

Bei diesem Versuch geht es um die Wechselwirkung radioaktiver Strahlung mit Materie. Sei es zur Entwicklung moderner Teilchendetektoren oder zum Entwurf einer wirksamen Abschirmung beim Umgang mit den unterschiedlichen Strahlenarten – die zugrunde liegenden Mechanismen die eine Rolle spielen sind dieselben. Interessant ist der Vergleich der Wirkung von geladenen Teilchen (α -, β - Strahlung) mit γ -Strahlung: Auf welche Art wirkt eigentlich ein masseloses und ungeladenes γ -Quant auf seine Umgebung? In diesem Versuch wird Ihnen klar werden, dass z.B. eine „unproblematische“ γ -Quelle schwieriger abzuschirmen ist, als eine „handhabungskritische“ α -Quelle.

Als Nachweisgerät dient ein Geiger-Müller-Zählrohr. Seine Eigenschaften werden diskutiert und teilweise experimentell untersucht. Zur Messwerterfassung verwenden Sie *CASSYLAB*, das Ihnen die Möglichkeit bietet entweder eine Anzahl von Ereignissen in einer vorgegebenen Messzeit T zu erfassen oder die Zählrate, die $T/\Delta T$ mal gemessen wird (ΔT ist die Totzeit). Aus der Häufigkeitsverteilung der Zählrate lassen sich mit den Analysewerkzeugen von *CASSYLAB* Mittelwert und Standardabweichung bestimmen.

Im Rahmen Ihrer Vorbereitung sollten Sie sich Grundkenntnisse zu den angesprochenen Phänomenen und Messmethoden aneignen.

Stichworte: Radioaktiver Zerfall; kontinuierliches β -Spektrum; γ -Linienpektrum; Wechselwirkung von α , β und γ -Strahlung mit Materie; Wirkungsquerschnitt; Absorptionskoeffizient; Massenabsorptionskoeffizient; Zählrohr; Zählrohrcharakteristik; technische und physikalische Unterschiede beim α , β - bzw. γ -Nachweis mit dem Zählrohr; Totzeitursachen; Totzeitbestimmung; Zählratenstatistik; Poisson-Verteilung.

Hinweis: Die Kernphysik-Räume stellen einen innerbetrieblichen Überwachungsbereich dar. Hier gelten nach der **Strahlenschutzverordnung** besondere Regeln, die unbedingt zu beachten sind. Kernphysikalische Versuche dürfen erst nach Teilnahme an der Strahlenschutzbelehrung (die im Regelfall im Rahmen der Vorbesprechung zum Praktikum stattfindet) durchgeführt werden. Der Zugang zum Bunker für radioaktive Präparate ist nur den Betreuern gestattet.

Beim Umgang mit den radioaktiven Quellen – insbesondere mit den α - und β -Quellen - ist größte Sorgfalt anzuwenden.

Achtung: Das Zählrohrfenster ist extrem dünn und verletzlich! Es darf keinesfalls berührt werden.

Hinweis: Bitte einen USB-Stick zur Datenspeicherung mitbringen.

Aufgaben:

I) Geiger-Müller-Zählrohr Eigenschaften

1.1 Messen Sie Einsatzspannung und Plateau-Anstieg des Zählrohrs.

Versuchsdurchführung: Befestigen Sie das Sr-90/Y-90-Betapräparat auf dem Probenhalter etwa 3cm vor dem Zählrohr. Variieren Sie die Zählrohrspannung zunächst in großen und dann in kleinen Schritten zur Ermittlung der Einsatzspannung. Messen Sie dann das Plateau als Funktion Zählrate gegen Spannung, stellen Sie die Plateaukurve graphisch dar und bestimmen Sie ihre Steilheit (Intervallzeit 100 msec, Laufzeit 2 min).

Wählen Sie für alle weiteren Versuche eine geeignete Zählrohrspannung: Wo sollte der Arbeitspunkt liegen? Der Zählrohrdraht (Anode) ist über einen Widerstand von $2,2M\Omega$ (Arbeitswiderstand) an den Pluspol der Spannungsquelle angeschlossen. Die beim Auslösen auftretenden negativen Spannungsimpulse werden über einen $22nF$ -Kondensator ausgekoppelt und auf die Geiger-Müller-Box des Cassy-Datenerfassungssystems gegeben.

1.2 Bestimmen Sie die Untergrundrate (Nulleffekt).

Versuchsdurchführung: Alle radioaktive Präparate sind so weit wie möglich vom Zählrohr zu entfernen (Bleiburg). Messen Sie 160 mal die Zählrate für jeweils 5 sec und ermitteln Sie aus der Häufigkeitsverteilung Mittelwert und Standardabweichung.

1.3 Bestimmen Sie die Totzeit des Zählrohrs nach der Zwei-Präparate-Methode.

Versuchsdurchführung: Ermitteln Sie die in der Zeit T angesammelte Ereigniszahl a) N_1 mit der einen Quelle, b) N_{12} mit zwei Quellen gleichzeitig und c) N_2 mit der zweiten Quelle allein.

Der Abstand der Quellen vom Zählrohr ist so zu wählen, daß Zählrate N_{12}/T etwa 300s^{-1} beträgt. (Messzeit $T = 2$ min pro Messung)

Die Auswerteformel $\tau = T/N_{12} \cdot \{1 - [1 - (N_1 + N_2 - N_{12}) \cdot N_{12}/(N_1 \cdot N_2)]^{1/2}\}$ ergibt sich aus der Beziehung $N'_1 + N'_2 = N'_{12}$ zwischen den wahren Ereignisanzahlen N' . Dabei gilt $N' = N / (1 - N\tau / T)$, und das folgt aus der Annahme, dass eine Zählrohrauslösung die feste Totzeit τ bewirkt, die durch zwischenzeitlich einfallenden Teilchen nicht verändert wird.

Die Messungen sollten mit guter statistischer Genauigkeit ausgeführt werden. Verwenden Sie den Doppelquellenhalter und bedenken Sie, dass die Positionierung der Scheibenpräparate nicht genau reproduzierbar ist. Es empfiehlt sich in der Reihenfolge [Quelle-1 – beide Quellen – Quelle-2] zu messen, um Fehler durch Rotations-Unsymmetrien der Quellen zu vermeiden.

1.4 Überprüfen Sie die Gültigkeit des Abstandsgesetzes

Versuchsdurchführung: Messen Sie 100 mal die Zählrate von einer Gammaquelle für jeweils 2 sec und variieren Sie den Abstand Quelle Zählrohr. Ermitteln Sie aus der Häufigkeitsverteilung mit den Analysewerkzeugen von Cassy Mittelwert und Standardabweichung. Tragen Sie diese Werte in einen doppeltlogarithmischen Graphen auf.

II) Absorptionsmessungen: Die nachfolgenden vier Messreihen (Aufg. 2, 3, 4.1, 4.2) zur Absorption fordern vom Experimentator eine gehörige Portion **Geduld**. Um bei geringen Zählraten die notwendige statistische Signifikanz zu erhalten, müssen Einzelmessungen entsprechend lange laufen.

Aus Zeitersparnisgründen können Sie hier Messdaten mit den beiden anderen Gruppen austauschen. Jede Gruppe soll mindestens zwei Messreihen durchführen: eine mit geladenen Teilchen und eine mit Gammaquanten.

Die Variation des Absorbermaterials (Aufg. 4.3) soll dann wieder von allen Gruppen gemessen werden.

2) α -Absorption: Nehmen Sie die Absorptionskurve der α -Strahlung von Am-241 (oder Ra-226) in Luft auf und bestimmen Sie die Reichweite.

Versuchsdurchführung: Das α -Präparat wird möglichst dicht (beachte Sicherheitsabstand!) vor das Zählrohr gebracht. Erhöhen Sie den Abstand in 1 mm-Schritten und ab 2 cm in größeren Schritten, bis die Zählrate in den Bereich der Untergrundstrahlung kommt. Berücksichtigen Sie bei der Auswertung Störeffekte wie Nulleffekt, Gammastrahlung aus dem Präparat, Zählrohrtotzeit. Korrigieren Sie die Zählrate auf den sich ändernden Raumwinkel, wobei sie die radioaktive Quelle als punktförmig annehmen sollen (siehe Skizze 1). Stellen Sie die korrigierten Messwerte graphisch dar und entnehmen daraus die Reichweite der α -Strahlung. Vergessen Sie nicht zu berücksichtigen, dass die Quellenposition bei Am $\sim 7\text{mm}$ und bei Ra $\sim 2\text{mm}$ vom Quellenrand zurückliegt und die Eintrittsfensterdicke des Zählrohrs etwa 1mm Luftweg entspricht.

Diskutieren Sie, warum die Zählrate nicht scharf bei einem bestimmten Abstand abfällt.

Zum Vergleich mit Ihrem Ergebnis: Eine empirische Reichweiteformel lautet: $R = x(0) = 0,318 \cdot E^{1.5}$. Die Einheiten sind MeV und cm.

3) β -Absorption: Nehmen Sie für das Material Aluminium die Absorptionskurve der β -Strahlung von Sr-90/Y-90 auf.

Versuchsdurchführung: Wählen Sie eine günstige Geometrie Strahler-Absorber-Blende-Zählrohr. Vernachlässigen Sie mit Rücksicht auf die Reichweitenbestimmung nicht die Messungen bei großen Absorberdicken, und berücksichtigen Sie Störeffekte wie Nulleffekt, evtl. Gammastrahlung aus dem Präparat, Zählrohrtotzeit, Luftabsorption und Absorption des Zählrohrfensters. Tragen Sie die Ergebnisse geschickt auf und bestimmen Sie daraus die maximalen Reichweiten R, die Massenabsorptionskoeffizienten und die Grenzenergien W der β -Strahlung **für jeden der beiden Zerfälle**.

Frage: Welches Aktivitätsverhältnis folgt aus den unterschiedlichen Halbwertszeiten von Mutter- und Tochternuklid?

Einen Gamma-Übergang gibt es bei Sr-90+Y-90 nicht. Eine exponentielle Abhängigkeit der Abschwächung von der Dicke der Absorberschicht gilt für beide Anteile, nicht aber für die Summe. Außerdem ist die

exponentielle Abhängigkeit eine Näherung, die nur für solche Absorberdicken zutrifft, bei denen die Abschwächung noch unter 50% liegt. Danach erfolgt die Abschwächung zunehmend steiler. Präparat-schutzfolie, Zählrohrfenster und Luftweg zusammen bilden ein Äquivalent von etwa $12\mu\text{m}$ Aluminium. Sinnvolle Schritte für die Absorberdicken sind z.B.: "bis $200\mu\text{m}$ viele kleine Schritte -- 6, 10, 16, $25\mu\text{m}$ und weiter in $25\mu\text{m}$ -Schritten, dann in $100\mu\text{m}$ -Schritten bis $1000\mu\text{m}$ und schließlich in sehr groben Schritten bis $5000\mu\text{m}$ ". Lassen Sie die Messung bei jeder Dicke so lange laufen, bis Sie ~ 10000 Ereignisse haben, jedoch soll keine Einzelmessung länger als 400s dauern.

Zum Vergleich mit Ihren Ergebnissen hier der Zusammenhang zwischen β -Grenzenergie E in MeV und Massenabsorptionskoeffizient k in cm^2/g (nach Gleason, gefunden in K.Siegbahn: Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy): $k = 17 \cdot E^{-1.43}$. Für den Energie-Reichweite-Zusammenhang können Sie die empirische Flammersfeld-Beziehung benutzen: $W = 1,92 \cdot (R^2 \rho^2 + 0,22 \cdot R \rho)^{1/2}$ mit W in MeV, R in cm und der Dichte ρ in g/cm^3 .

Wundern Sie sich gebührend darüber, daß Sie trotz ganz andersartiger verursachender Prozesse auch bei der β -Absorption angenähert eine Exponentialfunktion erhalten, wie sie nur bei der γ -Absorption leicht einzusehen ist. Welche Form der Absorptionskurve erwartet man für monoenergetische β -Strahlung?

4) γ -Absorption:

4.1 Nehmen Sie für das Material Blei die Absorptionskurve der γ -Strahlung von Co-60 auf und bestimmen Sie den Massenabsorptionskoeffizienten.

Wählen Sie eine günstige Geometrie Strahler-Absorber-Zählrohr. Vernachlässigen Sie die Messungen bei großen Absorberdicken nicht. Der statistische Fehler sollte möglichst bei keiner Messung über 3% (d.h. das Zählergebnis nicht unter 1000) liegen. Berücksichtigen Sie den Nulleffekt und die Zählrohrtotzeit. Tragen Sie die Ergebnisse geschickt auf, und legen Sie eine Ausgleichskurve der erwarteten Art durch die Messpunkte. Entnehmen Sie den Kurven den Absorptionskoeffizienten und die Halbwertsdicke für Pb. Diskutieren Sie die Energieabhängigkeit. Die Absorber werden gemeinsam mit den Parallelversuchen benutzt.

4.2 Wiederholen Sie die Messung 4.1 mit der niedrigeren γ -Energie der Cs-137 Quelle

Vergleichen Sie die Blei-Halbwertsdicken für beide γ -Energien.

4.3 Messen Sie das Absorptionsvermögen (Intensitätsverlust/Anfangsintensität) verschiedener Absorbermaterialien gleicher Dicke für die γ -Strahlung.

Vergleichen Sie die gefundenen Werte untereinander und auch mit den zugehörigen Materialdichten. (Graphische Darstellung).

Zerfallsdaten der Isotope (Isotop: Halbwertszeit, Zerfallsart Zerfallsenergie):

Sr-90: 28,8a, β 540 keV + **Y-90:** 64h, β 2284 keV ; keine Gammas.

Co-60: 5,3a, β 0,31 MeV, γ 1,17 MeV, γ 1,33 MeV

Cs-137: 30a, zu 8% β 1,17 MeV und zu 92% β 0,51 MeV, γ 0,66 MeV

Am-241: 432a, α 5,5 MeV ; γ 60 keV ; mittlere α -Energie nach Austritt aus der Quelle ca. 4 MeV.

Ra-226: 1601a, α 4,8 – 5,4 – 6,0 – 7,7 MeV ; γ 0,35-1,8 MeV ; mittlerer α -Energieverlust bei Austritt aus der Quelle ca. 1,5 MeV.

Radioaktive Quellen (auch Präparate genannt):

α Quellen:

Am-241, (57218), 3,6 kBq in Aluminiumhalter mit $2\mu\text{m}$ Edelmetallabdeckung

Ra-226, (Neva7104), 3,66 kBq in Metallstift

Ra-226, (BT675), 3,66 kBq in Metallstab

β -Quellen (in Beta-Fassung Elektronenaustritt nur minimal behindert):

Sr-90+Y-90, #24c, 18kBq (für Doppelquellenaufgabe benutzen)

Sr-90+Y-90, #1375, 38kBq (bei Versuch P2-80 benutzen)

2x Sr-90+Y-90, neu, 37kBq (bei Versuch P2-82+84 benutzen)

γ -Quellen (Bauform: Aluminiumstift $\varnothing \times L = 12\text{mm} \times 85\text{mm}$; Abstand Quelle-Stirnfl. $(4,0 \pm 0,2)$ mm):

3 x Co-60, neu, 74 kBq
3 x Cs-137 neu, 370 kBq

Zubehör:

Glockenzählrohr, $d=24\text{mm}$ \varnothing , Fenster mit etwa $2\text{mg}/\text{cm}^2$ und 9mm \varnothing , mit Zählrohrhalter
Spannungsversorgung für das Zählrohr, ca. 0-530V

CASSYLAB System mit GM-Box und PC.

Mess- und Auswerteprogramm CASSYLAB

50cm-Zeiss-Schiene mit 3 Reitern für Zählrohrhalter, Absorberhalter und Präparathalter,

Absorberhalter für Beta-Absorber (Federhalterung, Absorber seitlich einschieben),

Absorberhalter für Gamma-Absorber (Absorber in die Aufnahme stellen),

Präparathalter für ein Beta-Präparat und zusätzlich evtl. eine Cu-Scheibe

Präparathalter für zwei Beta-Präparate nebeneinander (zu Aufgabe 1.2)

Präparathalter für ein Gamma-Präparat (Stift mit max. 12mm \varnothing)

Aluminiumabsorber (ca. 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 μ), genauere Werte auf den Absorbern notiert

CuBe-Absorber (ca. 500 μ , Dichte $8,8\text{g}/\text{cm}^3$)

Cu-Absorber (ca. 2000 μ , Dichte $8,92\text{g}/\text{cm}^3$)

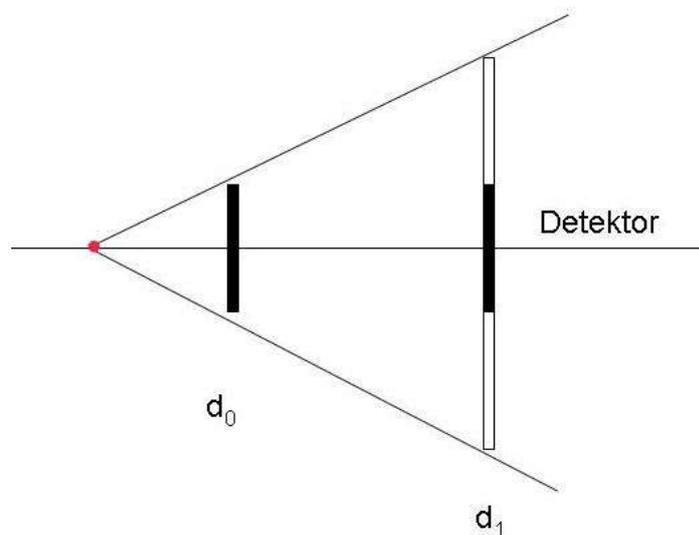
Gamma-Absorber (1, 2, 5, 10, 15, 20, 25mm Pb; 15, 25, 25mm Al;

je 25mm Eisen, Messing, PVC, Plexiglas, Beton, Hartholz, alle $7,9\text{cm} \times 7,9\text{cm}$, jeweils mit Massenangabe;
Zentimetermaßstab 20cm

Literatur:

Rietzler, Kopitzki: *Kernphysikalisches Praktikum*

Walcher: *Praktikum der Physik*



Skizze-1