

Versuch: P2-82

Beta- und Gamma-Absorption

- Auswertung -

Vorbemerkung

Ziel dieses Versuchs war die genauere Untersuchung der Wechselwirkung von radioaktiver Strahlung (genauer: β - und γ -Strahlung) mit Materie. Als Nachweisgerät verwendeten wir das Geiger-Müller-Zählrohr, dessen Eigenschaften ebenfalls näher untersucht wurden. In der zweiten Aufgabe beschäftigten wir uns mit der Absorption der Strahlung und dem Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe.

Inhaltsverzeichnis

1	Geiger-Müller-Zählrohr und β-Absorption	2
1.1	Zählrohrcharakteristik bei kleinen Zählraten	2
1.2	oszilloskopische Bestimmung der Totzeit	3
1.3	Bestimmung der Totzeit aus Zählergebnissen	4
1.4	β -Absorptionskurve von Aluminium	5
1.5	Aktivitätsbestimmung der $Co - 60$ -Quelle	7
1.6	Untersuchung der Zeitintervall-Verteilungen	8
2	γ-Absorption	9
2.1	γ -Absorptionskurve von Blei für $Co - 60$ und Massenabsorptionskoeffizient	9
2.2	Absorptionsvermögen verschiedener Absorbermaterialien	11

1 Geiger-Müller-Zählrohr und β -Absorption

1.1 Zählrohrcharakteristik bei kleinen Zählraten

In diesem Aufgabenteil sollte die Zählrohrcharakteristik, also der Zusammenhang von an Anode und Kathode anliegender Spannung und registrierten Impulsen untersucht werden. Hierfür wurde folgender Aufbau verwendet: ein Computer übernahm in diesem Versuch (und auch in allen folgenden Versuchsteilen) die Zählung der Impulse. Mittels entsprechender Programme (s. Vorbereitungsmappe) konnte man eine Zeitspanne eingeben, in der gemessen werden sollte; nach Ablauf der Spanne wurde die Anzahl der registrierten Impulse ausgegeben (und als Datenpaket auf einer Diskette gespeichert). Der Computer war logischerweise mit dem Geiger-Müller-Zählrohr verbunden, was seinerseits wieder mit einer regelbaren Spannungsquelle (mit parallelem Voltmeter) verbunden war. An dieser wurde die anliegende Spannung verändert. Zusätzlich wurde an das Zählrohr noch ein Oszilloskop angeschlossen, damit man die Impulshöhe oszilloskopisch darstellen konnte. Der Geiger-Zähler stand auf einer optischen Bank, davor konnte eine Halterung positioniert werden, die das radioaktive Präparat beherbergen konnte. Die Versuchsdurchführung war nun also folgende: zuerst sollte eine kleine Zählrate eingestellt werden, etwa $300\frac{1}{s}$. Um dies zu erreichen, stellten wir das Präparat in mittlerer Entfernung zum Zählrohr auf und ließen den Computer mehrere Messungen von 5 Sekunden durchführen. Diese Messungen wurden solange mit verschiedenen Abständen wiederholt, bis sich die gewünschte durchschnittliche Zählrate eingestellt hatte. Nun konnte mit der eigentlichen Messung begonnen werden. Hierfür wurde die Spannung auf den gewünschten Wert geregelt, die Zeitmessung gestartet und dann die Zählraten abgelesen. Desweiteren wurde das Oszilloskop beobachtet: nach richtiger Triggerung konnte man viele kleine Impulse sehen, in Form von vielen, schnellen Peaks. Mittels grober Abschätzung wurde der größte dieser Peaks ermittelt und der entsprechende Wert als Maß für die Impulshöhe notiert. Es ergaben sich folgende Messwerte für das *Co – 60* Präparat:

Spannung [V] Zählrohr	Anzahl der Impulse	Impuls- höhe [V]
561	2882	6
531	2725	5
516	2520	4,6
501	2480	4,5
471	2250	3,5
441,5	1942	2,5
411	1432	2
396	1107	1,3
389	862	1,1
385	675	1
383	270	1
381	116	1
377	4	0,8
370	0	0,3
366	0	0,1
350	0	0

Was man möglicherweise zuerst irritiert feststellen sollte, ist, dass wir eine Impulshöhe für nicht vorhandene Impulse gemessen haben. Es ist unklar, was das zu bedeuten hat. Es wurden keine Ereignisse registriert, jedoch waren trotzdem besagte Peaks auf dem Oszilloskop erkennbar und messbar; möglicherweise handelt es sich um Untergrundeffekte im Zählrohr, die aber keine Ereignisse symbolisieren. Zur Messung ist anzumerken, dass die Bestimmung der Impulshöhe recht schwer durchzuführen ist, denn die Peaks sind sehr schnell wieder abgebaut, so dass man nur grob schauen kann, wo denn der höchste gewesen sein mag - somit kann mit sicherlich einen Fehler von 0,25V bis 0,5V annehmen.

Betrachten wir nun also die Zählrohrcharakteristik und die Impulshöhen:

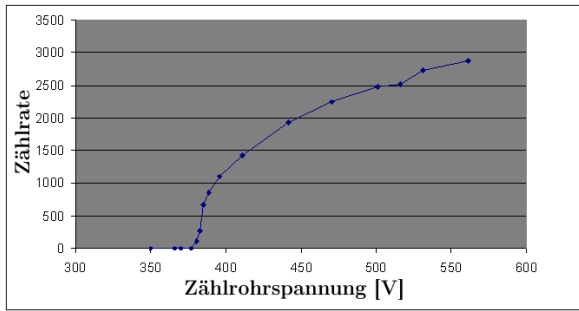


Abb.1: Zählrohrcharakteristik

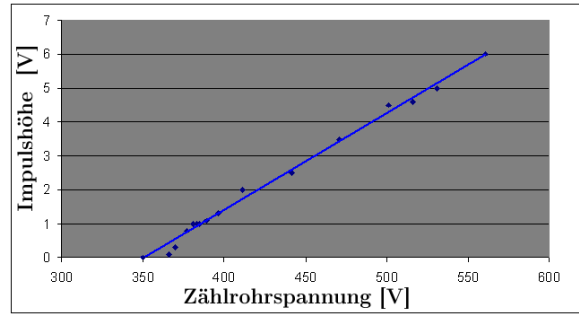


Abb.2: Impulshöhen

Dies sind mehr oder weniger schöne Ergebnisse. Für die Impulshöhe ist zweifelsfrei ein linearer Zusammenhang zur Zählrohrspannung zu erkennen. Dies ist plausibel, denn die je höher die Spannung ist, desto schneller werden die Elektronen in der Lawine beschleunigt und die Lawine bewegt sich stärker und schneller voran.

Die Zählrohrcharakteristik ist leider nicht ganz wie gewünscht. Zu Beginn ist gut zu erkennen, dass vor dem Schwellenwert (etwa 375V) keinerlei Ereignisse detektiert werden können. Danach folgt der in der Vorbereitung begründete starke Sprung mit schnellem Anstieg der Zählrate. Nun kommen wir aber zu dem Teil der Messung, der etwas zu wünschen übrig lässt: das Plateau ist schlecht erkennbar. Nach den Vorüberlegungen sollte es einen etwas größeren Bereich geben, in dem die Zählrate bei sich erhöhender Spannung konstant bleibt - dieser konstante, zumindest lineare Bereich ist aber kaum zu erkennen. Man sieht zwar, dass sich die Kurve nach dem schnellen Anstieg deutlich im Uhrzeigersinn krümmt, jedoch ist sie vom linearen Verlauf ein wenig entfernt. Hierfür gibt es zwei mögliche Erklärungen: zum ersten könnten schlicht die letzten beide Werte zu hoch sein. Setzt man die Zählrate für die letzten um etwa 1000-2000 herunter, so hat man den linearen Verlauf am letzten Teilstück der Kurve. Die andere (vielleicht plausiblere) Variante wäre die, dass der Messbereich zu klein war. Dies ist konstruktionsbedingt, denn die Maximaleinstellung für die Zählrohrspannung war 561V. Es ist durchaus möglich, dass wenn man einen größeren Bereich betrachtet hätte, z.B. bis 650V, dass sich die Kurve dann in etwa einem linearen Verhalten angepasst hätte. Nichtsdestotrotz entsprechen die Messungen unseren Voraussagen. Desweiteren sollte noch ein sinnvoller Arbeitspunkt für die nächsten Aufgaben ausgesucht werden. Hierfür ist die Mitte des Plateaus am sinnvollsten. Wir wählten (dies ist in allen folgenden Aufgaben die Grundeinstellung) eine Zählrohrspannung von 516V.

1.2 oszilloskopische Bestimmung der Totzeit

Bevor die Totzeit des Zählrohrs, also die Zeit nach einem detektierten Ereignis, in dem das Rohr kein weiteres Ereignis registrieren kann, mittels Messungen von Zählraten bestimmt wird, sollte oszilloskopisch ein Eindruck der Lage gewonnen werden. Dafür setzten wir wieder eine Probe vor das Zählrohr und schlossen das Oszilloskop so an, dass die Impulse getriggert über der Zeit aufgetragen wurden. Das resultierende Bild war etwa das folgende:

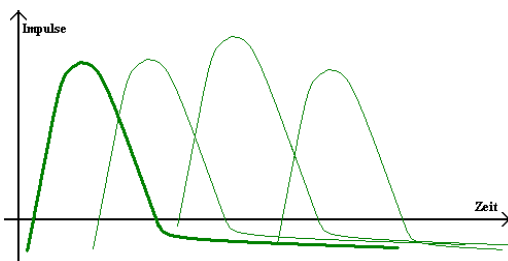


Abb.3: Oszilloskop-Bild

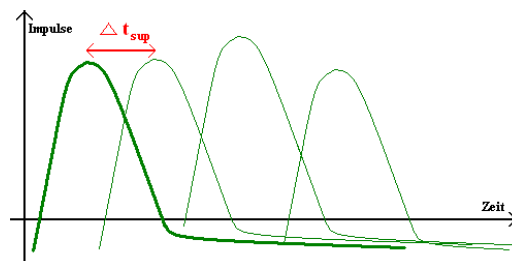


Abb.4: kleinster Abstand als Totzeitsupremum

Abbildung 3 ist sozusagen ein nachgezeichnetes Standbild. Es war immer rechts eine starke Kurve zu sehen, die das erste Ereignis darstellt. Darauffolgende Ereignisse waren dünnere Kurven, die ständig wechselten, sowohl leicht in der Höhe als auch im Abstand. Diese kleinen Impulse sind die später

registrierten Impulse. Nun geht es also darum die Totzeit zu bestimmen. Diese ist nicht leicht zu ermitteln, wir können lediglich auf eine obere Schranke schließen. Diese obere Schranke entspricht gerade dem kleinsten Abstand, den man zwischen dem linken und einem beliebigen anderen Peak beobachten kann (Abb.4). Man schaut sich also eine Zeit lang das Oszilloskop-Bild an und wartet und beobachtet, welcher der vielen Peaks am nächsten am linken Ausgangspeak ist. Dieser kleinste Abstand kann dann als obere Grenze für die Totzeit angenommen werden. Wir führten 2 Messungen bei verschiedenen Einstellungen am Oszilloskop durch:

Oszil.-Einstellung: $[\frac{\mu s}{cm}]$	Abstand $[cm]$	Δt_{sup} $[\mu s]$
50	0,8	40
20	2	40

Somit halten wir fest, dass wir als obere Schranke für die Totzeit des verwendeten Zählrohrs $\Delta t_{sup} = 40\mu s$ annehmen können.

1.3 Bestimmung der Totzeit aus Zählergebnissen

Nun sollte die Totzeit statistisch, also aus den Ergebnissen einer Messung gewonnen werden. Die Messung wurde für das $Sr-90/Y-90$ Präparat durchgeführt und zwar bei verschiedenen Zählraten. Diese wurden wieder wie in Aufgabe 1.1 langsam mittels kurzer Kontrollmessungen über wenige Sekunden eingestellt. Zuerst maßen wir beide Präparate zusammen, wobei schlicht ein Halter vor das Zählrohr befestigt wurde, der 2 Proben aufnehmen konnte. Danach wurden beide Präparate einzeln vermessen, die Dauer der Messung stimmt bei allen 3 Messungen überein. Der Gedankengang zur Totzeitbestimmung ist der, dass aufgrund der hohen Zählrate die Summe der Einzelzählraten der beiden Präparate nicht die Zählrate der beiden Präparate zusammen ist, denn bei hoher Zählrate werden einige Ereignisse in die Totzeit des Zählrohres fallen und somit nicht detektiert werden. Ausgehend von der Formel:

$$N_{wahr} = \frac{N_{mess}}{1 - \frac{N_{mess} \cdot \tau}{T}} \quad (1)$$

wobei N_{wahr} die tatsächliche und N_{mess} die registrierte Summe von Ereignissen, T die Messzeit und τ die als konstant angenommene Totzeit bezeichne, erhält man mittels:

$$N_{wahr_1} + N_{wahr_2} = N_{wahr_{12}} \quad (2)$$

folgende Formel für die Bestimmung der Totzeit:

$$\tau = \frac{T}{N_{12}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(N_1 + N_2 - N_{12}) \cdot N_{12}}{N_1 \cdot N_2}} \right) \quad (3)$$

Es ergaben sich die folgenden Messwerte:

Zählrate $[\frac{1}{s}]$		Anzahl Ereignisse
300	beide Proben N_{12}	5976
	erste Probe N_1	3074
	zweite Probe N_2	3259
150	beide Proben N_{12}	2908
	erste Probe N_1	1439
	zweite Probe N_2	1652

Darüber hinaus war die Messzeit $T = 20s$ und die Zählrohrspannung (wie immer) $516V$. Die erste Zählrate betrug auf Anraten des Betreuers nur 300 statt 500 Ereignisse pro Sekunde, denn auch bei Positionierung der Präparate unmittelbar vor dem Rohr konnte (wohl aufgrund mangelnder Aktivität) keine größere Zählrate als 300 erreicht werden.

Es ergeben sich also mittels (3) die folgenden statistischen Werte für die Totzeit:

Zählrate [$\frac{1}{s}$]	Totzeit τ [μs]
300	377,7
150	818,5

Dieses Ergebnis ist vor allem eines: ärgerlich. Da wir nämlich in den nächsten Versuchsteilen weiter mit der Totzeit arbeiten müssen, wäre eine genaue Bestimmung sehr zu wünschen gewesen. Wir haben nun also Werte von $40 \mu s$ (Oszi, Aufg. 1.2) und statistisch $377,7 \mu s$, sowie $818,5 \mu s$. Dies lässt darauf schließen, dass wir entweder statistisch schlechte Messwerte hatten oder einen Fehler in unserer Messung, bzw. Messmethode. Es wäre sicherlich angebracht gewesen, eine größere Zeitspanne zur Bestimmung der Zählraten zu verwenden, was statistische Fluktuationen vermindert hätte. Somit bleibt uns nur mit den Werten weiterzurechnen, die wir ermittelt haben. Es ergibt sich aus den beiden Messungen eine durchschnittliche Totzeit von: $\bar{\tau} = 598,1 \mu s$.

1.4 β -Absorptionskurve von Aluminium

Wir untersuchten nun das Absorptionsvermögen von Aluminium für β -Strahlung, indem wir Aluminiumplatten unterschiedlicher Dicke zwischen Präparat und Zählrohr brachten. Wie in der Vorbereitung erklärt, finden in dem Präparat zwei verschiedene Zerfälle statt, weshalb wir 2 exponentielle Anteile in der Messung erwarten. Auch kann bei dieser Anordnung die Abdeckung vom Präparat sowie das Zählrohrfenster und der Luftweg nicht vernachlässigt werden, sondern müssen korrigiert eingerechnet werden - ihre Absorption entspricht laut Vorbereitungshilfe genau $12 \mu m$ Aluminium. Die effektive Absorberdicke ist also etwas größer als die der Platten, die wir eingebaut haben. Auch die gemessene Zählrate muss korrigiert werden, und zwar aufgrund der Hintergrundstrahlung und der Totzeit des Zählrohres. Die Korrektur der Totzeit wird mittels (1) ausgeführt, die Hintergrundstrahlung wird dann von dem mittels (1) korrigierten Wert abgezogen.

Für die Hintergrundstrahlung N_H ergab sich: bei einer Laufzeit von $T = 240$ wurden 72 Hintergrundergebnisse registriert (somit $N_H = 0,3 \frac{1}{s}$). Es ergaben sich die folgenden Messwerte (Erinnerung: Totzeit $\tau = 598 \mu s$, $\rho_{Alu} = 2,71 \frac{g}{cm^3}$):

Dicke [μm]	eff. Dicke [μm]	Zählrate	Messzeit [s]	Zählrate (N) pro Sek.	Korrektur für N mittels (1)	N mit N_H -Korrektur	$-\frac{\ln(N(d))}{\rho}$
25000	25012	94	350	0,27	0,27		
15000	15012	109	350	0,31	0,31	0,01	
4000	4012	113	350	0,32	0,32	0,02	
3000	3012	401	350	1,15	1,15	0,85	
1990	2002	2870	350	8,20	8,24	7,94	
1460	1472	6631	350	18,95	19,16	18,86	
980	992	12498	350	35,71	36,49	36,19	
525	537	12140	200	60,70	62,99	62,69	-1,515
310	322	8253	100	82,53	86,81	86,51	-1,628
210	222	7846	80	98,08	104,19	103,89	-1,692
96,5	108,5	7154	60	119,23	128,39	128,09	-1,764
50	62	6747	50	134,94	146,78	146,48	-1,810
23,4	35,4	7059	50	141,18	154,20	153,90	-1,827
10	22	7407	50	148,14	162,54	162,24	-1,844
6	18	7524	50	150,48	165,36	165,06	-1,850

Die Zählrate genügt zumindest am Anfang, wenn noch mehr als 50% der Ausgangsstrahlung vorhanden sind, einer exponentiellen Beziehung:

$$N(d) = N_0 \cdot e^{-k \cdot \rho \cdot d} \quad (4)$$

wobei k der Massenabsorptionskoeffizient ist.

Betrachten wir dies im Diagramm:

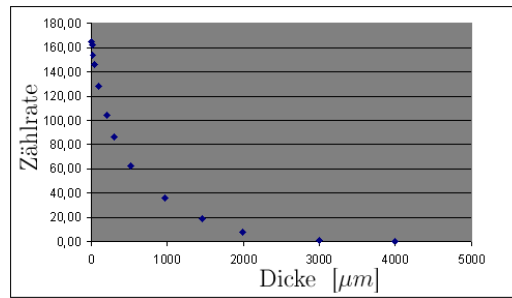


Abb.5: Absorptionsverlauf

Es zeigt sich, dass die Annahme des exponentiellen Abfalls richtig war.

Tragen wir nun $-\frac{\ln(N(d))}{\rho}$ über d auf, so erhalten wir als Steigung den Massenabsorptionskoeffizienten k . Außerdem betrachten wir die Situation nur in dem für uns relevanten Intervall mit 50% der Strahlung. Desweiteren sollte in der sich ergebenden Kurve ein Knick zu sehen sein, denn wie erwähnt haben wir 2 Anteile in der Strahlung, einmal hoch- und einmal niederenergetische β -Strahlung. Somit sollten wir in der Lage sein, 2 Geraden zu bestimmen, die uns jeweils einzeln die Massenabsorptionskoeffizienten liefern sollten. Wir nehmen also als letzten Punkt die Dicke von $525\mu\text{m}$ ins Diagramm auf und tragen auf:

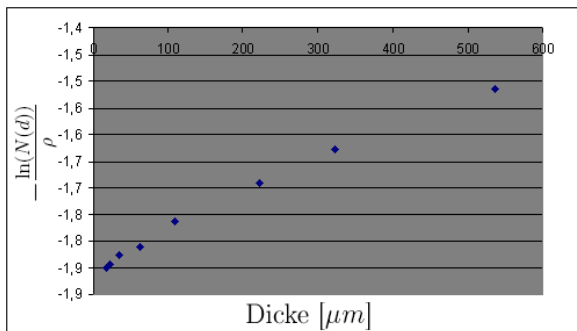


Abb.6 Gesamtbild

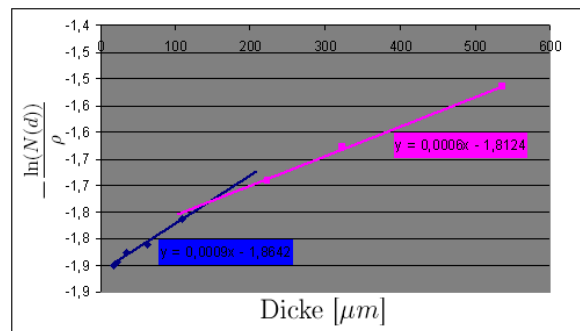


Abb.7: Einzelmassenabsorptionskoeff.

Aus dem ersten Diagramm entnehmen wir einen gewissen Knick - wir schließen, dass hier der Übergang sein muss und legen im zweiten Diagramm entsprechende Ausgleichsgeraden. Mit den Steigungen der Ausgleichsgeraden ergeben sich gleichsam die Absorptionskoeffizienten zu:

$$k_1 = 0,919 \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}}, \quad k_2 = 0,557 \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}}$$

Hierbei beschreibt k_2 den Übergang $\text{Y-90} \rightarrow \text{Zr-90}$ und k_1 entsprechend $\text{Sr-90} \rightarrow \text{Y-90}$. Für k_2 stimmt die angegebene empirische Näherungsformel

$$k_{emp} = 1,7 \cdot E_{\beta max}^{-1,43} \quad (5)$$

recht gut, denn es ergibt sich für $\text{Y-90} \rightarrow \text{Zr-90}$ mit $E_{\beta max} = 2,25\text{MeV}$: $k_{2,emp} = 0,533 \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}}$. Für den Wert von k_1 ergibt sich ein sehr viel weiter entfernter Wert, dies ist aber verständlich, da im Bereich der ersten Gerade noch eine Überlagerung beider Zerfälle stattfindet.

Nun sollte aus der Überlagerung noch die Maximalenergie der Strahlung bestimmt werden, welche sich aus der Flammersfeld-Beziehung und damit der maximalen Eindringtiefe R ergibt:

$$W = 1,92 \cdot \sqrt{R^2 \cdot \rho^2 + 0,22 \cdot R \cdot \rho} \quad (6)$$

Die Eindringtiefe des einen Teils der Strahlung ist nicht schlecht zu erkennen: dieser sollte gerade der Schnittpunkt der Geraden aus Abbildung 7 sein. Somit können wir schlicht ablesen (bzw. den

Schnittpunkt der Geraden errechnen) und erhalten $R_1 = 142,6\mu m$. Die maximale Eindringtiefe für den zweiten Fall ergibt sich ungenauer - sie ist bei einer Aluminiumdicke zu finden, bei der die registrierte Strahlung nicht mehr von der Untergrundstrahlung zu unterscheiden ist, also keine Strahlung mehr durch den Absorber durchtritt. Schaut man sich die Tabelle an, so erscheint $R_2 = 4000\mu m$ als ein guter Wert.

Somit ergibt sich nach (6):

$$\boxed{W_1 = 0,19 \text{ MeV}, \quad W_2 = 2,28 \text{ MeV}}$$

Somit liegen wir beim Übergang von Y-90 \rightarrow Zr-90 sehr gut, die Abweichung vom Literaturwert 2,25MeV beträgt lediglich 1,3%, die Abweichung für Sr-90 \rightarrow Y-90 ist allerdings recht groß: 65% (Lit.:0,54MeV). Dies liegt aber an den sehr schwer zu legenden Ausgleichsgeraden. Das Fazit ist, dass sich diese Messmethode durchaus zur Bestimmung der Gesamtenergien eignet, jedoch sollte darauf geachtet werden, dass gerade im kritischen Bereich mehr Messpunkte aufgenommen werden.

1.5 Aktivitätsbestimmung der Co – 60-Quelle

Es sollte nun die Aktivität der Co – 60 Quelle bestimmt werden. Die Aktivität ist definiert als Anzahl der Zerfälle N pro Zeiteinheit T . Da wir aufgrund der Lochblende nur in einem kleinen Ausschnitt des Winkelbereichs arbeiten und messen können, müssen wir eine entsprechende Korrektur durchführen. Ebenfalls müssen wir die Absorption der Luft und des Fensters einberechnen. Als Korrekturfaktoren ergeben sich:

- der geometrische Korrekturfaktor c_G

Mit einem Blendenöffnungsdurchmesser von $d = 16mm$ und dem Abstand zur Quelle a ergibt sich:

$$c_G = \frac{\Omega}{4\pi}, \quad \text{mit } \Omega = 2\pi \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{d^2}{4a^2} + 1}}\right) \quad (7)$$

- der Korrekturfaktor für Luft-und Fensterabsorption c_A

Wie erwähnt entspricht die Absorption von Luft und Zählrohrfenster der von $12\mu m$ Aluminium, somit gilt:

$$c_A = e^{-k \cdot \rho \cdot 12 \cdot 10^{-6}} \quad (8)$$

Mit Berücksichtigung der korrigierten Zählrate (zur Berücksichtigung der Totzeit) und der Hintergrundstrahlung N_H ergibt sich für die Aktivität:

$$A = \frac{c_A}{c_G} \cdot \frac{1}{T} \cdot \underbrace{\left(\frac{N_{mess}}{1 - \frac{N_{mess} \cdot \tau}{T}} - N_H\right)}_{=: \alpha} \quad (9)$$

Wir stellten also das Präparat vor das Zählrohr und maßen für eine feste Zeit $T = 30s$ (und wie immer Zählrohrspannung 516V), für 2 verschiedene Abstände die Zählraten. Es sei zuvor noch erörtert, was für einen Wert wir erwarten. Zur Kontrolle schätzen wir die Aktivität der Probe nämlich theoretisch ab, indem wir von der bekannten Aktivität vom Januar 1992 ausgehen. Für die Aktivität gilt dann:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_{HW}} \cdot t} \quad (10)$$

wobei $T_{HW} = 5,3a$ die Halbwertszeit bezeichne, $A_0 = 4,0\mu Ci$ die Anfangsaktivität und die vergangene Zeit in unserem Fall $t \approx 14,4a$ beträgt. Somit folgt eine hypothetische Aktivität von

$$A = 0,61\mu Ci \approx 22,5 \text{ KBq}$$

Betrachten wir nun also unsere Messwerte, in die Tabelle werden gleich die Korrekturfaktoren eingetragen. Vorher sei noch angemerkt, dass wir den genauen k -Wert ja nicht kennen, da wir ihn nur für die β -Strahlung aus Aufgabe 1.4 ermittelt haben. Wir verwenden deshalb einfach den Mittelwert $\bar{k} = 0,74 \frac{m^2}{Kg}$.

Abstand [m]	$\frac{1}{c_G}$	c_A	gemessene Zählrate	α	A [Bq]
0,073	336,1	0,9762	52	43	470,3
0,073	336,1	0,9762	47	38	416,1
0,073	336,1	0,9762	49	40	438,0
0,05	159,2	0,9762	73	64	332,1
0,05	159,2	0,9762	103	94	488,1
0,05	159,2	0,9762	95	86	446,4
0,05	159,2	0,9762	91	82	425,6

Dies ist ein eher irritierendes Ergebnis. Unsere Messung ist zwar recht präzise, die Werte sind wenig gestreut, wir können einen Mittelwert von $\bar{A} = 431 Bq$ angeben, aber diese Aktivität ist unheimlich klein im Vergleich zur theoretischen Aktivität. Leider konnten wir trotz intensiver Fehlersuche nicht erkennen, woran das Problem lag, ob bei der Auswertung, dem Aufbau oder ob wir richtig gemessen haben und das Präparat schlicht sehr inaktiv ist. Was allerdings auffällt, sind die sehr geringen Zählraten, die gemessen wurden! Somit könnte es unter Umständen doch am Präparat liegen.

1.6 Untersuchung der Zeitintervall-Verteilungen

Wir haben bisher verschiedenartig die Totzeit unseres Messgeräts bestimmt. Bei komplizierten Versuchen ist deren genaue Angabe aber entscheidend für die Aussage des Versuchs. Somit müssen wir noch mehr über die Wahrscheinlichkeit in Erfahrung bringen, dass ein auf ein detektiertes Ereignis folgendes Ereignis in die Totzeit fällt. Wir versuchen nun also die Verteilung von Zeitintervallen zwischen einem und dem n -ten darauf folgenden Ergebnis zu ermitteln. Um diesen Versuch durchzuführen, benutzen wir den PC. Um die Verteilung zu bestimmen, nutzten wir nun ein simples Verfahren: ohne ein Präparat (also Messung der Hintergrundstrahlung) führten wir folgende Messung durch: der Computer wartete, bis er 301 Ereignisse registriert hatte und zählte jeweils die Zeit, die zwischen 2 Ereignissen lag. Somit wurde erhielten wir 300 Werte für die Zeit zwischen Ereignis und nächstem Ereignis (sie sind im Anhang angeheftet). Die Hintergrundstrahlung wurde verwendet, da sie sowohl natürlich und statistisch verteilt ist, als auch relativ kleine Zählraten aufweist. Zur Auswertung geht man folgendermaßen vor: man teilt die gemessenen Zeiten in Intervalle ein, hier $[0,1]$, $[1,2]$, usw. Nun zählt man, wieviele Messzeiten in diesen Intervallen liegen und trägt die Häufigkeit über den Intervallen auf. Dies ist die Vorgehensweise für $n = 1$. Für $n = 2$ addiert man den ersten und den zweiten Wert. Dann den zweiten und den dritten, usw. Somit erhält man 299 Zeiten, die man wiederum in Intervalle einteilt und aufträgt. Analog verfährt man mit $n = 4$. Desweiteren sollte der Verlauf mit den theoretischen Kurven verglichen werden, für die gilt:

$$n = 1 : \quad I_1(t) = r \cdot e^{-r \cdot t} \quad (11)$$

$$n = 2 : \quad I_2(t) = r^2 \cdot t \cdot e^{-r \cdot t} \quad (12)$$

$$n = 4 : \quad I_4(t) = \frac{1}{6} \cdot r^4 \cdot t^3 \cdot e^{-r \cdot t} \quad (13)$$

wobei sich r ergibt als:

$$r = \frac{N_{gesamt}}{t_{gesamt}} \quad (14)$$

Für unsere Messergebnisse ergeben sich dann folgende Bilder:

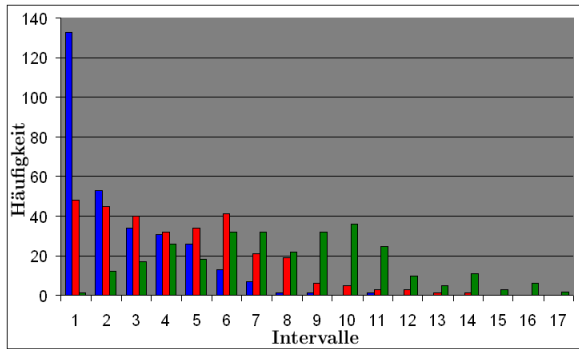


Abb.8: Zeitintervall-Verteilungen

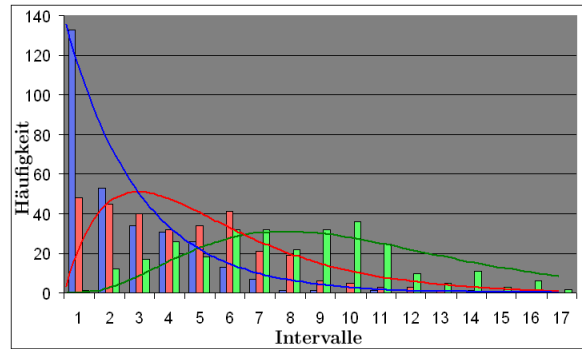


Abb.9: Verteilungen mit theoretischen Werten

Der Übersicht halber seien hier 2 Abbildungen gegeben, einmal ohne und einmal mit den genauen Werten. Es erschien hier sinnvoll, alle Kurven in ein Diagramm zu legen, um die Verhältnisse untereinander betrachten zu können. Wie wir sehen, entspricht unsere Messung dem theoretischen Kurvenverlauf, obwohl unsere Kurven natürlich an manchen Stellen (z.B. die Mitte von $n = 2$) Unregelmäßigkeiten aufweisen, die allerdings durch eine erhöhte Anzahl von gezählten Ereignissen geglättet werden könnten.

2 γ -Absorption

2.1 γ -Absorptionskurve von Blei für $Co - 60$ und Massenabsorptionskoeffizient

In dieser Aufgabe ging es um die Untersuchung der γ -Absorption von Blei. Dafür wurde zwischen das $Co - 60$ Präparat und das Zählrohr eine Bleiplatte befestigt, wobei darauf geachtet wurde, dass der Abstand von Präparat und Zählrohr möglichst klein ist, um größtmögliche Zählraten zu erreichen. Für die Bleiplatten standen verschiedene Dicken zur Verfügung. Es wurde nun für die einzelnen Dicken die Zählrate für eine Zeit $T = 350s$ gemessen. Es ergaben sich folgende Messwerte:

Dicke (mm)	Zählrate
1	1467
2	1410
5	1203
10	1031
15	836
20	658
25	564

Diese Werte müssen allerdings noch dahingehend korrigiert werden, dass die Untergrundstrahlung abgezogen werden muss und die Totzeit des Zählrohrs herausgerechnet wird. Dies wird natürlich mit einem mulmigen Gefühl durchgeführt, aufgrund der unpräzisen Bestimmung der Totzeit. Für die Hintergrundstrahlung verwenden wir den Wert aus Aufgabe 1.4, bei dem in 240 Sekunden 72 Ereignisse (hochgerechnet auf 350 Sekunden ergibt das $N_H = 105$) registriert wurden. Für die Totzeitkorrektur gilt analog zu Aufgabe 1.4:

$$N_{wahr} = \frac{N_{mess}}{1 - \frac{N_{mess} \cdot \tau}{T}} \quad (15)$$

Wir erwarten einen exponentiellen Verlauf, zur Bestimmung des Koeffizienten μ im Absorptionsgesetz

$$N(d) = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad (16)$$

tragen wir $\ln(N(d))$ über d auf. Es ergeben sich also die korrigierten Werte:

Dicke (mm)	Zählrate	N_{wahr}	$N_{wahr} - N_H$	$\ln(N_{wahr} - N_H)$
1	1467	1471	1366	7,22
2	1410	1413	1308	7,18
5	1203	1205	1100	7,00
10	1031	1033	928	6,83
15	836	837	732	6,60
20	658	659	554	6,32
25	564	565	460	6,13

Ist nun unsere Vorhersage des exponentiellen Abklingens gerechtfertigt gewesen?

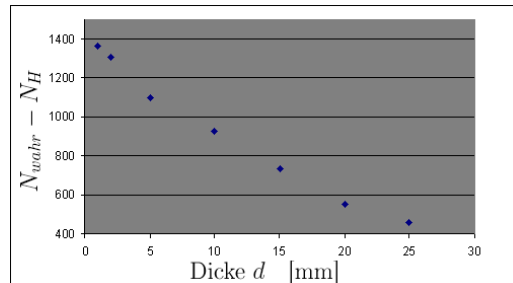


Abb.10: exponentieller Verlauf

Das exponentielle Abklingen ist deutlich zu sehen, wenn man davon ausgeht, dass der Koeffizient μ sehr klein ist, denn dann ergibt sich eine etwas langsamer abflachende Kurve. Bestimmen wir nun den Absorptionskoeffizienten:

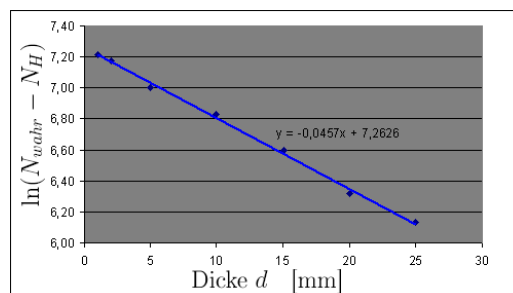


Abb.11: Absorptionskoeffizient

Es ergibt sich also ein Absorptionskoeffizient von $\mu = 0,0457 \frac{1}{mm}$.

Dieser Wert stimmt mit dem in der Literatur gefundenen Wert von $0,053 \frac{1}{mm}$ recht gut überein. Wie man aus obiger Tabelle entnimmt, ist die Totzeitkorrektur eher unbedeutend. Die Korrektur von Hintergrundstrahlung und Totzeit macht insgesamt etwa 10% aus; plottet man nämlich die unkorrigierten Messwerte, so erhalte man für $\mu \approx 0,040 \frac{1}{m}$. Daraus lässt sich immerhin ablesen, dass die angebrachte Korrektur in die richtige Richtung, also näher an zum Literaturwert hin, ausgeführt wurde.

Zu guter Letzt sollte noch der Massenabsorptionskoeffizient bestimmt werden, welcher sich schlicht als Quotient von Absorptionskoeffizient und Dichte des Absorbers ergibt. Die Dichte von Blei ist $\rho_{Blei} = 11,43 \frac{g}{cm^3}$. Also folgt:

$$k = \frac{\mu}{\rho_{Blei}} = 0,00400 \frac{m^2}{Kg} \quad (17)$$

Aus den bisher gefundenen Daten ergibt sich leicht auch eine (zwar nicht gefragte) bedeutende Größe: die Halbwertsdicke von Blei für die γ -Strahlung. Für diese gilt:

$$\frac{1}{2} \cdot N_0 = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot d_{HW}} \Rightarrow d_{HW} = \frac{\ln(2)}{\mu} \approx 15,17mm \quad (18)$$

Dies stimmt in etwa mit den beobachteten Werten überein und anhand dieses Wertes sieht man vor allem eines: γ -Strahlung ist sehr energiereich und schwer abschirmbar, denn ein 1,5cm Bleiklotz ist bereits eine sehr massive Abschirmung!

2.2 Absorptionsvermögen verschiedener Absorbermaterialien

Nun sollte das Absorptionsvermögen verschiedener Absorbermaterialien mit gleicher Dicke d für die vom $Co - 60$ Präparat emittierte Strahlung bestimmt werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein in Materie eintretendes γ -Quant auf einem Wegstück Δx absorbiert wird, hängt maßgeblich von der Materie ab, die sich in dem Volumenelement ΔV befindet, in dem Δx liegt. Es war zu erwarten, dass der Intensitätsverlust, also die Anzahl der absorbierten Quanten, umso größer wird, je dichter das zu durchstrahlende Material ist. Das Absorptionsvermögen ergibt sich als:

$$A = \frac{N_0 - N(d)}{N_0} \quad (19)$$

Hierbei stellt N_0 eine Anfangsintensität dar und $N(d)$ die Intensität nach einer gewissen Weglänge d , also die Intensität nach Durchgang durch den Absorber. Diese Messung soll für verschiedene Materialien mit unterschiedlicher Dichte durchgeführt werden.

Die Messung lief also folgendermaßen ab: zuerst wurde das Präparat recht nahe an das Zählrohr gestellt, dann die Zählrate ohne einen absorbierenden Stoff dazwischen gemessen. Nun wurde das gleiche Verfahren wie im vorangehenden Versuchsteil durchgeführt - wir stellten die jeweils 25mm dicken Stoffblöcke zwischen Rohr und Präparat und maßen über eine Zeit von 350 Sekunden die Zählraten. Für diese sei nun wieder eine Korrektur nach obigem Schema durchgeführt. Somit erhalten wir:

Material	Dichte [$\frac{g}{cm^3}$]	Zählrate	N_{wahr}	$N_{wahr} - N_H =$ $N(25mm)$	A nach Formel (19)
Luft	0,012	1085	1087	982	0,0949
Plexiglas	1,18	1047	1049	944	0,1301
PVC	1,38	1032	1034	929	0,1439
Holz	0,68	1009	1011	906	0,1652
Beton	2,14	940	942	837	0,2290
Alu	2,71	915	916	811	0,2521
Eisen	7,89	622	623	518	0,5229
Messing	8,4	595	596	491	0,5478
Blei	11,35	384	384	279	0,7426

Schauen wir uns also an, wie das Absorptionsvermögen von der Dichte des Absorbers abhängt:

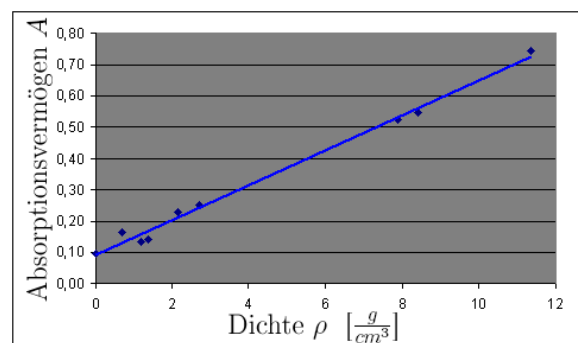


Abb.12: Dichteabhängigkeit von A

Es ist deutlich zu erkennen, dass das Absorptionsvermögen linear mit der Dichte des verwendeten Absorbermaterials zunimmt. Aufgrund der hohen Messzeit ist die Gerade trotz anfänglicher leichter Ausreißer recht gut angenähert, die Messung war also relativ präzise.