

# Dosimetrie, Halbwertszeit, $\chi^2$ -Test

## 1 Vorbereitung

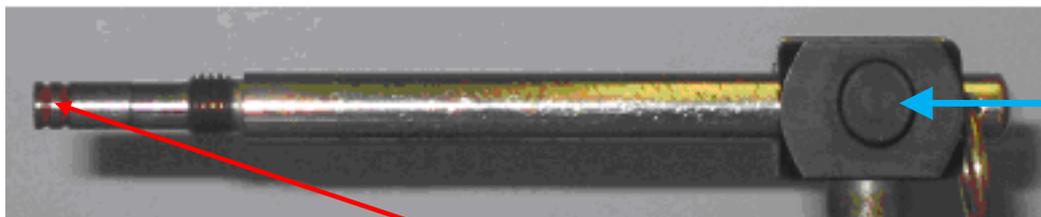
- Radioaktivität, Halbwertszeit, radioaktives Gleichgewicht  
Lit.: WALCHER 6.4.0.1; GERTHSEN
- Zerfallsschema von Cs-137 (Lit.: Anhang)
- Strahlenwirkung, Strahlendosis, Strahlenschutz  
Lit.: GERTHSEN, Strahlenschutz-Merkblatt und Anhang
- Ionisierungskammer, Geiger-Müller-Zählrohr  
Lit.: WALCHER 6.4.0.3 UND Anhang
- Gerätebeschreibungen:  
NEVA-Dosisleistungsmesser  
LEYBOLD-Digitalzähler

## 2 Aufgaben

### 2.1 Dosimetrie und Strahlenbelastung

Als  $\gamma$ -Strahlenquelle dient ein berührungssicher gekapseltes Präparat Caesium 137, das Quanten mit einer Energie von 661 keV emittiert. Das Präparat befindet sich am Ende des Kanals im Bleikubus, der mit einem Eisenstopfen verschlossen ist. Der Eisenstopfen wird nur für die unmittelbare Benutzung des Präparats entfernt. Soweit das Präparat außerhalb des Bleikubus benutzt werden muss, ist es nach Beendigung des entsprechenden Experiments sofort wieder in den Bleikubus einzuschrauben.

Das für den jeweiligen Arbeitsplatz gekennzeichnete  $\gamma$ -Präparat darf nicht vom Arbeitsplatz entfernt werden.



Das Präparat befindet sich zwischen den roten Ringen des Präparatestabes. Der Präparatestab ist an seinem äußersten, vom Präparat abgewandten Ende im Präparatehalter festzuklemmen. Das gilt auch für alle folgenden Messungen. Hierdurch soll weitgehend Streuung am Präparatehalter vermieden werden.

### 2.1.1 Dosisleistungs-Messgerät

Am Arbeitsplatz befindet sich ein digitales Dosisleistungsmessgerät (NEVA 46-12) und ein Dosimeter (RADEX RD 1503). Zu Beginn des Versuchs ist zu prüfen, ob die Geräte betriebsbereit sind.

### 2.1.2 Dosisleistung über der Öffnung des Bleikubus mit radioaktivem Präparat

Das NEVA-Dosimeter wird auf den Kurzzeitmessbereich eingestellt. Etwa in der Mitte unterhalb des Anzeigefensters des Dosimeters befindet sich ein Zählrohr. Diese Stelle des Dosimeters wird oberhalb der Zählrohrhalterung über die Öffnung des Bleikubus (Eisenstopfen entfernen !) gehalten und die Dosisleistung in dem kollimierten  $\gamma$ -Strahl gemessen. Die gemessene Dosisleistung ist zu protokollieren und zu berechnen, wie hoch die Orts-Äquivalentdosis an dieser Stelle während vier Zeitstunden wäre.

### 2.1.3 Äquivalentdosisleistung in 1 m Entfernung vom Präparat

Mit dem NEVA-Dosisleistungsmesser wird die Äquivalentdosisleistung in 1 m Entfernung von dem nicht abgeschirmten Präparat gemessen. Wie groß ist die Dosisleistung ohne die natürliche Strahlenbelastung (2.1.4c.)? Wieviel Stunden dürfte man in dieser Entfernung arbeiten, um den jährlichen Grenzwert von 5 mSv zu absorbieren? Welchen Teil (in %) des jährlichen Grenzwerts würden Sie in 4 Zeitstunden in dieser Entfernung absorbieren?

### 2.1.4 Strahlenbelastung im Praktikum

Es sind folgende Messungen durchzuführen :

- a. Zunächst wird das Dosimeter (RADEX RD 1503) auf den Langzeitmessbereich eingestellt, damit die während der Praktikumszeit aufsummierte Dosis berechnet werden kann. Die Uhrzeit wird protokolliert.
- b. Das Dosimeter wird in die dafür vorgesehene Wandhalterung gestellt. Während des Versuchs wird jetzt etwa alle 15 Minuten die Dosisleistung abgelesen und mit Uhrzeit in einer Tabelle festgehalten.
- c. Zum Abschluss des Versuchs wird die gemessene Äquivalentdosis abgelesen (zusammen mit dem Betreuer). Die Uhrzeit der Ablesung wird notiert.
- d. Man berechne den Mittelwert der unter b. gemessenen Dosisleistungen und berechne daraus die in dem Zeitraum zwischen a. und c. aufsummierte Äquivalentdosis. Dieser Wert ist in den am Arbeitsplatz ausliegenden Ordner einzutragen.
- e. Aus der unter d. berechneten Dosisleistung berechne man die im Kalenderjahr (1 Kalenderjahr = 8760 Stunden) auftretende Strahlenbelastung (Äquivalentdosis) im Praktikum.

## 2.2 Aktivität des Präparats

Das verwendete Präparat Cs-137 hat eine Halbwertszeit von 30.2 a. Wie groß ist die Aktivität zum Zeitpunkt des Versuchs? Auf der Inventarkarte (angebracht am Schrank, dem die radioaktiven Präparate entnommen wurden) finden Sie das Datum der Herstellung und die Aktivität zur Zeit des Herstellungsdatums. Es ist mit vollen Monaten zu rechnen.

## 2.3 Inbetriebnahme der Zählrohrmessaanordnungen

Nehmen Sie beide Computer und Digitalzähler in Betrieb und starten Sie die Messsoftware.

Mit einem der Digitalzähler werden simultan zu den anderen Messaufgaben die Messungen zur Zählstatistik 2.4 und 2.5 durchgeführt.

Mit der anderen Apparatur werden die Aufgaben 2.6 durchgeführt.

## 2.4 Zählstatistik

Man lege das Zählrohr in die große grüne Bleiabschirmung und stelle die orangene Kachel an die hintere Öffnung. Dies ermöglicht eine relativ konstante Dosis, die nicht durch Präparate von anderen Messplätzen gestört wird. Es sind etwa 1000 Messungen mit einer Torzeit von 1s durchzuführen. Die Häufigkeit der gemessenen Impulsraten werden in Form eines Histogramms (Stabdiagramms) graphisch am Monitor dargestellt. Die ermittelten Daten sind digital abzuspeichern und der Mittelwert zu berechnen. Es ist ferner ein  $\chi^2$ -Test durchzuführen und zu prüfen, ob die Verteilung Poisson-verteilt ist. Dabei ist darauf zu achten, dass man genügend Werte in jeder Klasse hat, um diesen Test überhaupt durchführen zu können.

Während der Rechner die Versuchsteile 2.4 und 2.5 ausführt, kann die Aufgabenstellung 2.6 durchgeführt werden.

## 2.5 Normalverteilte Messreihe

Sinnvoll ist es, das Zählrohr in der Stellung des Versuches 2.4 zu belassen und bei gleichen Bedingungen 300 bis 1000 mal 10 s lang zu messen. Dies erhöht den Mittelwert um einen Faktor zehn und die Poissonverteilung lässt sich nun durch eine Normalverteilung annähern. Die Messwerte beider Versuchsdurchführungen sind nach wie vor Poisson-verteilt. Die Standardabweichung ist ebenfalls  $\sqrt{N}$ . Lediglich die Verteilung mit dem größeren Mittelwert lässt sich durch eine Normalverteilung annähern. Zur Überprüfung trage man die Messwerte (entsprechend geordnet, Fehlerrechnungsvorlesung!!) graphisch auf und prüfe, ob die Punkte auf einer Geraden liegen, die Messwerte also normalverteilt sind. Ferner ist zu prüfen, ob  $\sigma = \sqrt{N}$  (graphisch bestimmen) ist. Die Häufigkeitsverteilung der Messwerte wird vom Rechner in einem Histogramm aufgetragen. Dieses ist in der Ausarbeitung anhand der Daten graphisch aufzuführen. Führen Sie ferner einen  $\chi^2$ -Test durch und überprüfen Sie, ob die Verteilung Poisson-verteilt ist. Vergleichen Sie die in Aufgabe 2.4 ermittelte Sicherheitsschwelle mit der in Aufgabe 2.5 gewonnenen. Diskutieren Sie ferner die beiden in Aufgabe 2.5 durchgeführten Testverfahren.

## 2.6 Zählrohrcharakteristik

Man bestimme zunächst die Schwellenspannung, bei der das Zählrohr zu arbeiten beginnt. Von der Schwellenspannung beginnend, misst man in geeigneten Schritten bis zu einer maximalen Spannung von 600 V die Impulsrate  $N$  während jeweils einer Minute Messzeit. Die Impulsrate sei nicht höher als etwa  $10^4 \text{ min}^{-1}$ .  $N(U)$  ist graphisch darzustellen. Die zur Plateaumitte gehörige Spannung wähle man als Arbeitsspannung für die folgenden Aufgaben.

### 2.6.1 Messung des Nulleffekts mit dem Zählrohr

Die folgenden Messungen werden mit einer Arbeitsspannung im Plateaubereich durchgeführt. Alle am Arbeitsplatz vorhandenen radioaktiven Präparate werden möglichst weit vom Zählrohr entfernt aufgestellt. Dann misst man den *Nulleffekt* des Zählrohrs über 5 Minuten.

Für eine zweite Messung des Nulleffekts wird das Zählrohr in die Bleiabschirmung (46-13-nicht die grüne) geschoben und die Zählrate über 5 min gemessen. Um wieviel Prozent ist der Nulleffekt reduziert worden?

### 2.6.2 Halbwertszeit

Es ist die Halbwertszeit des metastabilen Zustands von Ba-137 m zu messen. Das Präparat wird vom Betreuer hergestellt und die Messung sofort begonnen.

Die Messung wird mit dem LEYBOLD-Digitalzähler und Computer durchgeführt. Die Messdaten werden digital ausgewertet und anhand einer graphischen Auswertung die Halbwertszeit bestimmt.

### 2.6.3 Ansprechvermögen des Zählrohrs für $\gamma$ -Quanten

Das Ansprechvermögen eines Zählrohrs ist definiert als der Quotient der vom Zählrohr nachgewiesenen Quanten zur Zahl der das Zählrohr treffenden Quanten. Hierzu benötigt man:

- a. Die Aktivität der verwendeten  $\gamma$ -Quelle; das Herstellungsdatum und die Aktivität des Präparats am Herstellungsdatum (Inventarkarte). Aus der Halbwertszeit von Cs-137 (30.2 Jahre) ist die Aktivität wie bei Versuch 46 zu berechnen.
- b. Die empfindliche Fläche des großen Zählrohrs beträgt  $11 \text{ cm}^2$ .
- c. Den Abstand  $\gamma$ -Quelle – Zählrohrmitte.

Aus b) und c) berechnet man den Raumwinkel, unter dem das radioaktive Präparat das Zählrohr *sieht* und aus a) die das Zählrohr pro s treffenden  $\gamma$ -Quanten. Aus der gemessenen Impulsrate errechnet man schließlich das Ansprechvermögen.

## 2.7 Fehlerrechnung

Sämtliche Zählraten sind unter Berücksichtigung des Nulleffektes mit ihrem statistischen Fehler anzugeben. Soweit graphische Darstellungen anzufertigen sind, müssen die Messpunkte mit den entsprechenden Fehlerbalken eingezeichnet werden.

### 3 Anhang

#### 3.1 Arbeitsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs

An der Innenelektrode des Zählrohrs, dem *Zähl draht*, liegt über dem zwischengeschalteten Arbeitswiderstand  $R$  der positive, an der Zählrohrwand der negative (geerdete) Pol der Hochspannungsquelle. Im Zählrohr herrscht somit ein elektrisches Feld; wie aus der Elektrostatik (Zylinderkondensator) bekannt, beträgt die Feldstärke

$$E_r = \frac{1}{r} \cdot \frac{U}{\ln(r_1/r_2)}$$

$U$  = Zählrohrspannung     $r_1$  = Zählrohrradius     $r_2$  = Zähl drahtradius

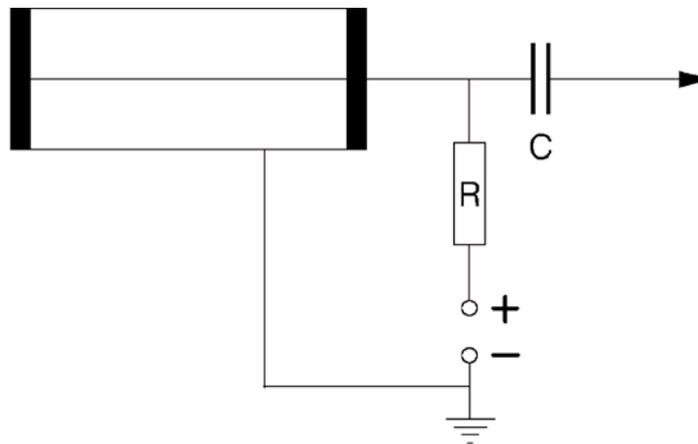


Abbildung 2 Beschaltung eines Zählrohrs

Wegen des kleinen Durchmessers des Zähl drahtes nimmt  $E_r$  unmittelbarer Nähe des Zähl drahtes sehr hohe Werte an (bis 40 kV/cm). Das Zählrohr ist mit einem Gemisch aus Argon (ca. 100 hPa) und Alkoholdampf (ca. 10 hPa) gefüllt. Die ins Zählrohr eindringenden ionisierenden Quanten oder Teilchen erzeugen freie Elektronen, die in der Nähe des Zähl drahtes durch Stoßionisation eine Elektronenlawine auslösen können.

Diese erreicht den Zähl draht mit einer so hohen Zahl von Elektronen, dass sie als Stromstoß im Außenkreis bequem nachgewiesen werden kann (*Gasverstärkung* im Zählrohr). Der Stromstoß hat nach dem Ohmschen Gesetz am Arbeitswiderstand der Zählrohrschaltung einen Spannungsstoß zur Folge, der über den Kopplungskondensator  $C$  auf den Eingang des Verstärkers übertragen wird. Der Kondensator erfüllt gleichzeitig die Aufgabe, die hohe Zählrohr-Gleichspannung vom Verstärkereingang fernzuhalten.

Der im Zählrohr ausgelöste Stromstoß ist von kurzer Dauer (ca.  $10^{-4}$  s). Für sein Erlöschen ist maßgebend, dass sich die Entladung beim Eintreffen der Elektronenlawine am Zähl draht längs des Drahtes fortsetzt. Die hierbei entstehenden positiven Ionen wandern relativ langsam und erzeugen so um den Draht eine positive Raumladung (Raumladungsschlauch). Dadurch wird die ursprünglich hohe elektrische Feldstärke in der Nähe des Drahtes so stark geschwächt, dass die Entladung erlischt. Durch die positiven Ionen können beim Auftreffen auf die negative Zählrohrwandung erneut Elektronen ausgelöst werden. Da die Ionen wegen ihrer

relativ hohen Masse später an der Zählrohrwandung ankommen als die Elektronenlawine am Zählrohrdraht, haben sich die ursprünglichen Feldverhältnisse wieder eingestellt, und es könnte eine neue Entladung - die sogenannte Nachentladung - gezündet werden. Diese Nachentladungen können durch eine Beimengung von organischem Dampf zum Edelgas (*Löschgas*) verhindert werden. Als Löschdampf verwendet man mehratomige Dämpfe oder Gase, deren Ionisationsenergie kleiner ist als die des Grundgases. In diesem Fall geben die ein- oder zweiatomigen Ionen des Füllgases bei Zusammenstößen mit den mehratomigen Molekülen ihre Ladung an diese ab, und es erreichen schließlich nur Ionen der mehratomigen Moleküle die Kathode. Diese Ionen sind aber nicht in der Lage, Sekundärelektronen auszulösen, da die bei ihrer Neutralisierung an der Kathode freiwerdende Energie zu einer Prädissoziation dieser Moleküle verbraucht wird. Bei zu hohen Zählrohrspannungen setzt eine Glimmentladung ein, die zur Zersetzung des beigemengten organischen Dampfes führt. Sie macht das Zählrohr rasch unbrauchbar. Der Übergang zum Bereich der Glimmentladung ist durch den steilen Anstieg der Zählrohrkennlinie am Ende des Plateaubereiches gekennzeichnet.

### 3.2 Zerfallsschema des Cäsium-Isotops Cs-137

Das Cäsium-Isotop Cs-137 zerfällt unter Emission von Betastrahlung in das Barium-Isotop Ba-137. Die Halbwertszeit ist 30.2 Jahre. Der Zerfall erfolgt teils direkt in den stabilen

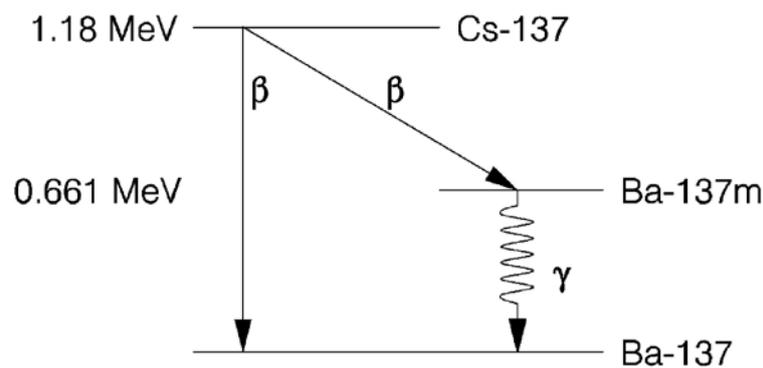


Abb. 3 Zerfallsschema von Cs-137

Grundzustand des Ba-137 und teils zunächst in den metastabilen angeregten Zustand Ba-137m, der dann seinerseits unter Emission von Gammastrahlung (0.661 MeV) in den stabilen Grundzustand von Ba-137 übergeht (siehe Abb. 1).

Die verschiedenen Löslichkeiten von Cäsium und Barium nutzt man aus, um das Barium aus dem Präparat herauszulösen, und das Cäsium in der Präparatekapsel zu belassen. Als Lösungsmittel benutzt man eine 0.04 normale Salzsäure mit einem kleinen Zusatz von Kochsalz.