

V 702

Aktivierung mit Neutronen

Felix Symma

felix.symma@tu-dortmund.de

Joel Koch

joel.koch@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.06.2022

Abgabe: 21.06.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Kernreaktionen mit Neutronen	3
2.2	Erzeugung niederenergetischer Neutronen	4
2.3	Untersuchung des Zerfalls instabiler Isotope	4
3	Durchführung	5
4	Auswertung	6
4.1	Nulleffekt	6
4.2	Halbwertszeit von Vanadium	6
4.3	Halbwertszeit von Silber	8
4.3.1	Halbwertszeit von ^{108}Ag	10
4.3.2	Halbwertszeit von ^{110}Ag	11
5	Diskussion	11

1 Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist es, Isotope von Vanadium und Silber zu untersuchen und ihre Halbwertszeit zu bestimmen.

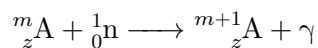
2 Theorie

Ein Atomkern ist nur dann stabil, wenn seine Neutronenzahl, je nach Nuklid, 20 bis 50% höher ist, als seine Protonenzahl. Ein Atomkern, der außerhalb dieses Stabilitätsbereiches liegt, zerfällt dabei in verschiedene Zerfallsprodukte. Bei diesen Zerfallsprodukten handelt es sich wiederum um Atomkerne, die stabil oder instabil sein können, aber auch um Teilchen wie Neutronen.

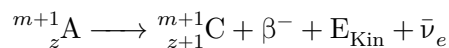
Wann genau ein instabiler Atomkern zerfallen wird, ist unmöglich zu sagen. Es kann für ein bestimmtes Isotop lediglich eine Halbwertszeit angegeben werden. Sie gibt dabei die Zeit an, in der die Hälfte einer bestimmten Menge Atomkerne des selben Isotops zerfallen sein wird. Die Halbwertszeit variiert zwischen unterschiedlichen Atomkernen um bis zu 23 Größenordnungen.

2.1 Kernreaktionen mit Neutronen

Da die Halbwertszeit von einigen Atomkernen sehr gering ist, müssen diese erst kurz vor Beginn der Messung der Halbwertszeit hergestellt werden. Um aus stabilen Kernen instabile zu machen, müssen diese mit Neutronen beschossen werden. Der beschossene Kern nimmt dabei die kinetische Energie des Neutrons auf und verteilt diese auf seine Nukleonen, was ihn in einen angeregten Zustand versetzt. Um aus dem angeregten Zustand in seinen Grundzustand zurückzukehren, emittiert der Kern ein γ -Quant.



Aufgrund des zusätzlichen Neutrons ist der neue Atomkern allerdings meistens instabil. Er zerfällt deshalb unter Emission eines Elektrons und eines Antineutrinos in einen stabilen Kern. Die kinetische Energie, die sich Elektron und Antineutrino aufteilen, kommt dabei aus der Massendifferenz zwischen dem instabilen Kern und den Zerfallsprodukten.



Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein stabiler Atomkern ein Neutron aufnimmt, ist vom Wirkungsquerschnitt σ abhängig. Dieser gibt hierbei die Fläche an, die ein Kern besitzen müsste, wenn jedes diese Fläche treffende Neutron eingefangen werden würde. Er wird in $10^{-24} \text{ cm}^2 := 1 \text{ barn}$ angegeben und ist durch

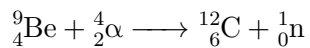
$$\sigma = \frac{u}{nKd} \quad (1)$$

definiert. Dabei ist d die Dicke, K die Anzahl der Atome pro cm^3 , n die Anzahl der Neutronen pro Sekunde und u die Anzahl der Einfänge. Der Wirkungsquerschnitt für

den Neutroneneinfang ist zudem stark abhängig von der Geschwindigkeit der Neutronen und somit dessen kinetischer Energie.

2.2 Erzeugung niederenergetischer Neutronen

Da Neutronen alleine eine mittlere Lebensdauer von 15 min haben, müssen weitere Kernreaktionen verwendet werden, um vor dem Anregen freie Neutronen zu erhalten. Für diesen Versuch wird die Reaktion



verwendet. Die somit gewonnenen Elektronen sind jedoch hochenergetisch, was das Eindringen in einen stabilen Kern erschwert. Um die Neutronen abzubremsen, wird die in Abbildung 1 zu sehende Apparatur verwendet.

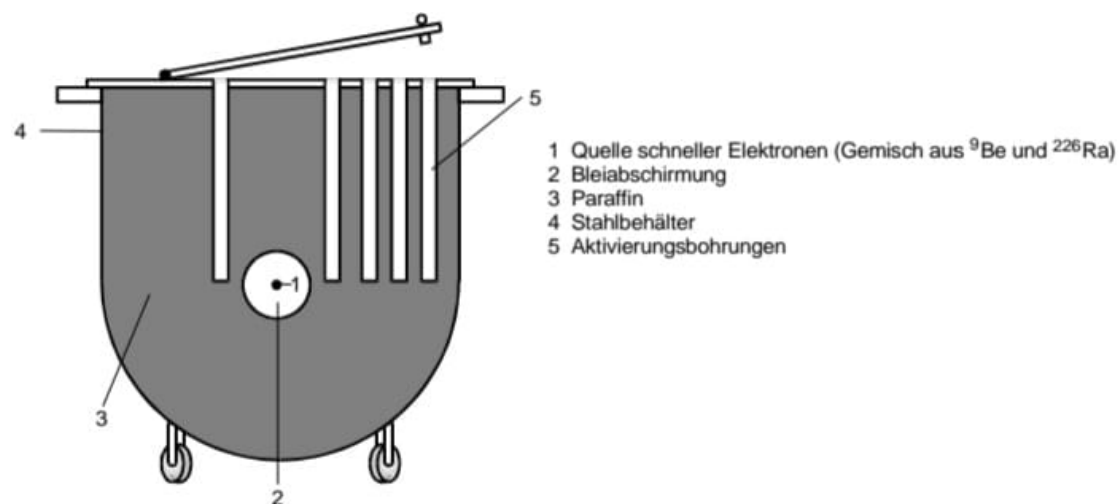


Abbildung 1: Querschnitt der verwendeten Quelle für thermische Neutronen.

In dieser werden die Neutronen durch eine Schicht Paraffin geleitet, bevor sie die anzureichende Probe erreichen. Durch elastische Stöße mit dem Paraffin verlieren die Neutronen schließlich so viel ihrer Energie, dass diese der mittleren Energie der Moleküle der Umgebung entspricht. Man bezeichnet diese Neutronen dann als thermische Neutronen.

2.3 Untersuchung des Zerfalls instabiler Isotope

Die Zahl $N(t)$ der zum Zeitpunkt t noch vorhandenen Kerne ist durch

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

gegeben, wobei N_0 die Zahl der ursprünglich vorhandenen Kerne und λ die Zerfallskonstante, die die Wahrscheinlichkeit für einen Zerfall angibt, ist. Die bereits erwähnte

Halbwertszeit, die angibt, nach welcher Zeit die Hälfte aller ursprünglich vorhandenen Kerne zerfallen ist, ist somit auch gegeben als

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (3)$$

Durch das Messen von $N(t)$ können also T und λ bestimmt werden. Da es jedoch äußerst schwierig ist $N(t)$ direkt zu messen, wird stattdessen die Anzahl an Zerfällen $N_{\Delta t}(t)$ in einem Zeitintervall Δt gemessen. Die Größe ist somit definiert durch

$$N_{\Delta t}(t) = N(t) - N(t + \Delta t).$$

Dieser Ausdruck lässt sich auch schreiben als

$$\ln N_{\Delta t}(t) = \ln N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t}) - \lambda t, \quad (4)$$

woran zu erkennen ist, dass mit Hilfe von Gleichung (4) und einer Ausgleichsrechnung λ bestimmt werden kann.

3 Durchführung

Für den Versuch wird der in Abbildung 2 dargestellte Aufbau verwendet. Die Proben werden in einem, in Abbildung 1 zu sehenden, Gefäß aktiviert und aufbewahrt.

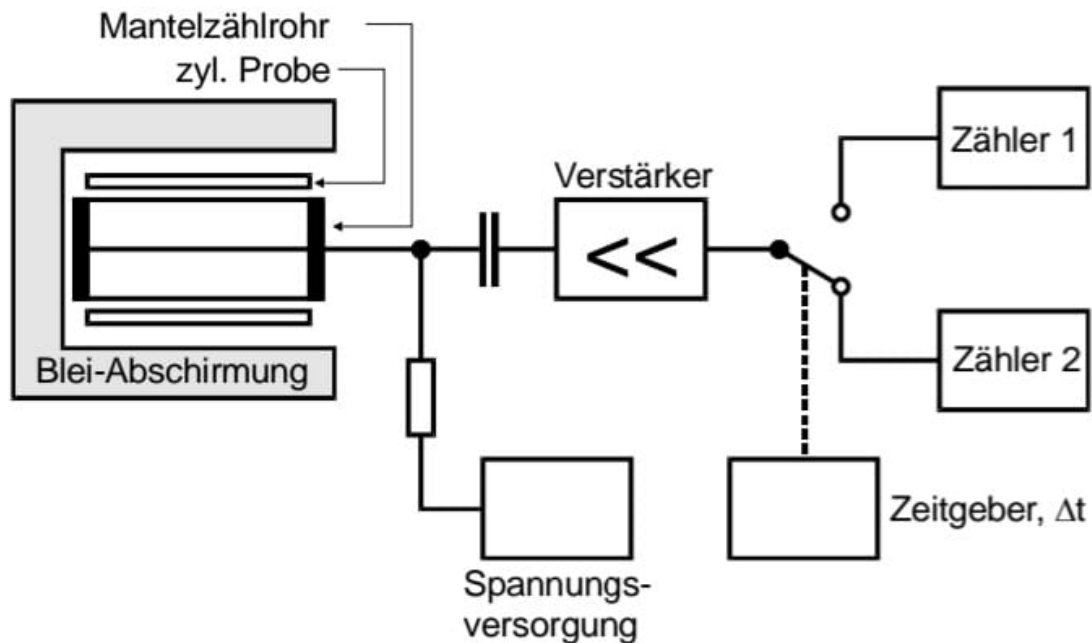


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.

Bevor die eigentlichen Messungen starten, muss zunächst eine Messreihe ohne Probe durchgeführt werden. Sie ist zur Bestimmung des Nulleffekts, also den Einflüssen der natürlichen radioaktiven Strahlung, notwendig. Zur Bestimmung wird also eine relativ lange Messung von $t = 600\text{ s}$ durchgeführt. Die gemessene Anzahl an Impulsen kann dann für spätere Messungen auf kürzere Intervalle runtergerechnet und abgezogen werden, um die von den Proben ausgehende radioaktive Strahlung möglichst zu isolieren.

Für die erste Messreihe soll die Halbwertszeit von Vanadium untersucht werden. Das empfohlene Messintervall für Vanadium ist als 30 s gegeben. Die empfohlene Messzeit insgesamt als 15 min. Es werden also 30 Messungen durchgeführt, die jeweils 30 s lang sind.

Bei der zweiten Messreihe sollte wiederum die Halbwertszeit von Silber untersucht werden. Für Silber ist das empfohlene Messintervall 8 s und die empfohlene Messzeit insgesamt 7 min. Mit der Silberprobe wurden also insgesamt 53 Messungen mit je 8 s Messzeit durchgeführt.

4 Auswertung

4.1 Nulleffekt

Bevor die eigentliche Messung starten kann, müssen zunächst die potentiellen Einflüsse des Nulleffekts bestimmt werden. Hierfür wird eine Messung ohne eine Probe durchgeführt. Um statistische Schwankungen möglichst auszuklammern, wird eine vergleichsweise hohe Messzeit von $t = 600\text{ s}$ angesetzt. Die Messung ergibt eine Zählrate von $N = 182$. Es werden deswegen sämtliche Messwerte der Zählrate bei der ersten Messung um 9 und bei der zweiten Messung um 2 reduziert.

4.2 Halbwertszeit von Vanadium

Mit der ersten Messreihe soll die Halbwertszeit von Vanadium bestimmt werden. Die hierfür gemessenen Werte sind zusammen mit ihren \sqrt{N} -Fehlern in Tabelle 1 aufgeführt. Dabei wurden die Korrekturen des Nulleffekts bereits berücksichtigt.

Messzeit t/s	Zählrate N
30	167 ± 13
60	148 ± 12
90	148 ± 12
120	136 ± 12
150	128 ± 11
180	109 ± 10
210	75 ± 9
240	96 ± 10
270	85 ± 9
300	73 ± 9
330	70 ± 8
360	58 ± 8
390	72 ± 8
420	52 ± 7
450	51 ± 7
480	56 ± 7
510	40 ± 6
540	41 ± 6
570	34 ± 6
600	40 ± 6
630	29 ± 5
660	42 ± 6
690	19 ± 4
720	15 ± 4
750	15 ± 4
780	22 ± 5
810	13 ± 4
840	28 ± 5
870	20 ± 4
900	13 ± 4

Tabelle 1: Messwerte der Zählrate für Vanadium.

Zur Bestimmung der Halbwertszeit wird die Zählrate halblogarithmisch gegen die Zeit aufgetragen und eine Ausgleichsgerade eingezeichnet. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

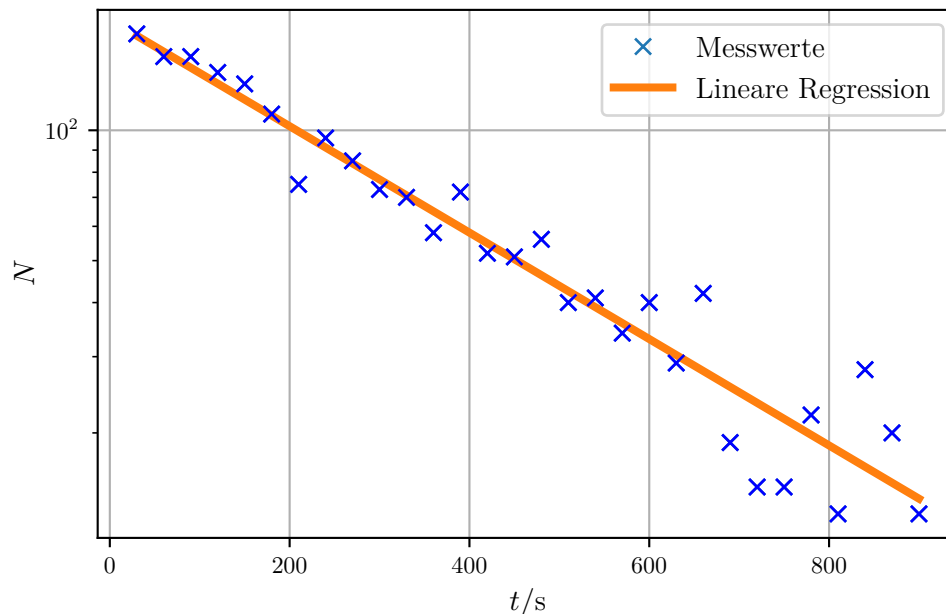


Abbildung 3: Messwerte und lineare Regression für Vanadium.

Mit Hilfe von Scipy wurde eine Ausgleichsrechnung durchgeführt. Diese liefert zusammen mit Gleichung (2) die Werte

$$\lambda = (-2,830 \pm 0,151) \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$$

$$\ln(N_0) = 5,193 \pm 0,0804.$$

Es kann anschließend über Gleichung (3) die Halbwertszeit T zu

$$T = (245 \pm 13)s$$

bestimmt werden.

4.3 Halbwertszeit von Silber

Im zweiten Teil der Messung soll nun die Halbwertszeit von Silber bestimmt werden. Die hierfür gemessenen Werte sind zusammen mit ihren \sqrt{N} -Fehlern in Tabelle 2 aufgeführt. Es sind erneut die Korrekturen bezüglich des Nulleffekts bereits berücksichtigt.

Messzeit t/s	Zählrate N
8	134 ± 12
16	95 ± 10
24	118 ± 11
32	91 ± 10
40	75 ± 9
48	67 ± 8
56	58 ± 8
64	48 ± 7
72	32 ± 6
80	28 ± 5
88	21 ± 5
96	33 ± 6
104	27 ± 5
112	29 ± 5
120	19 ± 4
128	18 ± 4
136	17 ± 4
144	25 ± 5
152	13 ± 4
160	20 ± 4
168	11 ± 3
176	10 ± 3
184	15 ± 4
192	14 ± 4
200	5 ± 2
208	11 ± 3
216	20 ± 4
224	12 ± 3
232	6 ± 2
240	12 ± 3
248	19 ± 4
256	5 ± 2
264	15 ± 4
272	4 ± 2
280	3 ± 2
288	4 ± 2
296	12 ± 3
304	9 ± 3
312	5 ± 2
320	6 ± 2
328	10 ± 3
336	5 ± 2
344	8 ± 3
352	12 ± 3
360	5 ± 2
368	9 5 ± 2
376	2 ± 1
384	1 ± 1
392	9 ± 3
400	8 ± 3
408	6 ± 2
416	7 ± 3
424	4 ± 2

Tabelle 2: Messwerte der Zählrate für Silber.

Da Silber natürlicherweise zu 52,3% in Form des Isotops ^{108}Ag und zu 47,7% in Form von ^{110}Ag vorkommt, muss für beide Isotope separat die Halbwertszeit bestimmt werden. Um die beiden Zerfälle zu trennen, wurden die Messwerte an der Stelle $t = 96\text{ s}$ in zwei Bereiche aufgeteilt. Auf der linken Seite sind beide Zerfälle vorhanden, auf der rechten dann nur noch der langlebige Zerfall von ^{108}Ag . Die Messwerte sind graphisch in Abbildung 4 aufgetragen.

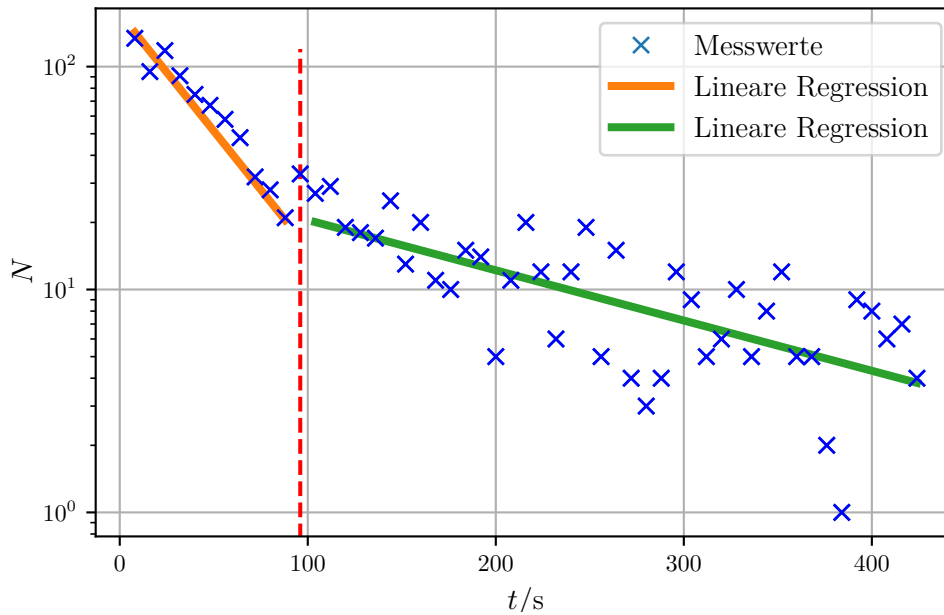


Abbildung 4: Messwerte und lineare Regression für Silber.

4.3.1 Halbwertszeit von ^{108}Ag

Zur Bestimmung der Halbwertszeit von ^{108}Ag kann, wie im ersten Teil des Versuches, eine einfache Ausgleichsrechnung durchgeführt werden. Zusammen mit Gleichung (2) kann dann λ_{108} bestimmt werden. Die Berechnungen liefern die Werte

$$\lambda_{108} = (-5,190 \pm 0,883) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}}$$

$$\ln(N_0)_{108} = 3,539 \pm 0,248.$$

Anschließend kann über Gleichung (3) die Halbwertszeit T zu

$$T_{108} = (134 \pm 23)\text{s}$$

bestimmt werden.

4.3.2 Halbwertszeit von ^{110}Ag

Da der Zerfall von ^{110}Ag schneller passiert, als der von ^{108}Ag , muss die theoretische Zählrate des langsamen Zerfalls von der gesamten Zählrate subtrahiert werden.

Die resultierende Zählrate kann so erneut über eine Ausgleichsrechnung und Gleichung (4) bestimmt werden.

Die korrigierten Werte für die lineare Regression ergeben sich aus

$$\begin{aligned} N_{110}(t) &= N_{\text{Ges}}(t) - N_{108}(t) \\ &= N_{\text{Ges}}(t) - e^{-mt+b} \end{aligned}$$

Aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung ergibt sich

$$\begin{aligned} \Delta N_{110}(t) &= \sqrt{\left(\frac{\partial N_{110}}{\partial N_{\text{Ges}}}\right)^2 (\Delta N_{\text{Ges}})^2 + \left(\frac{\partial N_{110}}{\partial m}\right)^2 (\Delta m)^2 + \left(\frac{\partial N_{110}}{\partial b}\right)^2 (\Delta b)^2} \\ \Delta N_{110}(t) &= \sqrt{(\Delta N_{\text{Ges}})^2 + (te^{-mt+b})^2 (\Delta m)^2 + (e^{-mt+b})^2 (\Delta b)^2}. \end{aligned}$$

Die Berechnungen resultieren in den Werten

$$\begin{aligned} \lambda_{110} &= (-24,2487 \pm 1,982) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}} \\ \ln(N_0)_{110} &= 5,153 \pm 0,108. \end{aligned}$$

Es kann anschließend über Gleichung (3) die Halbwertszeit T zu

$$T_{110} = (28,6 \pm 2,3)\text{s}$$

bestimmt werden.

5 Diskussion

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Messergebnisse sehr zufriedenstellend sind. Zunächst sollte die Halbwertszeit von Vanadium berechnet werden. Diese wurde als $(245 \pm 13)\text{s}$ bestimmt. Bei einem Literaturwert von $224,6\text{s}$ entspricht das einer Abweichung von $8,33\%$

Die Bestimmung der Halbwertszeit von ^{108}Ag resultierte in einem Ergebnis von $(134 \pm 23)\text{s}$. Dies entspricht einer Abweichung von $6,12\%$ vom Literaturwert von $142,2\text{s}$.

Die größte Abweichung ergab sich bei der Bestimmung von ^{110}Ag . Die gemessene und berechnete Halbwertszeit beläuft sich auf $(28,6 \pm 2,3)\text{s}$, der Literaturwert beträgt hingegen $24,6\text{s}$. Dies entspricht einer Abweichung von $16,26\%$

Die wohl größte Fehlerquelle bei diesem Versuch ist die Zeit, die gebraucht wird, um

die Probe aus dem Aktivierungs-Gefäß in das Zählrohr zu befördern. Da es sich um Isotope mit sehr kurzer Halbwertszeit handelt, sind die ersten Sekunden, nach dem Rausnehmen aus der Quelle, für die Messung am wichtigsten. Genau diese Zeit konnte bei der durchgeführten Messung nicht effektiv genutzt werden, da es zu lange dauerte, die Probe in Position zu bringen. Dies erklärt auch, warum die Abweichung bei den Silberproben höher waren.