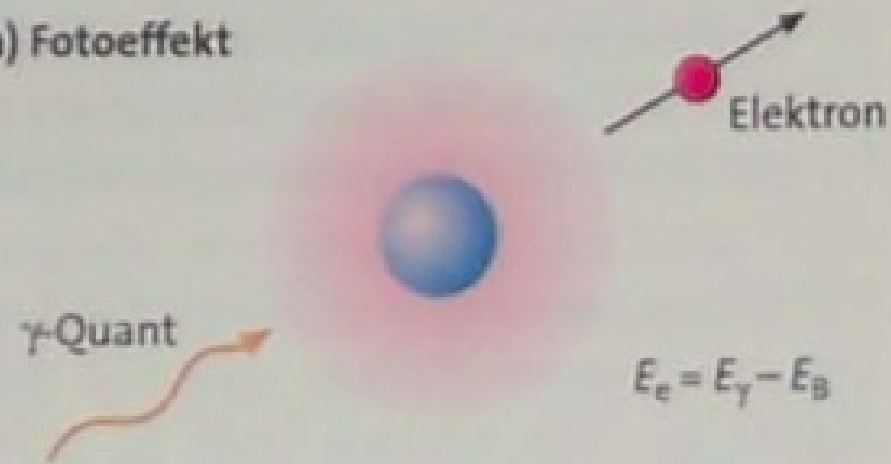


# Energieabgabe von $\gamma$ -Quanten

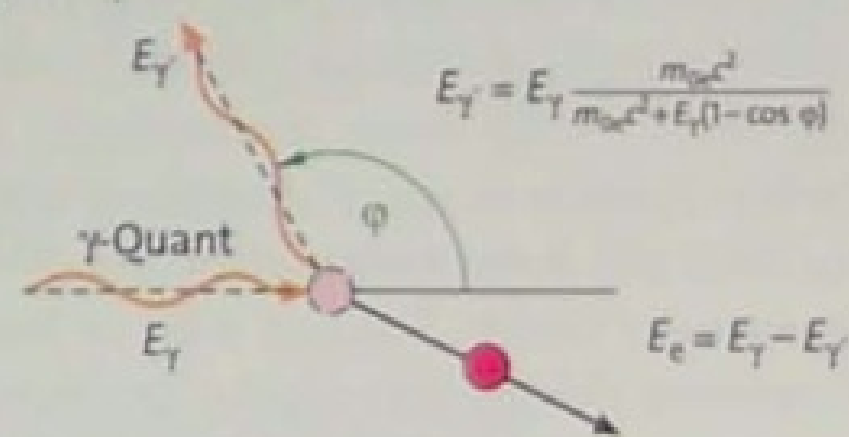
492.1 Die Wechselwirkung der  $\gamma$ -Strahlung mit Materie in einer modellhaften Darstellung:

- a) Beim Fotoeffekt überträgt das  $\gamma$ -Quant seine gesamte Energie auf das Elektron.  
 b) Beim Compton-Effekt hängt der abgegebene Energiebetrag vom Streuwinkel ab.  
 c) Paarerzeugung tritt erst ein, wenn das Quant mindestens die zweifache Ruhenergie des Elektrons besitzt.

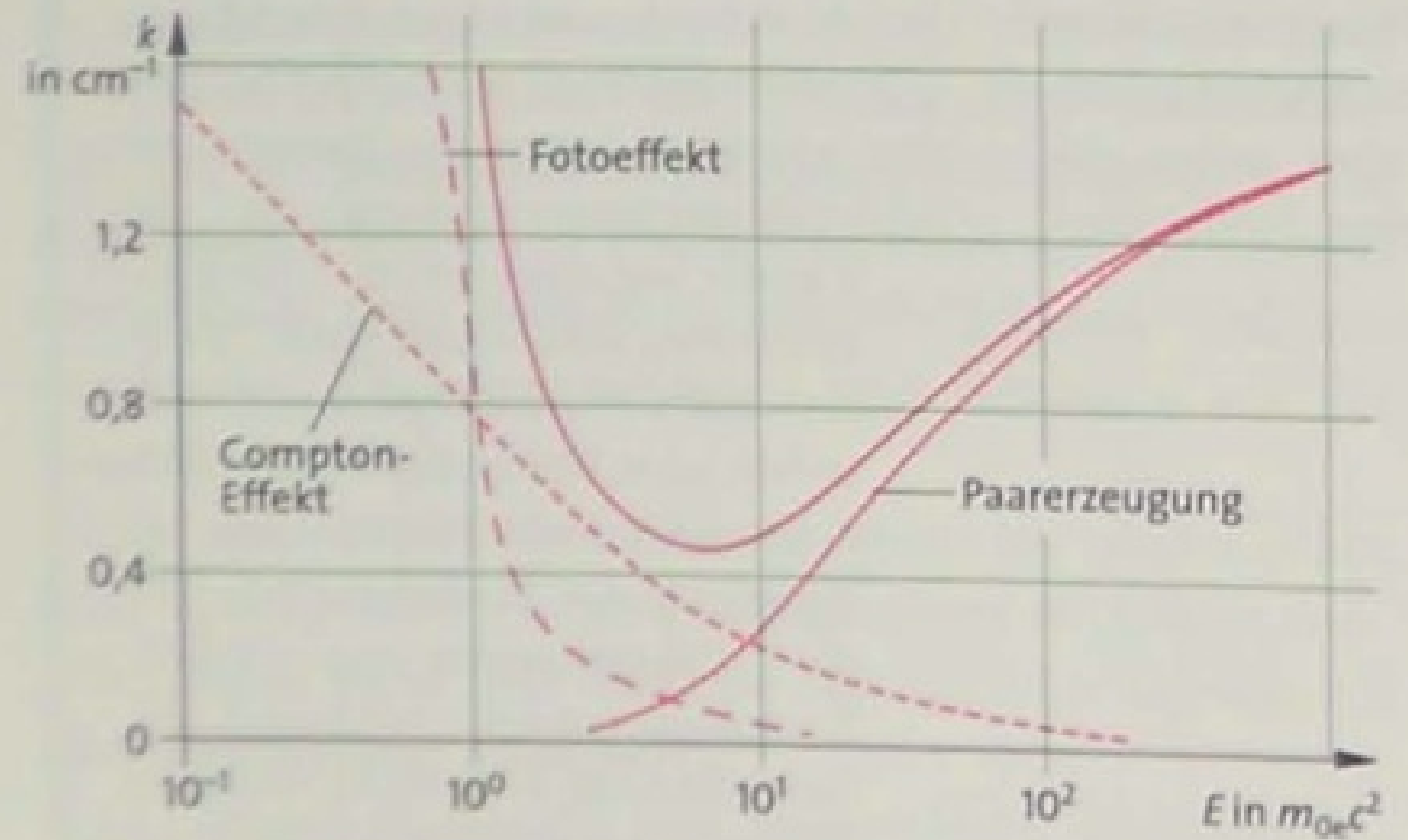
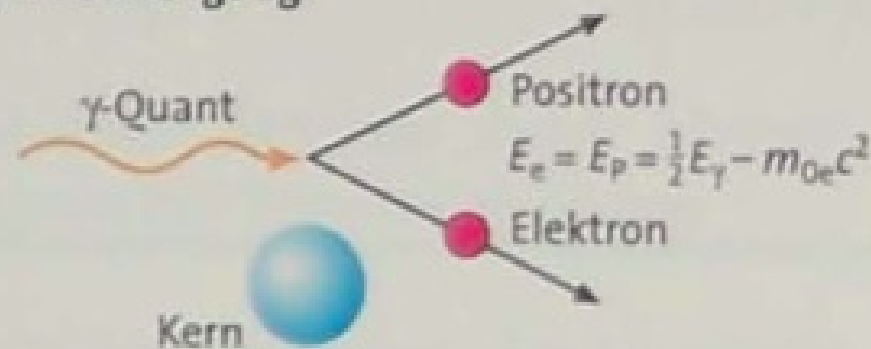
a) Fotoeffekt



b) Compton-Effekt



c) Paarerzeugung



492.2 Der Absorptionskoeffizient  $k$  für  $\gamma$ -Strahlung in Blei (durchgezogene Kurve) besteht aus den drei Anteilen Fotoeffekt, Compton-Effekt und Paarerzeugung

# Dosimetrie

Präsentation: siehe Moodle



## Radioaktive Strahlung

2.1 Radioaktive Strahlung kann z. B. mit einer Zählrohrröhre nachgemessen werden. Die Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau.

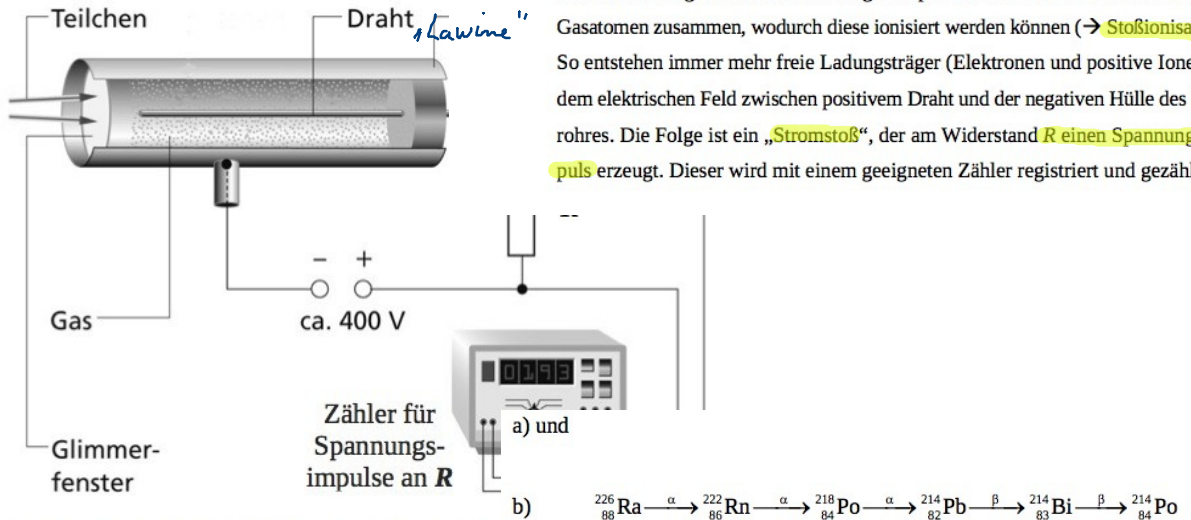
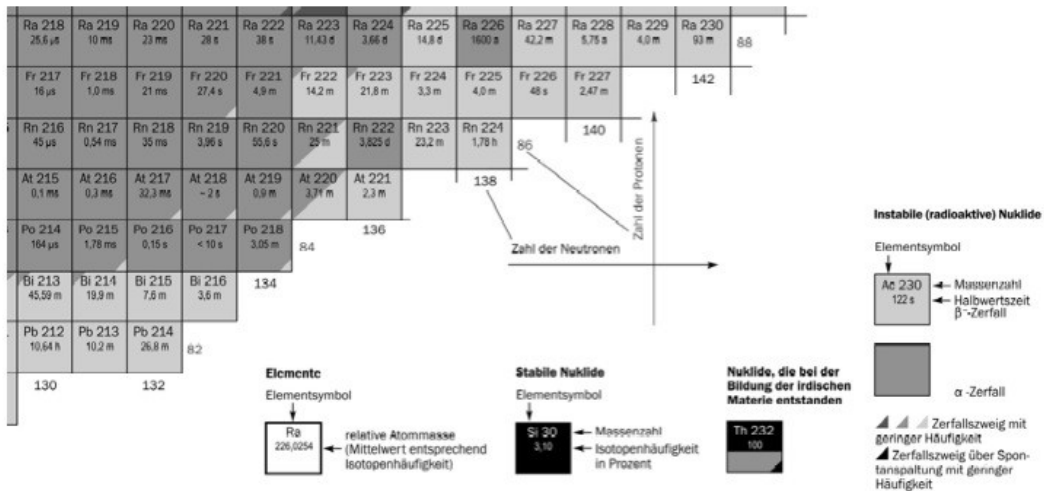


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohres (Quelle: Physik Oberstufe, Cornelsen Verlag, Berlin 2008, leicht geändert)

Erläutern Sie unter Bezug auf die vorgegebene Skizze die prinzipielle Funktionsweise eines solchen Geiger-Müller-Zählrohres. (6 Punkte)

2.2 Im vorgeführten Versuch wird ein Radium-226-Präparat verwendet.



Nach: G. Pfennig, H. Klewe-Nebenius, W. Seelmann-Eggebert: Karlsruher Nuklidkarte. 6. Aufl. 1995, Copyright by Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Abbildung 2: Ausschnitt aus einer Nuklidkarte (Quelle: Das große Tafelwerk, Volk und Wissen Verlag, Berlin 2002, leicht geändert)

- Ermitteln Sie anhand der beigefügten Nuklidkarte (Abbildung 2) die weitere Zerfallsreihe vom Ra 226 über die diversen Zerfallsprodukte bis hin zu Po 214.
- Geben Sie für jeden Zerfall auch die Zerfallsart an.

**Hinweis:** Sie können Ihre Darstellung zu Teilaufgabe a) entsprechend ergänzen.





Nach  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Zerfällen befinden sich die Tochterkerne vieler Nuklide zunächst noch in einem energetisch angeregten Zustand. Von diesem angeregten Zustand aus gehen die Tochterkerne dann unter Aussendung von  $\gamma$ -Strahlung in ihren jeweiligen Grundzustand über. Dies erfolgt zum Teil auch in mehreren Schritten, sodass mehrere  $\gamma$ -Quanten mit jeweils unterschiedlichen Energiewerten abgestrahlt werden.

- c) Erläutern Sie, wieso das Ra-226-Präparat (genau  $\gamma$ -Strahlung zahlreicher unterschiedlicher Energien) dem in Abbildung 2 wiedergegebenen Ausschnitt einer Nuklidkarte nur  $\alpha$ - und  $\beta$ -Zerfälle dargestellt werden. (9 Punkte)

2.3 Um sich vor radioaktiver Strahlung zu schützen, kann man unter anderem einen möglichst großen Abstand von der Strahlungsquelle halten. Zu überprüfen ist somit, ob der Quotient  $\frac{Z}{r^2}$ , also das Produkt  $Z \cdot r^2$ , für alle

Das verwendete Ra-226-Präparat, sendet  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung aus. Wird aber durch ein Blatt Papier zwischen Präparat und Zählrohr eine Messung durchgeführt, wird die Zählrate  $Z$  in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  zwischen Präparat und Zählrohr gemessen. Folgende Messwerte wurden ermittelt:

Messwerte ungefähr konstante Ergebnisse liefert:

| Abstand $r$ in cm              | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 8     | 10    | 12    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Zählrate $Z$ pro 100 s         | 6277  | 2913  | 1710  | 1102  | 748   | 415   | 261   | 174   |
| $Z \cdot r^2$ in $\text{cm}^2$ | 25108 | 26217 | 27360 | 27550 | 26928 | 26560 | 26100 | 25056 |

| Abstand $r$ in cm      | 2    | 3    | 4    | 5    |
|------------------------|------|------|------|------|
| Zählrate $Z$ pro 100 s | 6277 | 2913 | 1710 | 1102 |

b) Die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft beträgt deutlich weniger als 10 cm. Ohne Papierabschirmung tragen daher bei geringen Abständen alle drei Strahlungskomponenten zur Zählrate bei, während bei größeren Abständen nur noch die  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung registriert werden. Wegen des hohen Anteils an  $\alpha$ -Strahlung würden die Zählraten ohne Papierabschirmung bei kleinen Abständen also deutlich größer sein, während sie ab ca. 5 bis 8 cm gleich den Zählraten mit der Papierabschirmung sein würden. (Die Papierabschirmung hat auf die  $\beta$ - und die  $\gamma$ -Strahlung nahezu keine Auswirkung.) Ohne die Papierabschirmung würde die Verringerung der Zählraten also nicht ausschließlich auf dem geometrisch bedingten Abstandseffekt, sondern im Hinblick auf die  $\alpha$ -Strahlung auch auf der Absorption in der Luft beruhen, welche für  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung fast keine Rolle spielt. Es würde sich daher kein quadratisches Abstandsgesetz ergeben.

(Die Zählraten sind bereits um die Nullrate reduziert.)

- a) Zeigen Sie mit Hilfe der Messwerte, dass der Zusammenhang zwischen Zählrate  $Z$  und dem Abstand  $r$  (näherungsweise) durch die Beziehung  $Z \sim \frac{1}{r^2}$  beschrieben werden kann, und erläutern Sie Ihr Vorgehen.  
 b) Erläutern Sie, wie sich ein Verzicht auf die Abschirmung auf die Messergebnisse auswirken würde. Gehen Sie auf die physikalischen Ursachen für diese Auswirkungen ein.

a) Die Halbwertsdicke ist die Dicke, die ein Absorbermaterial haben muss, um die Intensität einer bestimmten Strahlung auf die Hälfte zu reduzieren.

b) Die Halbwertsdicke hängt ab von der Energie der Strahlung sowie vom Material, aus dem der Absorber besteht.

c) Aus  $Z(d_{1/2}) = Z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d_{1/2}} = \frac{Z_0}{2}$  folgt  $e^{-\mu \cdot d_{1/2}} = \frac{1}{2}$  und nach logarithmieren

$$\ln(e^{-\mu \cdot d_{1/2}}) = \ln\left(\frac{1}{2}\right), \text{ also } -\mu \cdot d_{1/2} = \ln 1 - \ln 2 = 0 - \ln 2 = -\ln 2,$$

und somit gilt  $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$ .

2.4 Zum Schutz vor  $\gamma$ -Strahlung sollten wegen ihrer großen Reichweite in Luft geeignete Absorber verwendet werden. Für die Absorption (monoenergetischer)  $\gamma$ -Strahlung durch Materie gilt das Absorptionsgesetz:  $Z(d) = Z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$ .

( $Z_0$ : Zählrate, die ohne Absorber registriert wird)

$Z(d)$ : Zählrate, die nach Durchdringen eines Absorbers der Dicke  $d$  noch registriert wird

$\mu$ : Absorptionskoeffizient)

- a) Erläutern Sie den Begriff der Halbwertsdicke  $d_{1/2}$ .  
 b) Geben Sie zwei Faktoren an, die Einfluss auf die Halbwertsdicke haben.  
 c) Leiten Sie ausgehend vom Absorptionsgesetz die Beziehung  $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$  zwischen der Halbwertsdicke  $d_{1/2}$  und dem Absorptionskoeffizienten  $\mu$  her. (10 Punkte)



2.5 Mit Hilfe des in Abbildung 3 dargestellten Versuchs soll nun gezeigt werden, dass für die monoenergetische  $\gamma$ -Strahlung eines Cäsium-137-Präparats das in Teilaufgabe 2.4 angegebene Absorptionsgesetz gilt.

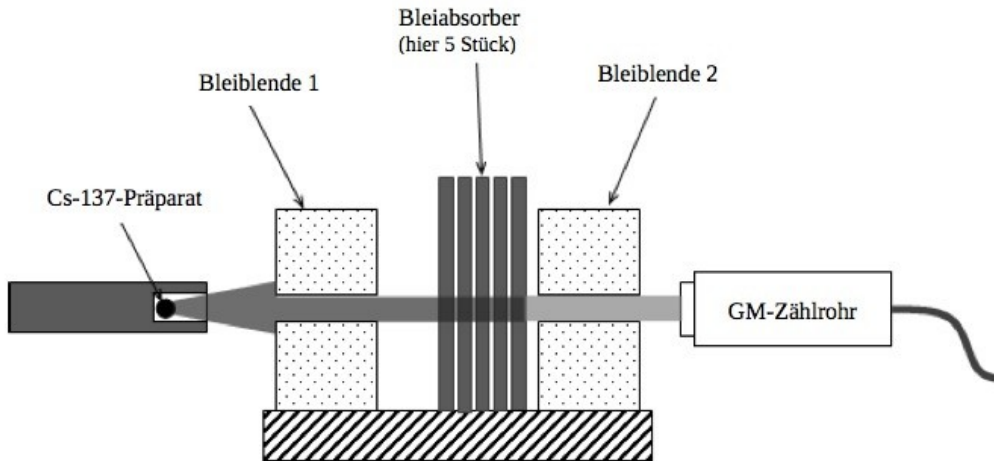


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Absorption von  $\gamma$ -Strahlung

**Hinweise:** Cs 137 sendet  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung aus, aufgrund der Bauart der Umhüllung des Präparates tritt allerdings keine  $\beta$ -Strahlung aus, untersucht wird also nur die (relativ intensive) monoenergetische  $\gamma$ -Strahlung. Die Energie dieser  $\gamma$ -Quanten beträgt  $E_{\gamma-Cs137} \approx 662 \text{ keV}$ . siehe NRW-AB: 2011

Zunächst wird die Zählrate  $Z_0$  dieser  $\gamma$ -Strahlung bestimmt. Dann werden zusätzlich Bleiplatten zunehmender Dicke  $d$  angebracht. Dabei bleibt der Abstand zwischen Zählrohr und Strahlenquelle konstant.

Durch die beiden Bleiblenen „1“ und „2“ soll möglichst verhindert werden, dass neben den vom Cs-137-Präparat stammenden  $\gamma$ -Quanten auch noch Streustrahlung bzw. Sekundärelektronen ins Zählrohr gelangen.

Folgende Werte werden gemessen:

|                         |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Bleidicke $d$ in mm     | 0    | 2    | 4    | 6    | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  |
| Zählrate $Z$ pro 10 min | 2467 | 1987 | 1549 | 1232 | 987 | 773 | 623 | 480 | 411 | 312 |

(Die Zählraten sind bereits um die Nullrate reduziert.)

- a) Überprüfen Sie mit Hilfe einer grafischen Auswertung der Messwerte, ob diese dem in 2.4 angegebenen Absorptionsgesetz genügen.
- b) Bestimmen Sie aus der grafischen Darstellung den Absorptionskoeffizienten  $\mu$  und die Halbwertsdicke  $d_{1/2}$ . (16 Punkte)

2.6 Die Schwächung von  $\gamma$ -Strahlung durch einen Absorber erfolgt durch Wechselwirkung der  $\gamma$ -Quanten mit der Absorbiermaterie. Dabei kann es unter bestimmten Umständen zur sogenannten Paarbildung kommen. Bei diesem Paarbildungseffekt wird ein  $\gamma$ -Quant im elektrischen Feld eines Atomkerns in ein Elektron und in ein Positron umgewandelt.

Zeigen Sie mit Hilfe einer Energiebetrachtung, dass es bei der hier verwendeten  $\gamma$ -Strahlung von Cs 137 **nicht** zu einer Paarbildung kommen kann.

**Hinweis:** Die Energie der  $\gamma$ -Quanten beträgt  $E_{\gamma-Cs137} \approx 662 \text{ keV}$ . (7 Punkte)