

Versuch 253: Absorption von α -, β - und γ -Strahlung

Matthias Kuntz

01.07.2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Physikalische Grundlagen	3
1.1.1 Radioaktivität	3
1.1.2 Aktivität eines Strahlers	4
1.2 Versuchsaufbau	6
2 Versuchsprotokoll mit Messdaten	7
3 Auswertung	13
3.1 Nulleffekt	14
3.2 Absorption von β -Strahlung in Aluminium	14
3.3 Absorption von γ -Strahlung in Blei	16
3.4 Aktivität des γ -Strahlers	17
3.5 Absorption von α -Strahlung in Luft	19
4 Zusammenfassung der Endergebnisse	21
5 Diskussion	22

6 Anhang **23**

7 Python-Code **26**

1 Einleitung

In diesem Versuch soll die Absorption von α -, β - und γ -Strahlung in verschiedenen Medien untersucht werden. Wir analysieren die Absorption von β -Strahlung in Aluminium und γ -Strahlung in Blei, gehen auf die Aktivität des γ -Präparats ein und betrachten abschließend die Absorption von α -Strahlung in Luft. Ziel ist es, die Energien der emittierten Teilchen zu bestimmen.

1.1 Physikalische Grundlagen

1.1.1 Radioaktivität

Als Radioaktivität bezeichnet man die Eigenschaft instabiler Kerne spontan zu zerfallen, wobei Energie frei wird, die in Form von Teilchen abgegeben wird, und die Kerne in einen energetisch günstigeren Zustand übergehen. Die Zerfälle folgen dabei dem Zerfallsgesetz

$$n = n_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

wobei Lambda die Zerfallskonstante darstellt und n die Rate der Zerfälle, auch Aktivität genannt. Aus der Zerfallskonstante lässt sich die Halbwertszeit $T_{1/2}$ bestimmen:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (2)$$

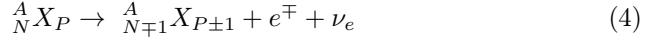
Es gibt insgesamt drei verschiedene Arten von radioaktiver Strahlung.

Bei der α -Strahlung erfolgt die Energieabgabe über den Ausstoß eines zweifach positiv geladenen Heliumkerns, ein sogenannten α -Teilchen:



Dabei ist die emittierte Strahlung aufgrund der diskreten Zustände des Kerns monoenergetisch und charakteristisch für den emittierenden Stoff.

Bei β -Strahlung werden entweder negative geladene Elektronen oder positiv geladenen Positronen emittiert. Da zusätzlich immer ein (Anti-)Neutrino emittiert wird, ist das Energiespektrum der Elektronen bzw. Positronen kontinuierlich verteilt, wobei die maximal mögliche Energie wieder stoffabhängig ist.



Die γ -Strahlung ist im Vergleich zu den anderen beiden Elektromagnetisch und entsteht beim Zerfall eines Mutterkerns in einen angeregten Zustand des Tochterkerns, wobei ein Photon mit charakteristischer Energie emittiert wird.

Die Absorption von α - und β -Strahlung in Materie erfolgt überwiegend über Stöße und Wechselwirkungen. Damit ist der Energieverlust antiproportional zum Geschwindigkeitsquadrat der Teilchen. Bei α -Teilchen bleibt die Zählrate in Materie nahezu konstant bis eine kritische Dicke erreicht wird, ab der sie stark auf Null abfällt. β -Teilchen hingegen haben eine deutlich größere Reichweite und können durch ihre leichte Masse und große Reichweite oft vielfach weiter in Materie eindringen als die Absorberdicke, was die Absorptionskurve verwischen kann.

Die Photonen der γ -Strahlung folgen in Materie dem Lambert-Beere-Gesetz:

$$n = n_0 e^{-\mu x}. \quad (5)$$

Hierbei ist μ der materialabhängige Schwächungskoeffizient. Die wichtigsten Effekte der Photonenaufnahme sind der Photoeffekt, die Comptonstreuung und die Paarbildung. Hierbei dominiert für kleine Energien der Photoeffekt, bei mittleren die Comptonstreuung und bei großen die Paarbildung den Schwächungskoeffizient.

1.1.2 Aktivität eines Strahlers

Die Aktivität bezeichnet die insgesamt in alle Raumrichtungen auftretenden Zerfälle pro Sekunde. Ein Zählgerät misst dabei immer nur eine Zählrate n in einem Raumwinkel Ω , der in erster Näherung durch den Abstand zur Quelle d und den Radius r des Zählrohrs gegeben ist:

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{d^2} \quad (6)$$

Für die Aktivität ergibt sich somit:

$$A = \frac{4\pi n}{\varepsilon \Omega} = \frac{4nd^2}{\varepsilon r^2}. \quad (7)$$

Hierbei bezeichnet ε die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählrohrs, welche für β -Strahlung praktisch 1 und für γ -Strahlung mit Energien von 100keV bis einige MeV etwa 4% beträgt.

Um die Näherung des Raumwinkels zu verbessern kann man zunächst die längliche Ausdehnung des Zählrohrs berücksichtigen, da sonst, wie in Abbildung 1 zu sehen, in den Extremfällen zu viele oder zu wenige Ereignisse gemessen werden. Am einfachsten geht dies unter Berücksichtigung der halben Zählrohrlänge l :

$$\begin{aligned}\Omega &= \frac{\pi r^2}{(d + l/2)^2} \\ \Rightarrow A_{korr} &= \frac{4n(d + l/2)^2}{\varepsilon r^2}\end{aligned}\tag{8}$$

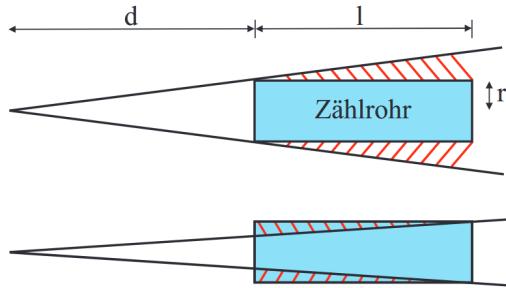


Abbildung 1: Extremfälle des Raumwinkels [Quelle: PAP2.2 Skript, S.76, Stand: 01.08.2024]

Ebenso muss man die Absorption der Präparat-Kapsel selbst berücksichtigen, für die gilt:

$$A_{abgeschirmt} = A_{offen} \cdot e^{-\mu x}.\tag{9}$$

Hierbei ist x die Dicke und μ der Schwächungskoeffizient der Präparat-Kapsel.

1.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau, zu sehen in Abbildung 2, besteht aus einem Geiger-Müller-Zählrohr, das auf einer Halterungsschiene angebracht ist, auf welcher ebenso die radioaktiven Präparate in verstellbarem Abstand positioniert werden können. Das Signal des Zählrohrs wird an das Betriebsgerät weitergeleitet, an dem die Zählrohrspannung sowie die Messdauer eingestellt und die gemessene Zählrate abgelesen werden können. Zusätzlich ist ein zweites Zählrohr mit evakuierbarem Glaszyylinder und fest verbautem α -Strahler vorhanden, welches ebenso an das Betriebsgerät angeschlossen werden kann. Der Glaszyylinder wird mit einer Vakuumpumpe vakuumisiert und der Druck kann anschließend über ein Ventil langsam erhöht werden.

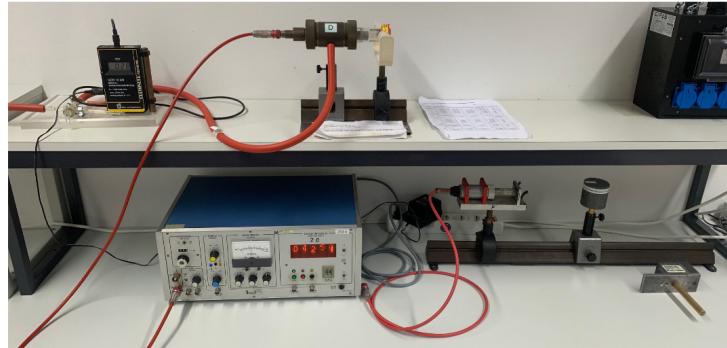


Abbildung 2: Versuchsaufbau [Quelle: PAP2.2 Skript, S.75, Stand: 01.08.2024]

2 Versuchsprotokoll mit Messdaten

Messprotokoll Versuch 253: Absorption

Tutor: Daniel Härter

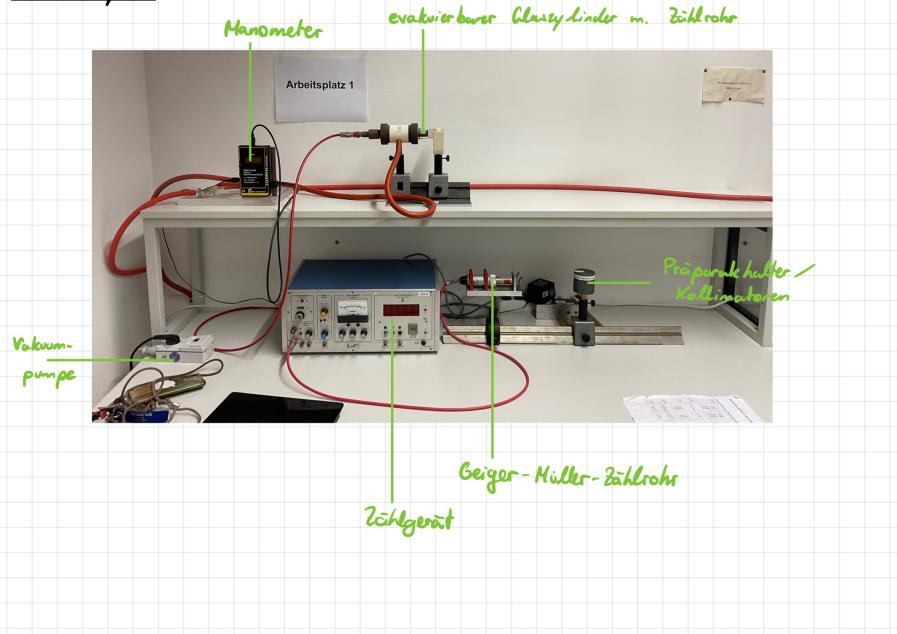
01.07.2024, 14[±] - 17[±] Uhr

Nicole Scherst
Matthias Kuntze

Materialien:

- Geiger-Müller - Zählrohr
- Zählgerät
- Evakuierbarer Glassylinder mit eingebautem Zählrohr und ^{241}Am -Präparat
- μ -Präparat (^{90}Sr / ^{90}Y)
- γ -Präparat (^{60}Co)
- diverse Präparatthalter und Kollimatoren
- Aluminium- und Bleiabsorber
- Vakuumpumpe

Versuchsaufbau



1+2) Inbetriebnahme & Messung des Nulleffekt na

Messung ohne Präparat

$$\text{Betriebsspannung} \quad U = (520 \pm 10) \text{ V}$$

$$\text{Radius des Zählrohrs} \quad r = 7 \text{ mm}$$

$$\text{Messdauer} \quad t = 5 \text{ min}$$

$$\text{gem. Nulleffekt} \quad N_0 = 131$$

Radioaktive Quellen in den Anfängerpraktika

Stand 01.01.2021

Isotop	Seriennummer	Nennaktivität	Herstellungsdatum	Aktiv am	Versuch
Co-60				01.01.2021	
527 a				berechnet	
	SN 371	3700 kBq	02.03.2010	890 kBq	251
	SN 372	3700 kBq	02.03.2010	890 kBq	251
				/	
	AE 8663	3700 kBq	02.02.2015	1700 kBq	253
	AE 8664	3700 kBq	02.02.2015	1700 kBq	253
	UB 595	3700 kBq	02.02.2012	1150 kBq	253
	UB 596	3700 kBq	02.02.2012	1150 kBq	253
Cs-137					
3917 a	AW 820-AW831	1480 kBq	04.12.1990	740 kBq	Med/Chem
Sr-90					
285 a	DG 665	74 kBq	Dez 92	38 kBq	253
	GE 527	74 kBq	Sept 99	44 kBq	253
	DG 884	74 kBq	Dez 92	38 kBq	253
	DG 886	74 kBq	Dez 92	38 kBq	253
Am-241					
433 a	AP 15.2 (Eigenbau)	ca. 90 kBq	Okt 75	84 kBq	253
	AP 15.3 (Eigenbau)	ca. 90 kBq	Okt 75	84 kBq	253
Am-241					
Neutronen	AMM100/434	3,7 kBq	Okt 65	3,4 kBq	253
Spuren	AMM4826	3,7 kBq	Jul 74	3,45 kBq	252 Paar/Ni/Alu

Datenblatt der radioaktiven Quellen

3) Absorption von β -Strahlung in Aluminium

Präparat: $^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$ CT 871

Absz. und z. Zählrohr $d = 6\text{ cm}$ Meßfehler $\Delta d = 0,3\text{ cm}$

Abschirmung mit Aluminiumplatten vor Zählrohr

Abschirmungsstärke [mm]	Messdauer [s]	Zählrate N
0	30	1075
0,3	30	670
0,6	30	371
0,9	30	318
1,2	30	198
1,5	120	517
1,8	120	309
2,1	120	194
2,4	120	132
2,7	120	76
3,0	120	62
3,3	120	56
3,6	120	54
4,6	300	133

Tabelle 1: Absorption von β -Strahlung

4) Absorption von γ -Strahlung in Blei

Präparat: ^{60}Co AE8663

Abstand z. Zählrohr $d = 15 \text{ cm}$

Abschirmung mit Bleiplatten vor Präparat

Abschirmungsdicke [cm]	Messdauer [s]	Zählrate N
0	60	1816
0,5	60	1221
1,0	60	911
1,5	60	664
2,0	60	532
2,5	60	394
3,0	60	290
3,5	60	212
4,0	60	144
4,5	60	141
5,0	60	117

Tabelle 2: Absorption γ -Strahlung in Blei

5) Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers

Präparat: ^{60}Co AE8663

keine Abschirmung

Messzeit: jeweils 60 sek.

Abstand d [cm]	Zählrate N
5	17 662
10	6217
20	1522

Tabelle 3: Aktivität des γ -Strahlers

6) Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung

fest verbaute α -Quelle (^{242}Am) mit Zählrohr

Abstand z. Zählrohr $d = 4,45 \text{ cm}$

Flächendichte d. Zählrohrs: $A = 2,35 \text{ mg/cm}^2$

Messzeit jeweils $t = 60\text{s}$

Druck p [mbar], $\Delta p = 5$ mbar	Zählrate N
20	12838
112	12359
223	12780
320	12460
344	11823
371	10971
388	9868
413	7573
462	2740
510	532
523	323
572	244
623	255
716	248

Tabelle 4: Absorp. & Energie von α -Strahlung

Herr J. J. S.

3 Auswertung

In dieser Evaluation werden alle Fehler, sofern keine spezifische Angabe gemacht wird, mithilfe der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung berechnet. Dies bedeutet, dass ein Wert F , der mit der Formel $f(a_1, \dots, a_n)$ berechnet wird, den Fehler ΔF annimmt:

$$\Delta F = \sqrt{\sum_n \left(\frac{\partial f}{\partial a_n} \cdot \Delta a_n \right)^2}. \quad (10)$$

Des Weiteren erfolgen Signifikanztests von zwei Werten a und a' über die folgende Formel:

$$\sigma = \frac{|a - a'|}{\sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta a')^2}}. \quad (11)$$

Die Auswertung sowie Berechnung erfolgen über das dem Dokument angehängte Python-Programm. Hierbei erfolgen Fits von Funktionen mithilfe der 'curve_fit'-Funktion des 'SciPy'-Packages und Plots werden mit 'matplotlib' erstellt.

3.1 Nulleffekt

Zuerst berechnen wir aus den Messwerten des ersten Teils die Rate des Nulleffekts, da wir diese in den folgenden Versuchsteilen berücksichtigen werden. Aus den Messungen $N_0 = 131$ und $t = 5\text{min}$ berechnen wir:

$$n_0 = \frac{N_0}{t}, \quad \Delta n_0 = \frac{\sqrt{N_0}}{t} \quad (12)$$

$$\Rightarrow n_0 = (0,44 \pm 0,04)\text{1/s}$$

3.2 Absorption von β -Strahlung in Aluminium

Wir berechnen die Raten n aus den gemessenen Ereignissen N aus Tabelle 1 des Messprotokolls und ziehen den bestimmten Nullwert n_0^β ab. Die so resultierenden Zählraten plotten wir als Funktion der Absorberdicke in halblogarithmischem Maßstab und können nun an den Verlauf eine Exponentialfunktion fitten, die aufgrund des halblogarithmischen Maßstabs bei der Maximalreichweite im Medium nahezu senkrecht verläuft. Indem wir zusätzlich eine obere und untere Fehlerkurve anlegen am oberen und unteren 1σ -Bereich der Fitparameter können wir den Fehler abschätzen. Das Diagramm mit allen Fits ist in Abbildung 3 dargestellt.

Indem wir die Schnittpunkte der drei Exponentialfunktionen mit einer sehr kleinen Konstanten (10^{-5}) berechnen, erhalten wir den folgenden Wert für die Maximalreichweite:

$$d_{max} = 3,25^{+0,09}_{-0,07} \text{ mm} \quad (13)$$

Mit diesem Wert können wir die Flächendichte R^β bestimmen. Dazu benötigen wir die Flächendichte der Präparatskapsel von $R_{ES}^\beta = 0,130\text{g/cm}^2$ und die Dichte von Aluminium $\rho_{Al} = 2.71\text{g/cm}^3$. Wir erhalten:

$$R^\beta = \rho_{Al} \cdot d_{max} + R_{ES}^\beta$$

$$\Rightarrow \Delta R^\beta = \rho_{Al} \cdot \Delta d_{max} \quad (14)$$

$$\Rightarrow R^\beta = 1,010^{+0,024}_{-0,018} \text{ g/cm}^3$$

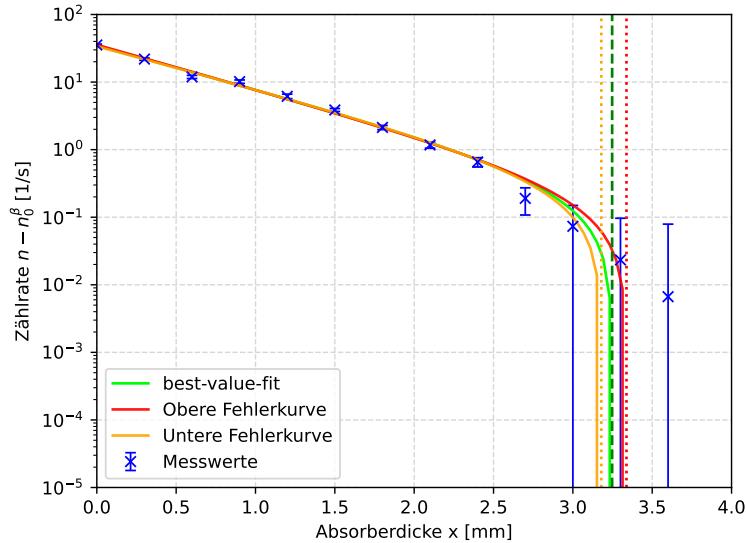


Abbildung 3: Bestimmung Maximalreichweite von β -Strahlung in Aluminium

Wir nutzen diesen Wert, um aus Diagramm 8 im Anhang die Maximalenergie der β -Teilchen zu ermitteln. Wir lesen dabei den folgenden Wert ab:

$$E_{\beta,max} = (2, 2 \pm 0, 1) \text{ MeV} \quad (15)$$

Verglichen mit dem Literaturwert 2,274 MeV ergibt sich eine insignifikante Abweichung von $0,74\sigma$, was unser Ergebnis und die verwendeten Messwerte sowie Methoden bestätigt.

3.3 Absorption von γ -Strahlung in Blei

Wir berechnen aus den Messwerten in Tabelle 2 die Raten und ziehen den anfangs berechneten Nulleffekt n_0 ab. Wir stellen die resultierenden Raten erneut in einem halblogarithmischem Diagramm dar und fitten eine dem Beere-Lambert-Gesetz (5) entsprechende Exponentialfunktion, zu sehen in Abbildung reffig:A4-AbsorptionGamma. Dabei erhalten wir den Fitparameter für den Schwächungskoeffizient $\mu = (0,630 \pm 0,011) \text{ cm}^{-1}$, welchen wir mit der Dichte von Blei $\rho_{Pb} = 11.342 \text{ g/cm}^3$ in den Massenschwächungskoeffizient μ/ρ umrechnen:

$$\frac{\mu}{\rho} = (0,0555 \pm 0,0010) \text{ cm}^2/\text{g} \quad (16)$$

Mit diesem Wert lesen wir aus Diagramm 9 im Anhang die Energie der emittierten γ -Quanten und erhalten:

$$E_\gamma = (1.4 \pm 0.2) \text{ MeV} \quad (17)$$

Wir vergleichen erneut mit dem Literaturwert, der diesmal 1,333 MeV beträgt, und erhalten erneut eine insignifikante Abweichung von $0,33\sigma$.

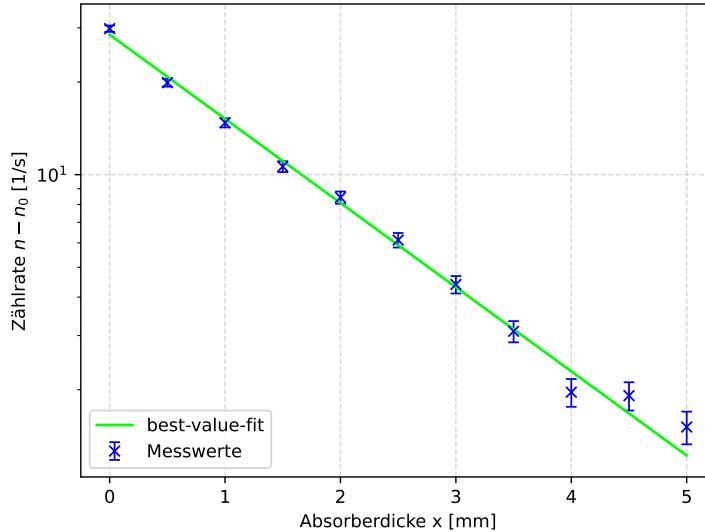


Abbildung 4: Absorption von γ -Strahlung in Blei

3.4 Aktivität des γ -Strahlers

Wir beginnen, indem wir die genäherten Aktivitäten bei den drei Distanzen berechnen. Dazu bestimmen wir die Raten aus den Messwerten in Tabelle 3, ziehen von denen den Nulleffekt n_0 ab und halbieren die resultierenden Werte, da pro Zerfall zwei Photonen entstehen. Wir verwenden Gleichung 7, um die unkorrigierten Aktivitäten zu bestimmen, wobei sich der Fehler folgendermaßen berechnet:

$$\Delta A = A \sqrt{\left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2} \quad (18)$$

Zum Vergleich bestimmen wir die Nennaktivität zum Tag des Versuchs mit dem Datenblatt des Messprotokolls. Bei einer Halbwertszeit von 5,27 Jahren und einer Zeit von exakt 3,5 Jahren seit der letzten protokollierten Aktivität von 1700 kBq vom 01.01.2021 erhalten wir den folgenden Wert für die theoretische Aktivität zum Versuchstag:

$$A_{theo} = 1700 \text{ kBq} \cdot e^{-\ln(2) \frac{t}{T_{1/2}}} = 1072,812 \text{ kBq} \quad (19)$$

Die Aktivitäten mit dem Literaturwert und Signifikanztests sind in Tabelle 5 eingetragen.

d [cm]	A [MBq]	A_{theo} [MBq]	σ
5	$0,75 \pm 0,05$	1,072812	7,12
10	$1,05 \pm 0,03$	1,072812	0,58
20	$1,02 \pm 0,03$	1,072812	1,80

Tabelle 5: Aktivität ohne Korrektur

Wir berechnen nun noch die korrigierten Aktivitäten gemäß Gleichungen 8 und 9. Die Länge des Zählrohrs ist gegeben als 4 cm und für die Absorptionskorrektur verwenden wir die Dicke $x = 1,4 \text{ mm}$ sowie Dichte $\rho = 7,9 \text{ g/cm}^3$ der Präparatskapsel und bestimmen den Schwächungskoeffizient μ' gemäß

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho_{Pb}} \rho_{Absorber} = (43,9 \pm 0,8) \text{ 1/m}, \quad (20)$$

wobei wir das Verhältnis μ/ρ aus Teil 4 verwenden.

Die Raumwinkelkorrektur beläuft sich also auf:

$$\begin{aligned}
A_{corr,1} &= n \cdot k_{corr} = n \cdot \frac{4(d + l/2)^2}{\varepsilon r^2}, \\
\Rightarrow \Delta k_{corr} &= \Delta d \cdot 2 \frac{4(d + l/2)}{\varepsilon r^2}, \\
\Delta A_{corr,1} &= A_{corr,1} \sqrt{(n \cdot \Delta k_{corr})^2 + (k_{corr} \cdot \Delta n)^2}.
\end{aligned} \tag{21}$$

Und die Absorptionskorrektur ergibt:

$$\begin{aligned}
A_{corr,2} &= A_{corr,1} \cdot e^{\mu' \cdot x}, \\
\Rightarrow \Delta A_{corr,2} &= \sqrt{(\Delta A_{corr,1} \cdot e^{\mu' \cdot x})^2 + (x A_{corr,1} \cdot e^{\mu' \cdot x} \cdot \Delta \mu')}.
\end{aligned} \tag{22}$$

Somit erhalten wir nach Anwenden der Korrekturen die in Tabelle 6 dargestellten Ergebnisse und Signifikanztests.

d [cm]	A [MBq]	A_{theo} [MBq]	σ
5	1,48 ± 0,13	1,072812	3,19
10	1,53 ± 0,08	1,072812	5,75
20	1,24 ± 0,05	1,072812	3,55

Tabelle 6: Aktivität mit Korrektur

Es ist zu erkennen, dass der erste Wert eine kleine Abweichung zum Literaturwert hat, dafür die letzten beiden aber deutlich weiter entfernt liegen. Allgemein weisen alle Werte signifikante Abweichungen zum berechneten Referenzwert auf. Woran das liegen könnte, lässt sich nur schwer sagen. Es lässt sich aber feststellen, dass die Aktivitäten an sich näher beieinander liegen als ohne Korrektur, was auch an sich zu erwarten ist. Die Raumwinkelkorrektur wird für größere Abstände nämlich immer geringer, da $(d + l/2)$ für große Abstände einfach gegen d geht und somit der Korrekturfaktor gegen 1 geht und die verschiedenen Abstände ausgleicht. Insgesamt weisen die Korrekturen aber eher unzufriedenstellende Ergebnisse auf, da sie diese bis auf einen Wert nicht verbessert haben, was auf einen größeren Mess- oder Methodikfehler hinweist

3.5 Absorption von α -Strahlung in Luft

Aus den Messwerten in Tabelle 4 bestimmen wir die Raten n und tragen diese als Funktion des Drucks in ein Diagramm auf. Wir möchten nun den Druck bestimmen, an dem die Zählrate auf die Hälfte des Anfangswertes im Vergleich zum Endwert gesunken ist. Wir berücksichtigen hierbei den Endwert, um die Hintergrundeffekte nicht mitzubeachten. Dazu fitten wir eine Funktion an, die dem ungefähren Verlauf der Messwerte entspricht:

$$y = \frac{\alpha}{10 + e^{-\beta(x-x_0)}} + bkg. \quad (23)$$

Wir erhalten das in Abbildung 5 dargestellte Diagramm, aus welchem wir manuell den Schnittpunkt mit der halben Zählrate von 105 1/s bestimmen und somit den folgenden Druck erhalten:

$$p = (423 \pm 3)\text{mbar} \quad (24)$$

Damit berechnen wir die Reichweite s_1 der α -Strahlung bei dem gegebenen Druck, wofür wir den Normaldruck $p_0 = 1013\text{mbar}$ und den Abstand vom Präparat zum Zählrohr $s_0 = (3,95 \pm 0,05)\text{cm}$ benötigen:

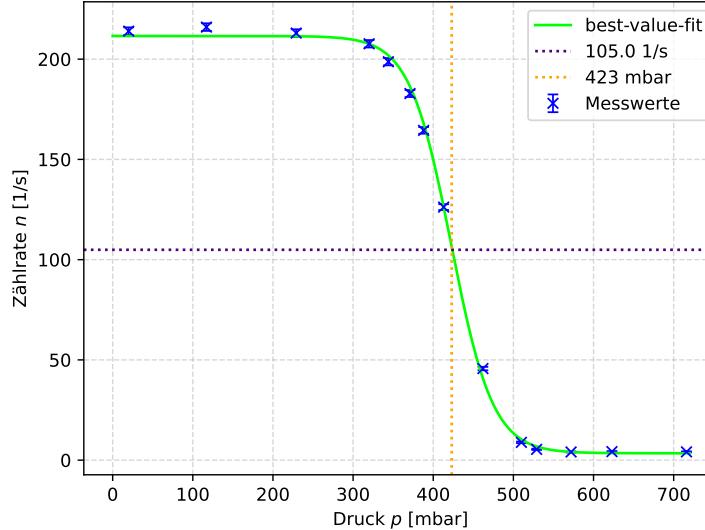


Abbildung 5: Absorption von α -Strahlung in Luft

$$\begin{aligned}
s_1 &= \frac{p}{p_0} s_0 \\
\Rightarrow \Delta s_1 &= s_1 \sqrt{\left(\frac{\Delta s_0}{s_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2} \\
\Rightarrow s_1 &= (1,649 \pm 0,024)\text{cm}
\end{aligned} \tag{25}$$

Wir berücksichtigen noch zwei Korrekturen. Zunächst betrachten wir die Dicke des Zählrohrfensters aus Glimmer. Dafür benötigen wir das Bremsvermögen von Glimmer von $1,43 \text{ mg/cm}^2$ und die Flächendichte des Zählrohrfensters ρ_{Gl} aus dem Messprotokoll:

$$s_2 = \frac{\rho_{Gl}}{1,43\text{mg/cm}^2} \cdot 1\text{cm} = 1,643\text{cm} \tag{26}$$

Ebenso berücksichtigen wir die Goldschutzschicht der ^{241}Am -Quelle, die äquivalent zu einer $s_3 = 0,68\text{cm}$ dicken Luftsicht ist.

Somit ergibt sich die Gesamtreichweite zu

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = (3,973 \pm 0,024)\text{cm}, \tag{27}$$

wobei sich der Fehler aus Δs_1 ergibt. Mithilfe von Abbildung 8 können wir nun die Energie der α -Strahlung bestimmen:

$$E_\alpha = (5,5 \pm 0,3)\text{MeV} \tag{28}$$

Verglichen mit dem Literaturwert von $5,48 \text{ MeV}$ ergibt sich eine insignifikante Abweichung von $0,07\sigma$.

4 Zusammenfassung der Endergebnisse

In diesem Versuch wurde die Absorption von α -, β - und γ -Strahlung in verschiedenen Medien untersucht. Zunächst wurde mit insignifikanter Abweichung zum Literaturwert die maximale Energie von β -Strahlung über die kritische Dicke bestimmt:

$$E_{\beta,max} = (2,2 \pm 0,1)\text{MeV}. \quad (29)$$

Anschließend bestimmten wir über den Schwächungskoeffizient von γ -Strahlung die Energie der emittierten Quanten mit ebenso insignifikanten Abweichungen:

$$E_\gamma = (1,4 \pm 0,2)\text{MeV}. \quad (30)$$

Daraufhin bestimmten wir die Aktivität des γ -Strahlers und korrigierten diese unter Berücksichtigung des realen Raumwinkels und der Absorption der Präparatskapsel. Hierbei wichen alle Endergebnisse signifikant vom auf den Tag des Versuchs adjustierten Referenzwert ab.

Zuletzt bestimmten wir die Energie von α -Strahlung, indem wir die Reichweite in Luft mithilfe verschiedener Drücke bestimmten. Auch hier wich das Ergebnis insignifikant vom Literaturwert ab:

$$E_\alpha = (5,5 \pm 0,3)\text{MeV}. \quad (31)$$

5 Diskussion

Abgesehen von der Aktivität ergaben alle Energie-Endwerte sehr positive Ergebnisse. Hier wichen kein Ergebnis signifikant vom Literaturwert ab und konnte mit zufriedenstellender Genauigkeit ermittelt werden.

Anders sieht das bei der Aktivität aus. Hier ergaben die Korrekturen nicht den gewünschten Verbesserungseffekt, sondern verschlechterten die Ergebnisse sogar in 2 von 3 Fällen. Ob hier einfach nur sehr ungünstige statistische Schwankungen oder wirklich gravierende Mess- oder Anwendungsfehler die Ursache sind, ist schwer zu bewerten. Jedoch konnte zumindest qualitativ beobachtet werden, wie die verschiedenen Abstände unterschiedlich stark korrigiert werden und somit die Differenzen zwischen den Aktivitäten ausgeglichen wurden.

Somit lässt sich zusammenfassend sagen, dass trotz der unzufriedenstellenden Ergebnisse der Aktivitätsbestimmung alle restlichen Ergebnisse sehr zufriedenstellende und mit der Theorie übereinstimmende Resultate lieferten und der Versuch somit insgesamt eine lehrreiche und interessante Einführung in die Thematik der Absorption radioaktiver Strahlung darstellt.

6 Anhang

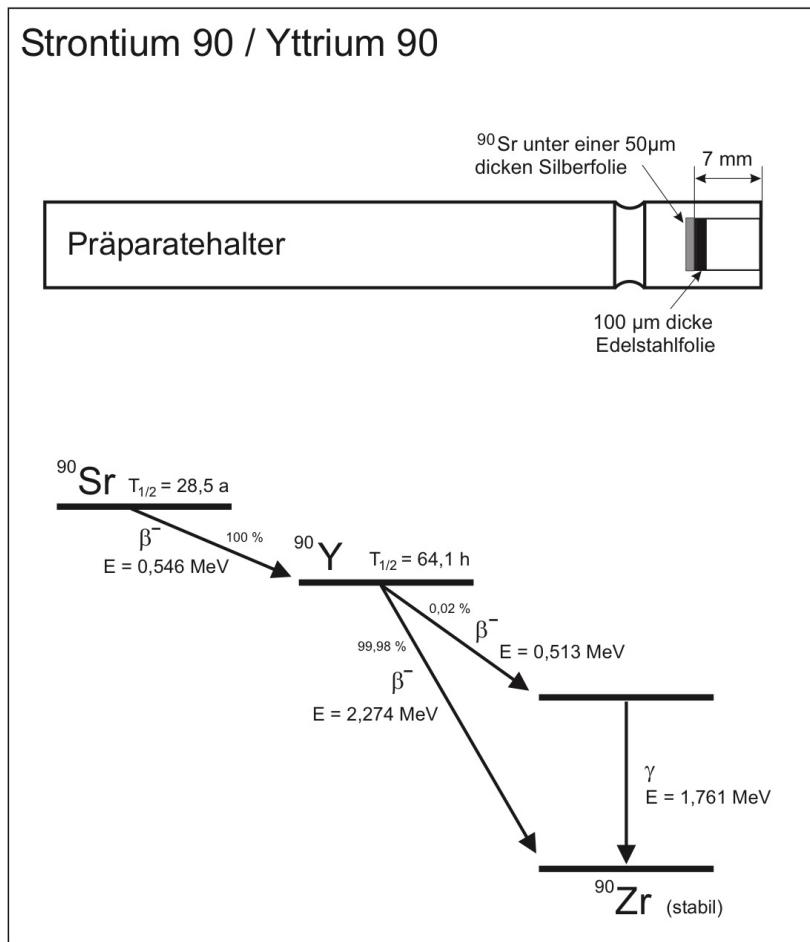


Abbildung 6: Aufbau des Strontium Präparats und zugehöriges Zerfallsschema
[Quelle: PAP2.2 Skript, S.82, Stand: 01.08.2024]

Kobalt 60

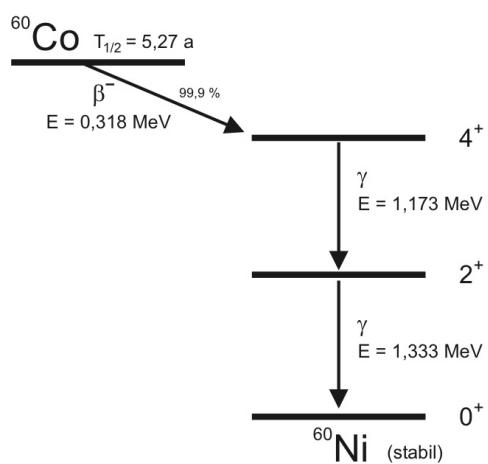
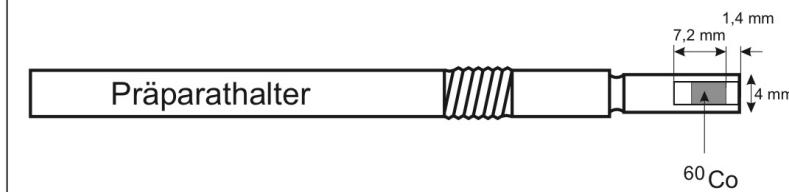


Abbildung 7: Aufbau des Kobalt Präparats und zugehöriges Zerfallsschema
[Quelle: PAP2.2 Skript, S.83, Stand: 01.08.2024]

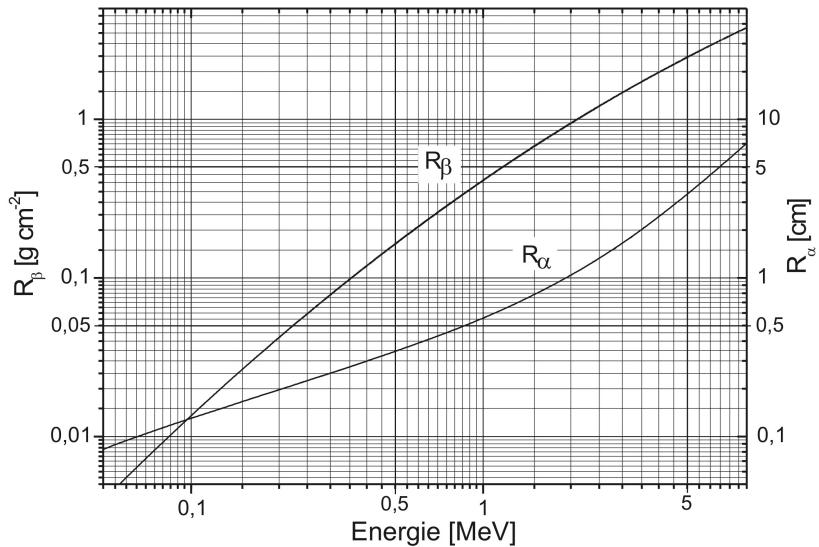


Abbildung 8: Reichweite von β -Strahlung in Aluminium von und α -Strahlung in Luft [Quelle: PAP2.2 Skript, S.84, Stand: 01.08.2024]

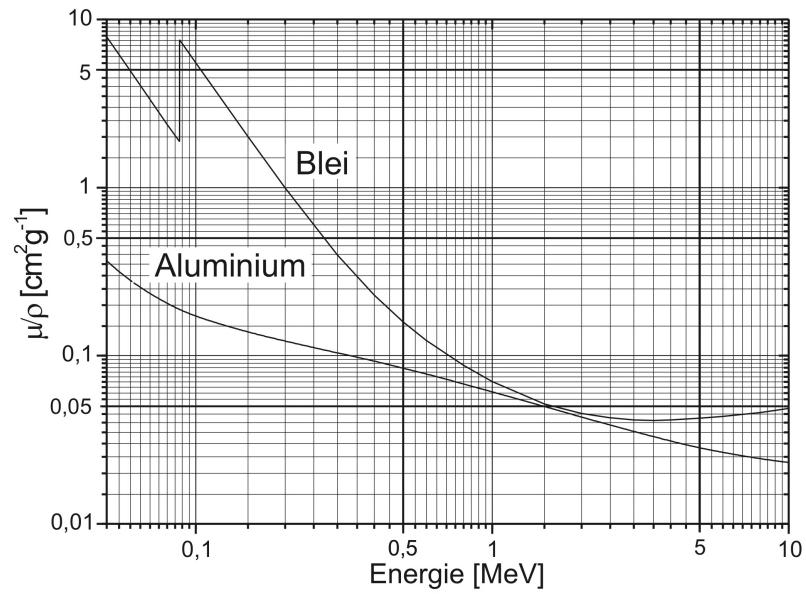


Abbildung 9: Photon Cross Section from 1 keV to 100 MeV for elements Z=1 to 100 [Quelle: PAP2.2 Skript, S.85, Stand: 01.08.2024]

August 1, 2024

```
[ ]: %matplotlib inline
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.mlab as mlab
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import chi2
from scipy.stats import norm
import scipy.constants as scp
import scipy.integrate as integrate
from tabulate import tabulate
from scipy import signal
import scipy.constants as const

[ ]: def sigma(x, y, dx, dy, label):
    s = np.abs(x-y)/np.sqrt(dx**2 + dy**2)
    print('Sigmaabweichung {} ='.format(str(label)), s)
    return s
```

1 Nullmessung

```
[ ]: U = 520
dU = 10
r = 0.007 #m
t_n0 = 5*60
N0 = 131

n0 = N0 /t_n0
dn0 = np.sqrt(N0)/t_n0
print(n0, dn0)
```

0.4366666666666665 0.038151743807531995

2 Absorption von β -Strahlung in Aluminium

```
[ ]: d3 = 6e-2 #m
d3 = 0.3e-2
x3 = np.array([0,3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,46])*0.1
t3 = np.array([30,30,30,30,30,120,120,120,120,120,120,120,120,300])
N3 = np.array([1075,670,371,318,198,517,309,194,132,76,62,56,54,133])

n3 = N3/t3
dn3 = np.sqrt(N3)/t3

n0b = n3[-1] # - n0
dn0b = np.sqrt(dn3[-1]**2) # + dn0**2

diff = n3[:-1] - n0b
ddiff = np.sqrt((dn3[:-1])**2 + (dn0b)**2)

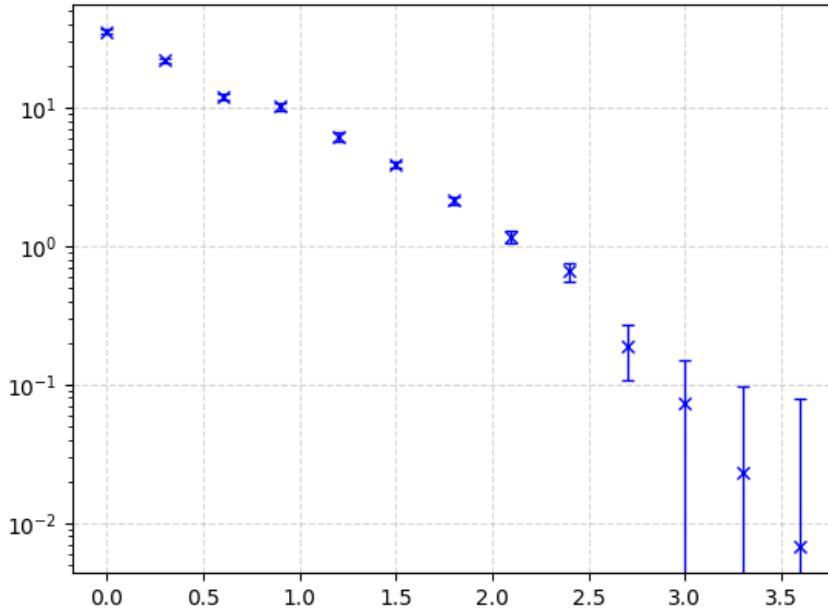
print(n3)
print(n0b, dn0b)
print(diff, ddiff)
len(diff)
```

[35.83333333 22.33333333 12.36666667 10.6 6.6 4.30833333
2.575 1.61666667 1.1 0.63333333 0.51666667 0.46666667
0.45 0.44333333]
0.4433333333333336 0.03844187531556932
[3.53900000e+01 2.18900000e+01 1.19233333e+01 1.01566667e+01
6.15666667e+00 3.86500000e+00 2.13166667e+00 1.17333333e+00
6.56666667e-01 1.90000000e-01 7.33333333e-02 2.33333333e-02
6.66666667e-03] [1.09358229 0.86366789 0.64319515 0.59566023 0.47061426
0.19334052
0.15144673 0.12227019 0.10317192 0.08219219 0.07604823 0.07325754
0.07230337]

```
[ ]: 13
```

```
[ ]: plt.grid(alpha=0.5, linestyle='--')
plt.errorbar(x3[:-1], diff, yerr=ddiff, fmt='x', color='blue',  
label='Messwerte', capsize=3, lw=1)

plt.yscale('log')
```



```
[ ]: def exp(x,b,c,d):
       return np.exp(-b*x + c) + d

[ ]: popt3, pcov3 = curve_fit(exp, x3[:-1], diff, sigma=ddiff, absolute_sigma=True,
   ↪p0=[1,3.5,-10])
popt3

[ ]: array([ 1.48747317,  3.55512192, -0.27931199])

[ ]: dpopt3 = np.sqrt(np.array([pcov3[0][0], pcov3[1][1], pcov3[2][2]]))

[ ]: X = np.linspace(0, 4, 100)

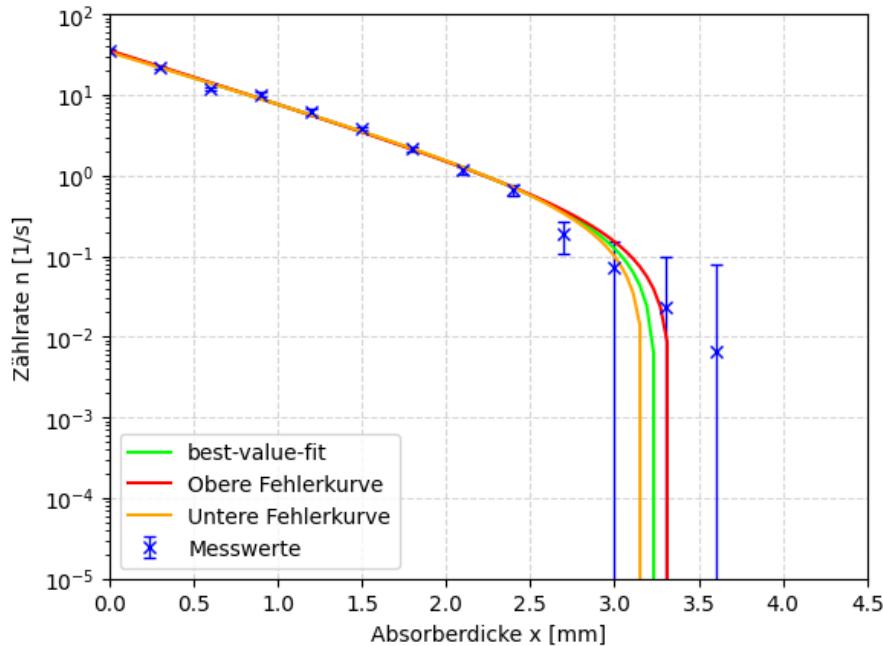
plt.grid(alpha=0.5, linestyle='--')
plt.errorbar(x3[:-1], diff, yerr=ddiff, fmt='x', color='blue', ↪
   ↪label='Messwerte', capsizes=3, lw=1)
plt.plot(X, exp(X, *popt3), color='lime', label='best-value-fit')
plt.plot(X, exp(X, *(popt3+dpopt3)), color='red', label='Obere Fehlerkurve')
plt.plot(X, exp(X, *(popt3-dpopt3)), color='orange', label='Untere Fehlerkurve')
plt.axis([0,4.5,1e-5,100])
plt.xlabel('Absorberdicke x [mm]')
plt.ylabel('Zählrate n [1/s]')
```

```

plt.legend(loc='lower left')

plt.yscale('log')

```



```

[ ]: def SchnittpunktExp(popt, y):
    x = - (np.log(y - popt[2]) - popt[1])/popt[0]
    return x

[ ]: x_max = SchnittpunktExp(popt3, 1e-5)
x_max_upper = SchnittpunktExp((popt3+dopt3), 1e-5)
x_max_lower = SchnittpunktExp((popt3-dopt3), 1e-5)

print('Maximale Absorptionsdicke = ({:.2f} + {:.2f} - {:.2f})mm'.format(x_max, np.
    abs(x_max_upper - x_max), np.abs(x_max_lower - x_max)))

```

Maximale Absorptionsdicke = (3.2474616043190485 + 0.09039971659687662 - 0.06809324586634657)mm

```

[ ]: X = np.linspace(0, 4, 100)

plt.grid(alpha=0.5, linestyle='--')

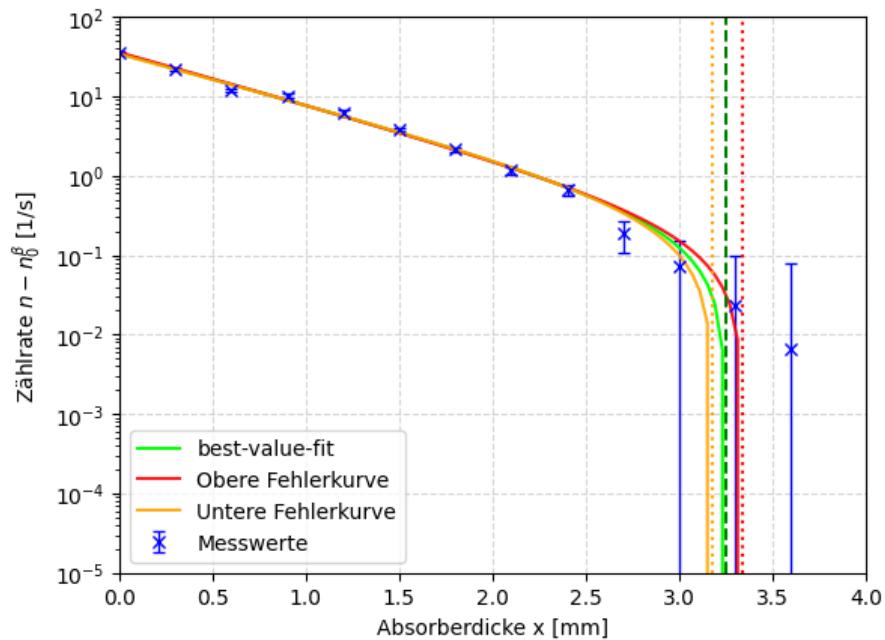
```

```

plt.errorbar(x3[:-1], diff, yerr=ddiff, fmt='x', color='blue', capsize=3, lw=1)
    ↪label='Messwerte', capsiz=3, lw=1)
plt.plot(X, exp(X, *popt3), color='lime', label='best-value-fit')
plt.plot(X, exp(X, *(popt3+dopt3)), color='red', alpha=0.9, label='Obere Fehlerkurve')
plt.plot(X, exp(X, *(popt3-dopt3)), color='orange', alpha=0.9, label='Untere Fehlerkurve')
plt.axis([0,4,1e-5,100])
plt.xlabel('Absorberdicke x [mm]')
plt.ylabel(r'Zählrate $n - n_0^\beta$ [1/s]')
plt.legend(loc='lower left')
plt.axvline(x_max, ls='--', color='green')
plt.axvline(x_max_upper, ls=':', color='red')
plt.axvline(x_max_lower, ls=':', color='orange')

plt.yscale('log')
plt.savefig('../plots/Maximalreichweite-beta.pdf', format='PDF')

```



```
[ ]: rho_al = 2.71 #g/cm^3
R_ES = 0.130 #g/cm^2

Rbeta = rho_al * x_max/10 + R_ES
dRbeta_u = rho_al * np.abs(x_max_upper - x_max)/10
dRbeta_l = rho_al * np.abs(x_max_lower - x_max)/10

print('Flächendichte R_beta = ({0} + {1} - {2})g/cm^3'.format(Rbeta, dRbeta_u, dRbeta_l))

Flächendichte R_beta = (1.0100620947704622 + 0.024498323197753562 -
0.018453269629779924)g/cm^3

[ ]: # aus diagramm abgelesener Wert:
E_beta = 2.2
dE_beta = 0.1

#Literaturwert aus Abbildung 7:
E_b_lit = 2.274

_ = sigma(E_beta, E_b_lit, dE_beta, 0, 'Energie E_beta')

Sigmaabweichung Energie E_beta = 0.7399999999999984
```

3 Absorption von γ -Strahlung in Blei

```
[ ]: x4 = np.array([0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50]) *1e-1
t4 = 60 #s
N4 = np.array([1816,1221,911,664,532,394,290,212,144,141,117])

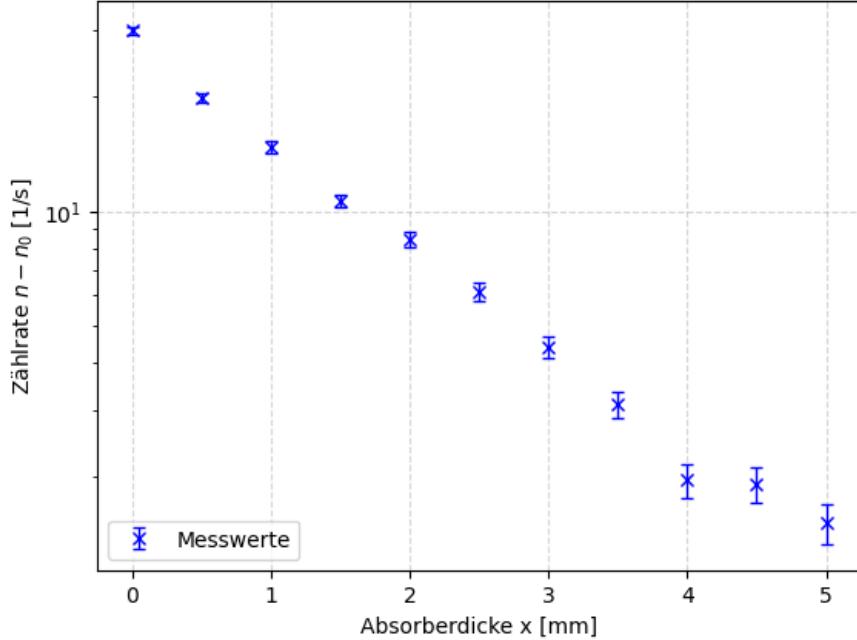
n4 = N4/t4
dn4 = np.sqrt(N4)/t4

diff4 = n4 - n0
ddiff4 = np.sqrt(dn4**2 + dn0**2)

[ ]: X = np.linspace(0, 5, 100)

plt.grid(alpha=0.5, linestyle='--')
plt.errorbar(x4, diff4, yerr=ddiff4, fmt='x', color='blue', label='Messwerte', capsize=3, lw=1)
# plt.axis([0,4,1e-5,100])
plt.xlabel('Absorberdicke x [mm]')
plt.ylabel(r'Zählrate $n - n_0$ [1/s]')
plt.legend(loc='lower left')
```

```
plt.yscale('log')
```



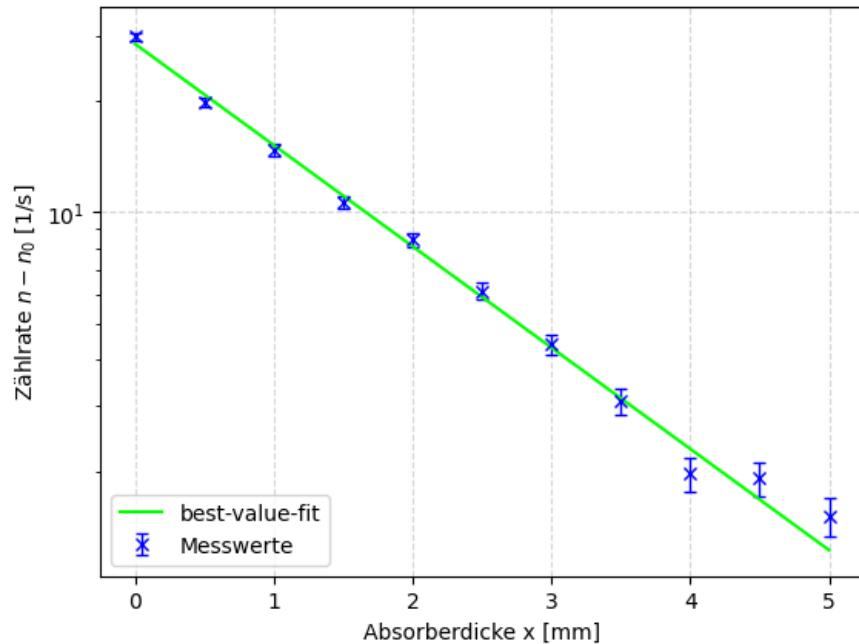
```
[ ]: def Beere(x, n0, mu):
       return n0 * np.exp(-mu * x)

[ ]: popt4, pcov4 = curve_fit(Beere, x4, diff4, sigma=ddiff4, absolute_sigma=True)

[ ]: X = np.linspace(0, 5, 100)

plt.grid(alpha=0.5, linestyle='--')
plt.errorbar(x4, diff4, yerr=ddiff4, fmt='x', color='blue', label='Messwerte', capsize=3, lw=1)
# plt.axis([0,4,1e-5,100])
plt.plot(X, Beere(X, *popt4), color='lime', label='best-value-fit')
plt.xlabel('Absorberdicke x [mm]')
plt.ylabel(r'Zählrate $n - n_0$ [1/s]')
plt.legend(loc='lower left')

plt.yscale('log')
plt.savefig('./plots/Absorption-gamma.pdf', format='PDF')
```



```
[ ]: rho_pb = 11.342 #g/cm^3 Wikipedia
mu4 = popt4[1]
dmu4 = np.sqrt(pcov4[1][1])

print(mu4, dmu4)

mu_rho = mu4/rho_pb
dmu_rho = dmu4/rho_pb

print('Massenschwächungskoeffizient = ({}) +/- ({}))cm^2 /g'.format(mu_rho, dmu_rho))
```

0.629870854959079 0.011332162625019054
 Massenschwächungskoeffizient = (0.05553437268198545 +/- 0.0009991326595855275)cm^2 /g

```
[ ]: #Abgelesen Aus Diagramm 10:
E_gamma = 1.4 #MeV
dE_gamma = 0.2 #MeV
```

#Literaturwert Abb8:

```
E_gamma_lit = 1.333 #MeV
_ = sigma(E_gamma, E_gamma_lit, dE_gamma, 0, 'Energie E_gamma')
Sigmaabweichung Energie E_gamma = 0.33499999999999974
```

4 Aktivität des γ -Strahlers

4.1 Ohne Korrektur

```
[ ]: d5 = np.array([5,10,20]) *1e-2 #m
dd = 0.3e-2
N5 = np.array([17662,6217,1522])
t5 = 60 #s

n5 = (N5/t5 - n0)/2
dn5 = np.sqrt((np.sqrt(N5)/t5/2)**2 + (dn0/2)**2)

print(n5)
```

[146.965 51.59 12.465]

```
[ ]: epsilon = 0.04 #für gamma Strahlung
radius = 7e-3 #m

A = 4 * n5 * d5**2 / (epsilon * radius**2)
dA = A * np.sqrt((dd/d5)**2 + (dn5/n5)**2)

print(A)
print(dA)
```

[749821.42857143 1052857.14285714 1017551.02040816]
[45342.83654359 34316.52703128 30654.98882043]

```
[ ]: #Literaturaktivität:
A_2021 = 1700e3
lamb = np.log(2)/(5.27*365*24*60*60) #halbwertszeit von 5,27 jahre
dT = 3.5 * 365 * 24 * 60 * 60 #Zeitdifferenz zum 01.01.2021 = genau 3,5 jahre

A_2024 = A_2021 * np.exp(-lamb * dT)

print(lamb)
print(A_2024)
```

4.170693151743601e-09
1072812.627745633

```
[ ]: _ = sigma(A, A_2024, dA, 0, 'Aktivität ohne Korrektur')
```

Sigmaabweichung Aktivität ohne Korrektur = [7.12331261 0.58151237 1.8026954]

4.2 Mit Korrektur

4.2.1 Raumwinkelkorrektur

```
[ ]: laenge = 4e-2 #m

#Korrekturfaktor:
k_corr = 4 * (d5 + laenge/2)**2 / (epsilon * radius**2)
dk_corr = dd * 2 * 4 * (d5 + laenge/2) / (epsilon * radius**2)

A_corr1 = n5 * k_corr
dA_corr1 = A_corr1 * np.sqrt((dk_corr/k_corr)**2 + (dn5/n5)**2)

print(A_corr1)
print(dA_corr1)
```

[1469650. 1516114.28571429 1231236.73469388]
[126456.04005609 78228.4170053 46500.8651679]

4.2.2 Absorption der Präparatskapsel

```
[ ]: dicke = 1.4e-1 *1e-3 #m
dichte = 7.9 #g/cm^3

#mit mu_rho aus aufgabe 4:
mu5 = mu_rho * dichte * 1e2 #1/m # = Schwächungskoeff.
dmu5 = dmu_rho * dichte * 1e2

print(mu5)
print(dmu5)
```

43.87215441876851
0.7893148010725668

```
[ ]: A_corr2 = A_corr1 * np.exp(mu5 * dicke)
dA_corr2 = np.sqrt((dA_corr1 * np.exp(mu5 * dicke))**2 +
                    (dicke * A_corr1 * np.exp(mu5 * dicke) * dmu5)**2)

print(A_corr2)
print(dA_corr2)
```

[1478704.51806341 1525455.07038151 1238822.38791377]
[127235.24102439 78710.56302391 46787.55740753]

```
[ ]: _ = sigma(A_corr2, A_2024, dA_corr2, 0, 'Aktivität mit Korrektur')
```

Sigmaabweichung Aktivität mit Korrektur = [3.19009016 5.75072043 3.54816044]

5 Absorption von α -Strahlung

```
[ ]: p6 = np.array([20,117,229,320,344,371,388,413,462,510,529,572,623,716])
N6 = np.
    ↪array([12838,12959,12780,12460,11923,10971,9868,7573,2740,532,323,244,255,248])
t6 = 60 #s
d6 = 4.45 #cm
Arho6 = 2.35 #mg/cm^2

dN6 = np.sqrt(N6)

n6 = N6/t6
dn6 = dN6/t6
```



```
[ ]: def sigmoid(x, L, x0, k, bkg):
    return L /(10+np.exp(-k*(x-x0))) +bkg

pop_sigm, cov_sigm = curve_fit(sigmoid, p6, n6, sigma=dn6, absolute_sigma=True,
    ↪p0=[max(n6), np.median(p6), -1, min(n6)])

print(pop_sigm)
print(np.sqrt(cov_sigm.diagonal()))
```



```
[ 2.08133718e+03  3.62671385e+02 -3.84977231e-02  3.42203501e+00]
[9.20881305e+00 1.14341542e+00 4.93563329e-04 1.50843185e-01]
```

```
C:\Users\matth\AppData\Local\Temp\ipykernel_12964\4164407031.py:2:
RuntimeWarning: overflow encountered in exp
    return L /(10+np.exp(-k*(x-x0))) +bkg
```



```
[ ]: %%matplotlib ipympl
#abgelesen aus plot:
p_half = 423 #mbar
dp_half = 3 #mbar

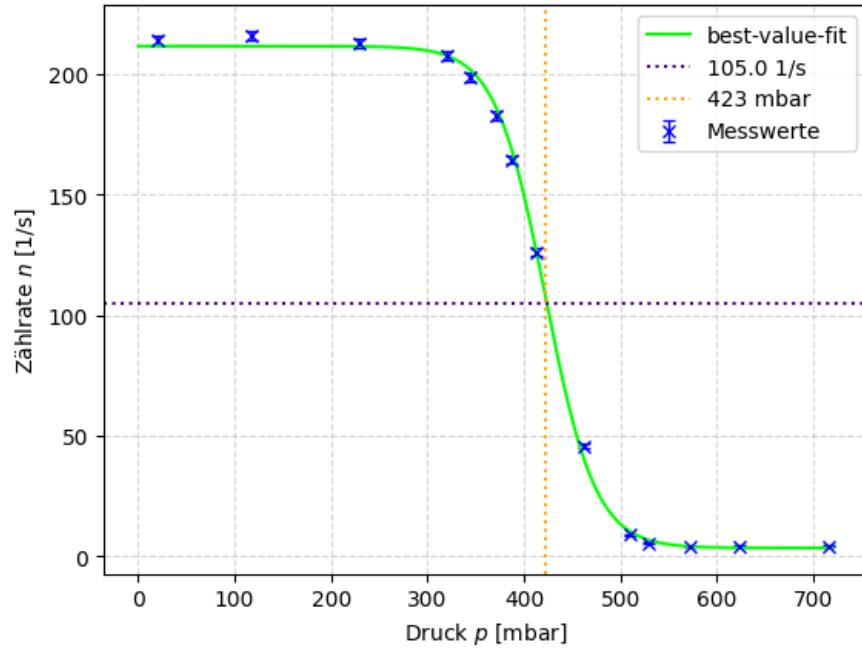
X = np.linspace(0, 720, 1000)

plt.grid(alpha=0.5, linestyle='--')
plt.errorbar(p6, n6, yerr=dn6, fmt='x', color='blue', label='Messwerte',
    ↪capsize=3, lw=1)
plt.plot(X, sigmoid(X, *pop_sigm), color='lime', label='best-value-fit')
plt.axhline((n6[0]-n6[-1])/2, color='indigo', ls=':', label='{} 1/s'.format(np.
    ↪round((n6[0]-n6[-1])/2,1)))
plt.axvline(p_half, color='orange', ls=':', label='423 mbar')
plt.xlabel('Druck $p$ [mbar]')
plt.ylabel(r'Zählrate $n$ [1/s]')
```

```

plt.legend()
plt.savefig('./plots/Aktivität-alpha.pdf', format='PDF')

```



```

[ ]: s0 = 3.95 #cm
ds0 = 0.05 #cm

p0 = 1013 #mbar

s1 = p_half/p0 * s0
ds1 = s1 * np.sqrt((ds0/s0)**2 + (dp_half/p_half)**2)

print('s1 = ({}) +/- ({}).cm'.format(s1, ds1))

```

s1 = (1.6494076999012834 +/- 0.0239323324031545) cm

```

[ ]: rho_glimm = 1.43 #mg/cm^3

s2 = Arho6/rho_glimm *1

print('s2 = ', s2, 'cm')

```

s2 = 1.6433566433566436 cm

```

[ ]: s3 = 0.68 #cm
      print('s3 = ', s3, 'cm')
s3 = 0.68 cm

[ ]: s_ges = s1 + s2 + s3
      ds_ges = ds1

      print('s_ges = ({}) +/- ({}))cm'.format(s_ges, ds_ges))
s_ges = (3.972764343257927 +/- 0.0239323324031545)cm

[ ]: #aus diagramm 9:
      E_alpha = 5.5 #MeV
      dE_alpha = 0.3 #MeV

      E_alpha_lit = 5.48
      _ = sigma(E_alpha, E_alpha_lit, dE_alpha, 0, 'Energie alpha Strahlung')
Sigmaabweichung Energie alpha Strahlung = 0.0666666666666525

[ ]:

```