

Versuch 88

Halbwertszeit von neutronen-aktiviertem Silber

Protokoll des Anfänger-Praktikums II



Gruppe 14

Durchgeführt am 26.03.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsziel	3
2	Physikalische Grundlagen	3
3	Versuchsaufbau	5
4	Versuchsdurchführung	5
5	Auswertung	6
5.1	Mittlerer Untergrund	6
5.2	Auswertung des langlebigen Isotops	6
5.3	Auswertung des kurzlebigen Isotops	7
6	Zusammenfassung und Diskussion	9
7	Literatur	10
8	Anhang	11

1 Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist die Bestimmung der kurzen sowie der langen Halbwertszeit von neutronen-aktiviertem Silber durch Messung der Zerfallskurve mithilfe eines Zählrohrs und verschiedenen Computerprogrammen.

2 Physikalische Grundlagen

Sind N Kerne vorhanden, so ist bei einem spontanen Zerfall die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls zerfällt, konstant. Aus diesem Grund gilt

$$dN = -\lambda N dt. \quad (2.1)$$

Dabei bezeichnet dN die in der Zeit dt zerfallenen Kerne und λ die Zerfallskonstante. Durch Integration ergibt sich folgendes Zerfallsgesetz

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.2)$$

welches einen exponentiellen Zerfall darstellt. Die Aktivität eines radioaktiven Präparats (in diesem Fall neutronen-aktiviertes Silber) erhält man durch die Zerfälle pro Zeiteinheit und, was

$$A = \frac{-dN}{dt} \approx \frac{-\Delta N}{\Delta t} \quad (2.3)$$

entspricht.

Diese Näherung wird verwendet, da man in der Praxis des Experiments kein unendlich kleines Zeitintervall wählen kann. Die Lebensdauer τ ist die Zeit, nach der $\frac{1}{e}$ der zu Beginn vorhandenen radioaktiven Kerne noch nicht zerfallen sind. Sie berechnet sich aus dem Kehrwert der Zerfallskonstante λ mit

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.4)$$

Die Halbwertszeit ergibt sich aus dem Zerfallsgesetz (2.2) zu

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \ln(2) \cdot \tau. \quad (2.5)$$

Wenn man zwei radioaktive Zerfälle überlagert, wie es auch in diesem Experiment der Fall ist, gilt

$$\Delta N = (N_{10} e^{-\lambda_1 t} + N_{20} e^{-\lambda_2 t} + \text{Untergrund}) \cdot \Delta t. \quad (2.6)$$

Da die mittleren Lebensdauern in diesem Versuch deutlich unterschiedlich sind, gibt es jeweils Bereiche, in dem einer der Zerfälle deutlich dominiert.

In diesem Versuch werden in einer Neutronenquelle Silberatome durch Einfangen eines Neutrons zu einem radioaktiven Isotop mit einer um eins höheren Massenzahl umgewandelt. Mit diesen beiden Isotopen $^{108}_{47}\text{Ag}$ und $^{110}_{47}\text{Ag}$ ergeben sich verschiedene β^- -Zerfallsmöglichkeiten. Diese sind in Abbildung 1 dargestellt.

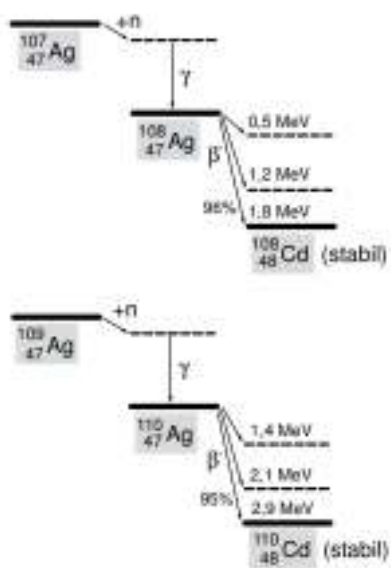


Abbildung 1: Mögliche Zerfallswege der Silberisotope. Bei den β^- -Zerfällen dominieren jeweils die Zerfälle mit der höchsten Energie, [2, S.106]

3 Versuchsaufbau

In einer Neutronenquelle werden Silberbleche mit Neutronen bestrahlt und anschließend in die Messanordnung gegeben. Diese besteht aus einem Hohlzylinder, der aus Blei gefertigt ist, und einem Geiger-Müller-Zählrohr. Die benötigte Spannung wird dabei von einem Hochspannungsnetzgerät geliefert. Die so aufgenommenen Zählimpulse werden an einen Computer weitergeleitet, mit dem durch verschiedene Programme die Daten angezeigt werden können sowie die Messung gesteuert werden kann. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 zu sehen.

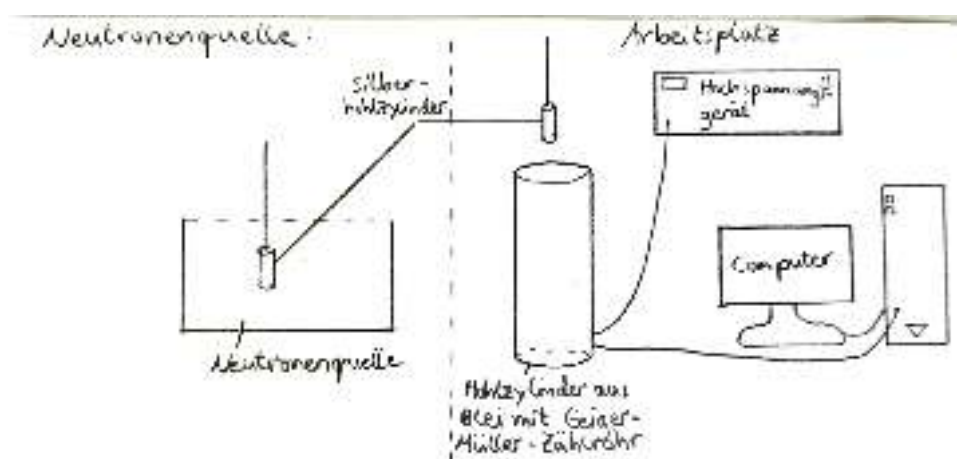


Abbildung 2: Versuchsaufbau mit Hochspannungsgerät, Computer, Bleizylinder mit Geiger-Müller-Zählrohr, Neutronenquelle und Silberhohlzylinder

4 Versuchsdurchführung

Zunächst wird eines der Silberrohre in der Neutronenquelle befestigt, um das Silber zu aktivieren, was etwa zehn Minuten dauert. Anschließend wird direkt mit einer Untergrundmessung begonnen. Es wird das dafür vorgesehene Präparat mit der Kennzeichnung *b* verwendet, das sich zu keiner Zeit der Durchführung in der Neutronenquelle befinden darf. Das Rohr wird in die Zählvorrichtung gegeben. Bei einem Messzeitintervall von $\Delta t = 2\text{s}$ werden ungefähr eine halbe Stunde lang Impulse aufgenommen.

Danach wird die aktivierte Silberprobe verwendet, während die dritte bisher noch ungenutzte Probe zum Aktivieren in die Neutronenquelle gegeben wird. Die beiden Proben, die nicht zur Messung der Untergrundrate verwendet werden und mit *a* und *c* gekennzeichnet sind, werden im Folgenden immer abwechselnd zur Messung der Zerfallskurve verwendet und anschließend zur Aktivierung wieder in die Neutronenquelle gegeben. Für die Zerfallskurve wird nun bei einem Messzeitintervall von $\Delta t = 2\text{s}$ und einem etwas größerem Taktzeitintervall von $\Delta t_{\text{step}} = 2,25\text{s}$ die Zahl der Zerfälle gemessen. Dabei werden 300 Einzelmessungen aufgenommen. Dies wird für die zweite aktivierte Probe wiederholt.

Anschließend wird mit dem nicht aktivierten Präparat erneut eine Untergrundmessung durchgeführt, auf die wieder zwei Messungen der Zerfallskurven mit den aktivierten Proben folgen. Das Ganze wird noch einmal wiederholt und mit einer letzten Untergrundmessung beendet, sodass insgesamt vier Untergrundmessungen und sechs Messungen der Zerfallskurve durchgeführt wurden. Die dazu verwendeten Einstellungen wurden jedes Mal wie beim ersten Durchgang erläutert beibehalten. Nach der zweiten Messung der Zerfallskurven wurde eine kurze Zwischenanalyse mit den bis dahin aufgenommenen Werten durchgeführt. Nach Beendigung der Messungen wurden noch während der Durchführung des Versuchs mit einem Computerprogramm die Werte für das langlebige Isotop ausgewertet und die Lebensdauer τ und die Halbwertszeit $T_{1/2}$ bestimmt.

5 Auswertung

5.1 Mittlerer Untergrund

Die vier Untergrundmessungen werden zur Ermittlung der mittleren Untergrundrate als eine Messung angenommen und deshalb aufsummiert. Die mittlere Zählrate kann demnach über

$$\dot{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad (5.1)$$

mit der Unsicherheit

$$s_{\dot{N}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n N_i}}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad (5.2)$$

bestimmt werden. Dabei bezeichnet n die Anzahl der Messungen des Untergrunds. Letztendlich erhält man für die Zählrate des Untergrunds

$$\dot{N} = (0,588 \pm 0,013) \frac{1}{s}. \quad (5.3)$$

5.2 Auswertung des langlebigen Isotops

Zunächst werden dafür die verschiedenen gemessenen Zerfallskurven mit einem Programm aufsummiert. Die daraus resultierende Kurve ist in Abbildung 3 zu sehen.

Zerfallskurve

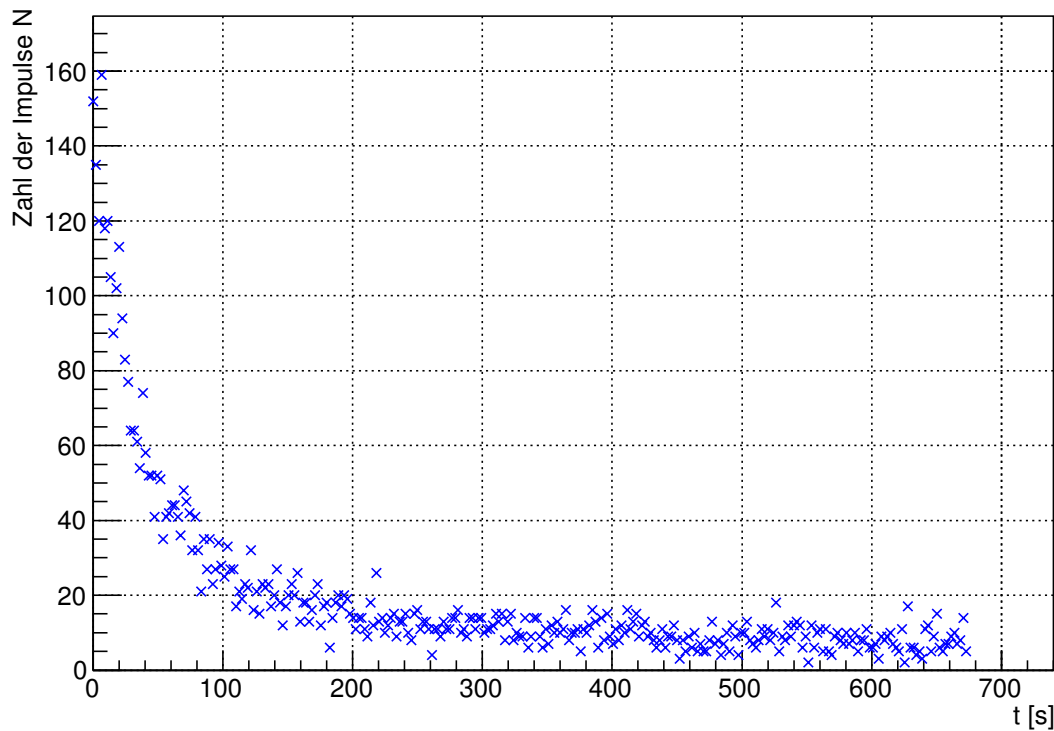


Abbildung 3: Linear aufgetragene, aufsummierte Kurve aller einzelnen Zerfallskurven

Danach wird die neue Kurve mit einem anderen Programm ("CFit") ausgewertet. Dafür musste die Untergrundzählrate und deren Unsicherheit angegeben werden. Sie wurde von dem Programm automatisch abgezogen, um ein konsistentes Ergebnis für das langlebige Isotop zu erhalten. Außerdem wurde für die Auswertung ein Bereich ab 200s angegeben, da dort das kurzlebige Isotop weitestgehend vernachlässigt werden kann. Dieses ist bis dahin schon weitestgehend zerfallen. Dass im hinteren Teil der Zerfall des langlebigen Isotops stark dominiert ist in Abbildung 3 erkennbar. Das Programm berechnet aus diesen Informationen direkt die Lebensdauer und Halbwertszeit des langlebigen Isotops. Wie diese Berechnung abläuft, ist im Anhang erklärt. Die Grafik mit der vom Programm erstellten Ausgleichsgerade ist ebenfalls im Anhang zu finden. Für die Lebensdauer ergibt sich

$$\tau = (170,3 \pm 45,2)\text{s}. \quad (5.4)$$

Die Halbwertszeit gab das Programm mit

$$T_{1/2} = (118 \pm 31)\text{s} \quad (5.5)$$

aus.

5.3 Auswertung des kurzlebigen Isotops

Zunächst wird für die aufsummierten Impulse der $\ln(N)$ über der gemessenen Zeit aufgetragen, zu sehen in Abbildung 4.

Zur Bestimmung der Halbwertszeit des kurzlebigen Isotops werden dabei die vom Computerprogramm ausgegebenen "fast-Werte" verwendet, welche lediglich die gesuchten Zerfälle mit kurzer Halbwertszeit darstellen. Auch für diese wird $\ln(N)$ berechnet und über die Zeit in Abbildung 4 aufgetragen.

Mittels PyROOT wird die Ausgleichsgerade der Zerfälle des kurzlebigen Isotops ermittelt. Man erhält dadurch eine Steigung b von

$$b = (0,030 \pm 0,002) \frac{1}{\text{s}}. \quad (5.6)$$

Die Lebensdauer τ kann dabei über den Kehrwert der Steigung berechnet werden, sodass sich

$$\tau = \frac{1}{b} = 33\text{s} \quad (5.7)$$

ergibt.

Den Fehler darauf erhält man über

$$s_\tau = \frac{s_b}{b^2} = 2\text{s}, \quad (5.8)$$

was zu einer Lebensdauer von

$$\tau = (33 \pm 2)\text{s} \quad (5.9)$$

führt.

Die Halbwertszeit kann dabei über Gleichung 2.5 berechnet werden, sodass diese den Wert

$$T_{1/2} = \tau \cdot \ln(2) = (22,8 \pm 1,6)\text{s} \quad (5.10)$$

hat. Der Fehler ergibt sich dabei über

$$s_{T_{1/2}} = 1,6\text{s}. \quad (5.11)$$

logarithmierte Zerfallskurve

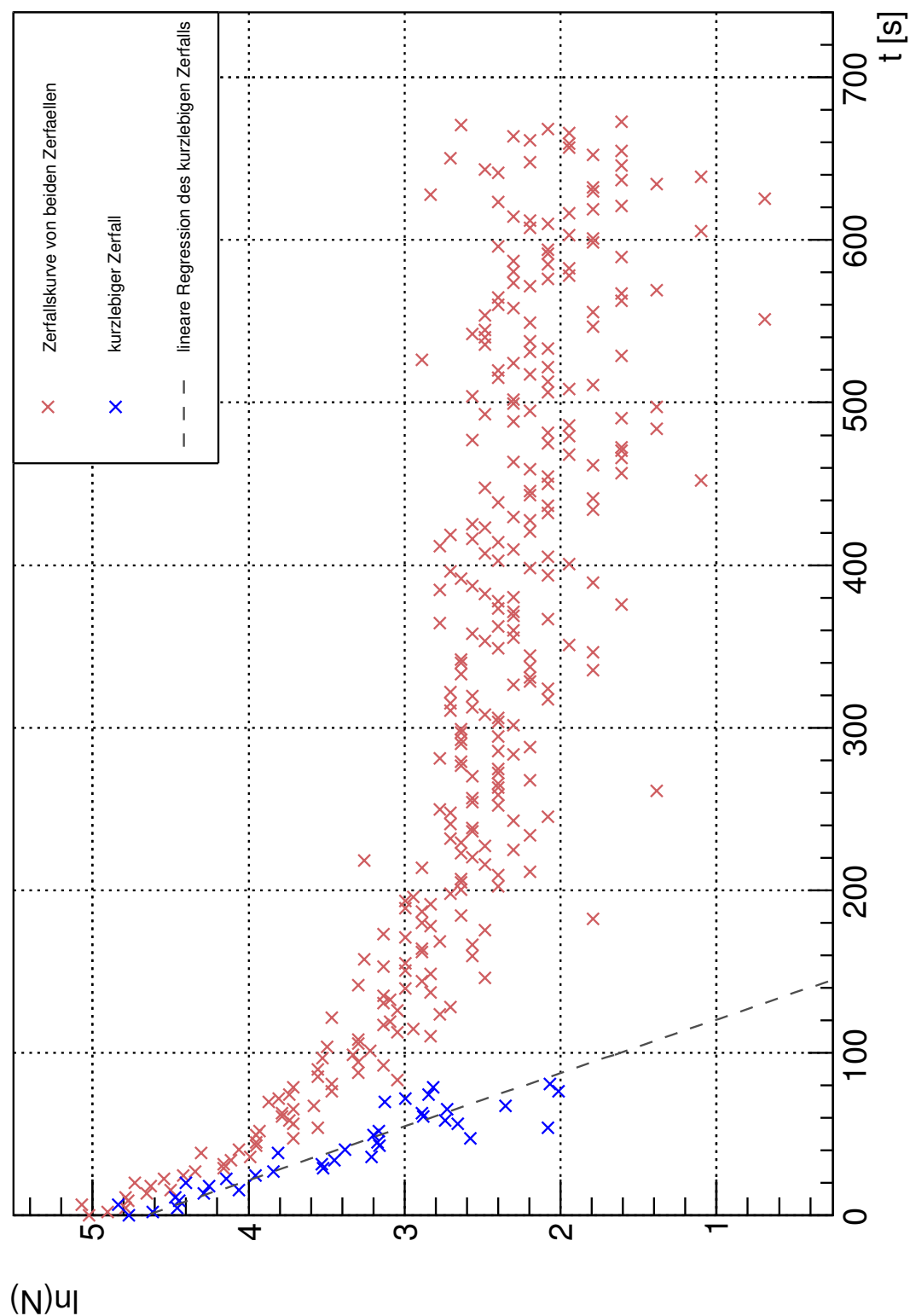


Abbildung 4: Logarithmische Darstellung der Zerfallskurve mit Ausgleichsgerade des Zerfalls mit kurzer Halbwertszeit. Die lineare Regression des kurzlebigen Zerfalls ist dabei in blau zu sehen, die kompletten Messwerte beider Zerfälle sind in rot eingezeichnet

6 Zusammenfassung und Diskussion

Die Untergrundzählrate ergibt sich insgesamt zu

$$\dot{N} = (0,588 \pm 0,013) \frac{1}{s}. \quad (6.1)$$

Für das langlebige Isotop ergibt sich eine Lebensdauer von

$$\tau = (170,3 \pm 45,2)s. \quad (6.2)$$

Sie stimmt innerhalb des einfachen Fehlerbereichs mit dem Literaturwert von $\tau = 151s$ [Isolang] überein. Für die Halbwertszeit erhält man

$$T_{1/2} = (118 \pm 31)s. \quad (6.3)$$

Dieser Wert liegt ebenfalls innerhalb 1σ -Umgebung zum Literaturwert $T_{1/2} = 142,2s$ [Isolang]. Allerdings sind die Unsicherheiten der erhaltenen Messwerte sehr groß, was darauf hindeutet, dass die Bestimmung durch das Programm relativ ungenau ist.

Schon nach den ersten beiden Messungen der Zerfallskurven wurde eine Zwischenanalyse durchgeführt. Dabei konnte kein sinnvoller Wert für das langlebige Isotop erreicht werden, woraus man schließen konnte, dass mehr Messungen und Messpunkte nötig sind, um einen konsistenten Wert für Halbwertszeit und Periodendauer zu erreichen.

Für das kurzlebige Isotop erhält man eine Lebensdauer von

$$\tau = (33 \pm 2)s. \quad (6.4)$$

Diese stimmt mit dem Literaturwert von $\tau = 35,49s$ [Isokurz] innerhalb einer 2σ -Umgebung überein.

Die Halbwertszeit ergibt sich zu

$$T_{1/2} = (22,8 \pm 1,6)s. \quad (6.5)$$

Damit liegt der Wert innerhalb einer 2σ -Umgebung zum Literaturwert von $T_{1/2} = 24,6s$.

Die passenden Werte für die Lebensdauern und die Halbwertszeiten bestätigen, dass die Annahme eines dominierenden langlebigen Zerfalls nach 200s und eines dominierenden kurzlebigen Zerfalls zu Beginn der Messung durchaus sinnvoll ist. Dies wird auch in Abbildung 4 deutlich ersichtlich, da erkennbar ist, dass es zwei verschiedene Steigungen gibt, eine steilere gleich zu Beginn und eine flachere, die nach einiger Zeit deutlich auftritt.

7 Literatur

- [1] *Versuch 80: Bestimmung der spezifischen Elektronenladung e/m ; Physiklabor für Anfänger*innen Teil 2, Teil A.*
- [2] *Versuch 80: Bestimmung der spezifischen Elektronenladung e/m ; Physiklabor für Anfänger*innen Teil 2, Teil B.*
- [Isolang] "*Das Periodensystem der Elemente online*", year = "2018", url = "<http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=47&mz=108&nrg=0&show=nuklid&sel=>", note = "[Online; Stand 26. März 2018]"
- [Isokurz] "*Das Periodensystem der Elemente online*", year = "2018", url = "<http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=47&mz=110&nrg=0&show=nuklid&sel=>", note = "[Online; Stand 26. März 2018]"

8 Anhang

Berechnung der Lebensdauer und der Halbwertszeit des langlebigen Isotops

Ab dem Punkt an dem der Computer die Auswertung beginnt (in diesem Fall 200s), unterteilt er die Kurve in zwei Integrale der Breite Δt_I . Dabei wird das Integral verwendet, um möglichst geringe relative Fehler zu erhalten. Das Verhältnis der beiden Intervalle I_i ergibt sich zu

$$\frac{I_2}{I_1} = \exp(-\lambda \Delta t_I). \quad (8.1)$$

Durch Umformungen erhält man für die Lebensdauer

$$\tau = \frac{\Delta t_I}{\ln(I_1) - \ln(I_2)} = \frac{\Delta t_I}{\ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right)} \quad (8.2)$$

und für die Halbwertszeit

$$T_{1/2} = \frac{\Delta t_I}{\ln(I_1) - \ln(I_2)} \cdot \ln(2) = \frac{\Delta t_I}{\ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right)} \cdot \ln(2). \quad (8.3)$$

Versuch 58

26.09.2016

angestellte Spannung: $U = 59,1 \text{ V}$ 1. Untergrundmessung $\Delta t = 25$, Intervalle: 585

Zeit: 7982,055

Daten: Untergrund 1

Messung Zeitfalsche① $\Delta t = 25$, $\Delta t_{\text{stop}} = 2,255$, Zeit: 672,75Anzahl von Einzelmessungen: 300 (Intervalle)
Daten: Zeitfalsche 1② $\Delta t = 25$, $\Delta t_{\text{stop}} = 2,255$

Anzahl Einzelmessungen: 300 (Intervalle)

Zeit: 672,75

Daten: Zeitfalsche 2

2. Untergrundmessung $\Delta t = 25$, Intervalle: 158

Zeit: 3191,062

Daten: Untergrund 2

Messung Zeitfalsche③ $\Delta t = 25$, $\Delta t_{\text{stop}} = 2,255$, Zeit: 672,75

Anzahl von Einzelmessungen: 300 (Intervalle)

Daten: Zeitfalsche 3

④ $\Delta t = 25$, $\Delta t_{\text{stop}} = 2,255$, Zeit: 672,75

Anzahl Einzelmessungen: 300

Daten: Zeitfalsche 4

3. Untergrundmessung $\Delta t = 25$, Intervalle: 158, Zeit: 3191,062

Daten: Untergrund 3

Messung Zerfallskurve⑤ $\Delta t = 25$ $\Delta t_{\text{step}} = 2,25\text{ s}$ Zeit: 672,75 s

Intervalle: 300

Daten: Zerfallskurve 5

⑥ $\Delta t = 25$, $\Delta t_{\text{step}} = 2,25\text{ s}$ Zeit: 672,75 s

Intervalle: 300

Daten: Zerfallskurve 6

4. Untergrundmessung ~~Δt~~ $\Delta t = 25$ Intervalle: 201

Zeit: 904,46 s

Daten: Untergrund 4

Auswertung langlebiger Isotop:

$$\tau = (170,3 \pm 45,2) \text{ s}$$

$$T_{1/2} = (118 \pm 31) \text{ s}$$

Untergrund gesamt:

$$\lambda = (0,588 \pm 0,014) \frac{1}{\text{s}}$$

VT M. Teil 2.