

Versuch V702

Aktivierung mit Neutronen

Richard Leven	Joell D. Jones
richard.leven@udo.edu	joell-david.jones@udo.edu

Abgabe: 24.07.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	5
4	Auswertung	6
4.1	Berechnung des Nulleffekts	6
4.2	Halbwertszeit von Vanadium	6
4.3	Halbwertszeit von Rhodium	7
5	Diskussion	10
5.1	Halbwertszeit von Vanadium	10
5.2	Halbwertszeiten von Rhodium	10
	Literatur	11

1 Ziel

In diesem Versuch ist es das Ziel, die Halbwertszeiten diverser Elemente zu bestimmen.

2 Theorie

Trifft ein Neutron auf einen Atomkern, so erhöht sich dessen Energie um die Bindungsenergie zwischen Neutron und Kern und zusätzlich um die kinetische Energie vom Ersteren. Dadurch können die Energiezustände der Nukleonen im Atomkern verändert werden, weil sie diese Energie in diskreten Massen absorbieren. So kommt folgende Reaktionsgleichung zustande:



wobei A^* der Kern im angeregten Zustand ist, m die Massenzahl, z die Ordnungszahl, n das Neutron und γ ein freigesetztes Neutrino ist.

Da der Kern mit der erhöhten Massenzahl allerdings nicht stabil ist, emittiert es zusätzlich noch ein Elektron auf Kosten seiner Ordnungszahl, die sich dann um eins erhöht.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Einfangen eines Neutrons überhaupt geschieht, heißt Wirkungsquerschnitt σ . Diese lässt sich wie folgt berechnen:

$$\sigma = \frac{u}{nKd}. \quad (2)$$

u ist hierbei die Anzahl der Einfänge, n die Anzahl der Neutronen, d die Dicke der Folie, die zum Einfangen der Neutronen benutzt wurde und K die Anzahl der Atome pro Volumeneinheit.

Resonanzabsorption tritt auf, wenn die Energie eines einfallenden Neutrons gleich der Differenz zwischen zwei Energieniveaus des Kerns ist, was anhand des Wirkungsquerschnitts und sein Maximum ersichtlich wird. Diese lautet hierbei

$$\sigma(E) = \sigma_0 \sqrt{\frac{E_{r,i}}{E}} \frac{C}{(E - E_{r,i})^2 + C}, \quad (3)$$

wobei C und σ_0 charakteristische Konstanten der Kernreaktionen sind.

Die Neutronen, die eine niedrige Energie haben, können durch Alphaerfälle erzeugt werden. Bei elastischen Stößen an Kernen wird folgende Energie übertragen:

$$E = E_0 \frac{4Mm}{(M + m)^2}, \quad (4)$$

wobei m und M die Massen des Neutrons und des Atomkerns sind.

Das Zerfallsgesetz lautet hierbei:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (5)$$

N ist hier die Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne, λ die Zerfallskonstante und t die vergangene Zeit. Die Halbwertszeit ist der Zeitpunkt, zu der nur noch die Hälfte der noch nicht zerfallenen Kerne bestehen geblieben sind. Daher lautet $T_{\frac{1}{2}}$ immer:

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (6)$$

$N(t)$ erweist sich als schwierig zu messen, weshalb stattdessen die Anzahl der zerfallenen Kerne in einem festen Zeitintervall Δt gemessen und daraus ein $N_{\Delta t}(t)$ ermittelt wird. Diese ist dann definiert als

$$N_{\Delta t}(t) = N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t})e^{-\lambda t}. \quad (7)$$

Dabei sollte das Zeitintervall für die Messungen nicht zu klein oder zu groß sein, um gravierende Fehler zu vermeiden. Bei Silber und Rhodium treten allerdings Probleme auf: Das Isotop des Rhodium zerfällt mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten in zwei verschiedenen Isotopen. Sie haben auch unterschiedliche Halbwertszeiten. Beide Aktivitäten, welche als Ableitung von $N(t)$ definiert sind, müssen für die Gesamtaktivität addiert werden.

Dasselbe geschieht bei Silber.

Die Ermittlung der einzelnen Aktivitäten erfolgt mithilfe von Ausgleichsgeraden, deren Zerfallskonstanten unterschiedlich sind:

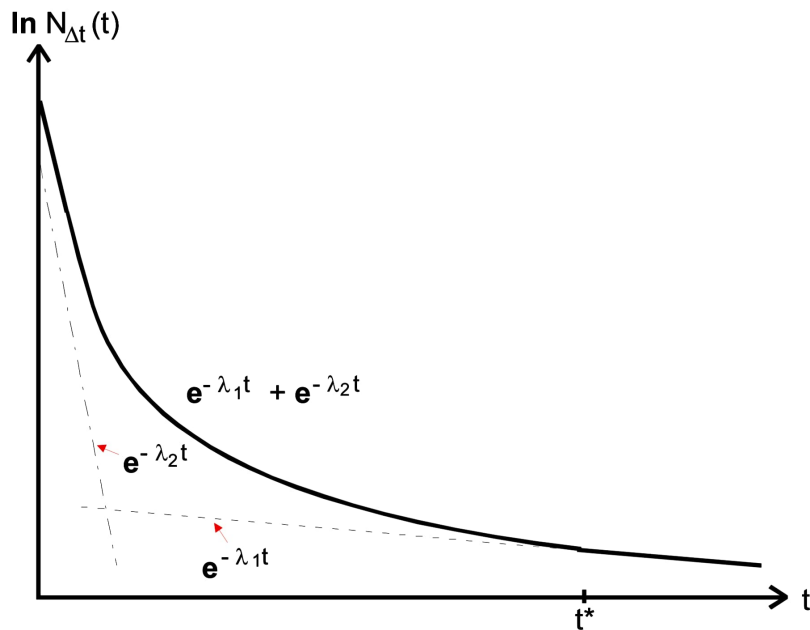


Abbildung 1: Hier zu sehen ist eine Skizze, welche das Vorgehen zur Bestimmung beider einzelnen Zerfälle beschreibt. Hierbei ist anzumerken, dass die Differenz der einzelnen Zerfallskonstanten sehr groß sein muss. In diesem Fall gilt $\lambda_2 \ll \lambda_1$.

3 Durchführung

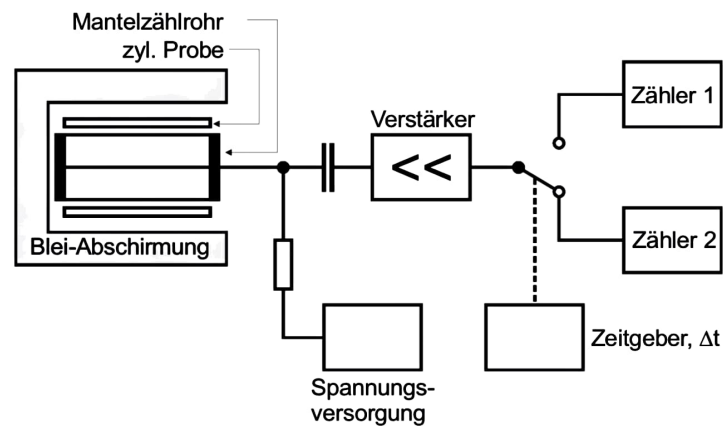


Abbildung 2: Hier zu sehen ist eine Skizze zum Aufbau des Versuchs.

Zunächst wird die Untergrundrate bestimmt. Da das Zählrohr auch ohne radioaktive Probe eine Zählrate registriert, muss dieser vorerst gemessen werden, um den Nulleffekt in die Berechnung einkalkulieren zu können. Es wird dabei die gemessene Zählrate von der Zählrate einer radioaktiven Probe subtrahiert, um nur letztere zu erhalten. Hier wird für das Zeitintervall der Messung 300 Sekunden gewählt, um dem wahren Wert N_U so nahe wie möglich zu kommen.

Danach wird die Halbwertszeit von Vanadium bestimmt. Für das Messintervall wird $\Delta t = 30$ Sekunden gewählt. Die Vanadiumprobe wird, nach dem Entnehmen aus der Neutronenquelle, in das Geiger-Müller-Zählrohr eingeführt und die Messung gestartet. Das Prozedere wird für die Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium wiederholt, wobei $\Delta t = 15$ Sekunden gewählt wird.

4 Auswertung

4.1 Berechnung des Nulleffekts

Es wurden sieben Messungen des Nulleffekts durchgeführt.

Tabelle 1: Messdaten des Nulleffekts.

$$N_0 \mid 129 \mid 143 \mid 144 \mid 136 \mid 139 \mid 126 \mid 158$$

Aus diesen Werten ergibt sich ein Durchschnitt von $\bar{N}_0 = 139 \pm 11$. Die Unsicherheiten werden gemäß der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung berechnet. Der Mittelwert der Messungen lässt sich mit

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N v_j \quad (8)$$

berechnen und die Unsicherheiten dementsprechend mit

$$\Delta v = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{j=1}^N (v_j - \bar{v})^2}. \quad (9)$$

v_j sind dabei die einzelnen Messungen und N die Anzahl der Messungen.

Falls Unsicherheiten auftreten, so wird die Gauß'sche Fehlerformel benutzt, um die resultierende Unsicherheit zu berechnen:

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 (\Delta x_i)^2} \quad (10)$$

4.2 Halbwertszeit von Vanadium

Um doppelte Fehler zu den Messwerten zu vermeiden, wird der Nulleffekt auf $N_0 = 139$ approximiert.

Es muss beachtet werden, dass die Impulse in Zeitintervallen von $t = 30$ s gemessen wurden, der Nulleffekt jedoch bei $t = 300$ s. Dies bedeutet, dass bevor der Nulleffekt abgezogen wird, dieser noch durch 10 geteilt werden muss.

Die Fehlerverteilung ist Poisson-verteilt, sodass in Abbildung 3 die Impulse pro Sekunde gegen die Zeit aufgetragen sind.

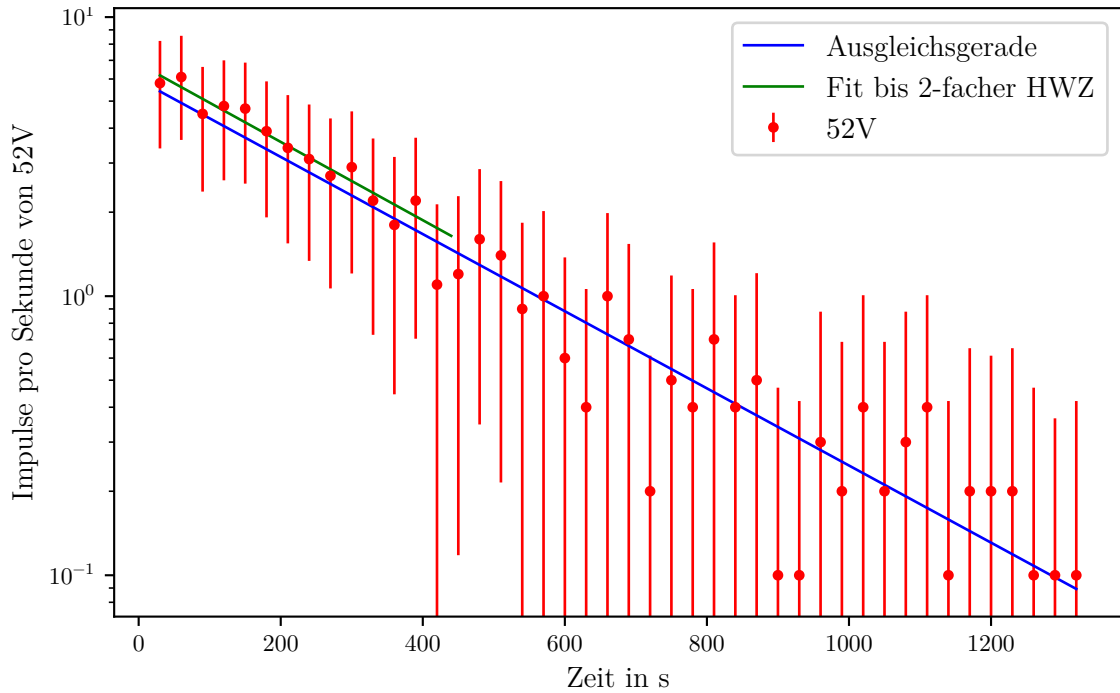


Abbildung 3: Impulse pro Sekunde von Vanadium in Abhängigkeit von der Zeit.

In Abbildung 3 sind zwei Ausgleichsgeraden eingezeichnet. Die rote Ausgleichsgerade ist ein Fit über alle Messwerte und deswegen ungenau, da besonders bei niedrigen Messwerten der Nulleffekt für eine große Ungenauigkeit sorgt, wie im Plot zu sehen ist. Deswegen wurde eine zweite Ausgleichsgerade eingefügt, die lediglich den Bereich bis zur doppelten Halbwertszeit abdeckt.

Die Berechnung der Halbwertszeit erfolgt nach Gleichung 6 und Gleichung 10, wobei die Zerfallskonstante λ dem Betrag der Steigung der Ausgleichsgerade entspricht.

Die Halbwertszeit über alle Messwerte beträgt:

$$T_{1/2}^{all} = 218 \pm 12\text{s}$$

Sobald nur der Bereich bis ca. 440s betrachtet wird, ändert sich die Halbwertszeit geringfügig:

$$T_{1/2}^{cut} = 215 \pm 16\text{s}$$

4.3 Halbwertszeit von Rhodium

Zur Bestimmung der verschiedenen Halbwertszeiten von ^{104}Rh wird zunächst wie auch bei Vanadium der Nulleffekt von den Messwerten abgezogen. Es werden wieder die Impulse pro Sekunde betrachtet.

In Abbildung 4 sind die Messdaten halblogarithmisch aufgetragen.

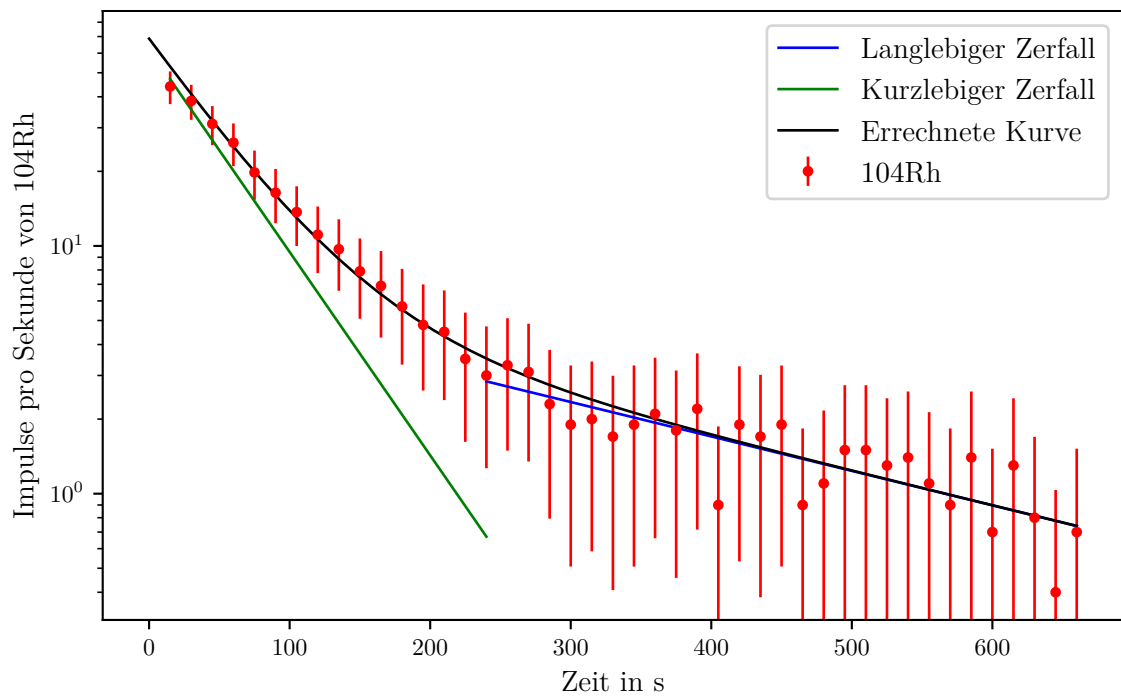


Abbildung 4: Messwerte der Zerfallimpulse von ^{104}Rh , sowie die Ausgleichsgerade für den langsamen Zerfall und den kurzen Zerfall, ebenso die errechnete Kurve aus beiden Ausgleichsgeraden.

In diesem Plot ist die blaue Ausgleichsgerade der langsame Zerfall und die grüne Ausgleichsgerade der kurze Zerfall. Daraus lassen sich die verschiedenen Halbwertszeiten berechnen, die Rhodium hat:

$$T_{1/2}^{short} = 36.7 \pm 1.4\text{s}$$

$$T_{1/2}^{long} = 217 \pm 29\text{s}$$

Aus beiden Geraden errechnet sich eine Kurve die mit den Messwerten übereinstimmt.

5 Diskussion

5.1 Halbwertszeit von Vanadium

Der Theoriewert für die Halbwertszeit von ^{52}V liegt bei $T_{1/2}^{theo} = 224,6 \text{ s}$ [3]. Der aus den Messwerten berechneten Wert liegt bei $T_{1/2}^{cut} = 215 \pm 16 \text{ s}$. Das entspricht einer Abweichung von ca. 4.27%.

5.2 Halbwertszeiten von Rhodium

Die Theoriewerte für den langsamen und den schnellen Zerfall von ^{104}Rh liegen bei $T_{1/2}^{short} = 42,3 \text{ s}$ [2] und $T_{1/2}^{long} = 260 \text{ s}$ [1]. Aus den Messwerten ergeben sich die Halbwertszeiten:

$$\begin{aligned} T_{1/2}^{short} &= 36.7 \pm 1.4 \text{ s} \\ T_{1/2}^{long} &= 217 \pm 29 \text{ s} \end{aligned}$$

Im Falle des schnellen Zerfalls beträgt die Abweichung $13.24 \pm 3.31\%$.

Im Falle des langsamen Zerfalls beträgt die Abweichung $16.54 \pm 11.15\%$.

Literatur

- [1] *Periodensystem-Online, 104m Rh.* Eingesehen am 23.07.2020. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=45&mz=104&nrg=0.129&show=nuklid&sel=>.
- [2] *Periodensystem-Online, 104Rh.* Eingesehen am 23.07.2020. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=45&mz=104&nrg=0&show=nuklid&sel=>.
- [3] *Periodensystem-Online, Vanadium.* Eingesehen am 23.07.2020. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=23&mz=52&show=nuklid>.