

# Praktikum „Radioaktivität und Dosimetrie“

## *GEIGER-MÜLLER-Zählrohr*

### 1. Aufgabenstellung

- 1.1 Aufnahme der Charakteristik eines GEIGER-MÜLLER-Zählrohres und graphische Darstellung. Aus dem Graph sind Einsatzspannung, Arbeitspunkt und die Steigung des Plateaus zu bestimmen.
- 1.2 Die Aktivität eines TI-204 Präparates ist abzuschätzen.
- 1.3 Ermittlung der Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählrohres für  $\gamma$ -Strahlung.

### 2. Theoretische Grundlagen

Stichworte zur Vorbereitung:

Radioaktivität,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Strahlung, Wechselwirkung radioaktiver Strahlung mit Materie, Strahlungsdetektoren, Zerfallsgesetz, Aktivität

Literatur:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| H. Lindner             | Grundriss der Atom- und Kernphysik,<br>Fachbuchverlag Leipzig 1988                  |
| Krieger, Petzold       | Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz<br>Band 1, Kap. 3 und 5, Teubner 1989 |
| W. Stolz               | Radioaktivität<br>B. G. Teubner Verlagsgesellschaft                                 |
| W. Walcher             | Praktikum der Physik, Kap. 6.4,<br>Teubner Verlag 1989                              |
| W. Ilberg, M. Krötzsch | Physikalisches Praktikum, Kap. 7,<br>Teubner Verlag 1992                            |
| J. Becker, H.J. Jodl   | Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Ingenieure<br>VDI-Verlag 1991 |

## 2.1 Strahlungsdetektoren

Die Radioaktivität ist ein physikalischer Effekt, der 1896 von H. BECQUEREL in Paris entdeckt wurde. Nachgewiesen und identifiziert werden radioaktive Nuklide durch die bei ihrem Zerfall (Umwandlung) freiwerdende Strahlung bzw. deren Wechselwirkung mit Materie. Im vorliegenden Versuch werden insbesondere die Wechselwirkungen von  $\gamma$ -Strahlen mit Materie untersucht.

Die Wirkungsweise aller Strahlungsdetektoren beruht auf der Wechselwirkung der Strahlung mit der im Messvolumen des Detektors befindlichen Materie. Hinsichtlich der Anwendbarkeit der verschiedenen Strahlendetektoren ist aufgrund der unterschiedlichen Reichweiten der Strahlenarten deutlich zu differenzieren. Die Gasionisationsdetektoren Ionisationskammer, Proportionalzählrohr und GEIGER-MÜLLER-Auslösezählrohr unterscheiden sich nicht prinzipiell in ihrer Wirkungsweise. Tritt ionisierende Strahlung in den Detektor ein, werden in Abhängigkeit von der angelegten Spannung unterschiedlich viele Ladungsträger erzeugt, die durch das angelegte Feld zu den Elektroden transportiert werden. GEIGER-MÜLLER-Zählrohre (Abb. 1) enthalten als Zählgas ein Gemisch aus Edelgas (12 kPa) und Löschgas (1,3 kPa). Nachentladungen werden durch das Löschgas weitgehend verhindert.

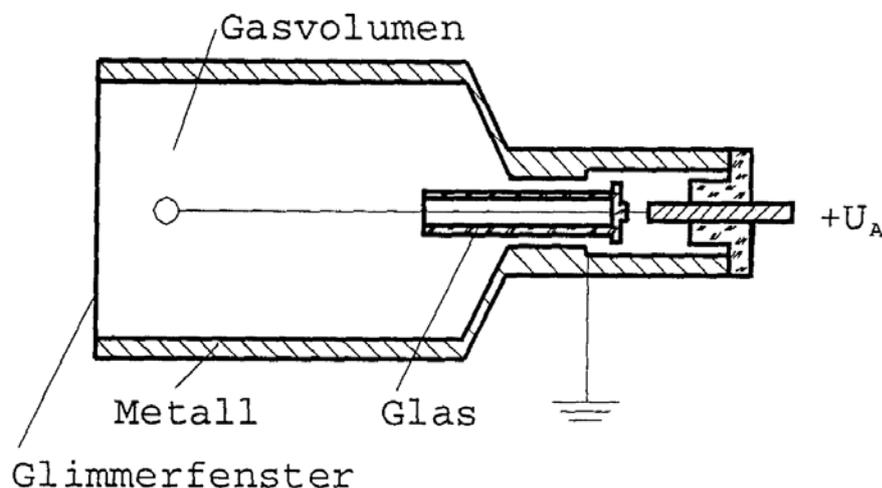


Abb. 1: GEIGER-MÜLLER-Zählrohr

Der Arbeitsbereich eines GMZ liegt zwischen der Einsatzspannung  $U_E$  und einer oberen Spannung, bei der das Zählrohr in das Gebiet der Glimmentladung übergeht (Abb. 2). Dieses Gebiet muss beim Arbeiten mit dem GMZ vermieden werden, da das Zählrohr sonst unbrauchbar wird. Zwischen beiden Spannungen liegt

das Plateau. Der Arbeitspunkt wird in das untere Drittel des Plateaus gelegt; es gilt etwa

$$U_A = U_E + 100V \quad . \quad (1)$$

Das Plateau zeigt eine Steigung, die durch Nachentladungen verursacht wird. Diese lassen sich nie ganz vermeiden. Sie nehmen mit steigender Spannung und dem Lebensalter des Zählrohres zu. Die Steigung  $s$  wird als relative Impulsraten-Änderung  $\Delta \dot{N}$  pro 100 V Spannungsänderung definiert.

$$s = \frac{\dot{N}(U_A + 50V) - \dot{N}(U_A - 50V)}{\dot{N}(U_A)} \cdot 100\% \quad (2)$$

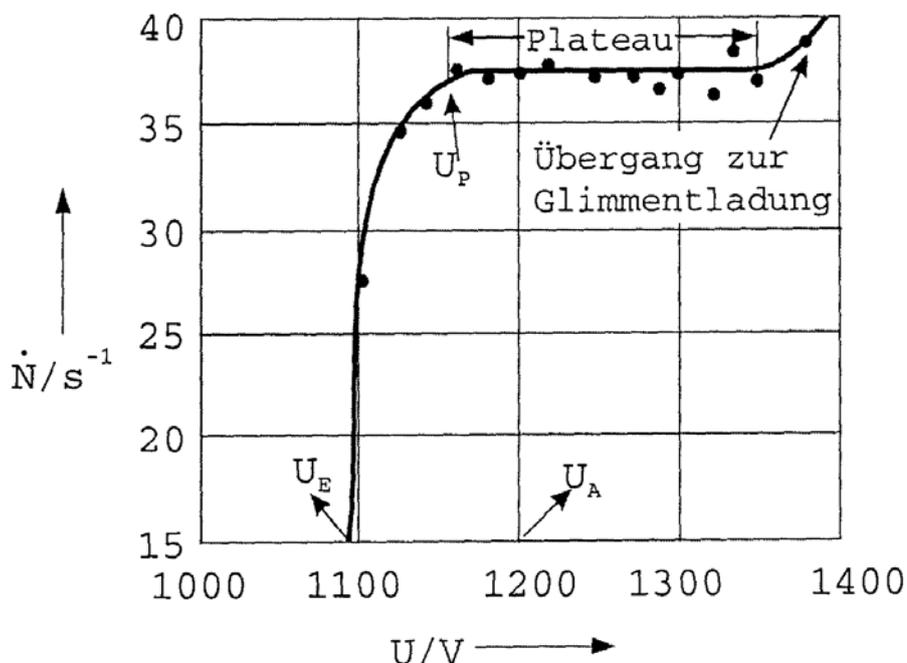


Abb. 2: Zählrohrcharakteristik

Die Aufnahme der Charakteristik ist beim praktischen Arbeiten mit dem GMZ in größeren Zeitabständen notwendig, da diese Detektoren Alterungserscheinungen zeigen.

Die beim radioaktiven Zerfall entstehenden Teilchen dringen in das Zählrohrinnere ein und ionisieren aufgrund ihrer hohen Energie die Moleküle des Füllgases, mit denen sie zusammenstoßen. Die Energie der Teilchen wird dabei abgegeben (Ionisierungsarbeit, elastischer Stoß). Die entstehenden Ionen werden in dem bestehenden elektrischen Feld so stark beschleunigt, dass sie auf dem Weg zur

Elektrode weitere Gasmoleküle ionisieren.

Durch diese Ionisation entsteht eine Ionen- bzw. Elektronenlawine. Die Stärke des durch den Einfall eines Teilchens ( $\alpha$ -,  $\beta$ -Teilchen oder  $\gamma$ -Quant) entstehenden Ionen- bzw. Elektronenstromes ist von der angelegten Spannung, der Zählrohrgeometrie sowie von der Energie des zu registrierenden Teilchens abhängig.

Erhöht man die Spannung eines Zählrohres von Null beginnend, so erreicht man schließlich einen bestimmten Wert, wo einfallende radioaktive Teilchen gemessen werden können. Bei diesem Spannungswert, der Einsatzspannung, setzt die oben beschriebene lawinenartige Spannung ein. Es werden aber nicht sämtliche einfallenden Teilchen registriert, sondern nur die energiereichsten. Eine Erhöhung der Spannung bewirkt eine Vergrößerung der registrierten Teilchenzahl, d. h., es werden auch die energieärmeren Teilchen erfasst. Für einen bestimmten Spannungswert  $U_p$  können dann alle einfallenden Teilchen nachgewiesen werden.

Eine weitere Spannungserhöhung lässt die gemessene Teilchenzahl nur noch unwesentlich ansteigen. Der Bereich zwischen der Einsatzspannung und  $U_p$  heißt Proportionalbereich, da die Ionisierung proportional zur Teilchenenergie ist. Dieser Bereich geht oberhalb  $U_p$  in den Auslösebereich über. In der Praxis benutzt man je nach Art der Aufgabenstellung entweder Proportionalzählrohre oder aber Auslösezählrohre. Von den letzteren unterscheidet man zwei Grundtypen, die nichtselbstlöschenden und die selbstlöschenden Zählrohre.

Es wurde schon oben beschrieben, dass ein einfallendes Strahlenteilchen aufgrund der hohen Energie das Entstehen einer Ionen- bzw. Elektronenlawine einleitet. Die entstehenden positiven Ionen und Elektronen wandern zu den jeweiligen Elektroden. Auf dem Weg dorthin werden weitere Ionisationsprozesse ausgelöst. Darüber hinaus werden aus den Elektroden durch die auftreffenden Ionen und Elektronen Sekundärelektronen heraus geschlagen, die nun den geschil-derten Ionisationsprozess fortsetzen. Ohne äußere Eingriffe würde es zu einer Art Dauerentladung kommen, und das Zählrohr würde unbrauchbar. Aufgrund dieser Eigenschaft bezeichnet man diese Zählrohre als nichtselbstlöschende Zählrohre. Der Entladungsvorgang wird in diesem Fall von außen elektronisch unterbrochen. Geringe Zusätze von organischen, mehratomigen Dämpfen (Argon- Alkohol-Gemische) zum Füllgas haben die Eigenschaft, die Sekundärelektronenemission an der Kathode zu unterdrücken. Damit kommt die Entladung zum Erlöschen (selbstlöschendes Zählrohr).

Aufgrund der Ausbildung der Ionenlawine bildet sich um den Zählrohrdraht eine positive Raumladung, die das elektrische Feld zwischen Anode und Kathode soweit herabsetzt, dass weitere ankommende radioaktive Teilchen keine Lawinen erzeugen können. Innerhalb dieser Totzeit wird durch Abwandern der Ladungswolke das elektrische Feld wieder in voller Höhe aufgebaut.

Die Güte eines GEIGER-MÜLLER-Zählrohres wird von seiner Einsatzspannung, der Länge und Steigung des Plateaus, der Auflösungszeit und der Betriebsdauer bestimmt.

## 2.2 Aktivitätsbestimmung

Die exakte Ermittlung der Aktivität eines radioaktiven Präparates ist auf zwei verschiedenen Wegen möglich. Bei der Aktivitätsbestimmung wird die Probe unbekannter Aktivität mit einer Probe bekannter Aktivität unter gleichen geometrischen und apparativen Bedingungen verglichen, wozu aber immer entsprechende Eichpräparate notwendig sind. Der absoluten Aktivitätsbestimmung liegt die Gleichung (3), die einen Zusammenhang zwischen Aktivität  $A$  und Zählrate  $R$  darstellt, zugrunde.

$$A = \frac{R}{f_G f_{AB} f_S f_T f_R f_U f_A f_E} \quad (2)$$

$f_G$  : Geometriefaktor

$f_{AB}$  : Absorptionsfaktor

$f_S$  : Selbstabsorptionsfaktor

$f_T$  : Zeitauflösungsfaktor

$f_R$  : Rückstreuungsfaktor

$f_U$  : Einstreuung aus der Umgebung

$f_A$  : Ansprechwahrscheinlichkeit

$f_E$  : Anzahl der Quanten pro Zerfall

Die angegebenen Faktoren sind zum Teil nur empirisch zu ermitteln oder können nur näherungsweise abgeschätzt werden. Beispielsweise lässt sich der Absorptionsfaktor der Probenmatrix im realitätsnahen Fall (Sand, Erde, Gestein) nur empirisch bestimmen.

### 2.3 Ansprechwahrscheinlichkeit

Eine der wichtigsten Eigenschaften einer Zählleinrichtung ist die Ansprechwahrscheinlichkeit  $f_A$ , d. h. die Anzahl der registrierten Impulse bezogen auf die Anzahl der auf den Detektor treffenden Teilchen oder Quanten. Die Ansprechwahrscheinlichkeit hängt entscheidend von den Eigenschaften des Detektors (Abmessungen des Detektors, Art des Detektormediums) und von den Eigenschaften der Strahlung (Art und Energie der Strahlung) ab. Bei Quanten und ungeladenen Teilchen wird die Ansprechwahrscheinlichkeit sehr stark durch die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der geladene Sekundärteilchen entstehen. Bei Auslösezählrohren gilt für geladene Teilchen  $f_A \approx 1$ .

Die Ansprechwahrscheinlichkeit wird aus der obigen Gl. (3) ermittelt. Der Faktor  $f_E$  ergibt sich aus dem Zerfallsschema des Strahlers.

Die Aktivität  $A$  zum heutigen Zeitpunkt wird über das Zerfallsgesetz berechnet. Der Geometriefaktor für ein punktförmiges Präparat wird aus der folgenden Beziehung berechnet:

$$f_g = 0,5 \left( 1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \right) \quad (4)$$

a: Abstand Quelle-Detektor

r: Radius der Strahleneintrittsfläche

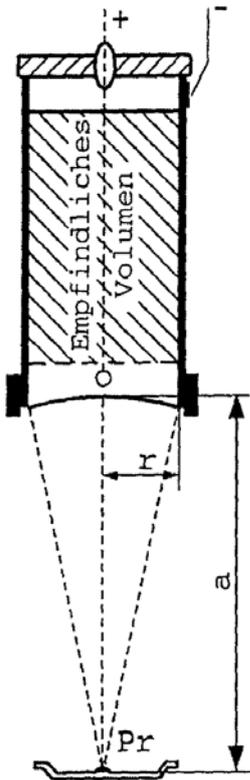


Abb.3: Vom Glockenzählrohr erfasstes Strahlenbündel

### 3 Versuchdurchführung

#### 3.1 Zählrohrcharakteristik

Bestimmen Sie oberhalb der Einsatzspannung in Schritten von 25 V die Impulsratenabhängigkeit von der Zählrate und stellen Sie diese grafisch dar.

#### 3.2 Aktivitätsbestimmung

Aufgrund der Präparateausdehnung und seiner Anordnung auf dem Detektor lässt sich der Geometriefaktor abschätzen.

Die Präparateabdeckung und die Dicke des Zählrohrfensters bestimmen den Absorptionsfaktor für die gegebene  $\beta$ -Strahlung zu  $f_{Ab} = 0.8$ . Alle anderen Faktoren der Gl. (3) sind unter den gegebenen Bedingungen 1 zu setzen.

Die von einem Präparat ausgehenden Strahlen verlaufen nach allen Richtungen des Raumes, d. h., sie verteilen sich auf den Raumwinkel  $4\pi$ . Das Zählrohr erfasst hiervon nur einen Bruchteil, der als Verhältnis des wirksamen Raumwinkels zum Raumwinkel  $4\pi$  aufgefasst werden kann. Dieses Verhältnis wird als Geometriefaktor  $f_G$  bezeichnet (Abb. 1).

Die Faktoren  $f_S$ ,  $f_R$ ,  $f_{AB}$ ,  $f_T$  und  $f_U$  in Gl. (2) können bei der Messung von  $\gamma$ -Strahlung näherungsweise 1 gesetzt werden.

### 3.3 Ansprechwahrscheinlichkeit

Nach Vorwahl des sich aus der gemessenen Kennlinie des Geiger-Müller-Zählrohres ergebenden Arbeitspunktes werden die Impulsraten eines punktförmigen Co-60 Präparates ( $T_{1/2} = 5,272 \text{ a}$ ) dessen  $\beta$ -Komponente von der Umhüllung absorbiert wird, gemessen.

Die Aktivität des Präparates betrug im Januar 1962  $A = 3,7 \text{ MBq}$ .

Die Ansprechwahrscheinlichkeit wird aus der Gl. (3) berechnet.