

Physiklabor für Anfänger*innen 2
Ferienpraktikum im Wintersemester 2018/19

Versuch 84: Schwächung von γ -Strahlen (Korrigierte Version)

(durchgeführt am 03. April 2019 bei)

09. April 2019

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Ziel des Versuchs	1
2 Physikalische Grundlagen	1
3 Aufbau und Durchführung	2
4 Messung	3
4.1 Zählrohrcharakteristik	3
4.2 Schwächungsmessungen	3
4.3 Bestimmung des Untergrunds	5
5 Auswertung	5
5.1 Zählrohrcharakteristik	5
5.2 Graphische Betrachtung	6
5.3 Schwächungskoeffizienten	10
5.4 Energie der γ -Strahlung	11
6 Diskussion	12
6.1 Zählrohrcharakteristik	12
6.2 Bestimmung des Untergrunds	12
6.3 Graphische Betrachtung	12
6.4 Schwächungskoeffizienten	13
6.5 Energie der γ -Strahlung	13
A Anhang	14
A.1 Messtabellen	14
A.2 Auswertungstabellen	16
A.3 Laborheft	18

In Tabelle 1 ist eine Übersicht über alle in diesem Versuchsprotokoll verwendeten Symbole gegeben.

Größensymbol	Bedeutung
N, N_0	Teilchenzahl
t	Zeit
Δt	Zeitintervall
N	Zahl registrierter Ereignisse
U_Z	Zählrohrspannung
μ	Schwächungskoeffizient
μ^*	Massenabsorptionskoeffizient
\dot{N}	Zählrate
\bar{N}	Arithmetischer Mittelwert von Beobachtungen der Größe N_i
n	Gesamtzahl aufgenommener Messreihen
N_i	Anzahl Ereignisse x_i
i, j	Indizes
I	Indexmenge
ρ	Dichte
\aleph, \beth	Regressionsparameter
s_x	Unsicherheit auf (Mess-) Größe x
X_U	Messgröße X bezogen auf die Untergrundmessung
X_{mess}	Messgröße X bezogen auf die Messung ohne Abzug des Untergrunds
d_i, d_{ij}	Dicke verschiedener Materialplatten
z	Absorberdicke
\log	Logarithmus zur Basis e

Tabelle 1: Symbole, die in diesem Versuchsprotokoll verwendet wurden.

1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch soll erst die Zählrohrcharakteristik aufgenommen und der Arbeitspunkt des Zählrohrs gewählt werden. Dann ist die Schwächung der γ -Strahlung in Aluminium, Kupfer und Blei in Abhängigkeit von der Absorberdicke zu messen. Daraus soll der Schwächungskoeffizient, sowie die Massenschwächungskoeffizienten und die Energie der γ -Strahlung bestimmt werden.

2 Physikalische Grundlagen

Wichtig für die Auswertung dieses Versuches ist das Schwächungsgesetz

$$N(z) = N_0 \cdot e^{-\mu z}. \quad (1)$$

Unter Verwendung des Massenabsorptionskoeffizienten

$$\mu^* = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

lautet das Gesetz

$$N(z) = N_0 e^{-\mu^* \cdot \rho z}. \quad (3)$$

Die Zählrate entspricht der Anzahl der pro Zeiteinheit t gemessenen Impulse N ,

$$\dot{N} = \frac{N}{t}. \quad (4)$$

Da wir bei allen Experimenten den Einfluss der Untergrundstrahlung berücksichtigen müssen, gilt für die „echte“ Zählrate

$$\dot{N} = \dot{N}_{\text{mess}} - \dot{N}_{\text{U}}. \quad (5)$$

Der Fehler von N berechnet sich nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung über

$$s_{\dot{N}} = \sqrt{s_{\dot{N}_{\text{mess}}}^2 + s_{\dot{N}_{\text{U}}}^2} \quad (6)$$

und ebenso die Unsicherheit von N_{U} aus systematischem und statistischem Fehler

$$s_{N_{\text{U}}} = \sqrt{s_{N_{\text{U},\text{stat}}}^2 + s_{N_{\text{U},\text{syst}}}^2}. \quad (7)$$

3 Aufbau und Durchführung

Im Versuchsaufbau trifft γ -Strahlung des radioaktiven Präparates Cäsium 137 durch ein enges Loch in seiner Abschirmung auf ein Zählrohr, das mit einem Hochspannungsgerät verbunden ist. Zwischen Quelle und Zählrohr können Absorberplatten eingeschoben werden. Das Zählrohr registriert die Zählimpulse. Der Versuchsaufbau ist auch in [Abbildung 1](#) dargestellt.

Nach dem Einschalten des Versuchsaufbaus wurde zuerst die Zählrohrcharakteristik untersucht, indem die Zählrohrspannung in äquidistanten Schritten erhöht und die jeweilige Zählrate gemessen wurde. In der Umgebung des Einsatzpunktes wurde von uns eine deutlich kleinere Schrittweite gewählt.

Anschließend untersuchten wir die Schwächung von γ -Strahlen. Dazu führten wir erst Schwächungs-Messungen durch, indem wir die Intensität der γ -Strahlung in Abhängigkeit von der Absorberdicke maßen. Dafür maßen wir in einer geeignet gewählten Messzeit die Zahl N der Ereignisse für verschiedene Absorberdicken, die wir dadurch ändern konnten, dass wir mehrere (unterschiedlich dicke) Bleche aufeinander legten. Die Messzeit war so zu wählen, dass die relative statistische Unsicherheit etwa 3% beträgt. Die Messung wurde für Kupfer, Aluminium und Blei durchgeführt. Zwischen jeder dieser Messungen bestimmten wir den Untergrund. Zur Messung des Nulleffekts schirmten wir die γ -Quelle mit einem Bleiverschlusskörper ab. Dann führten wir mehrere Messungen in einem geeignet gewählten Zeitintervall durch, weil auch jetzt noch eine geringfügige Strahlung gemessen werden konnte.

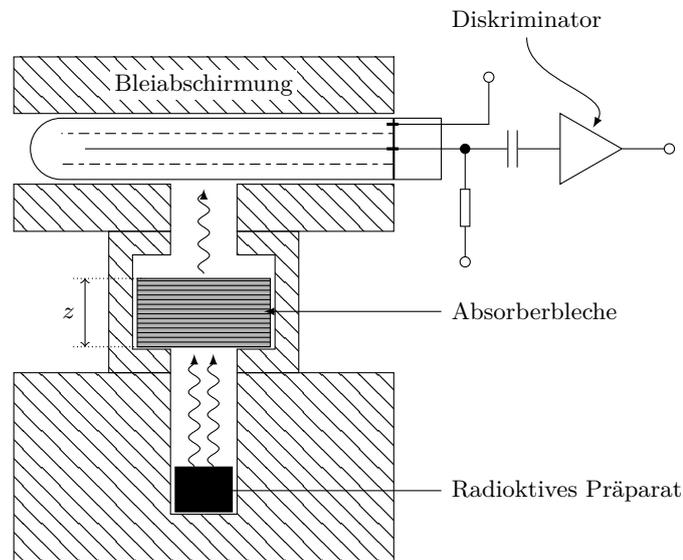


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.

4 Messung

4.1 Zählrohrcharakteristik

Zur Aufnahme der Zählrohrcharakteristik wurde die Spannung in Schritten von 25 V erhöht und dabei die jeweilige Zählrate in einem Zeitintervall von 30 s gemessen. In der Umgebung des Einsatzpunktes wählten wir eine Schrittweite von 5 V, bis wir eine merkliche Änderung in der Anzahl registrierter Ereignisse feststellten. War dies der Fall, so verringerten wir die Schrittweite auf 1 V. Die Ergebnisse unserer Messung befinden sich in Tabelle 2.

Den Fehler auf die Spannung schätzten wir auf Grund der limitierten Anzeige mit 1 V ab, den Fehler auf die Anzahl an registrierten Impulsen mit \sqrt{N} .

4.2 Schwächungsmessungen

Für die Schwächungsmessungen wurde die Intensität der γ -Strahlung in Abhängigkeit von der Absorberdicke gemessen. Dies wurde realisiert, indem wir den Zähler auf eine Registrierung von 1100 Counts einstellten (entspricht einer statistischen Unsicherheit von etwa 3%) und wir dann jeweils in Abhängigkeit der Dicke der verwendeten Plättchen die Zählzeit protokollierten bis die gewünschte Anzahl an Counts erreicht worden ist. Die Dicke der Plättchen maßen wir einzeln, um systematische Fehler möglichst gering zu halten, mit einem Messschieber aus. Dann stapelten wir immer eine unterschiedliche Anzahl an Absorberplatten übereinander und legten sie in den

U_Z in V	N	U_Z in V	N
0 ± 1	0 ± 1	385 ± 1	82 ± 9
25 ± 1	0 ± 1	386 ± 1	102 ± 10
50 ± 1	0 ± 1	387 ± 1	713 ± 27
75 ± 1	0 ± 1	388 ± 1	848 ± 29
100 ± 1	0 ± 1	389 ± 1	1040 ± 30
125 ± 1	0 ± 1	390 ± 1	1250 ± 40
150 ± 1	0 ± 1	395 ± 1	1300 ± 40
175 ± 1	0 ± 1	400 ± 1	1270 ± 40
200 ± 1	0 ± 1	425 ± 1	1350 ± 40
225 ± 1	0 ± 1	450 ± 1	1320 ± 40
250 ± 1	0 ± 1	475 ± 1	1380 ± 40
275 ± 1	0 ± 1	500 ± 1	1320 ± 40
300 ± 1	0 ± 1	525 ± 1	1350 ± 40
325 ± 1	0 ± 1	550 ± 1	1260 ± 40
350 ± 1	0 ± 1	575 ± 1	1360 ± 40
365 ± 1	0 ± 1	600 ± 1	1340 ± 40
370 ± 1	38 ± 6	625 ± 1	1380 ± 40
380 ± 1	75 ± 9	650 ± 1	1340 ± 40

Tabelle 2: Anzahl registrierter Zerfälle N innerhalb eines Zeitintervalls von 30 s bei verschiedenen Zählrohrspannungen.

Strahlengang, um dann die Zählzeit zu messen.

Bei der Messung mit Kupfer wurde die Absorberdicke in Schritten von 1 mm bis 2 mm bis zu einer Gesamtdicke von 25 mm erhöht, bei Aluminium in Schritten von 2 mm bis 3 mm bis zu einer Gesamtdicke von 39 mm. Da der Nonius des Messschiebers eine Skalierung von 0,05 mm aufwies, schätzten wir die Unsicherheit der Einzelmessungen der Dicke auf 0,02 mm ab.

Im Gegensatz zu den Aluminium- und Kupferplatten waren die Bleiplatten rund und gewölbt. Deswegen wies je eine der Platten an unterschiedlichen Stellen verschiedene Dicken auf. Darum entschieden wir uns dazu, je an drei Stellen die Dicke einer Platte zu messen und dann später daraus den Mittelwert zu bilden. Den Fehler auf die einzelnen gemessenen Dicken schätzten wir jetzt auf 0,05 mm ab, weil wir jetzt zusätzlich zur Ablesegenauigkeit noch berücksichtigten, dass die Gesamtdicke der übereinander gestapelten Platten wegen ihrer gewölbten Form variieren kann, je nachdem, in welchem Winkel die Platten übereinander liegen. Hier erhöhten wir die Schichtdicke in Schritten von etwa 2 mm bis zu einer Gesamtdicke von etwa 20 mm. Die Ergebnisse unserer drei Schwächungsmessungen, sowie die dazugehörigen Dicken der Platten befinden sich im Anhang in Tabellen 3 bis 5.

Dabei ist zur Messung mit der dritten Aluminiumplatte noch anzumerken, dass uns bei Messungen mit dieser Platte aufgefallen ist, dass sie sich anders als die anderen Aluminiumplatten auf die gemessenen Zählzeit auswirkte und insbesondere diese weiter erhöhte als eine andere Platte doppelter

Dicke. Daraufhin stellten wir auch fest, dass sie im Vergleich zu den anderen Alu-Platten deutlich schwerer war und schlossen daraus, dass sie gar nicht aus Aluminium besteht. Daraufhin wiederholten wir die bereits mit Platte 3 durchgeführten Messungen noch einmal mit Platte 4.

4.3 Bestimmung des Untergrunds

Um den Untergrund zu bestimmen, maßen wir dreimal sechs Minuten lang die in dieser Zeit gezählten Counts. So können wir daraus den Mittelwert bestimmen. Unsere drei gemessenen Zählwerte sind

$$\begin{aligned}N_{U,1} &= 487 \pm 22, \\N_{U,2} &= 484 \pm 22, \\N_{U,3} &= 471 \pm 22.\end{aligned}\tag{8}$$

Auf die Anzahl der Counts wurde wieder die Unsicherheit $\sqrt{N_{U,i}}$ gewählt.

5 Auswertung

5.1 Zählrohrcharakteristik

Zur graphischen Analyse wurden die gemessenen Werte zur Zählrohrcharakteristik in einem Diagramm (siehe Abb. 2) aufgetragen. Der Arbeitspunkt für die weiteren Messungen wurde bei einer Spannung von 550 V gewählt, weil wir dort die Mitte des Plateaus abschätzten. Der sog. Einsatzpunkt ist als derjenige Wert abzulesen, bei dem die Hälfte der im nachfolgenden Bereich des Plateaus erreichten mittleren Zählrate erreicht ist. Da der Mittelwert der sich auf dem Plateau befindlichen Werte bei $N = 1340$ liegt, ist der Schnittpunkt der Messwerte mit der Geraden $N = 670$ zu extrapolieren. Dieser Wert liegt etwa bei $U_Z = 387$ V.

Der Einsatzpunkt ist blau in der Abbildung markiert. Obwohl die Messpunkte sehr dicht bezüglich U_Z zusammenliegen, weist die Anzahl registrierter Ereignisse große Sprünge auf. Da der Schnittpunkt der Messpunkte mit einer Geraden extrapoliert werden soll, ist die Abschätzung des Einsatzpunktes mit einer nicht zu vernachlässigenden Unsicherheit verbunden. Aufgrunddessen und wegen der Auflösung der Skala in U_Z schätzten wir die Ableseungenauigkeit des Einsatzpunktes recht konservativ auf $s_{U_Z} = 4$ V ab, sodass wir für die Zählrohrspannung des Einsatzpunktes

$$U_Z = (387 \pm 4) \text{ V}\tag{9}$$

erhalten.

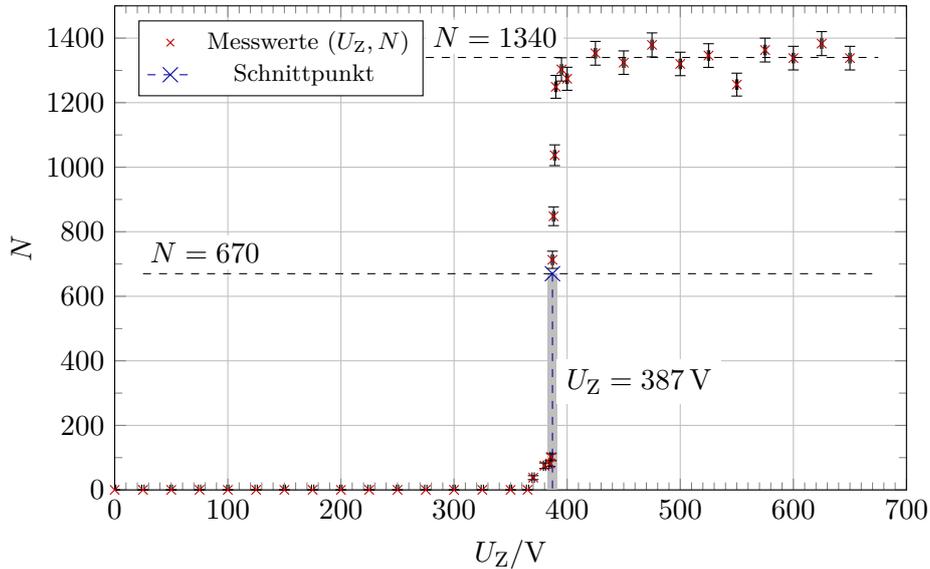


Abbildung 2: Anzahl an registrierten Zerfällen N innerhalb eines Zeitintervalls von 30 s in Abhängigkeit von der Zählrohrspannung U_Z .

5.2 Graphische Betrachtung

In diesem Abschnitt sollen die Messwerte aus Tabellen 3 bis 5 ausgewertet werden. Bevor aus den Messzeiten die Zählraten bestimmt wurden, wurde zunächst die Absorberdicke berechnet.

Bestimmung der Absorberdicke Ausgehend von dem Plättchenindex i und der Dicke d_i des Plättchen des jeweiligen Materials musste die Gesamtdicke z des Absorbermaterials bestimmt werden. Da bei der Vermessung der Kupfer- und Aluminiumplatten nur ein Messwert pro Platte vorliegt, berechnet sich die Absorberdicke z für jede einzelne Messung über

$$z = \sum_{i \in I} d_i, \quad (10)$$

wobei I die Menge der Indizes darstellt, die bei jeder Messung verwendet wurde (Untertabelle (a), linke Spalte, in Tabellen 3 und 4). Da die Unsicherheiten auf d_i bei diesen Messungen stets $s_{d_i} = 0,20$ mm betragen, konnte die Unsicherheit auf z folgendermaßen berechnet werden:

$$s_z = \sqrt{\sum_{i \in I} s_{d_i}^2} \quad (11)$$

Da die Bleiplatten keine derart eindeutige Dicke aufwiesen, wurden mehrere Messungen für die Dicke jeder Bleiplatte aufgenommen (siehe Tabelle 5).

Auch wurde die Unsicherheit auf jede dieser Einzelmessungen auf 0,05 cm abgeschätzt. Bevor die Absorberdicke mitsamt Unsicherheit aus Gleichungen (10) und (11) berechnet werden konnte, mussten die drei Dicken pro Platte durch Bildung des Mittelwerts kombiniert werden. Mit $j = 1, 2, 3$ gelingt dies über

$$d_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 d_{ij}. \quad (12)$$

Die Unsicherheit auf d_i beträgt nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung:

$$s_{d_i} = \frac{1}{3} \sqrt{\sum_{j=1}^3 s_{d_{ij}}^2} = 0,03 \text{ cm} \quad (13)$$

Die Absorberdicke z konnte dann für jede Messung über Gleichungen (10) und (11) wie oben berechnet werden. Die Absorberdicken befinden sich – zusammen mit den in den folgenden Abschnitten berechneten Zählraten – in Tabellen 6 bis 8.

Bestimmung der Zählraten Daraufhin wurden die Zählraten \dot{N}_{mess} der verschiedenen Schwächungsmessungen inklusive ihres Fehlers berechnet. Die Bestwerte berechneten sich aus ??; der Fehler ergibt sich aus

$$s_{\dot{N}_{\text{mess}}} = \frac{s_{N_{\text{mess}}}}{t} = \frac{\sqrt{N_{\text{mess}}}}{t}. \quad (14)$$

Die Ergebnisse dafür befinden sich – zusammen mit den im folgenden Abschnitt berechneten Zählraten – in Tabellen 6 bis 8.

Von diesen Werten wurde nun der Untergrund abgezogen. Hierfür wurde zuerst über

$$\bar{N}_{\text{U}} = \sum_{i=1}^3 \frac{N_{\text{U},i}}{3} \quad (15)$$

der Mittelwert der drei von uns aufgenommenen Werte für die Counts mit dem Fehler

$$s_{\bar{N}_{\text{U}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\sum_{i=1}^3 N_{\text{U},i}} \quad (16)$$

berechnet. Daraus konnte mit ?? und

$$s_{\dot{\bar{N}}_{\text{U}}} = \frac{s_{\bar{N}_{\text{U}}}}{t}, \quad (17)$$

wobei der Fehler auf die Messzeit t vernachlässigt wurde, für die Zählrate des Untergrundes der Wert

$$\dot{\bar{N}}_{\text{U}} = (1,34 \pm 0,04)/\text{s} \quad (18)$$

erhalten werden. Wir entschieden uns dazu, den Fehler auf die Zählrate des Untergrunds nicht über Gleichung (7), wie im Versuchsheft [2] vorgeschlagen, sondern über Gleichung (17) zu berechnen, weil wir bereits drei verschiedene Messungen durchgeführt hatten, diese auch nicht direkt hintereinander sondern über die ganze Versuchszeit verteilt aufnahmen und eine Messzeit von 360 s derart hoch ist, dass wir den systematischen Fehler vernachlässigen konnten.

Von der gemessenen Zählrate \dot{N}_{mess} wurde nun der Mittelwert der Untergrundzählrate \dot{N}_{U} abgezogen (vgl. Gleichung (5)), um die „echte“ Zählrate \dot{N} zu erhalten. Die Unsicherheit auf \dot{N} berechnete sich nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung durch

$$s_{\dot{N}} = \sqrt{s_{\dot{N}_{\text{U}}}^2 + s_{\dot{N}_{\text{mess}}}^2}. \quad (19)$$

Die Zählrate \dot{N} war dann mitsamt Unsicherheit auf einer halblogarithmischen Skala in Abhängigkeit der Absorberdicke z , welche im vorigen Abschnitt bestimmt wurde, graphisch aufgetragen. Dies ist in Abbildungen 3 bis 5 zu sehen. Die Absorberdicken, sowie die gemessenen und tatsächlichen Zählraten sind in Tabellen 6 bis 8 zu finden. Zu den Tabellen sei angemerkt, dass obwohl die Untergrundunsicherheit mit in die Berechnung der Unsicherheit $s_{\dot{N}}$ miteingeflossen ist, diese derart klein ist, dass die Unsicherheit von \dot{N} im Bereich der signifikanten Stellen mit der von \dot{N}_{mess} übereinstimmt.

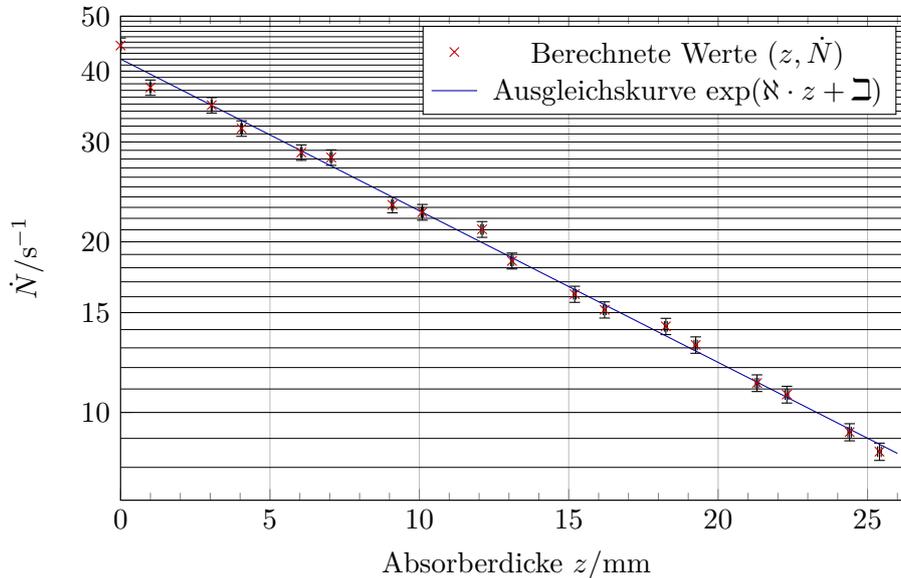


Abbildung 3: Zählrate als Funktion der Absorberdicke mit Kupfer als Absorber

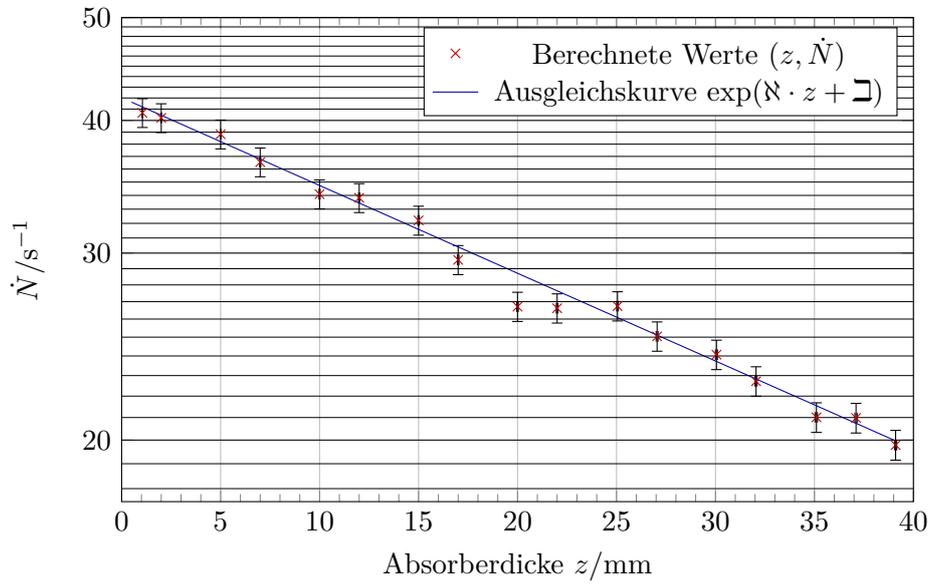


Abbildung 4: Zählrate als Funktion der Absorberdicke mit Aluminium als Absorber

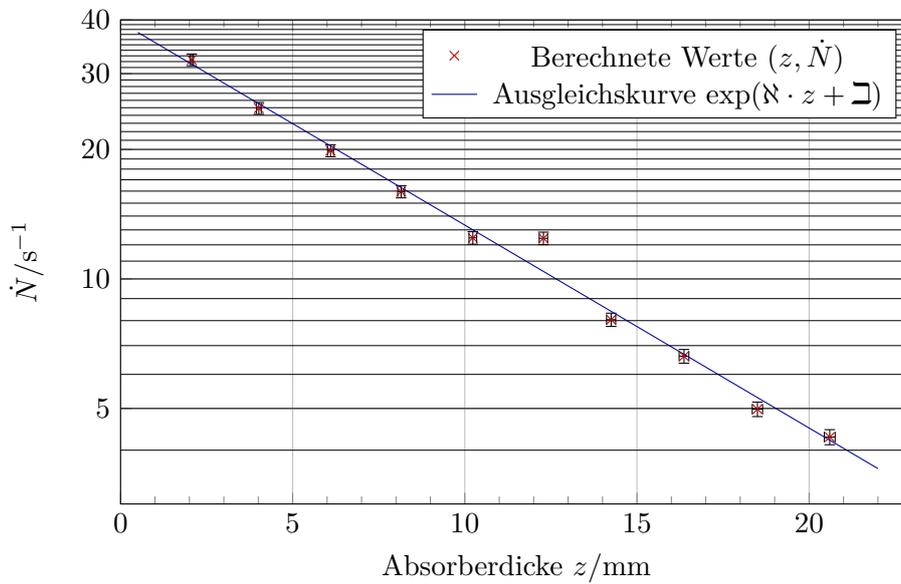


Abbildung 5: Zählrate als Funktion der Absorberdicke mit Blei als Absorber

5.3 Schwächungskoeffizienten

Für jedes Absorbermaterial ist nun durch die jeweils gemessenen Punkte eine Ausgleichsgerade zu legen. Es wurde also eine lineare Regression der Form

$$\log \dot{N} = \aleph \cdot z + \beth \quad (20)$$

mit den zu bestimmenden Regressionsparametern \aleph, \beth durchgeführt, bei der die \dot{N} -Werte mit ihrem Fehler, berechnet mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung wie oben in Gleichung (19) beschrieben, logarithmiert worden sind. Aus der Steigung dieser Ausgleichsgeraden können wir auf Grundlage des Schwächungsgesetzes ?? wegen

$$\log \left(\frac{\dot{N}}{\dot{N}_0} \right) = -\mu z \implies \mu = -\aleph \quad (21)$$

den Wert für μ bestimmen. Durch lineare Regression konnten aus Abbildungen 3 bis 5 die Steigungen

$$\begin{aligned} \aleph_{\text{Cu}} &= (-0,0616 \pm 0,0010)/\text{mm} \\ \aleph_{\text{Al}} &= (-0,0190 \pm 0,0006)/\text{mm} \\ \aleph_{\text{Pb}} &= (-0,1086 \pm 0,0019)/\text{mm}. \end{aligned} \quad (22)$$

bestimmt werden. Die zugehörigen Graphen wurden nach Anwendung der Exponentialfunktion zu den Messwerten in Abbildungen 3 bis 5 eingetragen. Die Steigungen entsprechen den folgenden Schwächungskoeffizienten:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Cu}} &= (0,0616 \pm 0,0010)/\text{mm} \\ \mu_{\text{Al}} &= (0,0190 \pm 0,0006)/\text{mm} \\ \mu_{\text{Pb}} &= (0,1086 \pm 0,0019)/\text{mm}. \end{aligned} \quad (23)$$

Mit den im Versuchskonvolut [2] gegebenen Dichten

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Cu}} &= 8,96 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_{\text{Al}} &= 2,70 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_{\text{Pb}} &= 11,34 \text{ g/cm}^3. \end{aligned} \quad (24)$$

konnten daraufhin über Gleichung (2) die Massenabsorptionskoeffizienten

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Cu}}^* &= (6,88 \pm 0,11) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}, \\ \mu_{\text{Al}}^* &= (7,05 \pm 0,24) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}, \\ \mu_{\text{Pb}}^* &= (9,57 \pm 0,17) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}. \end{aligned} \quad (25)$$

berechnet werden.

5.4 Energie der γ -Strahlung

Mit den zuvor bestimmten Massenabsorptionskoeffizienten konnte nun aus der Grafik (siehe Abb. 6) aus [2, Seite 156] die Energie der γ -Strahlung abgelesen werden. Für die jeweiligen Materialien wurde nun ziemlich genau der gleiche Wert¹

$$E_\gamma = (0,77 \pm 0,03) \text{ MeV} \quad (26)$$

abgelesen. Die Unsicherheit auf diesen Wert wurde auf Grundlage der Ablesungenauigkeit aus der Grafik abgeschätzt.

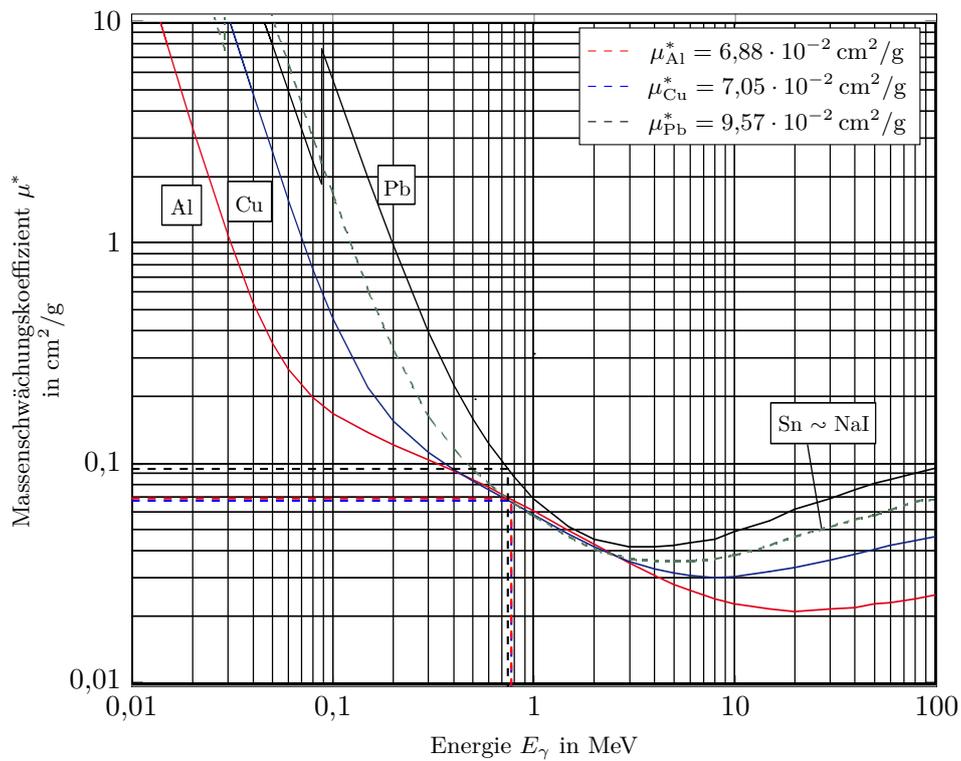


Abbildung 6: Massenabsorptionskoeffizient verschiedener Materialien zur Bestimmung der Photonenenergie E_γ . Grafik modifiziert vom Versuchskonvolut [2, Seite 156].

¹Für Blei ließe sich der Wert auch ein wenig geringer abschätzen, da sich dieser aber innerhalb der Ungenauigkeit beim Ablesen befindet, fassen wir ihn mit den Werten für Kupfer und Aluminium zusammen.

6 Diskussion

6.1 Zählrohrcharakteristik

Nach graphischer Analyse wurde aus der Betrachtung von Abb. 2 der Arbeitspunkt für die weiteren Messungen bei einer Spannung von 550 V gewählt, sowie der Einsatzpunkt bei einer Spannung von (387 ± 4) V abgeschätzt. Bei Betrachtung der Grafik fällt auf, dass die aufgetragenen Messwerte im Rahmen der Fehlerbalken sehr stark schwanken. Das lässt sich einerseits auf eine eventuell durch die geringe Anzahl an Messungen bedingte, effektiv erhöhte Unsicherheit oder andererseits auf eine womöglich noch nicht ausreichend stabilisierte Hochspannung des Zählrohres zu diesem Zeitpunkt zurückzuführen.

6.2 Bestimmung des Untergrunds

Für die Zählrate des Untergrundes konnte der Wert

$$(1,34 \pm 0,04)/s \quad (27)$$

erhalten werden. Die Zählrate des Untergrunds konnte also mit einer relativen Unsicherheit von

$$\frac{s\dot{N}_U}{\dot{N}_U} = 0,0299 \quad (28)$$

bestimmt werden, was sehr gut mit der angestrebten Unsicherheit von 3% übereinstimmt. Die Streuung des letzten Messpunktes kann zum einen durch die statistische Unsicherheit gerechtfertigt werden, zum anderen kann es sein, dass eine andere Gruppe ihre Quelle ungedämpft gelassen hat, während wir die ersten beiden Untergrundmessungen durchgeführt haben, sodass die zugehörigen Untergrundmessungen höher erscheinen.

6.3 Graphische Betrachtung

Aus der Auftragung der Zählraten gegenüber der Absorberdicke in Abb. 3 bis 5 lässt sich der erwartete lineare Zusammenhang verifizieren: In allen Fällen verläuft die Ausgleichskurve durch weit über 68% aller Werte innerhalb respektiver Fehlerbalken. Jedoch streuen die Werte zum Teil stärker als erwartet. Dies ist vermutlich auf die Unebenheiten und kleinen Biegungen der Absorberplättchen zurückzuführen. Dadurch sind die gemessenen Dicken effektiv noch einmal ungenauer, als allein durch die Messungenauigkeit des Messschiebers erklärbar. Bei Kupfer sind die Schwankungen nur sehr gering, bei Aluminium dagegen schon etwas größer, was aber auch auf natürliche Schwankungen des radioaktiven Zerfalls zurückzuführen sein könnte. Bei der Bleimessung ist ein Punkt erkennbar, welcher deutlich von den anderen

abweicht. Wie bereits erwähnt kann der Grund dafür sein, dass die Bleiplättchen weitaus unebener waren als die Plättchen der anderen beiden Materialien. Zusätzlich waren die Bleiplatten nach außen hin abgerundet, sodass es eine Rolle spielt, in welchem Winkel die Plättchen übereinander gestapelt worden sind. Dies könnte zu einer noch größeren Unsicherheit der Absorberdicke geführt haben als von uns bereits angenommen. Ebenfalls ist auch hier anzumerken, dass der radioaktive Zerfall selbst statistischen Schwankungen unterworfen ist und folglich gewisse Abweichungen – zusätzlich zur Fehlerabschätzung über \sqrt{N} – von dem erwarteten Wert noch akzeptabel sind.

6.4 Schwächungskoeffizienten

Aus dem Auftragen der Zählraten der jeweiligen Materialien nach Abzug der Untergrundzählrate in Abhängigkeit der Absorberdicke in Abbildungen 3 bis 5 konnten die Massenschwächungskoeffizienten

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Cu}} &= (0,0616 \pm 0,0010)/\text{mm} \\ \mu_{\text{Al}} &= (0,0190 \pm 0,0006)/\text{mm} \\ \mu_{\text{Pb}} &= (0,1086 \pm 0,0019)/\text{mm}.\end{aligned}\tag{29}$$

und daraus wiederum die Massenabsorptionskoeffizienten

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Cu}}^* &= (6,88 \pm 0,11) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}, \\ \mu_{\text{Al}}^* &= (7,05 \pm 0,24) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}, \\ \mu_{\text{Pb}}^* &= (9,57 \pm 0,17) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}.\end{aligned}\tag{30}$$

berechnet werden. Es ist erkennbar, dass die Massenabsorptionskoeffizienten im von uns verwendeten Energiebereich der γ -Strahlung von Kupfer und Aluminium recht ähnlich sind. Der von Blei ist dagegen höher. Dies lässt darauf schließen, dass hier noch zusätzliche Dämpfungseffekte eine Rolle spielen, sodass Blei stärker gegenüber Strahlung abschirmt als andere Materialien. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Konstante μ^* der Quotient aus dem Massenschwächungskoeffizienten μ und der *Massendichte* ist. Da für die Absorption von γ -Strahlen allerdings hauptsächlich Elektronen eine Rolle spielen, kommt es auf die Dichte an Elektronen an, will man eine möglichst materialunabhängige Absorptionskonstante konstruieren. Die von uns bestimmten Massenabsorptionskoeffizienten weisen darauf hin, dass die Elektronendichte von Blei im Vergleich zur Massendichte erhöht ist.

6.5 Energie der γ -Strahlung

Für die Photonenenergie der verwendeten Strahlungsquelle konnten wir aus dem Diagramm in Abbildung 6 den Wert

$$E_\gamma = (0,77 \pm 0,03) \text{ MeV}\tag{31}$$

ablesen. Betrachtet man die Grafik näher, so erkennt man, dass innerhalb der Unsicherheit alle Massenabsorptionskoeffizienten zur selben Photonenenergie E_γ gehören. Unsere Messwerte sind daher in sich konsistent. Der Literaturwert [1] des β^- -Zerfalls von $^{137}_{55}\text{Cs}$ beträgt 0,66 MeV, was in etwa vier σ -Umgebungen von unserem Wert ist. Die Ursache in der großen Abweichung sehen wir dabei hauptsächlich in der Ableseungenauigkeit, mit der wir die Photonenenergie aus Abbildung 6 abgelesen haben, welche somit deutlich unterschätzt wurde. Da γ -Strahlen aus radioaktiven Prozessen diskrete Energien haben, ist ein systematischer Fehler von Seiten der Strahlungsquelle praktisch ausgeschlossen. Es kann aber sein, dass die von uns verwendete Abschirmung nicht komplett aus reinem Kupfer bzw. Blei oder Aluminium bestand, sondern das Material verunreinigt vorliegt (bspw. durch Oxidation). Die Massendichte des jeweiligen Materials, die wir dem Versuchskonvolut [2] entnommen haben, könnte somit gar nicht zu dem Material passen. Dem könnte durch eine manuelle Bestimmung der Dichte (bspw. durch Wiegen) vorgebeugt werden.

A Anhang

A.1 Messtabellen

Verwendete Kupferplättchen	t in s	Plättchenindex i	d_i in mm
0	24,06	1	1,00
8	28,38	2	3,05
10	30,41	3	3,10
10, 8	33,30	4	3,00
10, 6	36,57	5	3,05
10, 6, 8	37,28	6	3,00
10, 6, 5	44,76	7	1,00
10, 6, 5, 8	46,04	8	1,00
10, 6, 5, 4	49,16	9	1,00
10, 6, 5, 4, 8	55,43	10	3,05
10, 6, 5, 4, 3	62,84	11	1,00
10, 6, 5, 4, 3, 8	66,63	12	1,00
10, 6, 5, 4, 3, 2	70,86	13	1,00
10, 6, 5, 4, 3, 2, 8	75,91	14	3,05
10, 6, 5, 4, 3, 2, 14	87,28	15	3,10
10, 6, 5, 4, 3, 2, 14, 8	90,98		
10, 6, 5, 4, 3, 2, 14, 15	104,09		
10, 6, 5, 4, 3, 2, 14, 15, 8	111,51		

(a)

(b)

Tabelle 3: (a) Nummer verwendeter Kupferplättchen und Zeit t , die benötigt wird, um 1100 Events abzuzählen. (b) Dicke der benutzten Kupferplättchen nach Index. Die Unsicherheit auf die Plättchendicke beträgt $s_{d_i} = 0,02$ cm.

Verwendete Aluminiumplatten	t in s	Plättchenindex i	d_i in mm
2	26,19	1	5,00
4	26,47	2	1,05
1	27,39	3	2,00
4, 1	29,04	4	2,00
5, 1	31,05	5	5,00
1, 5, 4	31,29	6	5,00
1, 5, 6	32,80	7	5,00
1, 5, 6, 4	35,60	8	5,05
1, 5, 6, 7	39,22	9	5,00
1, 5, 6, 7, 4	39,35	10	5,05
1, 5, 6, 7, 8	39,18	11	4,00
1, 5, 6, 7, 8, 4	41,70		
1, 5, 6, 7, 8, 9	43,30		
1, 5, 6, 7, 8, 9, 4	45,73		
1, 5, 6, 7, 8, 9, 10	49,23		
1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 4	49,29		
1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	52,08		

(a) (b)

Tabelle 4: (a) Nummer verwendeter Aluminiumplatten und Zeit t , die benötigt wird, um 1100 Events abzuzählen. (b) Dicke der benutzten Aluminiumplättchen nach Index. Die Unsicherheit auf die Plättchendicke beträgt $s_{d_i} = 0,02$ cm.

Verwendete Bleiplatten	t in s	d_{ij} in mm			
		Plättchenindex i	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$
1	32,70	1	2,10	2,10	2,00
1, 2	41,90	2	1,95	1,90	2,00
1, 2, 3	51,88	3	2,00	2,20	2,05
1, 2, 3, 4	63,62	4	2,10	2,05	2,00
1, 2, 3, 4, 5	79,75	5	2,00	2,10	2,15
1, 2, 3, 4, 5, 6	79,92	6	2,00	2,10	2,05
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	117,32	7	1,95	2,00	1,95
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	138,37	8	2,20	2,10	2,05
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	174,16	9	2,20	2,15	2,05
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	195,51	10	2,00	2,10	2,20

(a) (b)

Tabelle 5: (a) Nummer verwendeter Bleistücke und Zeit t , die benötigt wird, um 1100 Events abzuzählen. (b) Dicke der benutzten Bleistücke nach Index. Die Unsicherheit auf die Plättchendicke beträgt $s_{d_{ij}} = 0,05$ cm.

A.2 Auswertungstabellen

z in mm	\dot{N}_{mess} in 1/s	\dot{N} in 1/s
$0,00 \pm 0,02$	$46,0 \pm 1,0$	$44,0 \pm 1,0$
$1,00 \pm 0,02$	$39,0 \pm 1,0$	$37,0 \pm 1,0$
$3,05 \pm 0,02$	$36,0 \pm 1,0$	$35,0 \pm 1,0$
$4,05 \pm 0,03$	$33,0 \pm 1,0$	$31,7 \pm 1,0$
$6,05 \pm 0,03$	$30,1 \pm 0,9$	$28,7 \pm 0,9$
$7,05 \pm 0,03$	$29,5 \pm 0,9$	$28,2 \pm 0,9$
$9,10 \pm 0,03$	$24,6 \pm 0,7$	$23,2 \pm 0,7$
$10,10 \pm 0,04$	$23,9 \pm 0,7$	$22,6 \pm 0,7$
$12,10 \pm 0,04$	$22,4 \pm 0,7$	$21,0 \pm 0,7$
$13,10 \pm 0,04$	$19,8 \pm 0,6$	$18,5 \pm 0,6$
$15,20 \pm 0,04$	$17,5 \pm 0,5$	$16,2 \pm 0,5$
$16,20 \pm 0,05$	$16,5 \pm 0,5$	$15,2 \pm 0,5$
$18,25 \pm 0,05$	$15,5 \pm 0,5$	$14,2 \pm 0,5$
$19,25 \pm 0,05$	$14,5 \pm 0,4$	$13,2 \pm 0,4$
$21,30 \pm 0,05$	$12,6 \pm 0,4$	$11,3 \pm 0,4$
$22,30 \pm 0,06$	$12,1 \pm 0,4$	$10,8 \pm 0,4$
$24,40 \pm 0,06$	$10,6 \pm 0,3$	$9,2 \pm 0,3$
$25,40 \pm 0,06$	$9,9 \pm 0,3$	$8,5 \pm 0,3$

Tabelle 6: Absorberdicken z , gemessene Zählraten \dot{N}_{mess} und tatsächliche Zählraten \dot{N} für Kupfer als Absorbermaterial. Grundlage der Werte bildet Tabelle 3, die graphische Auswertung befindet sich in Abbildung 3.

z in mm	\dot{N}_{mess} in 1/s	\dot{N} in 1/s
$1,05 \pm 0,02$	$42,0 \pm 1,0$	$41,0 \pm 1,0$
$2,00 \pm 0,02$	$42,0 \pm 1,0$	$40,0 \pm 1,0$
$5,00 \pm 0,02$	$40,0 \pm 1,0$	$39,0 \pm 1,0$
$7,00 \pm 0,03$	$38,0 \pm 1,0$	$37,0 \pm 1,0$
$10,00 \pm 0,03$	$35,0 \pm 1,0$	$34,0 \pm 1,0$
$12,00 \pm 0,03$	$35,0 \pm 1,0$	$34,0 \pm 1,0$
$15,00 \pm 0,03$	$34,0 \pm 1,0$	$32,0 \pm 1,0$
$17,00 \pm 0,04$	$30,9 \pm 0,9$	$29,6 \pm 0,9$
$20,00 \pm 0,04$	$28,0 \pm 0,8$	$26,7 \pm 0,8$
$22,00 \pm 0,04$	$28,0 \pm 0,8$	$26,6 \pm 0,8$
$25,05 \pm 0,04$	$28,1 \pm 0,8$	$26,7 \pm 0,8$
$27,05 \pm 0,05$	$26,4 \pm 0,8$	$25,0 \pm 0,8$
$30,05 \pm 0,05$	$25,4 \pm 0,8$	$24,1 \pm 0,8$
$32,05 \pm 0,05$	$24,1 \pm 0,7$	$22,7 \pm 0,7$
$35,10 \pm 0,05$	$22,3 \pm 0,7$	$21,0 \pm 0,7$
$37,10 \pm 0,06$	$22,3 \pm 0,7$	$21,0 \pm 0,7$
$39,10 \pm 0,06$	$21,1 \pm 0,6$	$19,8 \pm 0,6$

Tabelle 7: Absorberdicken z , gemessene Zählraten \dot{N}_{mess} und tatsächliche Zählraten \dot{N} für Aluminium als Absorbermaterial. Grundlage der Werte bildet Tabelle 4, die graphische Auswertung befindet sich in Abbildung 4.

z in mm	\dot{N}_{mess} in 1/s	\dot{N} in 1/s
$2,07 \pm 0,05$	$34,0 \pm 1,0$	$32,0 \pm 1,0$
$4,02 \pm 0,07$	$26,3 \pm 0,8$	$24,9 \pm 0,8$
$6,10 \pm 0,09$	$21,2 \pm 0,6$	$19,9 \pm 0,6$
$8,15 \pm 0,10$	$17,3 \pm 0,5$	$16,0 \pm 0,5$
$10,23 \pm 0,11$	$13,8 \pm 0,4$	$12,5 \pm 0,4$
$12,28 \pm 0,12$	$13,8 \pm 0,4$	$12,4 \pm 0,4$
$14,25 \pm 0,13$	$9,38 \pm 0,28$	$8,04 \pm 0,28$
$16,37 \pm 0,14$	$7,95 \pm 0,24$	$6,61 \pm 0,24$
$18,50 \pm 0,15$	$6,32 \pm 0,19$	$4,98 \pm 0,19$
$20,60 \pm 0,16$	$5,63 \pm 0,17$	$4,29 \pm 0,17$

Tabelle 8: Absorberdicken z , gemessene Zählraten \dot{N}_{mess} und tatsächliche Zählraten \dot{N} für Blei als Absorbermaterial. Grundlage der Werte bildet Tabelle 5, die graphische Auswertung befindet sich in Abbildung 5.

A.3 Laborheft

Versuch 84 Schwächung von γ -Strahlung 03.04.19

1.) u in [V] | N ± √N | N ± √N

0	0	300	0		
25	0	325	0		
50	0	350	0	365	0
75	0	375	71	370	38
100	0	400	1274	380	75
125	0	425	1353	385	82
150	0	450	1324	390	1249
175	0	475	1379	395	1303
200	0	500	1320		
225	0	525	1346	386	102
250	0	550	1256	382	713
275	0	575	1363	388	848
300	0	600	1338	389	1037
= 0,5V ± 11V		625	1383		
Spannung		650	1338		
550V					
~ Mitte Plateau					

2.) Kupfer

Kupfer: ± 0,02

Nummer	Dicke [mm]	Plättchen	t [s]	Counts 1100	t [s]
1	1,00 mm	0	24,06	2410,6,5,4,3,1,4	82,23
2	3,05	8	28,38	2210,6,5,4,3,2,1,4	90,98
3	3,10	3	30,41		
4	3,00	10,8	33,30	2410,6,5,4,3,2	104,09
5	3,05	10,6	36,57	14,15	
6	3,00	10,6,8	32,28		
7	1,00	9	44,76	2410,6,5,4,3,2	111,51
8	1,00	10	46,04	14,15,8	
9	1,00	12	49,16		
10	3,05	13	55,43		
11	1,00	15	62,84		
12	1,00	16	66,63		
13	1,00	18	70,86		
14	3,05	19	75,91		
15	3,10				

Aluminium:

Nummer	Dicke [mm]	Plättchen	t [s]
1	5,00	1 2	26,19
2	1,05	2 3	28,00 ← 4 26,47
3	2,00	5 1	27,39
4	2,00	7 3, 1	29,80 ← 4, 1 29,04
5	5,00	10 5, 1	31,05
6	5,00	12 1, 5, 3	32,93 ← 1, 5, 4 31,29
7	5,00	4 5, 3, 1	31,83
8	5,05	15 1, 5, 6	32,80
9	5,00	17 1, 5, 6, 3	38,09 ← 1, 5, 6, 4 35,60
10	5,05	20 1, 5, 6, 7	37,22
11	4,00	22 1, 5, 6, 7, 4	39,35
	± 0,02	25 1, 5, 6, 7, 8	39,18
		27 1, 5, 6, 7, 8, 4	41,70
		30 1, 5, 6, 7, 8, 9	43,30
		32 1, 5, 6, 7, 8, 9, 4	45,73
		35 1, 5, 6, 7, 8, 9, 4	49,23
		37	49,29
		38 1, 5, 6, 7, 8, 9, 4	52,08

2.) Untergrundmessung $t = 360 \text{ s}$

Counts $487 \quad 484 \quad 471 \quad \approx 480,67 \frac{\text{N}}{\text{s}}$
 $\pm \sqrt{N}$ $: 360 \text{ s} \approx 1,34 \text{ Hz}$

Blei	gewählt	und versch.	in welchen Winkel Plättchen aufeinander liegen	Plättchen	t in [s]	100 Count
1	2,10	2,10	2,00	1	32,70	
2	1,95	1,90	2,00	immer dazu 2	41,90	
3	2,00	2,20	2,05	3	51,88	
4	2,10	2,05	2,00	4	63,62	
5	2,00	2,10	2,15	5	79,75	
6	2,00	2,10	2,05	6	92,92	
7	1,95	2,00	1,95	7	117,32	
8	2,20	2,10	2,05	8	135,32	
9	2,20	2,15	2,05	9	174,16	
10	2,00	2,10	2,20	10	195,51	

UT 03104119 M. ~~St~~

Literatur

- [1] CHU, S. Y. F. ; EKSTRÖM, L. P. ; FIRESTONE, R. B.: *Table of Isotopes decay data*. <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nuclide.asp?iZA=550137>. Version: Feb 1999. – [Online; aufgerufen 09. April 2019]
- [2] o.V.: *Versuchsanleitungen zum Physikkabor für Anfänger*innen, Teil 2*. 2019