

6.6.2014

Freie Universität Berlin

- Fachbereich Physik –

Radioaktiver Zerfall

Protokoll zum Versuch des physikalischen Grundpraktikums I

Teilnehmer:

Florian Conrad: florienc@zedat.fu-berlin.de

Ludwig Schuster: ludwig.schuster@fu-berlin.de

Tutor:

Sören Wasseroth

Praktikumsleiterin:

Dr. Beate Schattat

Einleitung:	3
Funktionsweise des Geiger- Müller- Zählrohrs	3
Physikalische Grundlagen	4
Vorbereitung	4
Aufgaben	5
Versuchsaufbau & Geräteliste	5
Literatur-Werte.....	6
Hinweise zum Versuch.....	6
Messprotokoll	6
Tabellen	6
Zeit [s]	6
Zerfälle	6
Fehler (\pm)	6
Tabelle 1: Messwerte für Nullrate	7
Auswertung:	10
<i>Aufgabe 3:</i>	11
<i>Einsetzen in die Formel der Halbwertszeit liefert dann:</i>	11
<i>Aufgabe 4:</i>	13
Diskussion	14
<i>Aufgabe 1:</i>	14
<i>Aufgabe 3:</i>	14
<i>Bei beiden Isotopen ist die Halbwertszeit jeweils kleiner als der Literaturwert und somit die Zerfallsraten größer. Die Halbwertszeit für ^{108}Ag weicht stark vom Literaturwert ab.</i>	14
<i>Aufgabe 4:</i>	14

Einleitung:

Radioaktive Stoffe und Präparate finden zunehmend Anwendung in vielen Bereichen von Wissenschaft und Technik. In der Medizin werden radioaktive Stoffe zur Diagnose und Therapie eingesetzt. Stoffwechselfvorgänge und Funktionsabläufe können untersucht werden, indem man radioaktive Stoffe in ein Organ einbringt und deren örtliche und zeitliche Verteilung durch Messung der Strahlung sichtbar macht. In der Biologie und Chemie werden Transportvorgänge und Reaktionsverläufe durch Markierung mit radioaktiven Substanzen untersucht. Durch Bestrahlung können einfach und gezielt genetische Mutationen erzeugt werden. Altertums-, Erd- und Biowissenschaften machen Gebrauch von der ^{14}C -Methode zur Altersbestimmung. In der Technik werden radioaktive Präparate für Überwachungs- und Regelzwecke und zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung eingesetzt.

Von radioaktiver Strahlung können erhebliche Gefahren für den Menschen ausgehen. Der Umgang mit radioaktiver Strahlung und radioaktiven Materialien ist daher gesetzlich geregelt, und die Vorschriften des Strahlenschutzes müssen genau beachtet werden.

Die Aktivität des in den Versuchen benutzten Neutronengenerators ist vergleichsweise gering. Seine Dosisleistung liegt in 1 m Abstand in der Größenordnung der natürlichen Strahlung, und eine zählende Belastung und ein zusätzliches Risiko sind bei der kurzfristigen Arbeit an den Versuchsplätzen nicht gegeben.

Funktionsweise des Geiger- Müller- Zählrohrs

Ionisierende Strahlung wird dadurch charakterisiert, dass beim Auftreten auf andere Elemente Elektronen aus der Molekül- und Atomstruktur herausgeschossen werden. Radioaktive Elemente senden bei ihrem Zerfall Alpha-, Beta- und Gammastrahlung aus. Während die ersten beiden Strahlungsarten aus geladenen Atomteilchen bestehen, besteht die Gammastrahlung aus Photonen oder Quanten. Die Gammastrahlung kann – je nach Element – auch lebende Zellen angreifen und somit für Menschen gefährlich werden. Aus diesem Grund ist es auch für die Wissenschaft wesentlich, Radioaktivität messen zu können.

Wesentliches Bauelement des Geiger-Müller-Zählers ist das Zählrohr – ein Metallrohr aus Kupfer, Eisen, Aluminium oder Glas, das mit Edelgas, beispielsweise Helium gefüllt ist. Der Druck im Inneren ist dabei geringer als jener in unserer Atmosphäre auf Meereshöhe. Während der im Inneren des Rohres gespannte Wolframdraht als Pluspol fungiert, dient das Rohr selbst als ein Minuspol. Zwischen beiden Polen wird eine Spannung von einigen hundert Volt erzeugt. Wenn ionisierende Strahlung auf das Geiger-Müller-Zählrohr trifft, werden aus den Atomen des Heliumgases Elektronen herausgelöst, die durch den Pluspol angezogen werden. Aufgrund der Kollision der Elektronen mit anderen Atomen werden Elektronen freigesetzt, die über einen Entkoppelungskondensator ein akustisches oder visuelles Signal freisetzen. Es wird als die Zahl der in einer Sekunde zerfallenden Teilchen gemessen. Der Zerfall pro Sekunde wird als „Becquerel“ bezeichnet. Die Strahlungsenergie die für die Gefährdung des Menschen wesentlich ist wird in der Einheit „Sievert“ angegeben.¹

¹ Quelle: <http://www.geigerzaehler.com/zaehrohr/>

Physikalische Grundlagen

Vorbereitung

Radioaktive Zerfälle von instabilen Atomkernen haben Strahlungen zur Folge. Um die Intensitäten jener zu messen, gibt es das Geiger-Müller-Zählrohr, welches die Anzahl der Aktivitäten zählt. Aktivitäten sind hierbei die, durch die Zerfallsstrahlung, ionisierte Atome, welche innerhalb des Zählrohrs einen elektrischen Impuls auslösen. Die physikalische Größe Aktivität A gibt die Zerfallsanzahl n in einer gewissen Zeit Δt in der Einheit Becquerel an. Gleichung 1

$$A = \frac{n}{\Delta t} \quad \text{Einheit: 1 Bq}$$

Ein Becquerel entspricht einem Zerfall pro Sekunde.

Um Aktivität zu beschreiben, sollte die Dosimetrie beachtet werden. So gibt es die Ionendosis D_Q , welche die Ladung durch Ionisation je Masse der umgebenden Luft in $\frac{C}{kg}$ angibt.

Die Ionendosisleistung gibt die Ionendosis D_Q in einer bestimmten Zeit Δt also entsprechend in $\frac{C}{kg \cdot s}$ an.

Die Strahlenbelastung eines Körpers wird durch die Energiedosis D_E als absorbierte Strahlungsenergie für die Masse des Probekörpers in Gray Gy angegeben. Gleichung 2

$$D_E = 40 \frac{Gy}{kg} D_Q \quad \text{Einheit: } Gy = \frac{J}{kg}$$

Mit Hilfe des Faktors für relative biologische Wirksamkeit (RBW) lässt sich aus der Energiedosis D_E die Äquivalentdosis D_A berechnen, welche in Sievert Sv angegeben wird. Gleichung 3

$$D_A = RBW * D_E \quad \text{Einheit: } 1 \frac{J}{kg} = 1 Sv = 100 rem$$

Stabile Isotope eines Atoms, wie die uns gegebenen Ag-107 und Ag-109, können mit Hilfe eines Neutronengenerators aktiviert, also in radioaktive, instabile Isotope Ag-108 und Ag-110 umgewandelt werden, welche sich wiederum durch β -Zerfall in Cadmium-Isotope umwandeln. Der, bei der Aktivierung, zeitgleich einsetzende Zerfall führt zu einem radioaktiven Gleichgewicht, welches nach einer gewissen Zeit erreicht wird. Gleichung 4

$$dn = dn|_{\text{Reaktion}} + dn|_{\text{Zerfall}} = \sigma \phi N dt - \lambda n dt$$

Hierbei sind die Zahl der stabilen Ausgangskerne N , die radioaktive Kernanzahl n , der Wirkungsquerschnitt der Kernreaktion σ , sowie die Neutronenflussdichte ϕ und die Zerfallskonstante λ Bestandteile der Gleichung des Gleichgewichts.

Die Aktivierungszeit $A(t)$ aktiviert die Probe wie folgt: Gleichung 5

$$A(t) = \sigma \phi N (1 - e^{-\lambda t})$$

Die Aktivität einer Probe steigt nicht unablässig mit der Zeit t . Stattdessen ergibt sich eine Sättigungsaktivität A_S , da radioaktive Nuklide bereits während der Aktivierung zerfallen.

Gleichung 6

$$A_S = \sigma\phi N$$

Für den zeitlichen Verlauf der Aktivität gilt analog zum Zerfallsgesetz:

Gleichung 7

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Radioaktive Zerfälle müssen in statistischen Mengen untersucht werden. Erst durch diese Mengen, können Größen wie die zerfallstypische Halbwertszeit $T_{1/2}$ herausgefunden und errechnet werden. Sie gibt an, nach welcher Zeit die Hälfte des ursprünglich vorhandenen Materials zerfallen ist.

Gleichung 8

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Aufgaben

1. Messung der natürlichen Ionendosisleistung und der Ionendosisleistung an der Außenseite des Neutronengenerators mit einem Ionendosisleistungsmessgerät. Umrechnung auf Äquivalenzdosiswerte pro Jahr in mS.
2. Messung des mit dem Geiger-Müller-Zählrohr registrierten Nulleffekts.
3. Aktivierung der radioaktiven Isotope Ag-108 und Ag-110. Messung der Zeitabhängigkeit der Zerfallsrate für verschiedene Aktivierungszeiten. Bestimmung der Zerfallskonstanten und der Halbwertszeiten der beiden Silberisotope.
4. Berechnung der Sättigungszählraten für die beiden Isotope und des Verhältnisses ihrer Wirkungsquerschnitte für Neutroneneinfangreaktionen. Vergleich mit dem Literaturwert.

Versuchsaufbau & Geräteliste

Für die Versuche standen uns folgende Geräte zur Verfügung:

- Geiger-Müller-Zählrohr in Bleiabschirmung (VALVO ZP 1330)

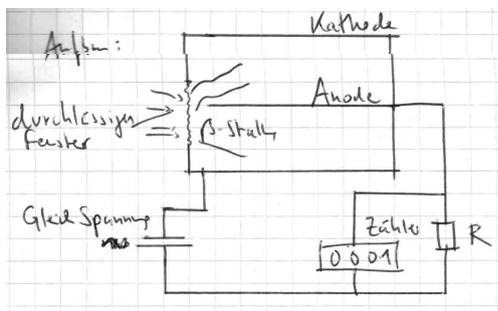


Abbildung 1: Aufbauschematische eines Geiger-Müller-Zählrohrs

- HV- und Zählgerät (Leybold 57545)
- Silberzylinder
- Am-Be-Neutronenquelle
- Stoppuhr (Junghans)
- Ionendosisleistungsmessgerät (Bandelin MM3)

Das Geiger-Müller-Zählrohr war am Zählgerät angeschlossen. Beide Geräte waren mit einer Spannungsquelle verbunden. Der Silberzylinder war an einem Draht befestigt, sodass er ohne direkten Kontakt sowohl in die zylindrischen Vertiefungen des Kastens, in dem die Neutronenquelle eingeschlossen war, als auch in das Zählrohr eingeführt und herausgenommen werden konnte. Es wurde stets die gleiche Vertiefung (B3) genutzt.

Literatur-Werte

Halbwertszeiten

$$T_{\frac{1}{2}}(\text{Ag} - 108) = 144,6 \text{ s}$$

$$T_{\frac{1}{2}}(\text{Ag} - 110) = 24,6 \text{ s}$$

Wirkungsquerschnitte

$$\sigma(\text{Ag} - 107 \rightarrow \text{Ag} - 108) = 34,2 \text{ b} = 34,2 * 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$\sigma(\text{Ag} - 109 \rightarrow \text{Ag} - 110) = 89 \text{ b} = 89 * 10^{-28} \text{ m}^2$$

Natürliche Strahlung (terrestrisch) im Bundesland Berlin: 31 nSv/h

Hinweise zum Versuch

Strahlenschutzhinweis

- Abstand vergrößern: Nimmt man an, dass eine Strahlungsquelle punktförmig ist, und in alle Richtungen gleichmäßig strahlt, nimmt die Dosis quadratisch ab.
- Abschirmung: Dichte Materie kann Strahlung durch vermehrte Stoßprozesse mit Atomen ablenken.
- Verringerung der Aufenthaltsdauer
- Achtsamer Umgang mit dem radioaktiven Material

Messprotokoll

Messung durchgeführt am 6.6.2014 , ca. 10:50 Uhr

Tabellen

Zeit [s]	Zerfälle	Fehler (±)
5	20	4
15	8	3
25	11	3
35	6	2
45	7	3
55	8	3
65	9	3
75	11	3

85	9	3
95	8	3
105	6	2
115	7	3
125	9	3
135	8	3
145	11	3
155	11	3
165	8	3
175	6	2
185	11	3
195	6	2
205	4	2
215	1	1
225	10	3
235	12	3
245	7	3
255	7	3
265	6	2
275	9	3
285	10	3

Tabelle 1: Messwerte für Nullrate

Zeit [s]	Zerfälle	Fehler (\pm)
5	0	0
15	480	22
25	368	19
35	250	16
45	206	15
55	137	14
65	122	13
75	93	11
85	83	11
95	66	10
105	47	9
115	33	9
125	37	9
135	31	7
145	28	8
155	22	7
165	20	7
175	18	7
185	19	7
195	20	7
205	19	6
215	17	7
225	16	7
235	16	6

245	20	6
255	12	6
265	23	6
275	16	5
285	15	5
295	15	5
305	8	5
315	12	7
325	12	6
335	15	5
345	8	5
355	17	4
365	10	4
375	5	4
385	13	4
395	14	4
405	8	4
415	11	5
425	12	5
435	11	4
445	13	5
455	10	5
465	13	4
475	11	4
485	10	4
495	7	4
505	11	4
515	7	5
525	9	3
535	9	4
545	10	4
555	8	4
565	14	4
575	11	4
585	11	4
595	8	4
605	9	3
615	13	5
625	13	3
635	8	4
645	9	3
655	15	3
665	11	3
675	12	3
685	5	3
695	9	4
705	8	4
715	6	22

Tabelle 2: Messwerte der Aktivität des Silberpräparats, Aktivierungszeit 1min.

Zeit [s]	Zerfälle	Fehler (\pm)
----------	----------	------------------

5	275	17
15	595	24
25	482	22
35	343	19
45	260	16
55	222	15
65	192	14
75	158	13
85	130	11
95	115	11
105	100	10
115	78	9
125	85	9
135	78	9
145	51	7
155	60	8
165	54	7
175	56	7
185	55	7
195	45	7
205	51	7
215	40	6
225	46	7
235	44	7
245	41	6
255	40	6
265	37	6
275	31	6
285	25	5
295	30	5
305	23	5
315	28	5
325	44	7
335	35	6
345	28	5
355	24	5
365	19	4
375	18	4
385	15	4
395	16	4
405	19	4
415	17	4
425	22	5
435	25	5
445	14	4
455	21	5
465	21	5
475	15	4
485	15	4
495	18	4
505	16	4

515	15	4
525	23	5
535	12	3
545	17	4
555	15	4
565	14	4
575	15	4
585	18	4
595	15	4
605	13	4
615	12	3
625	21	5
635	11	3
645	17	4
655	11	3
665	10	3
675	12	3
685	7	3
695	12	3
705	15	4
715	13	4

Tabelle3: Messwerte der Aktivität des Silbers, Aktivierungszeit 10 min.

Auswertung:

Aufgabe 1: Ionendosisleistung

In Berlin werden ca 31 nSv/h gemessen, gemittelt. Das entspricht einer jährlichen Belastung von 0,271 mSv/a.

Bei der Messung im Raum wurden 75-90 nSv/h gemessen. Der Mittelwert daraus ist 82,5 nSv/h.

Auf das Jahr berechnet ergibt das:

$$82,5 \text{ nSv/h} * 24 * 365 * 10^{-6} = 0,72 \text{ mSv/a}$$

Der Raum hat eine leicht erhöhte Strahlung, die aber nicht problematisch ist, da an anderen Orten der Erde die Werte noch höher sind und die Menschen dort auch nicht schwer davon betroffen sind.

Direkt am Neutronengenerator haben wir eine gemessene Strahlenbelastung von 270 nSv/h.

$$\text{Auch hier auf das Jahr berechnet: } 270 \text{ nSv/h} * 24 * 365 * 10^{-6} = 2,36 \text{ mSv/a.}$$

Dieser Wert ist ebenfalls nicht problematisch, da er erst dann sinnvoll ist, wenn man jeden Tag des Jahres nah an der Neutronenquelle arbeitet. Da wir im Praktikum maximal ein paar Stunden daran arbeiten und das auch nur immer für wenige Sekunden direkt daneben stehen, ist dieser Wert keineswegs kritisch.

Aufgabe 2: Nullrate

Es wurden 29 Werte jeweils für ein Intervall von 9 Sekunden bestimmt. Diese zusammengezählt ergeben dann 246 Zerfälle. Somit haben wir als Mittelwert für ein Intervall ungefähr 8 Zerfälle. Das entspricht ungefähr 0,89Bq

Aufgabe 3:

Die Messwerte wurden um die Nullrate bereinigt, dabei entstanden durch diese Bereinigung Negative Messpunkte, welche auf den Wert 0 gesetzt wurden.

Dies wurde dann graphisch aufgetragen. Da davon auszugehen ist, dass nach Ablauf des 5-fachen der Halbwertszeit von den Materialien dessen Beitrag zu den Zerfällen zu vernachlässigen ist, also nach 123s, wurde für die Messwerte ab diesem Zeitpunkt jeweils eine exponentieller Fit der Form

$$y = A \cdot e^{-invTau*x} + y_0$$

durchgeführt.

invTau entspricht dann der Zerfallsrate λ

$$invTau_1 = 0.007 \pm 0.002s^{-1}$$

$$invTau_{12} = 0.0065 \pm 0.0009s^{-1}$$

Durch Mittelwertbildung ergibt sich die Zerfallsrate von ^{108}Ag :

$$\lambda_{108} = 0.007 \pm 0.002s^{-1}$$

Für die Halbwertszeit gilt:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\text{Einsetzen von } \lambda_{108} = 0.007 \pm 0.002s^{-1}$$

$$T_{1/2,108} = 99 \pm 28 \text{ s}$$

Für die Zerfallsrate von ^{110}Ag muss der Betrag von ^{108}Ag herausgerechnet werden. Für jeden Messwert wird der jeweilige Wert von ^{108}Ag (vom Exponentialfit) abgezogen. Hier wurde wieder ein Exponentialfit eingezeichnet, nur diesmal bis 123 ms.

invTau entspricht wieder der Zerfallsrate.

$$invTau_1 = 0.032 \pm 0.001s^{-1}$$

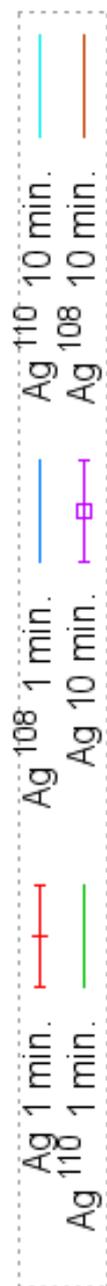
$$invTau_{12} = 0.030 \pm 0.002s^{-1}$$

Durch Mittelwertbildung ergibt sich die Zerfallsrate von ^{110}Ag :

$$\lambda_{110} = 0.031 \pm 0.002s^{-1}$$

Einsetzen in die Formel der Halbwertszeit liefert dann:

$$T_{1/2,110} = 22 \pm 1 \text{ s}$$



Bestimmung der Zerfallsrate und Halbwertszeit von Silber

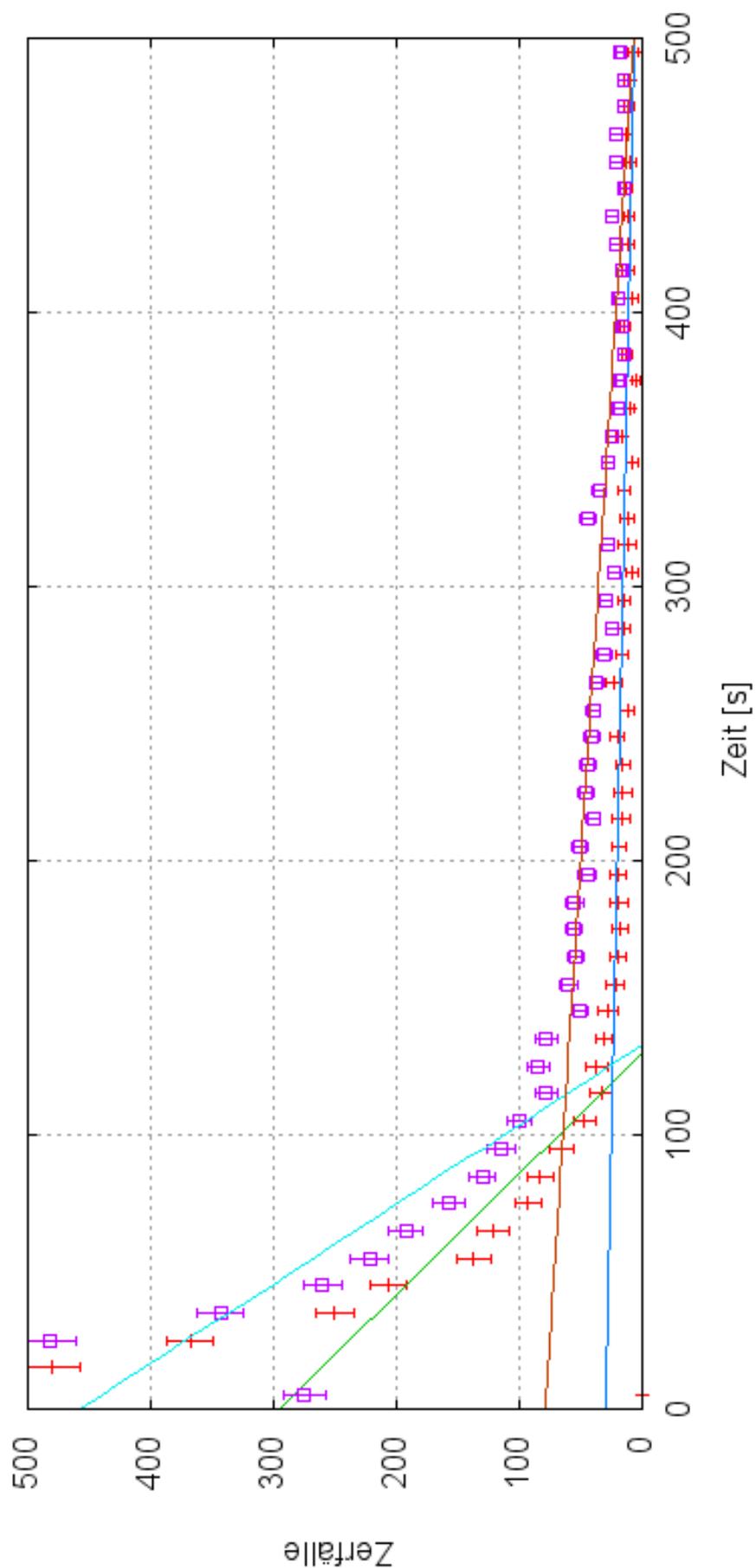


Abbildung 1 Halbwertszeiten und Zerfallsraten von Silber

Aufgabe 4:

Die Aktivität $A(t)$ ergibt sich als Quotient aus y -Wert bei $t=0$, hier $y_t=0$ und der Zeit, hier $9s$ (Messintervall). $y=0$ benennen wir hier als y_0

$$A(t) = \frac{y_0}{9s}$$

Analog dazu ergibt sich als Anfangsaktivität:

$$A(t_0) = \frac{y_0}{9s}$$

Mit: $A(t) = A_s(1 - e^{-\lambda t})$ ergibt sich für die Sättigungsaktivität:

$$A_s = \frac{y_0}{9s(1 - e^{-\lambda t})}$$

Mit t_A = Aktivierungszeit.

Einsetzen der Werte liefert:

Der jeweilige Wert für y_0 wurde jeweils aus dem dazugehörigen Graphen abgelesen.

Messung	Isotop	Y_0
1 min	^{108}Ag	25,7
10 min	^{108}Ag	78,7
1min	^{110}Ag	295,7
10 min	^{110}Ag	457,1

Tabelle 4: Tabelle zur Bestimmung der Aktivität

Durch die Bildung des Mittelwertes ergibt sich dann:

$$A_{s,108} = 13,4 \pm 5,4 \text{ s}^{-1}$$

$$A_{s,110} = 95,0 \pm 4,1 \text{ s}^{-1}$$

Verhältnis der Wirkungsquerschnitte:

$$\frac{\sigma_{110}}{\sigma_{108}} = \frac{A_{s,110}}{A_{s,108}} = 7,1 \pm 2,9$$

Diskussion

Aufgabe 1:

Wie in Aufgabe 1 bereits gesagt, ist die Strahlendosis erhöht, in unserem Kursraum. Die erhöhte Dosis ist allerdings nicht gefährlich, da man nur kurz und nicht das ganze Jahr über in diesem Raum arbeitet und somit nicht permanent der Strahlendosis ausgesetzt ist.

Aufgabe 3:

Bei beiden Isotopen ist die Halbwertszeit jeweils kleiner als der Literaturwert und somit die Zerfallsraten größer. Die Halbwertszeit für ^{108}Ag weicht stark vom Literaturwert ab.

Möglicherweise liegt das daran, dass die Nullrate nicht genügend lange gemessen wurde, oder sich beim Umgang mit dem Geiger-Müller –Zählrohr Fehler eingeschlichen haben.

Diese können unter Anderem sein, dass das Zählgerät falsch abgelesen wurde, da es manchmal doch nicht ganz so einfach ist, immer die 9 Sekunden genau zu erwischen, obwohl das Gerät eine Pause macht. Ist man unaufmerksam kann der Wert schon wieder vom Zähler verschwunden sein und somit wird weiter gemessen. Vergisst man dann noch den Wert verfallen zu lassen und misst einfach weiter könnte das die Messung verfälschen. Wir vermuten, dass sowas hier passiert ist.

Aufgabe 4:

Sättigungszählraten:

Folgende Werte wurden ermittelt:

$$A_{s,108} = 13,4 \pm 5,4 \text{ s}^{-1}$$

$$A_{s,110} = 95,0 \pm 4,1 \text{ s}^{-1}$$

Verhältnis der Wirkungsquerschnitte:

Der ermittelte Wert von:

$$7,1 \pm 2,9$$

Ist mit Beachten des Fehlers mit dem Literaturwert identisch. Sie stimmen überein. Dementsprechend ist das Experiment und die Berechnung hier geglückt.

