

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

Viktor Ivanov

9. August 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Motivation	2
1.2	Physikalische Grundlagen	2
1.2.1	Bestimmung der Aktivität	2
1.2.2	Raumwinkel-Korrektur	2
1.3	Arten radioaktiver Strahlung	3
1.3.1	α -Strahlung	3
1.3.2	β -Strahlung	3
1.3.3	γ -Strahlung	3
1.3.4	Vergleich zwischen den Arten radioaktiver Strahlung	3
1.4	Schwächungsmechanismen	3
1.4.1	Phototeffekt	4
1.4.2	Comptonstreuung	4
1.4.3	Paarbildung	4
2	Messprotokoll und Durchführung des Versuchs	4
3	Auswertung	9
3.1	Absorption von β -Strahlung	9
3.2	Absorption von γ -Strahlung	10
3.3	Bestimmung der Aktivität	11
3.3.1	Raumwinkel-Korrektur	12
3.3.2	Absorptions-Korrektur	13
3.4	Absorption von α -Strahlung	14
3.5	Durchführung des Versuchs und Diskussion	15
3.5.1	Duchführung	15
3.6	Diskussion	15
4	Anhang	16
4.1	Quellen	16
4.2	Python-Code	16

1 Einleitung

1.1 Motivation

In diesem Versuch messen wir die Absorption von β -, γ - und α - Strahlen ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$), ^{60}Co und ^{241}Am . Wir bestimmen die Maximalenergien aller Strahlungen aus den Absorptionskurven und schätzen die Aktivität des γ -Strahlers.

1.2 Physikalische Grundlagen

Die Eigenschaft instabiler Atomkerne, spontan unter Energieabgabe in einen energetisch günstigeren Zustand überzugehen, heißt Radioaktivität. Die abgegebene Energie hat die Form von β -, α - Strahlen oder γ -Quanten.

Die Aktivität des Stoffes beschreibt die pro Sekunde auftretenden Zerfälle.

Das Zerfallsgesetz lautet:

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

Wobei n die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde beträgt, n_0 ist eine Konstante und λ die Zerfallskonstante beträgt. Sie kann man mithilfe der Halbwertszeit $T_{\frac{1}{2}}$ bestimmen:

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

1.2.1 Bestimmung der Aktivität

Um die Aktivität A zu bestimmen, messen wir in allen Raumrichtungen, d.h. die ganze Kugeloberfläche (4π). Die Strahlung wird jedoch nur im Winkel Ω detektiert:

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{d^2} \quad (3)$$

Die Aktivität für die gesamte Kugeloberfläche beträgt:

$$A = \frac{4\pi n}{\epsilon \Omega} = \frac{4\pi d^2}{\epsilon r^2} \quad (4)$$

ϵ ist die Ansprechwahrscheinlichkeit des Zählrohrs. ϵ beträgt praktisch 1 für β - Strahlung und c.a. 0.04 für γ -Quanten mit Energien zwischen 100keV und einigen MeV

1.2.2 Raumwinkel-Korrektur

Die Strahlung ist nicht am Zählrohreingängen, sondern nach der Gesamtlänge des Rohrs ($l = 4\text{cm}$) detektiert. Im Fall, wenn wir den Winkel Ω betrachten, wird ein Teil der emittierten Strahlung undetektiert und dabei wird die Aktivität überschätzt. Wenn man einen Winkel $\Omega = \frac{\pi r^2}{(d+l)^2}$ betrachtet, wird der Winkel unterschätzt. Beiden Fällen kann man in Abbildung 1 finden. Wir können eine Abschätzung machen, damit sich die überschätzten und

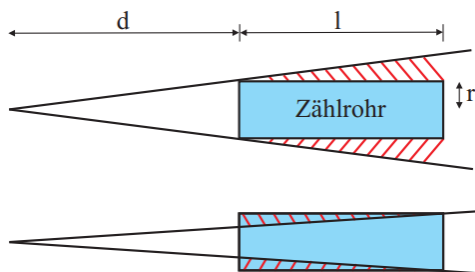


Abbildung 1: Raumwinkelfälle

unterschätzten Bereiche aufheben, z.B. wenn wir die Hälfte der Zählrohlänge berücksichtigen:

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{(d + l/2)^2} \quad (5)$$

Für die Aktivität folgt:

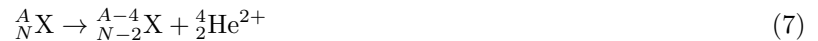
$$A_{\text{kor}} = \frac{4n(d + l/2)^2}{\epsilon r^2} = Ak_1 \quad (6)$$

1.3 Arten radioaktiver Strahlung

Bei den folgenden Zerfallsarten bezeichnet man A die Massenzahl (Anzahl der Nukleonen), N die Neutronenzahl und P die Anzahl der Protonen eines Nuklids X .

1.3.1 α -Strahlung

Die α -Strahlung besteht aus zweifach positiv geladenen Heliumkernen. Sie ist monoenergetisch, was bedeutet, dass es diskrete Quantenzustände im Kern gibt. Die Energie ist charakteristisch und der Restkern erhält eine Rückstoßenergie, die auf die umgebenden Moleküle ionisierend wirkt:



1.3.2 β -Strahlung

Es gibt zwei Typen von β -Strahlung: β^- -Zerfall, bei der negativ geladene Elektronen freigesetzt werden und β^+ -Zerfall, bei der positiv geladene Positronen freigesetzt werden.



Das Energiespektrum ist kontinuierlich, wegen der zusätzlich freigegebene Antineutrino. Das Elektron (oder Positron) kann Energien zwischen 0 und E_{max}^β haben, wobei E_{max}^β charakteristisch für den emittierten Stoff ist. Die Antineutrino (Neutrino) ist nahezu masselos und hat die fehlende Energie vom β -Teilchen. Der Restkern erhält eine Rückstoßenergie, die wesentlich kleiner als beim α -Zerfall ist.

1.3.3 γ -Strahlung

Die γ -Strahlung ist eine elektromagnetische Strahlung, die ein Nebenprodukt von der α - und β -Zerfall ist. Ein Photon wird mit charakteristischer Energie beim Übergang in einen energetisch niedrigeren Zustand emittiert. Das Energiespektrum der γ -Strahlung besteht aus charakteristischen, diskreten Werten.

1.3.4 Vergleich zwischen den Arten radioaktiver Strahlung

In Materie werden durch Stöße und Wechselwirkung mit den Elektronen der Atomhüllen die geladenen Teilchen bei α - und β -Strahlung gebremst. Die Energie ist deswegen in kleinen Portionen abgegeben. In Abbildung 2 kann man die Reichweiten der verschiedenen Strahlungen finden. Wir sehen, dass bei der α -Strahlung die Zählrate konstant bleibt bis der kritischen Dicke, bei der β -Strahlung sinkt die Zählrate exponentiell ab bis der kritischen Dicke und bei der γ -Strahlung sinkt die Zählrate linear ab, bis der kritischen Dicke. Die γ -Quanten werden in Materie nach dem Lambert-Beer-Gesetz absorbiert:

$$n = n_0 e^{-\mu x} \quad (10)$$

μ ist der Schwächungskoeffizient des Absorbmaterials.

1.4 Schwächungsmechanismen

Die Schwächungsmechanismen sind in Abbildung 3 dargestellt.

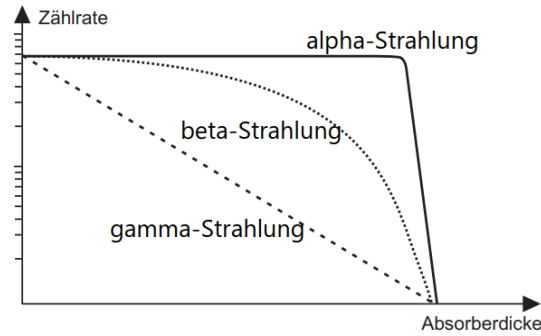


Abbildung 2: Reichweiten von α - β - und γ -Strahlung in Materie

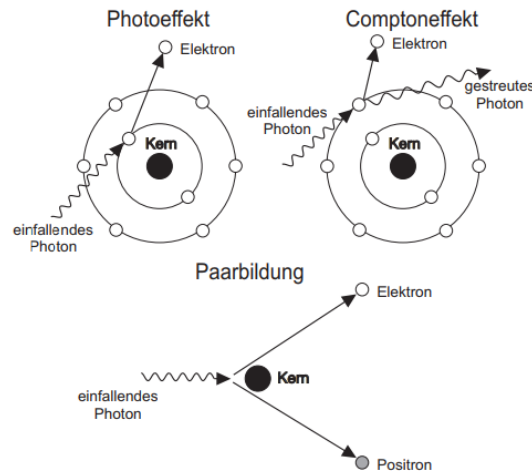


Abbildung 3: Photoeffekt, Comptonstreuung und Paarbildung

1.4.1 Phototeffekt

Bei dem Photoeffekt gibt ein γ -Quant seine Energie einem Elektron ab und schlägt es aus der Hülle. Dadurch wird eine charakteristische Strahlung erzeugt. Wenn die Energie einer γ -Quant ausreicht, um eine tiefer geladene Schale zu ionisieren, steigt die Absorption schlagartig an. Dadurch, dass die Außenelektronen abgeschirmt sind, kann die Energiedifferenz zwischen den unbesetzten Außenelektronen und der Ionisierungsenergie vernachlässigt werden und dabei können alle Energien $13,6\text{eV}(Z-1)^2$ annehmen.

1.4.2 Comptonstreuung

Der γ -Quant verliert ein Teil seiner Energie, da er inelastisch an einem Hüllenelektron gestreut wird.

1.4.3 Paarbildung

Wenn die Energie der γ -Strahl größer als $1,022\text{MeV}$ ist, kann er in ein Elektron-Positron-Paar zerfallen. Die überschüssige Energie wird als kinetische Energie der beiden Teilchen aufgeteilt. Damit eine Paarbildung erfolgreich ist, soll auch ein Kern beteiligt sein, um den verbleibenden Impuls aufzunehmen.

Der Beitrag jeder Schwächungsmechanismus kann man in Abbildung 4 finden.

2 Messprotokoll und Durchführung des Versuchs

Das Messprotokoll befindet sich auf der nächsten Seite.

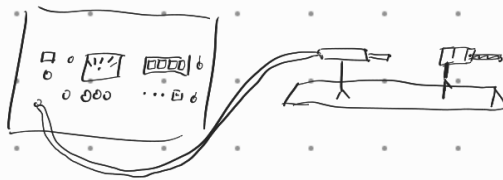
10.06.24

Absorption von α -, β - und γ -Strahlung

Viktor Ivanov
Daria Dronts

I Messaufbau

- Geiger-Müller Zählrohr
- Zählgerät
- Evakuierbarer Glaszylinder mit eingebauten Zählrohr und ^{241}Am -Präparat
- β -Präparat ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)
- γ -Präparat (^{60}Co)
- diverse Präparathalter und Kollimatoren
- Aluminium- und Bleiabsorber
- Vakuumpumpe



Skizze I: Messaufbau

II

Nullmessung:

$520 \pm 5 \text{ V}$

134 Pulsen gemessen bei Zeit $t_0 = 5 \text{ min}$
 $5 \cdot 60 = 300$

$$134 : 300 = 0,446$$

1340
1200
1400
1200
2000
1200
200

III

Absorption von β -Strahlung in Aluminium
 $2,6 \text{ cm}$ eingestellt

i) Messung ohne Abschirmung von DG 865

1170 Pulsen

1210

ii) Messung mit Abschirmung

• 0,3 mm	Alu-Folie	: 769 Pulsen	} $t = 30s$ Messung
• 0,6 mm	— " —	: 596 Pulsen	
• 0,9 mm	— " —	: 330 Pulsen	
• 1,2 mm	— " —	: 215 Pulsen	
• 1,5 mm	— " —	: 124 Pulsen	
• 1,8 mm	— " —	: 82 Pulsen	
• 2,1 mm	— " —	: 250 Pulsen	} $t = 2 \text{ min}$ Messung
• 2,4 mm	— " —	: 170 — " —	
• 2,7 mm	— " —	: 149 — " —	
• 3,0 mm	— " —	: 104 — " —	
• 3,3 mm	— " —	: 68 — " —	
• 3,6 mm	— " —	: 122	
• 4,3 mm — " — 144 } 53,6 / 2 min : Nullmessung			

Tabelle 1: Absorption von β -Strahlung mit aluminium Abschirmung

IV Absorption von γ -Str. in Blei

SN 371

Messzeit [min]	Blei Dichte [cm]	Counts
1	0	939
1	0,5	659
1	1	474
1	1,5	404
1	2,0	282
1	2,5	207
1	3,0	175
1	3,5	126
1	4,0	121
1	4,5	100
1	5,0	74

Tabelle 2: Absorption von γ -Str. in Blei

V Bestimmung der Aktivität des γ -Strahlers

Messzeit [min]	Abstand [cm]	Count
1	5	9900
1	10	2592
1	20	756
7		

Tabelle 3: Messung der Zerfallsrate von γ bei verschiedenen Abstände

VI Absorptionsmessung und Energiebestimmung von α -Strahlung

Durch [mbar]	Count
20-25	12923
119	12933
223	12153
518	12669
334	12374
359	11717
384	10144
404	8486
418	7294
440	4695
461	2633
484	1279
507	546
540	273
562	246
656	215
753	220

Tabelle 4: Messung der Zerfallsrate von α in Luft

Radioaktive Quellen in den Anfängerpraktika

Stand 01.01.2021

Isotop	Seriennummer	Nennaktivität	Herstellungsdatum	Aktiv am	Versuch
				01.01.2021	
Co-60				berechnet	
5,27 a					
	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					
30,17 a					
	AW 820-AW831	1480 kBq	04.12.1990	740 kBq	Med/Chem
Sr-90					
28,5 a					
	DG 865	74 kBq	Dez 92	38 kBq	253
	GS 527	74 kBq	Sep 99	44 kBq	253
	DG 864	74 kBq	Dez 92	38 kBq	253
	DG 866	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					
Isotronen- quelle	AMM100/434	3,7 GBq	Okt 66	3,4 GBq	253
	AMM4926	3,7 GBq	Jul 74	3,45 GBq	252 PAP2/NR/Mod

Bild 1: Erwartungswerte

Häcker

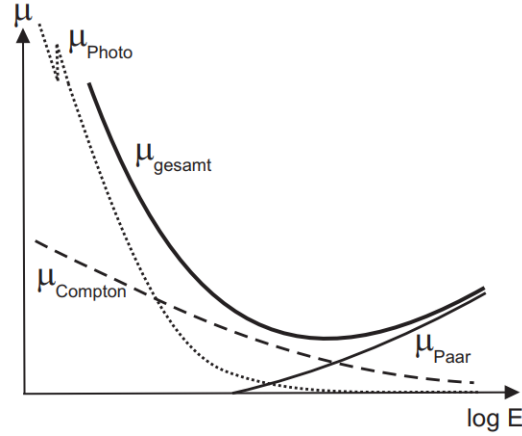


Abbildung 4: Beitrag der Schwächungsmechanismen zum Schwächungskoeffizient für γ -Strahlung

3 Auswertung

Am Anfang des Versuchs haben wir eine Nullmessung durchgeführt, die

$$n_0 = (0,45 \pm 0,002) \frac{1}{s} \quad (11)$$

beträgt, wobei wir den Fehler aus einer 3-Sekundige Stoppuhrfehler und 1 Puls Fehler nach der Gausschen Fehlerfortpflanzung bestimmt haben.

3.1 Absorption von β -Strahlung

Wie im Messprotokoll schon geschrieben, haben wir die β -Strahlung durch Aluminium untersucht. Zuerst haben wir es ohne Abschirmung gemessen und anschließend haben wir es mit Abschirmung von Aluminium-Folien unterschiedlicher Dicken gemessen. Der Kenncode des Präparats lautet DG865 .

Wie schon im Messprotokoll erklärt, haben wir bei den ersten Messungen, die mit Aluminium von kleineren Dicken abgeschirmt wurden, 30-Sekundige Messungen durchgeführt, wobei bei größere dicken haben wir längere gemacht, damit wir genauere Ergebnisse erhalten.

Die Messdaten haben wir auf einem halblogarithmischen Diagramm eingetragen und eine exponentielle Funktion plus eine Konstante angepasst, Abbildung 5.

Wir erhalten den Fitparameter des Graphs, der die maximale Reichweite entspricht:

$$x_{max} = (1,17 \pm 0,15)mm \quad (12)$$

Aus folgender Formel kann man die Flächendichte bestimmen:

$$R = \rho x \quad (13)$$

Aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung erhält man für den Fehler:

$$\Delta R = \sqrt{(\rho \Delta x)^2 + (x \Delta \rho)^2} \quad (14)$$

Die Dichte von Aluminium beträgt $\rho_{Al} = 2,7 \frac{1}{cm^3}$, daher die Flächendichte von Aluminium beträgt:

$$R_{Al}^\beta = (0,92 \pm 0,08) \frac{g}{cm^2} \quad (15)$$

Wir sollen auch die Flächendichte vom Fenster hinzufügen, die $\rho_{Al} = 0,13 \frac{1}{cm^3}$ beträgt, dabei erhalten wir für die gesamte Flächendichte:

$$R_{Al}^\beta = (1,05 \pm 0,08) \frac{g}{cm^2} \quad (16)$$

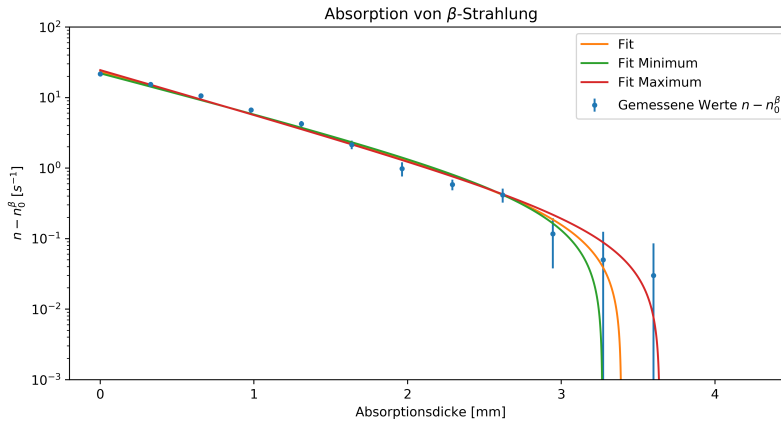


Abbildung 5: Absorptionskurve β -Strahlung

Aus dem Diagramm in Abbildung 6 können wir den Wert der Energie ablesen:

$$E^\beta = (2,20 \pm 0,10) \text{ MeV} \quad (17)$$

Wobei ich den Fehler aus dem Graph abgeschätzt habe.

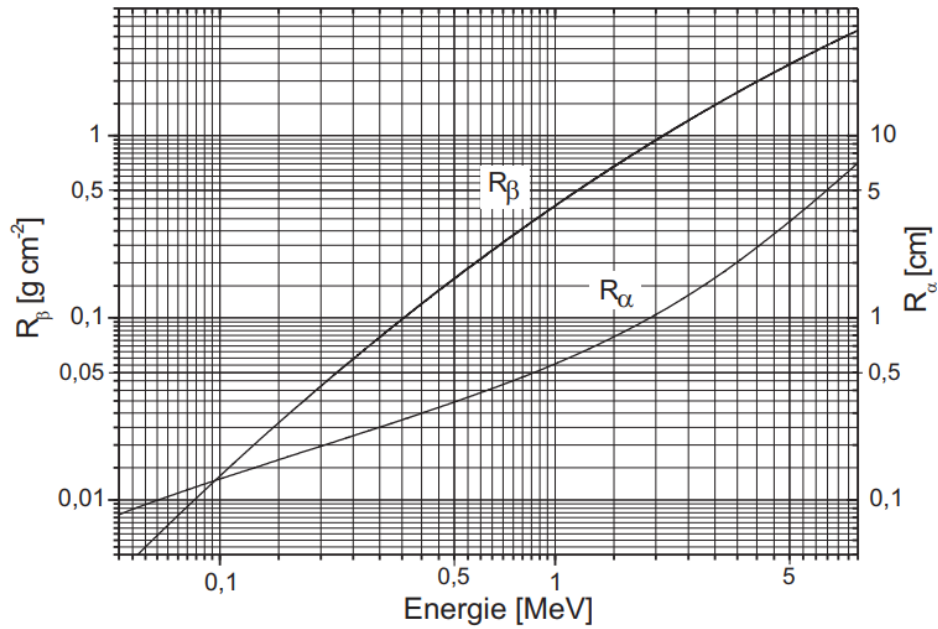


Abbildung 6: Reichweite von β -Strahlung in Aluminium und von α -Strahlung in Luft.

3.2 Absorption von γ -Strahlung

In diesem Versuchsteil haben wir γ -Strahlung in Blei untersucht. Wir haben das Präparat mit Kennzeichnung SN371 verwendet. Wir haben zwölf Messungen gemacht, wobei wir jedes mal einen halben Zentimeter Blei addiert haben. Eine Messung dauert 60s .

Die Daten haben wir in unserem Python-Programm eingesetzt und analog zu dem letzten Abschnitt habe ich eine Fitfunktion angepasst, 7

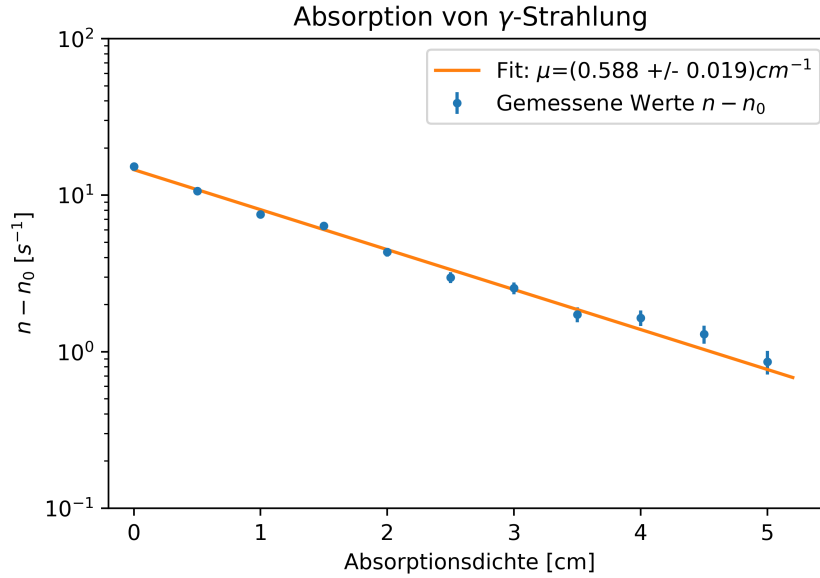


Abbildung 7: Absorptionskurve γ -Strahlung

Der Schwächungskoeffizient beträgt:

$$\mu_{Pb} = (0,588 \pm 0,019) \frac{1}{cm} \quad (18)$$

Um einen materialunabhängigen Schwächungskoeffizienten zu bestimmen, teilen wir 18 durch die Dichte von Blei, die $\rho_{Pb} = 11,34 \frac{g}{cm^3}$ beträgt.

Wir erhalten dabei:

$$\mu = (0,0518 \pm 0,0017) \frac{cm^2}{g} \quad (19)$$

Aus dem Diagramm in Abbildung 8 bestimmen wir analog zu früher die Energie der Quanten:

$$E_\gamma = (1,40 \pm 0,20) MeV \quad (20)$$

Wobei ich den Fehler aus dem Graph abgeschätzt habe.

3.3 Bestimmung der Aktivität

Das Ziel dieses Abschnitts ist, die Aktivität von ^{60}Co zu bestimmen, deshalb haben wir die Präparate von drei verschiedenen Abständen gemessen.

Zuerst habe ich die Aktivität A_0 aus Bild 1 im Anhang bestimmt. Wir wissen, dass er am 01.01.2021 zu $890 kBq$ bestimmt wurde. Der Versuch wurde 1313 Tage später gemacht und die Halbwertszeit von ^{60}Co beträgt $T_{\frac{1}{2}} = 5,27 \text{ Jahren}$. Aus der Formel

$$A_H = A_0 \exp\left(-\frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}} \cdot t}\right) \quad (21)$$

können wir die theoretische Aktivität berechnen. Da es keine Fehler in den Werten gibt, berücksichtigen wir keinen Fehler. Die theoretische Aktivität beträgt:

$$A_H = 555 kBq \quad (22)$$

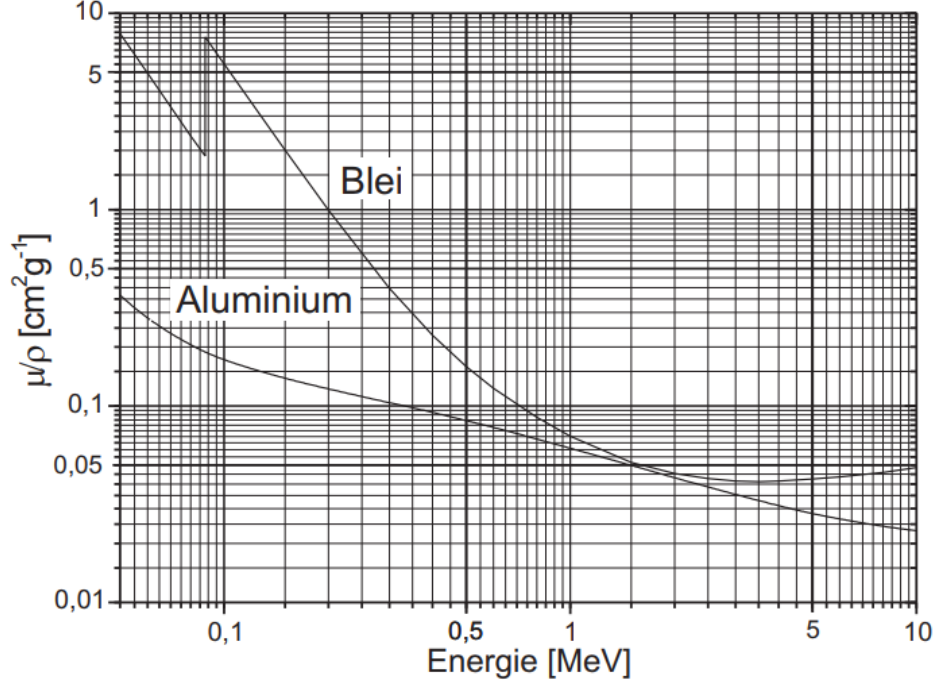


Abbildung 8: E. Storm, H.I. Israel, Photon Cross Section from 1 keV to 100 MeV

3.3.1 Raumwinkel-Korrektur

Die Aktivität beträgt die Zerfälle in allen Raumrichtungen, wobei wir nur die Zerfälle von einer kugelförmigen Öffnung gemessen haben. Für den Raumwinkel, in dem wir gemessen haben, gilt in der ersten Näherungsordnung nach 3:

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{d^2} \quad (23)$$

Wobei d der Abstand zwischen dem Messgerät und dem Präparat ist und r der Zählrohrradius. Für die Aktivität folgt nach 4:

$$A = \frac{4\pi n}{\epsilon \Omega} = \frac{4nd^2}{\epsilon r^2} \quad (24)$$

Der Fehler beträgt nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{4d^2\Delta n}{\epsilon r^2}\right)^2 + \left(\frac{4dn\Delta d}{\epsilon r^2}\right)^2} \quad (25)$$

Dabei erhalten wir für die Aktivität folgende Ergebnisse:

$$A_5 = (421 \pm 17) \text{ kBq} \quad (26)$$

$$A_{10} = (441 \pm 9) \text{ kBq} \quad (27)$$

$$A_{20} = (514 \pm 5) \text{ kBq} \quad (28)$$

Das sind die Aktivitäten von gewissen Abständen in cm. Die drei Ergebnisse dürfen nicht gemittelt werden, da sie bei verschiedenen Abständen gemessen sind.

3.3.2 Absorptions-Korrektur

Wir haben früher aber eine Annahme gemacht, die nicht ganz richtig ist. Wir haben angenommen, dass das Zählrohr direkt am Eingang detektiert, wobei das nicht ganz richtig ist (erklärt in Absatz 1.2.2). Wir betrachten den Raumwinkel aus 5 und Aktivität aus 6:

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{(d + l/2)^2} \quad (29)$$

$$A_{korrr} = \frac{4n(d + l/2)^2}{\epsilon r^2} = Ak_1 \quad (30)$$

Mit dem Fehler der Aktivität:

$$\Delta A_{korrr} = \sqrt{\left(\frac{\Delta n 4(l/2 + d)^2}{\epsilon r^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d 4n(2d + l)}{\epsilon r^2}\right)^2} \quad (31)$$

Die Aktivitäten nach dieser Korrektur betragen:

$$A_5 = (825 \pm 100)kBq \quad (32)$$

$$A_{10} = (635 \pm 25)kBq \quad (33)$$

$$A_{20} = (622 \pm 9)kBq \quad (34)$$

Wir können auch die Absorptionskorrektur berücksichtigen. Es gilt:

$$A_{abgeschirmt} = A_{offen}e^{-\mu x} = A_{offen}k_2 \quad (35)$$

Mit dem Fehler:

$$\Delta A_{abgeschirmt} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \mu A_{korrr} e^{\mu}}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A_{korrr}}{e^{\mu x}}\right)^2} \quad (37)$$

μ hier beträgt der Schwächungskoeffizient im Absorbermaterial, der mit folgender Formel zu berechnen ist:

$$\frac{\mu}{\rho_{Pb}} \rho_{Absorber} \quad (38)$$

Wobei wir den Wert für $\frac{\mu}{\rho_{Pb}}$ einfach aus dem letzten Abschnitt genommen haben. Die Endergebnisse lauten:

$$A_5 = (874 \pm 106)kBq \quad (39)$$

$$A_{10} = (672 \pm 26)kBq \quad (40)$$

$$A_{20} = (659 \pm 9)kBq \quad (41)$$

Die Ergebnisse bespreche ich in der Diskussion, wo auch die σ -Abweichungen geschrieben sind.

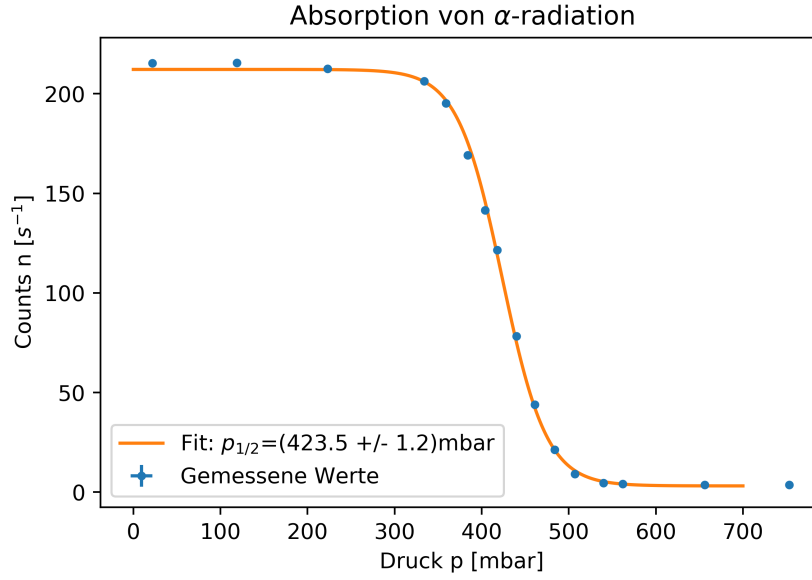


Abbildung 9: Zählrate gegen Druck bei α -Strahlung

3.4 Absorption von α -Strahlung

Da α -Strahlung sehr schwierig durch Materie durchgeht, haben wir Luft als eine Abschirmung verwendet. Wir haben mit einer Pumpe den Luftdruck reduziert und bei verschiedenen Luftdrücken (daher auch verschiedene Luftsättigungen) die Zählraten gemessen. Die Daten haben wir in einem Diagramm dargestellt und die Funktion

$$h = \frac{a_2 + (a_1 - a_2)}{1 + \frac{e^{\frac{p - p_{1/2}}{m}}}{m}} \quad (42)$$

angepasst. Wobei m die Steigung der Kurve ist, a_1 ist die Zählrate bei niedrigem Druck und a_2 die Zählrate bei hohem Druck. Das Diagramm ist in Abbildung 9 zu finden.

Für die Reichweite gilt:

$$s_1 = \frac{p_{1/2} s_0}{p_0} \quad (43)$$

Der Fehler beträgt:

$$\Delta s_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta p_{1/2} s_0}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{p_{1/2} \Delta s_0}{p_0}\right)^2} \quad (44)$$

Wobei $p_0 = 1013 \text{ mbar}$ der Normalendruck ist. Der Abstand Präparat – Zählrohr beträgt $s_0 = (3,95 \pm 0,05) \text{ cm}$. Das Endergebnis der Reichweite beträgt:

$$s_1 = (1,651 \pm 0,021) \text{ cm} \quad (45)$$

Wenn wir auch die Dicke des Zählrohrfensters aus Glimmer berücksichtigen, erhalten wir die korrigierte Reichweite:

$$s_2 = \frac{\rho_{\text{Gl}}}{1,43 \text{ mg/cm}^2} \cdot 1 \text{ cm} \quad (46)$$

Wir erhalten:

$$s_2 = (1,573 \pm 0,018) \text{ cm} \quad (47)$$

Wir haben noch die Reichweite $s_3 = 0,68\text{cm}$ zu addieren, die der goldenen Schutzschicht entspricht. Die gesamte Reichweite beträgt dann den Wert:

$$s_{ges} = (3,904 \pm 0,028)\text{cm} \quad (48)$$

Das entspricht nach Tabelle 6 einer Energie von

$$E_\alpha = (5,50 \pm 0,20)\text{MeV} \quad (49)$$

Die Ergebnisse besprechen wir in der Diskussion.

3.5 Durchführung des Versuchs und Diskussion

3.5.1 Durchführung

In diesem Versuch haben wir die Charakteristiken drei unterschiedlicher Strahler untersucht. Einmal β -Strahlung, Präparat DG865, γ -Strahlung, Präparat SN371 und α -Strahlung.

Am Anfang des Versuchs haben wir eine Nullmessung durchgeführt, Ergebnis 11.

Im zweiten Versuchsteil haben wir die Absorption von β -Strahlung untersucht. Wir haben die Messdaten in halblogarithmischen Papier dargestellt und eine exponentielle Funktion plus eine Konstante angepasst. Daraus haben wir die Fitparameter bestimmt, die Flächendichte berechnet und die Energie aus der Reichweite-Tabelle 6 abgelesen. Das Endergebnis ist in 17 zu finden.

Im nächsten Teil haben wir das analog zu bei β -Strahlung gemacht, aber mit γ -Strahlung. Wir haben der Schwächungskoeffizient von der Bleimessung aus Diagramm 7 bestimmt und dann die Energie aus Tabelle 8 abgelesen, die Ergebnis findet man unter 20.

Wir haben anschließend der Aktivität zuerst theoretisch aus dem Wert in Bild 1 im Messprotokoll bestimmt und dann aus den Werten in Tabelle 3 in Messprotokoll die Aktivitäten bei den Abständen 5, 10 und 20cm berechnet. Zuerst haben wir das für die ganze Kugeloberfläche berechnet, danach haben wir eine Raumwinkel-Korrektur berücksichtigt und am Ende haben wir auch eine Absorptions-Korrektur berücksichtigt. Die Ergebnisse und die σ -Abweichungen zwischen experimentellen und theoretische Wert findet man in Tabelle 5. Nur die Werte von den Aktivitäten mit allen Korrekturen sind in der Tabelle dargestellt.

Im letzten Abschnitt haben wir α -Strahlung untersucht, wir haben auf den Daten eine Funktion angepasst, aus den Fitparametern habe ich die Reichweite bestimmt. Wir haben dann die Dicke des Zählrohrfensters und die goldene Schutzschicht berücksichtigt, die zu den schon berechnete Reichweite addiert und daraus aus Tabelle 6 die Energie bestimmt, Ergebnis 49.

3.6 Diskussion

Die Abweichungen von den Energien liegen alle unter 1σ , daher sind sie insignifikant. Die relativen Fehler betragen: 3,6% bei der α -Strahlung, 4,5% bei der β -Strahlung und 14,3% bei der γ -Strahlung. Das sind relativ kleine relative Fehler, außer bei der γ -Abweichung. Die stammen eigentlich nicht aus der Messung, sondern aus der Ablesung von den Diagrammen 6 und 8. Wenn wir die Daten aus den Tabellen in digitalem Format hatten und die in Python importieren könnten, würden die relativen Fehler kleiner werden und auch die Werte genauer. Für eine noch exaktere Ergebnis könnten wir mehr Messungen machen, aber ich würde behaupten, dass jetzt die Ergebnisse schon ziemlich erfolgreich sind.

Wir sehen, dass das größte Problem bei dieser Versuch die Bestimmung der Aktivitäten war. Die Abweichungen liegen außer der $3 - \sigma$ -Bereich. Es ist sinnvoll zu sagen, dass der Erwartungswert für einen Abstand von 0cm bestimmt wurde, daher sollten die Abweichungen signifikant werden, aber es macht keinen Sinn, dass unsere Ergebnisse zeigen, dass die Aktivität bei einem Abstand von 5cm größer ist, alles bei dem Abstand von 0cm. Es ist sicherlich irgendwo ein systematischer Fehler entstanden, da solche Ergebnisse kein Sinn machen. Wir beobachten,

Tabelle 5: Zusammengefasste Ergebnisse

	Experimentelle Wert	Fehler Experimentelle Wert	Erwartungswert	σ -Abweichung $[\sigma]$
E_α [MeV]	5.50	0.20	5.48	0.10
E_β [MeV]	2.20	0.10	2.27	0.74
E_γ [MeV]	1.40	0.20	1.33	0.34
A_5 [kBq]	874	106	555	3.0
A_{10} [kBq]	672	26	555	4.5
A_{20} [kBq]	659	9	555	11.6

dass die Ergebnisse bei größeren Abständen kleiner sind, daher ist mindestens der exponentiellen Abfall der Aktivität richtig. Ich glaube, dass wir entweder länger als eine Minute gemessen haben, oder sind die Werte aus Bild 1 in dem Messprotokoll einfach falsch. Nach einer Berechnung habe ich herausgefunden, dass eine richtige Messzeit bei unseren Daten wäre um die 100s. Ich finde das aber unwahrscheinlich. Entweder sind unsere Korrekturen falsch, oder sind die theoretischen Daten falsch. Um das herauszufinden, würde ich diesen Teil des Versuch nochmal mit einem verschiedenen Präparat durchführen und dabei für den systematischen Fehler checken.

Im Großen und Ganzen war der Versuch erfolgreich, außer dem Teil mit den Aktivitäten der γ -Strahlung, die wir und die Diskussion besprochen haben.

Ich fand das Experiment ziemlich interessant, da er uns gezeigt hat, dass die Strahlung exponentiell abfällt und dass die unterschiedlichen Strahlungsarten von verschiedenen Materialien abgebremst sind, daher auch einen wichtigen Einblick in den Strahlenschutz veranschaulicht hat.

4 Anhang

4.1 Quellen

Alle Informationen, die ich im Protokoll verwendet habe, stammen aus der Praktikumsanleitung, Ausgabe 4.2023.

4.2 Python-Code

Der Python-Code befindet sich auf der nächsten Seite.

253 Python

August 9, 2024

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

```
[1]: import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
```

1.1 1. Absorption von β -Strahlung

```
[2]: #Data Import
t1=np.array([30,30,30,30,30,30,30,120,120,120,120,5*60]) #s
d=np.linspace(0, 3.6, 12) #mm
n=np.array([662, 476, 331, 213, 141, 78, 43, 124,104,68,60,144]) #1/ts
n_err=np.sqrt(n)
n_b0=135 #1/300s
n_b0_err=np.sqrt(n_b0)

#Normieren
n_b0_t=t1*n_b0/300
n_b0_t_err=n_b0_err*t1/300

#Differenz berechnen
z=np.divide(n-n_b0_t,t1)
z_err=np.divide(np.sqrt(n_err**2+n_b0_t_err**2),t1)
```

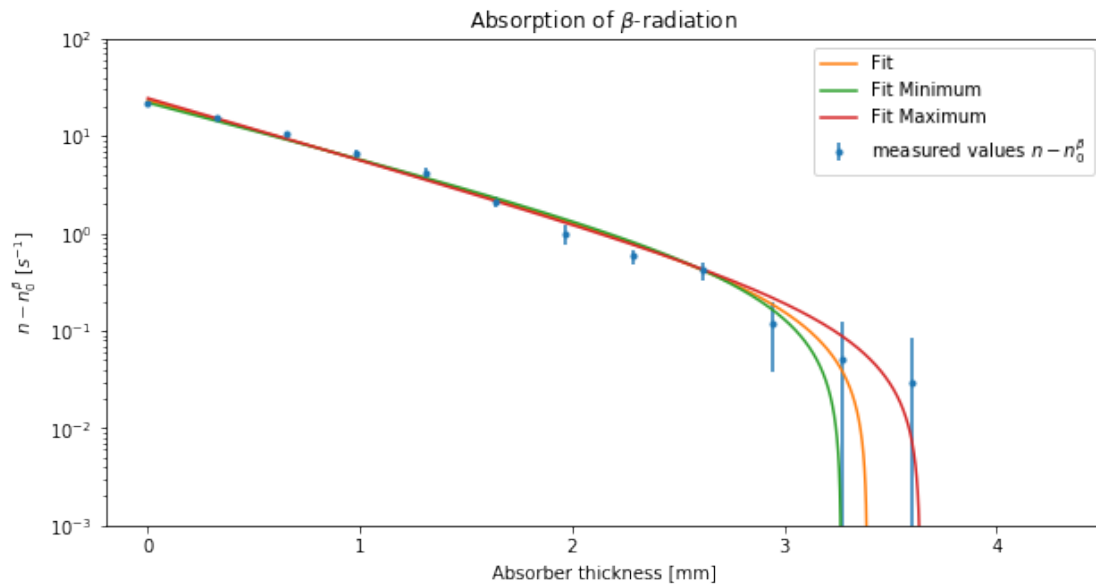
```
[3]: #Fit-Funktion definieren
def expfunc(x,a,l,y0):
    return a*np.exp(-x*l)+y0

#Fitting data
popt1, pcov1 = curve_fit(expfunc, d, z, sigma=z_err)
a=popt1[0]
l=popt1[1]
y0=popt1[2]
a_err=np.sqrt(pcov1[0,0])
l_err=np.sqrt(pcov1[1,1])
y0_err=np.sqrt(pcov1[2,2])
```

```
#Fehlerkurven definieren
def expmin(x):
    return (a-a_err)*np.exp(-x*(1-l_err))+(y0-y0_err)

def expmax(x):
    return (a+a_err)*np.exp(-x*(1+l_err))+(y0+y0_err)
```

```
[4]: #Plotting data
x=np.linspace(0,4.5,10000)
plt.figure(figsize=(10,5))
plt.errorbar(d, z, yerr=z_err, fmt=".", label='measured values  $n-n_0^{\beta}$ ')
plt.plot(x, expfunc(x,*popt1), label='Fit')
plt.plot(x, expmin(x), label='Fit Minimum')
plt.plot(x, expmax(x), label='Fit Maximum')
plt.axis([-0.2, 4.5, 1e-3, 100])
plt.yscale('log')
plt.ylabel(' $n-n_0^{\beta}$  [ $s^{-1}$ ]')
plt.xlabel('Absorber thickness [mm]')
plt.title('Absorption of  $\beta$ -radiation')
plt.legend()
plt.savefig("253 A1.png", format='png', dpi=500)
plt.show()
```



```
[5]: #Bestimmen der Nullstelle
def nullstelle(a,y0,l):
    return np.log(-a/y0)*1/l
```

```

x_max=nullstelle(a,y0,l)
x_max_errmin=x_max-nullstelle(a-a_err,y0-y0_err,l-l_err)
x_max_errmax=nullstelle(a+a_err,y0+y0_err,l+l_err)-x_max

print('Nulstelle:')
print('x_max=(' +str(round(x_max,2))+ ' + ' +str(round(x_max_errmax,2))+ ' -□
↳ '+str(round(x_max_errmin,2))+')mm')

```

Nulstelle:
x_max=(3.39 + 0.25 - 0.12)mm

```

[6]: #Flächendichte
rho_al=2.6989 #g/cm^3
R_beta_es=0.130 #g/cm^2

R_beta=x_max*0.1*rho_al+R_beta_es
R_beta_errmax=x_max_errmax*0.1*rho_al
R_beta_errmin=x_max_errmin*0.1*rho_al

print('Flächendichte:')
print('R_beta=(' +str(round(R_beta,3))+ ' + ' +str(round(R_beta_errmax,3))+ ' -□
↳ '+str(round(R_beta_errmin,3))+')g/cm^2')

```

Flächendichte:
R_beta=(1.045 + 0.068 - 0.033)g/cm²

1.2 2. Absorption von γ -Strahlung

```

[7]: #Data Import
t2=60*np.ones(11) #s
d2=np.linspace(0, 5, 11) #cm
n2=np.array([939, 659,474,404,282,201,175,126,121,100,74]) #1/ts
n2_err=np.sqrt(n2)
n_g0=111 #1/300s
n_g0_err=np.sqrt(n_g0)

#Normieren
n_g0_t=t2*n_g0/300
n_g0_t_err=n_g0_err*t2/300

#Differenz berechnen
z2=np.divide(n2-n_g0_t,t2)
z2_err=np.divide(np.sqrt(n2_err**2+n_g0_t_err**2),t2)

```

```

[8]: #Fit-Funktion definieren
def expfuncLB(x,a,my):

```

```

    return a*np.exp(-x*my)

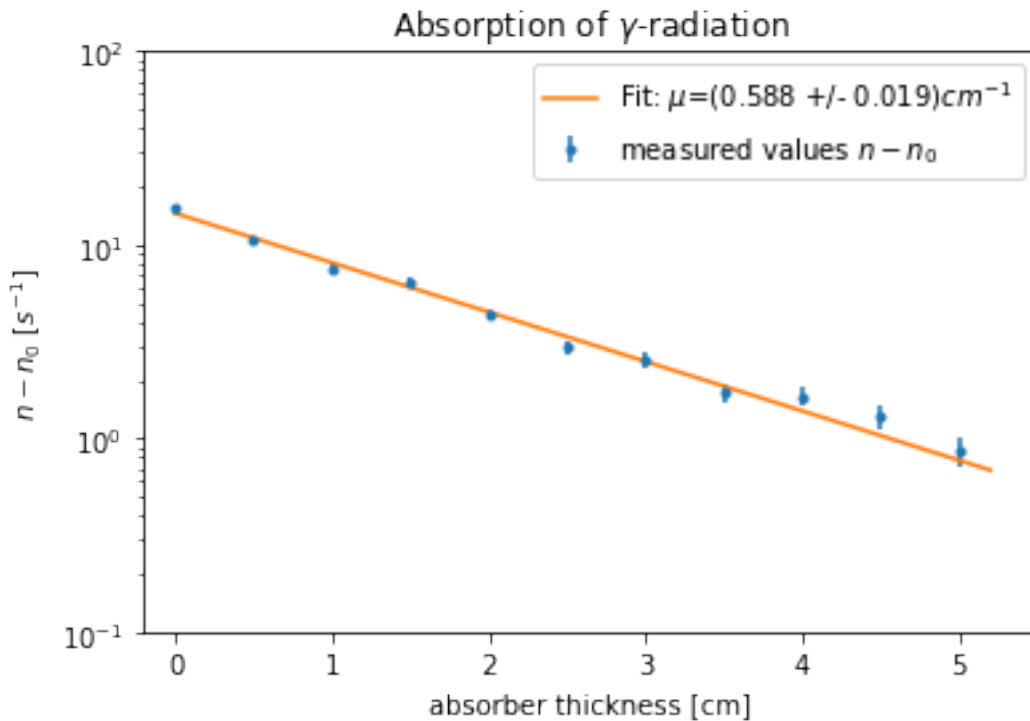
#Fitting data
popt2, pcov2 = curve_fit(expfuncLB, d2, z2, sigma=z2_err)
a2=popt2[0]
my=popt2[1]
a2_err=np.sqrt(pcov2[0,0])
my_err=np.sqrt(pcov2[1,1])

```

```

[9]: #Plotting data
x=np.linspace(0,5.2,10000)
#plt.figure(figsize=(10,5))
plt.errorbar(d2, z2, yerr=z2_err, fmt=".", label='measured values $n-n_0$')
plt.plot(x, expfuncLB(x,*popt2), label='Fit: $\mu$=(' +str(round(my,3))+ ' +/-_
↳ '+'str(round(my_err,3))+')$cm^{-1}$')
plt.axis([-0.2, 5.5, 10**-1, 100])
plt.yscale('log')
plt.ylabel('$n-n_0$ [$s^{-1}$]')
plt.xlabel('absorber thickness [cm]')
plt.title('Absorption of $\gamma$-radiation')
plt.legend()
plt.savefig("253 A2.png", format='png', dpi=500)
plt.show()

```



```
[10]: #Massenabschwächungskoeffizient
rho_pb=11.342 #g/cm^3

my_rho=my/rho_pb
my_rho_err=my_err/rho_pb

print('Massenabschwächungskoeffizient:')
print('my/rho=(' +str(round(my_rho,4))+' +/- ' +str(round(my_rho_err,4))+' )cm^2/
→g')
```

Massenabschwächungskoeffizient:
my/rho=(0.0518 +/- 0.0017)cm²/g

1.3 3. Bestimmung der Aktivität

```
[11]: #Theoretische Aktivität
A0=890 #kBq
t=1313 #d
T12=5.27*365 #d

AH=A0*np.exp(-np.log(2)/T12*t)

print('theoretische Aktivität:')
print('A_H= ' +str(round(AH))+' kBq')
```

theoretische Aktivität:
A_H= 555 kBq

```
[12]: #Aktivität
n3=np.array([9900, 2592, 756]) #1/60s
n3_norm=n3/60
n3_err=np.sqrt(n3)
n3_norm_err=n3_err/60
d3=np.array([5, 10, 20]) #cm
d3_err=1*np.ones(3) #cm
r=0.7 #cm
epsilon=0.04

A1=2*n3_norm/epsilon*d3**2/(r**2)*0.001
A1_err=np.sqrt((2/epsilon*d3**2/r**2*n3_norm_err)**2+(2*n3_norm/epsilon*2*d3/
→r**2*d3_err)**2)*0.0001

#Sigmaabweichung
A1_sig=abs(A1-AH)/A1_err

print('Aktivität:')
```

```

print('d='+str(d3[0])+ 'cm  A=(' +str(round(A1[0]))+ ' +/-_
↳ '+str(round(A1_err[0]))+')kBq  Abw: '+str(round(A1_sig[0],1))+ ' sigma')
print('d='+str(d3[1])+ 'cm  A=(' +str(round(A1[1]))+ ' +/-_
↳ '+str(round(A1_err[1]))+')kBq  Abw: '+str(round(A1_sig[1],1))+ ' sigma')
print('d='+str(d3[2])+ 'cm  A=(' +str(round(A1[2]))+ ' +/-_
↳ '+str(round(A1_err[2]))+')kBq  Abw: '+str(round(A1_sig[2],1))+ ' sigma')

```

Aktivität:

d=5cm A=(421 +/- 17)kBq Abw: 7.9 sigma
d=10cm A=(441 +/- 9)kBq Abw: 12.8 sigma
d=20cm A=(514 +/- 5)kBq Abw: 7.4 sigma

1.3.1 3.1 Raumwinkel-Korrektur

```

[13]: #Data Import
l=4 #cm

#Korrekturfaktor
k1=1+l/d3+l**2/(4*d3**2)
k1_err=(1/d3**2+l**2/(2*d3**3))*d3_err

#Korrigierte Aktivität
A_korr=A1*k1
A_korr_err=np.sqrt((k1*A1_err)**2+(A1*k1_err)**2)

#Sigmaabweichung
A_korr_sig=abs(A_korr-AH)/A_korr_err

print('Aktivität:')
print('d='+str(d3[0])+ 'cm  k1=(' +str(round(k1[0],4))+ ' +/-_
↳ '+str(round(k1_err[0],4))+ ') A=(' +str(round(A_korr[0]))+ ' +/-_
↳ '+str(round(A_korr_err[0]))+')kBq  Abw: '+str(round(A_korr_sig[0],1))+ '_
↳sigma')
print('d='+str(d3[1])+ 'cm  k1=(' +str(round(k1[1],4))+ ' +/-_
↳ '+str(round(k1_err[1],4))+ ') A=(' +str(round(A_korr[1]))+ ' +/-_
↳ '+str(round(A_korr_err[1]))+')kBq  Abw: '+str(round(A_korr_sig[1],1))+ '_
↳sigma')
print('d='+str(d3[2])+ 'cm  k1=(' +str(round(k1[2],4))+ ' +/-_
↳ '+str(round(k1_err[2],4))+ ') A=(' +str(round(A_korr[2]))+ ' +/-_
↳ '+str(round(A_korr_err[2]))+')kBq  Abw: '+str(round(A_korr_sig[2],1))+ '_
↳sigma')

```

Aktivität:

d=5cm k1=(1.96 +/- 0.224) A=(825 +/- 100)kBq Abw: 2.7 sigma
d=10cm k1=(1.44 +/- 0.048) A=(635 +/- 25)kBq Abw: 3.2 sigma
d=20cm k1=(1.21 +/- 0.011) A=(622 +/- 9)kBq Abw: 7.8 sigma

[]:

1.3.2 3.2 Absorptions-Korrektur

```
[14]: #Korrekturfaktor k2
rho_abs=7.9 #g/cm^3
x_abs=0.14 #cm

k2=np.exp(-my_rho*rho_abs*x_abs)
k2_err=k2*rho_abs*x_abs*my_rho_err

print('Korrekturfaktor k2:')
print('k2=(' +str(round(k2,4))+' +/- ' +str(round(k2_err,4))+'))')
```

Korrekturfaktor k2:
k2=(0.9443 +/- 0.0018)

```
[15]: #Korrigierte Aktivitäten
A_offen=A_korr*1/k2
A_offen_err=np.sqrt((A_korr*1/k2**2*k2_err)**2+(1/k2*A_korr_err)**2)

#Sigmaabweichung
A_offen_sig=abs(A_offen-AH)/A_offen_err

print('Aktivität:')
print('d=' +str(d3[0])+' cm A=(' +str(round(A_offen[0]))+' +/-_
↳'+str(round(A_offen_err[0]))+')kBq Abw: '+str(round(A_offen_sig[0],1))+'_
↳sigma')
print('d=' +str(d3[1])+' cm A=(' +str(round(A_offen[1]))+' +/-_
↳'+str(round(A_offen_err[1]))+')kBq Abw: '+str(round(A_offen_sig[1],1))+'_
↳sigma')
print('d=' +str(d3[2])+' cm A=(' +str(round(A_offen[2]))+' +/-_
↳'+str(round(A_offen_err[2]))+')kBq Abw: '+str(round(A_offen_sig[2],1))+'_
↳sigma')
```

Aktivität:
d=5cm A=(874 +/- 106)kBq Abw: 3.0 sigma
d=10cm A=(672 +/- 26)kBq Abw: 4.5 sigma
d=20cm A=(659 +/- 9)kBq Abw: 11.2 sigma

1.4 4. Absorption von α -Strahlung

```
[16]: #Daten Import
n4=np.
↳array([12923,12933,12753,12374,11717,10144,8486,7294,4695,2633,1279,546,273,246,215,220])_
↳#1/60s
n4_err=np.sqrt(n4)
```

```

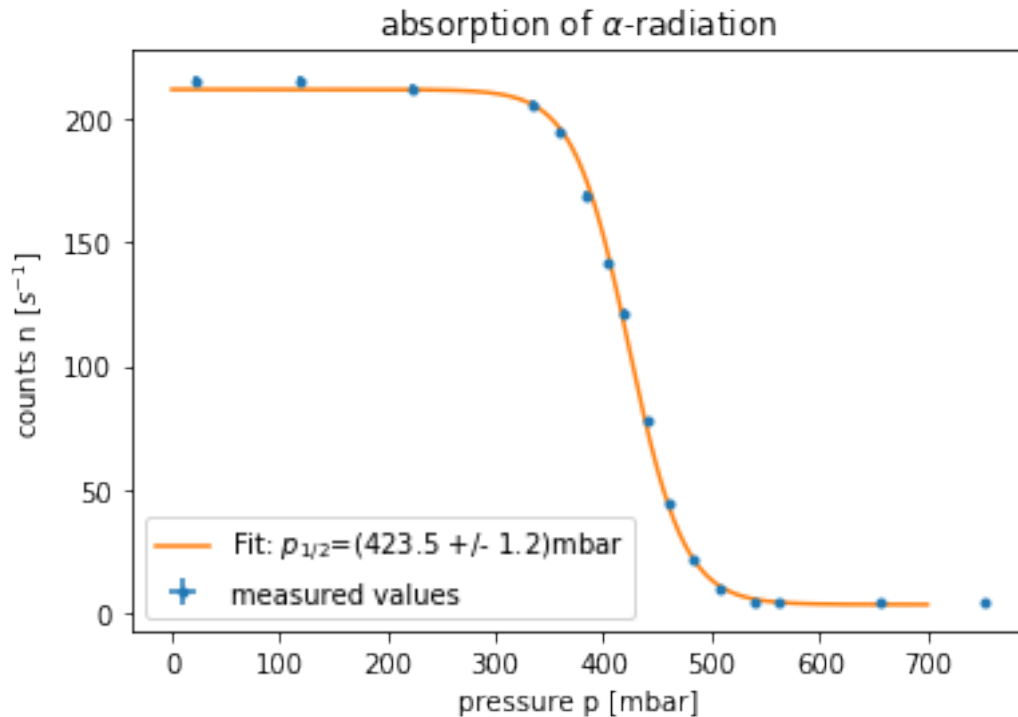
n4_norm=n4/60
n4_norm_err=n4_err/60
p=np.array([22, 119, 223, 334, 359, 384, 404,
↪418,440,461,484,507,540,562,656,753]) #mbar
p_err=1*np.ones(16)

#Fit-Funktion definieren
def Boltzmann(p,x0,dx,a1,a2):
    return a2+(a1-a2)/(1+np.exp((p-x0)/dx))

#Fitting data
popt4, pcov4 = curve_fit(Boltzmann, p, n4_norm, sigma=n4_norm_err,
↪p0=[255,10,5000,72])
p12=popt4[0]
p12_err=np.sqrt(pcov4[0,0])

#Plotting data
x=np.linspace(0,700,10000)
plt.errorbar(p, n4_norm, xerr=p_err, yerr=n4_norm_err, fmt=".", label='measured_
↪values')
plt.plot(x, Boltzmann(x,*popt4), label='Fit: $p_{1/2}$=(' +str(round(p12,1))+ ' +/
↪- '+str(round(p12_err,1))+')mbar')
#plt.axis([-0.2, 5.3, 1, 100])
plt.ylabel('counts n [$s^{-1}$]')
plt.xlabel('pressure p [mbar]')
plt.title('absorption of $\alpha$-radiation')
plt.legend()
plt.savefig("253 A3.png", format='png', dpi=500)
plt.show()

```

```
[17]: #Reichweite
s0=3.95 #cm
s0_err=0.05 #cm
p0=1013 #mbar

s1=p12/p0*s0
s1_err=np.sqrt((p12/p0*s0_err)**2+(s0/p0*p12_err)**2)

print('Reichweite:')
print('s1=(' +str(round(s1,3))+' +/- ' +str(round(s1_err,3))+' )cm')
```

```
Reichweite:
s1=(1.651 +/- 0.021)cm
```

```
[18]: #Korrekturfaktor Glimmer Fenster
rho_gl=2.25 #mg/cm²

s2=rho_gl/1.43*1

print('Korrekturfaktor s2:')
print('s2=' +str(round(s2,3)))
```

```
Korrekturfaktor s2:
s2=1.573
```