

Protokoll:

[IS] Ionisierende Strahlung

Betreuer: Heiko Salzmann

Studiengang: Medizintechnik

Erstellt am: 27.02.2019

Zielstellung des Versuchs

Wir alle sind tagtäglich umgeben von Strahlung. Dabei gibt es verschiedene Arten von Strahlung. Im folgenden Versuch gilt herauszufinden inwiefern sich die Strahlungen äußern, welche Arten es gibt und auf welche Weise sie abhängig von der Materie sind die sie durchdringen müssen. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die sogenannte β -Strahlung und γ -Strahlung gelegt. Wir bestimmen die Eindringtiefe von β -Strahlung in Aluminium und berechnen in dem Zuge zusätzlich einen Wert bei dem 98% der β -Teilchen ihre Energie verloren haben.

Zudem werden die Halbwertsdicke von Blei für γ -Strahlung sowie die Massenschwächungskoeffizienten von Aluminium und Blei ermittelt.

Auswertung

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

(a)

In Tabelle 1 wurden die Messwerte zur Bestimmung der Eindringtiefe von β -Strahlung und Abschwächung von γ -Strahlung in Aluminium festgehalten. Es wurden 10 Aluminiumproben in einem Zeitraum von ca. 60s bestrahlt. Notiert wurde die jeweilige Aluminiumdicke, die exakte Zeit und die Anzahl an ausgelösten Ereignissen. Dabei ist x die Probendicke, t in s ist die Dauer in der wir die Ereignisse gemessen haben, N_{mess} ist die Anzahl der Ereignisse, die Zählrate n_{mess} in 1/s ist die Anzahl an Ereignissen über die Zeit t und n_{korrr} in 1/s ist ein mittels der folgenden Formel korrigierter Wert und wird als korrigierte Zählrate bezeichnet. Mittels der Formel wird die sogenannte Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohrs berücksichtigt. In der Totzeit, welche zwischen zwei Ereignissen liegt, ist das Geiger-Müller-Zählrohr nicht in der Lage ein weiteres Ereignis zu detektieren.

$$n_{\text{mess}} = \frac{N_{\text{mess}}}{t}$$

(mit Anzahl an Ereignissen N in der gemessenen Zeit t)

$$n_{\text{korrr}} = \frac{n_{\text{mess}}}{1 - n_{\text{mess}} \cdot \tau_0}$$

(IS.10) mit der Totzeit $\tau_0 = 230\mu\text{s}$

Tabelle 1: zeigt die gemessene Anzahl an Ereignissen bezogen auf eine bestimmte Materialdicke von Aluminium innerhalb eines bestimmten gemessenen Zeitraums.

Aluminium	x in mm	t in s	N_{mess} in -	n_{mess} in 1/s	n_{korrr} in 1/s
	0,1	60,26	19813	328,791902	355,689935
	0,3	59,88	7956	132,865731	137,05398
	0,5	60,73	3389	55,80438	56,5299423
	0,8	59,81	714	11,937803	11,9706709
	1	59,73	693	11,6022099	11,6332534
	2	59,68	660	11,0589812	11,0871822
	3	60,19	637	10,5831533	10,6089769
	4	59,37	621	10,4598282	10,4850527
	8	60,23	520	8,63357131	8,65074929
	16	54,97	453	8,24085865	8,25650801

(b)

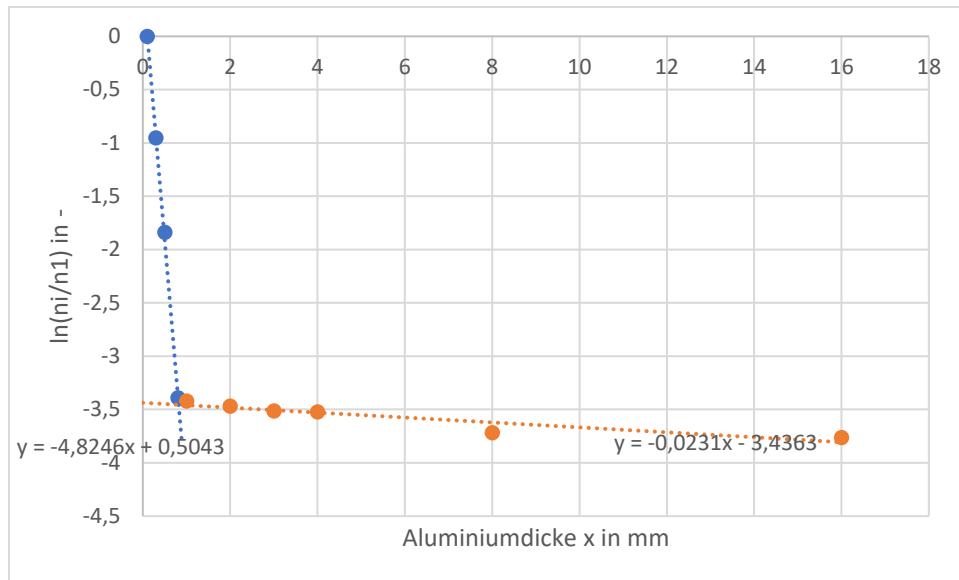


Abbildung 1: trägt den $\ln(n_i/n_1)$ gegen die Aluminiumdicke x auf. Wobei n_1 die korrigierten Zählrate bei $x = 0,1\text{mm}$ bezeichnet und n_i alle gemessenen korrigierten Zählraten, zugehörig zu den Aluminiumdicken, bezeichnet.

Der Schnittpunkt der beiden Ausgleichsgeraden in Abb. 1 liegt etwa bei einer Dicke von ca. 1mm. Dies ist kein Zufall. Bei dieser Aluminiumdicke ist beinahe alle β -Strahlung vollständig absorbiert. Übrig bleibt nur noch die γ -Strahlung, die als elektromagnetische Strahlung das Material weiterhin durchdringen kann und deutlich weniger absorbiert wird. Es wurden Ausgleichsgeraden so gelegt, dass der Knick deutlich zu erkennen ist. Die erste Ausgleichsgerade $y = -4,8246x + 0,5043$ ergibt sich aus den ersten 4 Aluminiumdicken (siehe Tabelle 1) und die zweite Ausgleichsgerade $y = -0,0231x - 3,4363$ ergibt sich aus den restlichen Aluminiumdicken.

(c)

Als nächstes wird die Schichtdicke bestimmt, bei welcher 98% der β -Teilchen ihre Energie verloren haben. Diese Schichtdicke wird als die maximale Eindringtiefe $d_{\beta, \max}$ bezeichnet und durch Interpolation bestimmt.

Dafür wird folgende Formel verwendet:

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

Die Geradengleichung der steilen Gerade ist in Abb. 1 ablesbar.

Im folgenden Schritt wird die blaue Ausgleichsgerade auf $\ln\left(\frac{1}{50}\right)$ interpoliert.

$$-4,8246x + 0,5043 = \ln\left(\frac{1}{50}\right)$$

$$x = \frac{\ln\left(\frac{1}{50}\right) - 0,5043}{-4,8246}$$

$$x = 0,915\text{mm}$$

Somit lässt sich laut Messungen behaupten, dass bei einer Schichtdicke von 0,915mm 98% der β -Teilchen ihre Energie verloren haben.

(d)

Für die Steigung der flachen Gerade gilt laut Versuchsanleitung:

$$m = -\mu$$

Herleitung:

Dabei werden die Formeln IS.4 und IS.7 in Verbindung gesetzt.

In IS.4 kürzen sich E_Q und A gegenseitig. Man geht davon aus, dass die Strahlungsquanten alle dieselbe Energie E_Q besitzen. Da die Energie E_Q für alle Strahlungsquanten dieselbe ist, spricht man von einer monochromatischen Strahlung. A ist dabei die Querschnittsfläche, die durchsetzt wird. Es entsteht die Formel: $\frac{I_i}{I_1} = \frac{n_i}{n_1}$ (I).

In IS.7 kürzt sich die Anfangsintensität I_0 und man erhält die Formel: $\frac{I_i(x)}{I_1(x)} = e^{-\mu \cdot (x_i - x_1)}$ (II).

Setzt man (I) und (II) gleich entsteht nach der Anwendung des natürlichen Logarithmus folgende Formel:

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

Anschließen wird $\ln\left(\frac{n_i}{n_1}\right)$ gegen die jeweilige Dicke der Probe aufgetragen.

Die von uns mit Excel aufgezeichnete Ausgleichsgerade besitzt die Geradenform $y = mx + c$. Nun lässt sich behaupten, dass die Koeffizienten aus (II) und der bekannten Geradenform gleich sind, also $-\mu$ und m . Es entsteht der Zusammenhang $m = -\mu$.

Aus dem Zusammenhang ergibt sich für den linearen Schwächungskoeffizient $\mu = 0,0231 \frac{1}{\text{mm}}$. Mit dieser Information lässt sich der Massenschwächungskoeffizient von Aluminium mittels der Formel $\frac{\mu}{\rho}$ ausrechnen. Dabei ist ρ die Dichte des Materials.

Mit $\rho_{Al} = 2,7 \text{gcm}^{-3}$

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{0,231 \frac{1}{\text{cm}}}{2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 0,0856 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

Der Massenschwächungskoeffizient beträgt somit $0,0856 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$.

2.

Man berechnet die Nachweiswahrscheinlichkeit für γ -Strahlung mit der Annahme, dass das Ansprechverhalten für geladene Teilchen $\approx 100\%$ ist wie folgt:

$$W = \frac{n_{\gamma,max}}{n_{\beta,max}}$$

Zudem geht man davon aus, dass nahezu jeder Betazerfall des Cäsiums von einem Gammaübergang des angeregten Tochterkerns gefolgt wird.

Die angenäherte Gleichung für die γ -Strahlung erhält man aus der flachen Gerade aus Abb.1 (orange):

$f(x) = -0,0231x - 3,4363$. Dabei liegt die maximale Zählrate bei $x=0$.

Somit folgt:

$$f(0) = -3,4363 \quad \ln\left(\frac{n_{\gamma,max}}{n_1}\right) = \ln(n_{\gamma,max}) - \ln(n_1) = -3,4363 \quad (\text{mit } n_1 = 355,6899) .$$

Wobei n_1 die korrigierten Zählrate bei $x = 0,1\text{mm}$

$$\ln(n_{\gamma,max}) = 2,4378$$

$$n_{\gamma,max} = e^{2,4378} = 11,45\text{Hz}$$

Man erhält aus der Gleichung der β - und γ -Strahlung aus Abb.1 : $f(x) = -4,8246x + 0,5043$ mit selber Rechnung für $n_{\beta,\gamma,max}$:

$$n_{\beta,\gamma,max} = 588,96\text{Hz}$$

$$n_{\beta,max} = n_{\beta,\gamma,max} - n_{\gamma,max} = 577,51$$

Die Nachweiswahrscheinlichkeit W ist somit:

$$W = \frac{12,41\text{Hz}}{577,51\text{Hz}} = 0,021 = 2,1\%$$

Man kann somit sagen, dass die Nachweiswahrscheinlichkeit für γ -Strahlung mit 2,1% sehr niedrig ist. Um diese Strahlung nachzuweisen würde sich also eine alternative Methode empfehlen, mit welcher man genauere Ergebnisse erzielen könnte.

3.

Bestimmung der Abschwächung von γ -Strahlung in Blei.

(a)

In der Tabelle 2 wurden die Messwerte der Abschwächung von γ -Strahlung in Blei festgehalten. Es wurden erneut 10 verschiedene Schichtdicken bestrahlt, allerdings dieses Mal ca. 120 Sekunden. Notiert haben wir erneut die jeweilige Probendicke, die exakte Zeit t und die Anzahl an detektierten Ereignissen. Dabei stellt sich x in mm als die Dicke der Probe dar, t in s ist die Dauer in der wir die Ereignisse gemessen haben, N_{mess} stellt die Anzahl an Ereignissen dar und die Zählrate n_{mess} in 1/s ist die Anzahl an Ereignissen über der Zeit t . Eine korrigierte Zählrate kann in diesem Versuchsteil vernachlässigt werden, da die Ereignisse in größeren Zeitabständen detektiert werden und somit die Totzeit weniger relevant wird. In Abbildung 2 wurde erneut der $\ln(n_i/n_1)$ gegen die Bleidicke x aufgetragen und eine Ausgleichsgerade angepasst. Dabei wurden die Werte aus Tabelle 2 verwendet. Im Gegensatz zu Abbildung 1 ist kein „Knick“ zu erkennen. Dies liegt daran, dass beinahe alle β -Strahlung von der Bleiprobe absorbiert wird. Es wird somit nur γ -Strahlung detektiert.

Tabelle 2: zeigt die gemessene Anzahl an Ereignissen bezogen auf eine bestimmte Materialdicke von Blei innerhalb eines bestimmten gemessenen Zeitraums.

Blei	x in mm	t in s	n_{mess} in -	n_{mess} in 1/s
	1	120,32	1532	12,7327128
	2	120,04	1338	11,1462846
	3	119,96	1179	9,82827609
	4	119,79	1005	8,38968194
	6	120,12	817	6,8015318
	8	119,93	735	6,128575
	10	119,98	627	5,22587098
	15	120,22	451	3,75145566
	20	120,16	326	2,71304927
	30	120,16	162	1,3482024

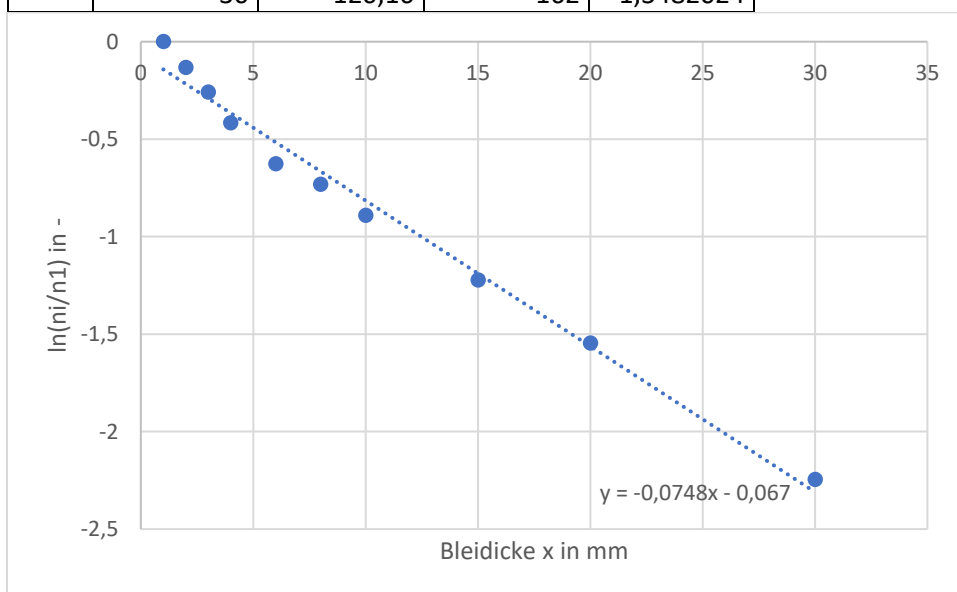


Abbildung 2: trägt den $\ln(n_i/n_1)$ gegen die Bleidicke x auf und es ergibt sich die Ausgleichsgerade $y = -0,0748x - 0,067$. Wobei n_1 die Zählrate bei $x = 1$ mm bezeichnet und n_i alle gemessenen Zählraten, zugehörig zu den Bleidicken, bezeichnet.

(b)

Als nächstes kann die Halbwertsdicke $d_{\frac{1}{2}}$ durch Anwendung der Formel:

$$y = \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

bestimmt werden.

Durch gleichsetzen der Gerade $y = -0,0748x - 0,067$ mit der y -Koordinate $\ln(1/2)$ erhält man:

$$x = \frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{-0,0748} + \frac{0,067}{-0,0748}$$

$$d_{\frac{1}{2}} = 8,37 \text{ mm.}$$

Diese Zahl beschreibt nun laut unseren Messwerten die Dicke des Materials die benötigt wird um die Strahlung auf die Hälfte seiner ursprünglichen Intensität zu reduzieren.

(c)

Für die Steigung der Gerade gilt laut Versuchsanleitung:

$$m = -\mu$$

Daraus ergibt sich für $\mu = 0,0748 \frac{1}{\text{mm}}$. Mit dieser Information lässt sich der Massenschwächungskoeffizient von Blei mittels der Formel $\frac{\mu}{\rho}$ ausrechnen.

Mit der Dichte $\rho_{Pb} = 11,34 \text{ g cm}^{-3}$

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{0,748 \frac{1}{\text{cm}}}{11,34 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 0,0660 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

Der von uns errechnete Massenschwächungskoeffizient beträgt somit $0,0660 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$.

Fazit

Unsere gemessenen und errechneten Werte zeigen teils Abweichungen von den Literaturwerten.

Für die maximale Eindringtiefe $d_{\beta, \max}$ von Aluminium im ersten Versuchsteil haben wir den Wert $d_{\beta, \max} = 0,915 \text{ mm}$ ermitteln können.

Für die Halbwertsdicke $d_{\frac{1}{2}}$ von Blei im zweiten Versuchsteil haben wir den Wert $d_{\frac{1}{2}} = 8,37 \text{ mm}$ ermittelt.

Für den Massenschwächungskoeffizient von Aluminium haben wir den Wert $0,00856 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$ ermittelt.

Laut den im Versuch gegebenen Werten liegt dieser eigentlich bei $0,00564 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$. Für Blei haben wir den

Massenschwächungskoeffizient $0,00660 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$ ermittelt. Dieser liegt laut gegebenem Wert bei

$0,00732 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$. Zu erkennen ist, dass wir im ersten Versuchsteil mit Aluminium deutlich höher liegen als der Literaturwert. Zu erklären ist dies zu einem Teil mit der geringen Nachweiswahrscheinlichkeit für γ -Strahlung.

Im zweiten Versuchsteil mit Blei liegen wir schon deutlich näher am Literaturwert. Dabei wird beinahe ausschließlich γ -Strahlung detektiert, da Blei in der Lage ist deutlich mehr β -Strahlung zu absorbieren als Aluminium.

Generell spricht ein höherer Massenschwächungskoeffizient für höhere Absorbierung von elektromagnetischen Strahlen. Laut den von uns ermittelten Werten wird die Strahlung durch Aluminium besser absorbiert als durch Blei. Dies ist falsch, was auch die Literaturwerte bezeugen. Somit lässt sich rückschließend behaupten, dass die Genauigkeit des Experimentes in Frage zu stellen ist.

Dies könnte mehrere Fehlerquellen besitzen. Unter anderem liegt es an unvermeidbaren Fehlern. Es ist unmöglich die Messung, der Ereignisse und der Zeit, zeitgleich zu starten und zu beenden. Somit existiert von Grund auf bei den Messwerten eine Asynchronität. Es existiert ebenfalls eine Ungenauigkeit des Geiger-Müller-Zählrohrs, welches als Detektor für die γ -Strahlung ungeeignet ist. Der von uns errechnete Wert für die Nachweiswahrscheinlichkeit von γ -Strahlung liegt bei 2,1%. Dies führt zu einem größeren Einfluss von statistischen Fehlern. Daraus resultiert zusätzlich eine größere Unsicherheit in der Bestimmung der Anfangsintensität.

Dieser Fehler zieht sich durch die gesamten Messungen und macht es beinahe unmöglich exakte Werte für die Halbwertsdicke und linearen Schwächungskoeffizienten zu ermitteln.

Dazu kommt, dass die Ungenauigkeit der Anfangsintensität massiven Einfluss auf die nachfolgenden Rechnungen hat und bereits schon dort ein Fehler existiert.

Messwerte - Versuch Ionisierende Strahlung

Datum des Versuchstags: 27.02.19Gruppennummer: 3Nummer Zählrohr: 5Teilnehmer: [REDACTED]Nummer Messkammer: 5Nummer Abschirmungen: 5Triggerrate: AUTOUnterschrift Assistent/-in: [REDACTED]

2. Aufgabe: Abschirmung von Aluminium

Element	x/mm	t/s	N _{mess}	$\frac{N_{\text{mess}}}{t}$	n_{kor}/s^{-1}
Al	0,1	60,26	19813	328,79	355,6899
Al	0,3	59,88	7956	132,87	137,05
Al	0,5	60,73	3389	55,80	56,53
Al	0,8	59,81	714	11,94	11,97
Al	1,0	59,73	643	11,00	11,63
Al	2,0	59,68	660	11,06	11,08
Al	3,0	60,19	637	10,58	10,61
Al	4,0	59,33	680	10,46	10,49
Al	8,0	60,23	520	8,63	8,65
Al	16,0	54,97	453	8,24	8,26

$$n_{\text{kor}} = \frac{n_{\text{mess}}}{1 - n_{\text{mess}} \cdot \tau_0}$$

$$\tau_0 = 230 \text{ ns} = 0,00023 \text{ s}$$

3. Aufgabe: Abschirmung von Blei

Element	x/mm	t/s	N _{mess}	n_{mess}/s^{-1}
Pb	1,0	120,32	1532	12,7327
Pb	2,0	120,04	1338	11,15
Pb	3,0	119,96	1179	9,83
Pb	4,0	119,79	1005	8,39
Pb	6,0	120,12	817	6,80
Pb	8,0	119,93	735	6,13
Pb	10,0	119,98	677	5,63
Pb	15,0	120,22	451	3,75
Pb	20,0	120,16	326	2,71
Pb	30,0	120,16	162	1,35

Raum für Notizen: