Absorptionsgesetz für $\gamma$ -Strahlen

Zwischen Quelle (Cs137) und Zählrohr werden in einem Halter Absorberplatten eingesetzt und die Zählrate als Funktion der Gesamtdicke gemessen. Messen Sie dazu jeweils die Dicke der einzelnen Platten mit der Schieblehre.

Bitte bestimmen Sie die Zählrate

(M3) zunächst ohne Absorber und

(M4) danach mit Blei, Messing oder Kupfer als Absorbermaterial.

Messen sie in 2 mm Abständen bis zu einer Gesamtdicke von 12 mm.

Die Messabweichung soll für alle Messungen  $\leq 4\%$  betragen. (Messen sie also min. 625 Impulse.)

Dicke $x$ der Platten in mm	$t_m$ Messzeit in Sekunden	$Z_m$ Impulse in der Zeit $t_m$	$z_m = \frac{z_m}{t_m}$ in cps	$\Delta z_m = \frac{\sqrt{Z_m}}{t_m}$	$z = z_m - z_{Null}$	$\Delta z = \Delta z_m + \Delta z_{Null}$

**Auswertung** Die Zählrate  $z$  ist proportional der Intensität  $I$ ; also gilt analog zum Absorptionsgesetz:

$$z(x) = z_0 e^{-\mu x}$$

$z_0$  ist die Zählrate ohne Platten, also  $z$  für  $x = 0$ .

(A1) Stellen Sie bitte Ihre Messwerte  $z = z(x)$  dar – wie immer mit Fehlerbalken. Führen Sie eine Fitanalyse durch.

Wie groß ist der Absorptionskoeffizient  $\mu$  und wie groß die Halbwertsdicke  $d_{1/2}$ ?

## Vergleich verschiedener Absorber

(M5) Messen Sie für eine Schichtdicke von 6 mm die Impulsraten für drei weitere Absorber. Sie können zwischen Aluminium, Eisen, Kupfer, Holz, Kunststoff und Papire wählen.

(A2) Tragen Sie Ihre Messwerte in das vorherige Diagramm mit ein.

## Abstandsgesetz für $\gamma$ -Strahlung

Das Cs-Präparat wird in den Verschiebereiter auf der optischen Bank gesteckt.

(M6) Bestimmen Sie die Impulsrate zuerst mit dem Präparat direkt vor dem Bleiturm und danach für fünf weitere Abstände, jedoch maximal 10 cm. Nutzen Sie für diesen Versuch die 60 s-Einstellung des Zählgeräts.

(A3) Welchem Gesetz sollten Ihre Messwerte folgen? Verifizieren Sie dies mittels einer Fitanalyse.



## Reichweite von $\beta$ -Strahlen

Verwenden Sie als Quelle das Sr90-Präparat und als Absorbermaterial Pappe, Plastik oder Papier. Das war es mit diesem Versuchsaufbau: Bevor Sie das Zählgerät ausschalten, Spannung zurück regeln.

(M7) Durchführung wie unter Aufgabe (M3) und (M4)

Führen Sie eine Fitanalyse durch. Ab welcher Absorberdicke sind die Zählraten nicht mehr von der Nullrate zu unterscheiden?

(A4) Wie groß ist die maximale Reichweite dieser  $\beta$ -Strahlen in den Absorbern?

Bevor Sie das Zählgerät ausschalten, Spannung zurückregeln.

## Von Becquerel (Bq) zu Sievert (Sv): Wie geht das?

Handelsübliche Strahlungsmessgeräte geben oft das Messergebnis auch in der Einheit  $\mu\text{Sv}$  oder  $\text{mSv}$  an, obwohl sie mit dem eingebauten Zählrohr auch nur Impulse registrieren. Wie lässt sich das umrechnen?

Ein punktförmiges  $\gamma$ -Präparat der Aktivität  $A$ , dessen Strahlung nicht absorbiert oder gestreut wird, erzeugt im Abstand  $r$  die *Äquivalentdosisleistung*

$$\dot{H} = \frac{\Delta H}{\Delta t} = \Gamma \frac{A}{r^2} \quad (1)$$

Die Größe  $\Gamma$  *Dosisleistungskonstante* in  $\text{Sv m}^2/\text{h/Bq}$  ist energieabhängig (Tabelle).

Radionuklid	$\Gamma$ in $\frac{10^{-3} \text{ Sv m}^2}{1 \times 10^9 \text{ h Bq}}$
Na-22	0,321
Co-60	0,350
Cs-137	0,088
Ra-226	0,225

### Beispiel:

Sie setzen sich 2 Stunde lang in 0,5 m Abstand vor ein Cs-137 Präparat der Aktivität  $3,7 \times 10^6 \text{ Bq}$ . Welche Äquivalentdosis erhalten Sie?

$$\Delta H = 0,088 \cdot \frac{10^{-3} \text{ Sv m}^2}{1 \times 10^9 \text{ h Bq}} \cdot \frac{3,7 \times 10^6 \text{ Bq}}{(0,5 \text{ m})^2} \cdot 2 \text{ h.}$$



## Wie groß ist die Aktivität?

Bestimmen Sie mit dem Messgerät *Gamma-Scout* die Äquivalenzdosisleistung:

(M8)  $\dot{H}_0$ - am Messplatz zunächst ohne Präparat und dann

(M9)  $\dot{H}_1$ - in 0,1 m Abstand vor dem Cs-137 Präparat.

Überlegen Sie sich hierfür einen sinnvollen Versuchsaufbau. Der *Gamma-Scout* sollte mindestens eine Minute bestrahlt werden.

(A5) Berechnen Sie die Aktivität  $A$  des Präparates nach Gl. (1).

(A6) Für die Aktivität eines Präparates gilt analog zum Zerfallsgesetz  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$ .

Das Cs-Präparat wurde im März 1987 mit einer Aktivität  $A = 74 \text{ kBq}$  angeschafft. Welche Aktivität  $A$  erwarten Sie nach dem Zerfallsgesetz im März diesen Jahres?

Die Halbwertszeit von Cs-137 beträgt 30,17 a.

**Denken Sie bitte daran, dem Assistenten die Präparate sortiert zurückzugeben sowie Ihren Arbeitsplatz auszuräumen und die Stühle hochzustellen!**

