

Physikalisches Blockpraktikum für Naturwissenschaftler

Betreuer: Heiko Salzmann

Gruppe 2

Reichweite ionisierender Strahlung in Materie

26.02.2019

4.Abgabe

Teilnehmer (Autor): Michael da Silva, Kathrin Fleissner,
Jolanda Friedrich,

eMail: kathrinfleissner@gmx.de
michael dasilva@gmx.de

1. Zielsetzung

In der Natur kommt Strahlung in vielen verschiedenen Formen vor. Wir sind ihr täglich ausgesetzt und haben sie uns zu Nutzen gemacht. Im heutigen Versuch betrachten wir β - und γ -Strahlung. So beschäftigen wir uns mit der Reichweite ionisierter Strahlung und welchen Einfluss Abschirmungen aus Aluminium und Blei auf diese haben. Zur Auslesung werden wir ein einfaches Geiger-Müller Zählrohr zur Hilfe nehmen.

Es werden außerdem die Massenschwächungskoeffizienten für Blei und Aluminium, die maximale Eindringtiefe, die Halbwertsdicke der Abschirmung und die Nachweiswahrscheinlichkeit des Zählrohrs für γ -Quanten berechnet.

2. Auswertung

1: Bestimmung der Eindringtiefe von β -Strahlung und Abschwächung von γ -Strahlung in Aluminium

Im Folgenden sieht man die Tabelle (Tab.1) mit den Messwerten für den IS-Versuch am Geiger-Müller-Zähler. Es wurden 10 verschieden dicke Aluminium-Abschirmungen in das Zählrohr eingesetzt (Dicke x in mm) und die Anzahl an Ereignissen (N_{mess}), sowie die zugehörige Messdauer (t in s) gemessen. Die berechnete bzw. korrigierte Zählrate n_{mess} und n_{korrr} wurden im Aufgabenteil 1.a) berechnet.

a)

Tab. 1: Messergebnisse aus Versuch und zusätzlich errechnete relevante Werte n_{mess} und n_{korrr} zu Al

Element	x/ mm	t/ s	$N_{\text{mess}}/ -$	$n_{\text{mess}}/ \text{s}^{-1}$	$n_{\text{korrr}}/ \text{s}^{-1}$
Al	0,1	60,38	19121	316,67771	341,55518
	0,3	60,28	7445	123,50697	127,11796
	0,5	60,03	3280	54,63935	55,33474
	0,8	60,33	800	13,26040	13,30097
	1	60,25	658	10,92116	10,94866
	2	59,97	619	10,32183	10,34639
	3	60,45	565	9,34657	9,36670
	4	60,18	557	9,25557	9,27531
	8	60,25	524	8,69710	8,71453
	16	60,23	451	7,48796	7,50088

Formeln zur Berechnung von n_{mess} und n_{korrr} :

$$n_{\text{mess}} = \frac{N}{t} \quad (\text{IS. 5})$$

$$n_{\text{korrr}} = \frac{n_{\text{mess}}}{1 - n_{\text{mess}} \cdot \tau_0} \quad \text{mit } \tau_0 = 230 \mu\text{s} \quad (\text{IS.10})$$

N = Anzahl gemessener Ereignisse, t = Messdauer zu N

τ_0 als zu Verwendende Totzeit, in der das Geiger-Müller Zählrohr keine Ereignisse detektieren kann.

b) Diagramm von $\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right)$ auf Dicke x

Im folgenden Diagramm werden die Werte der Korrigierten Zählrate im Logarithmus gegen die Aluminiumdicke $x/ \text{ mm}$ aufgetragen. n_i sind die in a) berechneten korrigierten Zählraten bei den 10 Verschiedenen Abschirmungsdicken (n_1 bei $x=0,1\text{mm}$ etc.)

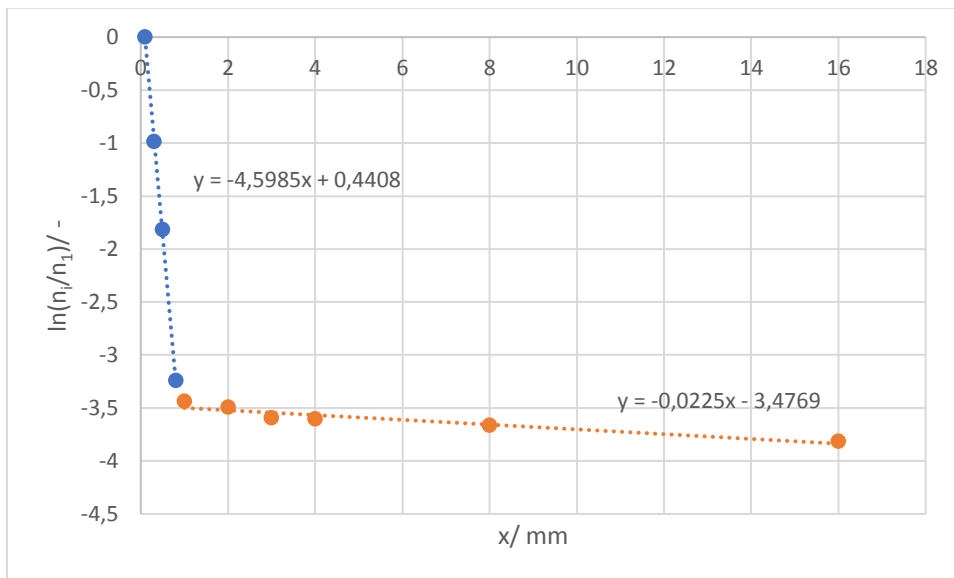


Abb. 1: $\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right)$ über Aluminiumdicke x in mm mit Trendlinien

Der deutliche Knick im Diagramm (Abb.1) wird durch die zunehmende Dicke des Aluminiums verursacht. So erkennt man, dass ab etwa $x=1\text{mm}$ kaum noch β - Strahlung durchgelassen und somit absorbiert werden kann. Bei der weiterhin detektierten Strahlung fällt auf, dass sie deutlich weniger stark absorbiert wird. Daraus lässt sich schließen, dass es sich um die elektromagnetische γ - Strahlung handelt, welche als elektromagnetische Strahlung deutlich weniger absorbiert wird, als die Teilchenstrahlung des β -Zerfalls.

Die blaue Ausgleichsgerade wird beschrieben durch

$$f_{\text{blau}}(x) = -4,59845237x + 0,44079866 \quad (\text{RGP Excel})$$

Sie enthält die Ereignisse der β - und γ -Strahlung.

Die orangene Ausgleichsgerade wird beschrieben durch

$$f_{\text{orange}}(x) = -0,02250328x + -3,47692672 \quad (\text{RGP Excel})$$

und enthält größtenteils die Ereignisse der γ -Strahlung.

c) Bestimmung $d_{\beta, \max}$

Die hier gesuchte maximale Eindringtiefe $d_{\beta, \max}$ lässt sich mit der Formel IS.6 aus dem Skript herleiten:

$$n(d_{\beta, \max}) = \frac{1}{50} n_0 \quad (\text{IS.6})$$

n_0 ist wie im Skript genannt die Anfangszählrate.

$d_{\beta, \max}$ lässt sich als die Schichtdicke definieren bei welcher 98% der Elektronen der β -Strahlung ihre Energie verloren haben. Um Rückschlüsse über diese ziehen zu können betrachten wir unsere steilere Gerade, da sich diese (s. 2.1.2) hauptsächlich auf den β -Zerfall bezieht. $d_{\beta, \max}$ kann mit Hilfe von Interpolation auf $y = \ln(\frac{1}{50})$ berechnet werden, also dem Schnittpunkt unserer Geraden mit der y-Achse bei $y = \ln(\frac{1}{50})$. Dieser Schnittpunkt liefert also die gesuchte Schichtdicke $d_{\beta, \max}$

$$-4,59845237x + 0,090236994 = \ln(\frac{1}{50})$$

Umstellung nach x: $x = (\ln(\frac{1}{50}) - 0,090236994) / -4,59845237$

$$d_{\beta, \max} = 0,87034934 \text{ mm}$$

gerundet auf 3 sig. Stellen: $d_{\beta, \max} = 0,870 \text{ mm}$

d) Massenschwächungskoeffizient

Im Folgenden Aufgabenteil berechnen wir den Massenschwächungskoeffizienten mit Hilfe des linearen Schwächungskoeffizienten μ .

Herleitung $m = -\mu$

Um μ herauszufinden muss man sich zunächst die Intensität einer Strahlung anschauen. Diese ist nach IS.04 definiert als $I = n \cdot \frac{E}{A}$, wobei n die Zählrate, E die Energie und A die Fläche ist.

Nun setzt man I in das selbe Verhältnis wie bei 1.b):

$$\frac{I_i}{I_1} = \frac{n_i \cdot \frac{E_0}{A}}{n_1 \cdot \frac{E_0}{A}} \quad \text{da } E_0 \text{ und } A \text{ konstant wird die Formel vereinfacht zu:}$$

$$\frac{I_i}{I_1} = \frac{n_i}{n_1} \quad \text{Gleichung 1}$$

Man beschreibt den Abfall der Intensität I in einem Medium mit Schichtdicke x durch eine Exponentialfunktion nach IS.07:

$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ diese Formel wird ebenfalls in das Verhältnis wie in 1.b) gesetzt:

$$\frac{I_i(x)}{I_0(x)} = \frac{I_0 \cdot e^{-\mu x_i}}{I_0 \cdot e^{-\mu x_1}} = e^{-\mu \cdot (x_i - x_1)} \quad \text{Gleichung 2}$$

setzt man nun Gleichung 1 gleich Gleichung 2 und zieht daraus ln erhält man:

$$\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right) = -\mu x_i + \mu x_1 \quad \text{Gleichung 3, hierbei ist } \mu x_1 \text{ eine Konstante.}$$

da in 1.b) $\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right)$ als Funktion gegen die Schichtdicke x aufgetragen und bestimmt wurde, können wir nun Gleichung 3 mit der allgemeinen Geradengleichung vergleichen:

$$\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right) = -\mu x_i + \mu x_1$$

$$y = m \cdot x + c$$

es folgt also: $-\mu = m$.

Für m setzt man die Steigung der Geraden ein und erhält so:

$$m = -0,0225 \text{ mm}^{-1} \quad (\text{Excel RGP Ergebnis})$$

$$\rightarrow \mu = 0,0225 \text{ mm}^{-1} = 0,225 \text{ cm}^{-1}$$

Mit $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ g cm}^{-3}$ erhalten wir den Massenschwächungskoeffizienten

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,0833 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

2: Vergleich der Nachweiswahrscheinlichkeit des Zählrohrs

Unser vorliegendes Cäsium Präparat kann sowohl indirekt/ abgestuft als auch direkt zerfallen. Der indirekte zerfall ist der Hauptzerfallskanal (95% der Gesamtzerfälle) unseres Präparates, sodass man davon ausgehen kann, dass alle unsere Zerfälle über diesen geschehen. Hierbei werden neben e^- auch γ -Quanten emittiert.

Laut unserer Aufgabenstellung hat das verwendete Zählrohr für alle geladenen Teilchen eine Ansprechwahrscheinlichkeit von etwa 100% bzw. 1. Somit muss der Quotient der Anzahl der Ereignisse bzw. die Zählrate von γ und der Anzahl der Ereignisse bzw. die Zählrate von β nahezu 1 betragen.

$$\frac{n_\gamma}{n_\beta} \approx 1 (\text{oder } 100\%)$$

Allgemein also:

$$x = \frac{n_\gamma}{n_\beta}$$

Die maximale Zählrate für γ -Photonen soll mit Hilfe des γ -Achsenabschnitts der flacheren Geraden bestimmt werden, welche die Funktion: $f(x) = -0,0225x - 3,4769$ hat.

Die y -Achse ist hierbei als logarithmisch beschrieben, mit $\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right)$.

Gleichsetzen für $x=0$ führt somit zu $\rightarrow$

$$f(0) = -3,4769 = \ln\left(\frac{n_\gamma}{n_1}\right)$$

Durch Anwendung von Rechenregeln für den $\ln \rightarrow \ln(n_\gamma) - \ln(n_1) = -3,4769$

Anhand der Tab. 1: $n_1 = 341,55518 \text{ s}^{-1}$

$$\rightarrow n_\gamma = e^{(-3,4769 + \ln(341,55518))} = 10,5550 \text{ s}^{-1}$$

Weiterhin ist der y -Achsenabschnitt der steilen Geraden als die maximale Zählrate, die durch β - und γ -Strahlung hervorgerufen wird, gegeben.

$$f(x) = -4,5985x + 0,4408$$

$$f(0) = 0,4408 = \ln\left(\frac{n_{\beta+\gamma}}{n_1}\right)$$

$$\rightarrow \ln(n_{\beta+\gamma}) - \ln(n_1) = 0,4408 \quad \text{mit } n_1 = 341,55518 \text{ s}^{-1}$$

$$\rightarrow n_{\beta+\gamma} = 530,7596 \text{ s}^{-1}$$

$$\rightarrow n_{\beta+\gamma} = n_\beta + n_\gamma$$

$$\rightarrow n_\beta = 530,7596 \text{ s}^{-1} - 10,5550 \text{ s}^{-1} = 520,2096 \text{ s}^{-1}$$

Somit können wir nun die Nachweiswahrscheinlichkeit für die γ -Strahlung bestimmen:

$$x = \frac{n_\gamma}{n_\beta} \cdot 100\% = 2,0290 \%$$

Das Geiger- Müller- Zählrohr scheint nur mäßig für die Detektierung von γ -Strahlung geeignet zu sein. Somit können hier nur sehr ungenaue Aussagen über diese getroffen werden, es sollte also auf eine andere Detektionsmethode zurückgegriffen werden.

3: Bestimmung der Abschwächung von γ -Strahlung in Blei

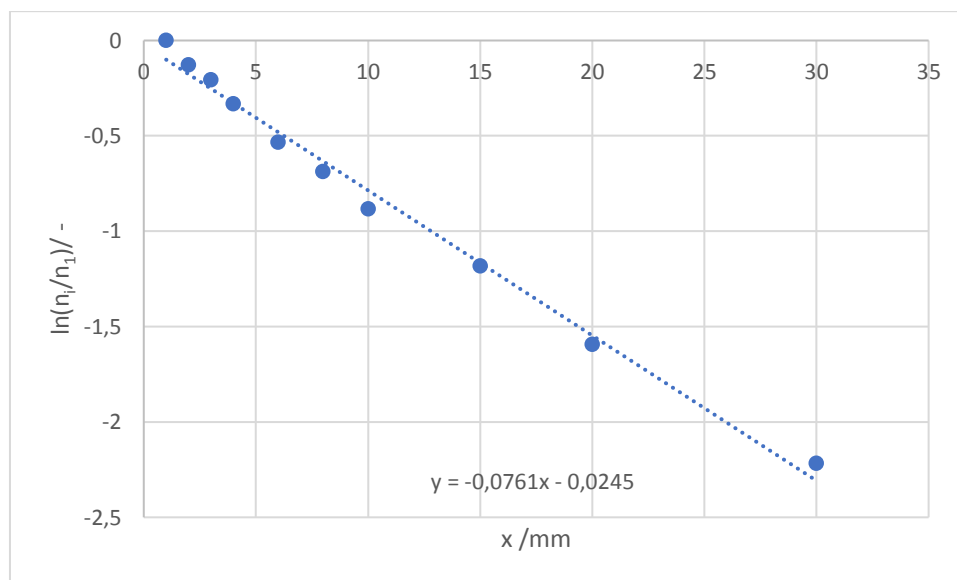
Analog zur Aufgabe 2 (jedoch mit $t=2\text{min}$ statt $t=1\text{min}$) wurden hier 10 verschieden dicke Blei-Abschirmungen in das Zählrohr eingesetzt (Dicke x in mm). Tabelle 2 zeigt die Anzahl an gemessenen Ereignissen N_{mess} , die dazugehörige Messdauer t und die berechnete Zählrate n_{mess} . Die Berechnung von n_{kor} ist hier nicht nötig, da der Zeitabschnitt zwischen zwei Ereignissen in der Regel die Totzeit überschreitet.

Tabelle 2: Messergebnisse zum Versuch sowie berechnete Zählrate n_{mess} zu Pb

Element	x/ mm	t/ s	N _{mess} / -	n _{mess} / s ⁻¹
Pb	1	119,9	1395	11,63469558
	2	120,05	1228	10,22907122
	3	119,3	1126	9,438390612
	4	120,37	1003	8,332641024
	6	120,2	818	6,805324459
	8	119,99	700	5,833819485
	10	120,17	577	4,801531164
	15	120,43	429	3,562235323
	20	119,93	283	2,359709831
	30	120,03	152	1,266350079

a)

Im folgenden Aufgabenteil wird mit Hilfe eines Diagrammes (Abb. 2) $\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right)$ gegen die Bleidicke x / mm aufgetragen. n_i sind die in a) berechneten korrigierten Zählraten bei den 10 Verschiedenen Abschirmungsdicken (n_1 bei $x=1\text{mm}$ etc.)

Abb. 2: $\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right)$ über Bleidicke x in mm mit Trendlinieb) Halbwertsdicke $d_{1/2}$

Bei $d_{1/2}$ handelt es sich um eine Angabe der Dicke der Abschirmung, bei welcher nur noch die Hälfte der ursprünglichen Zählrate gemessen wird.

Hierfür gilt: $d_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\mu}$ (IS. 8)

Die Halbwertsdicke ergibt sich jedoch auch durch Interpolation mit der gegebenen Funktion $y = \ln\left(\frac{1}{2}\right)$ und unserer geplotteten Geraden (siehe Abb.2)

$$-0,07611883 \times -0,02445831 = \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

Umstellung nach x: $x = \left(\ln\left(\frac{1}{2}\right) + 0,02445831 \right) / (-0,07611883)$

$$d_{\frac{1}{2}} = 8,78480227 \text{ mm}$$

gerundet auf 3 sig. Stellen: $d_{\frac{1}{2}} = 8,78 \text{ mm}$

c) Massenschwächungskoeffizient

Im Folgenden Aufgabenteil berechnen wir den Massenschwächungskoeffizienten mit Hilfe des linearen Schwächungskoeffizienten μ .

Das Vorgehen ist analog zu 1.d), auch hier gilt also: $m = -\mu$

Die Steigung der Geraden in Abb.2 lautet $m = -0,0761 \text{ mm}^{-1}$ (Excel RGP Ergebnis)

somit ist der lineare Schwächungskoeffizient $\mu = -m = 0,0761 \text{ mm}^{-1} = 0,761 \text{ cm}^{-1}$

mit $\rho_{\text{Pb}} = 11,34 \text{ g cm}^{-3}$ ergibt sich der Massenschwächungskoeffizient für Blei

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,0671 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

Fazit:

Vergleich berechnete Massenschwächungskoeffizienten mit Literaturwerten:

Al: $\text{berechnet: } \frac{\mu}{\rho} = 0,0833 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$

Literaturwert: $0,0564 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$

Abweichung: 32,29 %

Der Literaturwert ist deutlich geringer als unser berechneter Massenschwächungskoeffizient für Aluminium. Dies liegt vermutlich an der schlechten Nachweiswahrscheinlichkeit des Zählrohrs für die γ -Quanten von 2,0290%.

Pb: $\text{berechnet: } \frac{\mu}{\rho} = 0,0671 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$

Literaturwert: $0,0732 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$

Abweichung: 8,33 %

Der Literaturwert liegt diesmal über unserem berechneten Massenschwächungskoeffizienten für Blei. Auch hier kommt Differenz vermutlich aufgrund der fehlenden Genauigkeit des Zählrohrs für γ -Strahlung zu Stande, auch wenn die Abweichung im Vergleich zu Al deutlich geringer ausfällt.

Durch die geringe Nachweiswahrscheinlichkeit haben statische Fehler einen größeren Einfluss und führen somit zu einer größeren Unsicherheit in der Bestimmung der Anfangsintensität.

Die maximale Eindringtiefe $d_{\beta, \max} = 0,870\text{mm}$ sowie die Halbwertsdicke $d_{\frac{1}{2}} = 8,78\text{mm}$ lassen sich im Versuchsaufbau sinnvoll bestimmen.

In der Theorie ist Blei besser für die Absorption von Strahlung geeignet als Aluminium. Unsere Messwerte liefern uns jedoch die Umgekehrte Reihenfolge. Daraus lässt sich schließen, dass der Versuch mit dem Geiger-Müller Zählrohr sehr ungenau ist, um die Massenschwächungskoeffizienten zu bestimmen und man deshalb Materialien nicht verlässlich auf ihre Fähigkeit, Strahlungen abzuschirmen testen kann.

Messwerte - Versuch Ionisierende Strahlung

Datum des Versuchstags: 26.02.19Gruppennummer: 2Nummer Zählrohr: 4Teilnehmer: Michael da SilvaNummer Messkammer: 4Kathrin FleissnerNummer Abschirmungen: 4Jolanda FriedrichTriggerrate: AutoUnterschrift Assistent/-in: 26.02.2019

2. Aufgabe: Abschirmung von Aluminium

Messfehler: entf. Jolanda
Michael

Element	x/mm	t/s	N _{mess}	n _{mess} /s ⁻¹	n _{korrt} /s ⁻¹
Al	0,1	60,38	19121		
Al	0,3	60,28	7445		
Al	0,5	60,03	3280		
Al	0,8	60,33	800		
Al	1,0	60,25	658		
Al	2,0	59,97	619		
Al	3,0	60,45	565		
Al	4,0	60,18	557		
Al	8,0	60,25	524		
Al	16,0	60,23	451		

3. Aufgabe: Abschirmung von Blei

Element	x/mm	t/s	N _{mess}	n _{mess} /s ⁻¹
Pb	1,0	119,9	1395	
Pb	2,0	120,05	1228	
Pb	3,0	119,13	1126	
Pb	4,0	120,3	1003	
Pb	6,0	120,2	818	
Pb	8,0	119,99	700	
Pb	10,0	120,17	577	
Pb	15,0	120,43	429	
Pb	20,0	119,93	283	
Pb	30,0	120,03	152	

Raum für Notizen:

Al $0,00564 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$
Pb $0,00732 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$