

VERSUCH V702

Aktivierung mit Neutronen

Jannis Vornholt
jannis.vornholt@tu-dortmund.de

Alfredo Manente
alfredo.manente@tu-dortmund.de

Durchführung: 26.01.2021

Abgabe: 02.02.2021

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Erzeugung niederenergetischer Neutronen	3
2.2 Zerfall instabiler Isotope	4
2.3 Versuchsaufbau	5
3 Durchführung	7
4 Messwerte	8
5 Auswertung	9
5.1 Vanadium	9
5.1.1 Ermittlung der Zählrate $N_{30s,V}$	9
5.1.2 Ermittlung der Halbwertszeit T_V und der Zerfallskonstante λ_V . . .	11
5.2 Rhodium	12
5.2.1 Ermittlung der Zählrate $N_{15s,Rh}$	12
5.2.2 Ermittlung der Halbwertszeit T_{Rh} und der Zerfallskonstante λ_{Rh} . .	13
6 Diskussion	16
Literatur	16

1 Zielsetzung

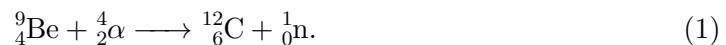
Das Ziel des Versuchs V702 'Aktivierung mit Neutronen' ist die Bestimmung von Halbwertszeiten und Zerfallskurven, instabiler Isotope.

2 Theorie

Die Bestimmung von Halbwertszeiten T instabiler Isotope, also die Zeit, nachdem die Hälfte einer größeren Menge instabiler Isotope zerfallen ist, ist eine sehr wichtige Komponente in der Kernphysik. Daher gibt es mehrere Methoden diese zu bestimmen. Die naheliegendste ist vermutlich einfach den Zeitpunkt zu bestimmen, an dem die Hälfte des instabilen Isotops zerfallen ist. Dies zu bestimmen ist jedoch schwer realisierbar, weshalb beim Versuch V702 eine andere Methode verwendet wird.

2.1 Erzeugung niederenergetischer Neutronen

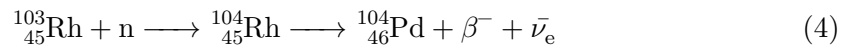
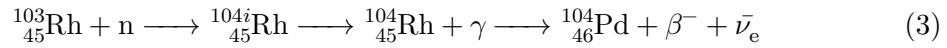
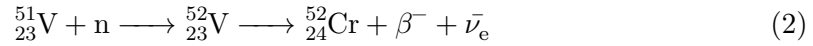
Für den Versuch werden instabile Isotope benötigt. Aufgrund der kurzen Zerfallszeit müssen diese unmittelbar vor Durchführung des Versuchs produziert werden. Hierfür werden stabile Kerne mit Neutronen beschossen, wodurch beim Einfang eines Neutrons durch einen Kern, ein instabiles Isotop entsteht. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kern ein Neutron einfängt wird durch den Wirkungsquerschnitt σ beschrieben. Da $\sigma \sim 1/v$ gilt [1], mit v der Geschwindigkeit der Neutronen, werden langsame Neutronen, sogenannte niederenergetische Neutronen verwendet. Da Neutronen instabil sind und daher nicht frei in der Natur vorkommen, müssen diese erst erzeugt werden und dann zu niederenergetischen Neutronen 'umgewandelt' werden. Die Erzeugung der Neutronen geschieht in diesem Fall durch α -Teilchen beschuss von ${}^9\text{Be}$ -Kernen. Dabei löst sich ganz nach Gleichung (1) ein Neutron,



Das für diesen Prozess benötigte α -Teilchen, stammt in diesem Fall von einem zerfallendem ${}^{226}\text{Ra}$ -Kern. Die erhaltenen Neutronen werden nun durch elastische Stöße verlangsamt und so zu den benötigten niederenergetischen Neutronen. Da bei elastischen Stößen mehr Energie abgegeben werden kann, je näher die Massen der Stoßpartner aneinander sind, werden möglichst leichte Kerne zum Ausbremsen der Neutronen genutzt. In diesem Fall Paraffin. Durch mehrere Stöße mit den Protonen des Paraffins, sinkt die kinetische Energie der Neutronen bis auf einen mittleren Wert, der nahezu gleich der kinetischen Energie der umliegenden Moleküle ist. Bei $T = 290^\circ\text{K}$ in etwa 0,025 eV. Neutronen mit dieser Energie werden auch als thermische Neutronen bezeichnet. Um diese niederenergetischen Neutronen zu erzeugen und mit ihnen die instabilen Isotope, wird die beschriebene Neutronenquelle in die Mitte, eines mit Paraffin gefüllten Stahlbehälters platziert. In diesen Behälter sind Bohrungen eingelassen, die sogenannten Aktivierungsbohrungen. In diesen werden zylindrische Proben mit stabilen Kernen platziert, um durch die in dem Behälter vorhandenen niederenergetischen Neutronen, die besagten Proben zu aktivieren.

2.2 Zerfall instabiler Isotope

Bei diesem Versuch werden zwei Arten von Präparaten untersucht. Zum einen Vanadium, welches aus nur einem Isotop besteht und zum anderen Rhodium, welches nach Bestrahlung mit Neutronen, aus zwei verschiedenen schnell zerfallenden Isotopen besteht (Zu 10% Gleichung (3) und zu 90% Gleichung (4)). Bei beiden Varianten werden die Ausgangskerne durch die bereits beschriebene Bestrahlung durch niederenergetischen Neutronen zu instabilen Isotopen, welche durch β -Zerfall wieder zu stabilen Isotopen werden.



Zerfall eines Isotops Generell gilt für die Anzahl der noch nicht zerfallenden Kerne

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

mit N_0 der Menge, am Anfang ($t = 0$) instabiler Kerne und λ der Zerfallskonstanten. Daraus folgt für die, in diesem Versuch zu ermittelnde Halbwertszeit T

$$T = \ln\left(\frac{2}{\lambda}\right). \quad (6)$$

Bei der hier genutzten Methode zur Bestimmung von T , wird sich jedoch nicht auf $N(t)$ bezogen, sondern auf $N_{\Delta t}(t)$, die in einem Intervall Δt zerfallenen Kerne. $N_{\Delta t}(t)$ ist definiert durch

$$N_{\Delta t}(t) = N(t) - N(t - \Delta t), \quad (7)$$

woraus sich mit Gleichung (5)

$$\ln N_{\Delta t}(t) = \ln(N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t})) - \lambda t. \quad (8)$$

ergibt. Da $\ln(N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t}))$ konstant ist, kann λ anhand Gleichung (8) durch eine lineare Ausgleichsrechnung, mit den Wertepaaren $\{\ln(N_{\Delta t}(t_i)), t_i\}$, bestimmt werden. Generell zu beachten ist noch, dass das Zeitintervall Δt bei dieser Messmethode sorgfältig gewählt werden muss, da bei zu kleinem Δt , große statistische Schwankungen für $N_{\Delta t}(t)$ auftreten und bei zu großem Δt , systematische Fehler bei λ .

Zerfall zwei verschieden schnell zerfallender Isotope Wie in Gleichung (3) und (4) dargestellt entstehen bei der Bestrahlung von Rhodium zwei verschiedene Isotope, die beide zerfallen. Beide Zerfälle laufen parallel ab, jedoch mit unterschiedlichen Halbwertszeiten. ^{104}Rh zerfällt zwar durch Emission eines γ -Quants zu ^{104}Rh , wodurch wieder mehr von diesen vorhanden sind, allerdings ist dieser Effekt hier vernachlässigbar. Daher können hier zwei überlagerte Zerfälle betrachtet werden, einen kurzen γ Zerfall und einen längeren β -Zerfall. Dadurch dass die beiden zerfälle unterschiedliche Halbwertszeiten haben ist nach einiger Zeit das eine Isotop bereits komplett zerfallen, während das andere noch zerfällt. Ab diesem Zeitpunkt t^* kann eine Gerade, wie beim Zerfall nur eines Isotops, mit den Wertepaaren $\{\ln(N_{\Delta t}(t_i)), t_i\}$, erstellt werden, die nur den Zerfall des langsamer zerfallenden Isotops darstellt. Durch diese Gerade kann λ_l bestimmt werden und daraus T_l . Die Zerfallskonstante des schneller zerfallenden Isotops λ_k wird nun bestimmt, indem die dem langsameren Zerfall zuzurechnenden Zerfälle von den gesamten Zerfällen, für $t < t^*$, subtrahiert werden. Also effektiv wird

$$N_{\Delta t_i}(t) = N_0 (1 - e^{-\lambda_l \Delta t}) e^{-\lambda_l t} \quad (9)$$

von $N_{\Delta t}(t_i)$ subtrahiert und dann die Ausgleichsgerade für die Wertepaare $\{\ln(N_{\Delta t}(t_i) - N_{\Delta t_i}(t_i)), t_i\}$ bestimmt. Daraus wird wiederum durch Gleichung (6) T_k bestimmt. Wichtig ist, dass t_i deutlich unterhalb von t^* liegt, da sonst

$$N_{\Delta t}(t_i) - N_{\Delta t_i}(t_i) \leq 0 \quad (10)$$

aufgrund statistischer Schwankungen, gelten könnte. Zudem gilt für das Zeitintervall Δt , das selbe wie beim Zerfall nur eines instabilen Isotops, es muss sorgfältig gewählt werden, da sonst selbige Fehler auftreten.

2.3 Versuchsaufbau

Zur Messung der Zählrate, des Zerfalls, wird die Probe des instabilen Isotops, zusammen mit einem Geiger-Müller-Zählrohr in einen Abschirmblock aus Blei gegeben. Das Zählrohr misst einen konstanten Anteil der emittierten β - und γ -Teilchen. Zudem ist das Zählrohr an zwei Zähler angeschlossen, die wiederum an einen Zeitgeber geschlossen sind. Durch den Zeitgeber wechseln die Zähler periodisch, damit kontinuierlich die Anzahl der Zerfälle gemessen werden kann. Diese Periodisierung ist auf 10^{-5}s genau, und der Wechsel von einem Zähler zum anderen dauert 100 ns. Da das Zählrohr trotz der Blei-Abschirmung, auch schon ohne vorhandene Probe, Zerfälle registriert, muss der Nulleffekt berücksichtigt werden. Der Nulleffekt besteht im wesentlichen aus der Höhenstrahlung und der natürlichen Radioaktivität. Damit dieser natürliche Effekt nicht das Ergebnis des Versuchs verfälscht, muss dieser, wie folgt, von der später gemessenen Zerfallrate abgezogen werden

$$N_{\Delta t}(t_i) = N_{\Delta t, \text{gem}}(t_i) - N_{\Delta t, u}, \quad (11)$$

mit $N_{\Delta t, \text{gem}}(t_i)$, der zum Zeitpunkt t_i gemessenen Gesamtzählrate und $N_{\Delta t, u}$, den auf das Intervall Δt umgerechneten Nulleffekt. Um die statistischen Schwankungen des

Nulleffekts möglichst auszugleichen, sollte der Effekt vor jeder Messung gemessen werden und das über einen möglichst längeren Zeitraum.

3 Durchführung

Bestimmung der Untergrundrate Am Anfang wurde die Untergrundrate N_U bestimmt, indem das Zählrohr ohne Präperat die Strahlung gemessen hat. Dies geschah in sieben Intervallen mit einer Intervalllänge von je $t = 300s$.

Vanadium Direkt nach aktivierung der Vanadiumprobe, in der Neutronenquelle, wurde die Probe auf das Geiger-Müller-Zählrohr gesteckt und angefangen zu messen. Die Messung wurde 1230s lang kontinuierlich durchgeführt. Alle 30s wurde der Zähler gewechselt, was ein Zeitintervallen von je $\Delta t = 30s$ bedeutet.

Rhodium Die Messung für Rhodium wurde analog zur Messung von Vanadium durchgeführt. Die Messung lief allerdings nur 630s mit Zeitintervallen von je $\Delta t = 15s$.

4 Messwerte

Tabelle 1: Messwerte der Zählrate der Untergrundrate N_U mit $\Delta t = 300s$.

$t[s]$		300		600		900		1200		1500		1800		2100
$N[Imp]$		129		143		144		136		139		126		158

Tabelle 2: Messwerte der Zählrate der aktivierten $^{51}_{23}V$ -Quelle mit $\Delta t = 30s$.

$t[s]$		30		60		90		120		150		180		210		240		270		300		330		360		390		420
$N[Imp]$		189		197		150		159		155		132		117		107		94		100		79		69		81		46
$t[s]$		450		480		510		540		570		600		630		660		690		720		750		780		810		840
$N[Imp]$		49		61		56		40		45		32		27		43		35		19		28		27		36		25
$t[s]$		870		900		930		960		990		1020		1050		1080		1110		1140		1170		1200		1230		
$N[Imp]$		29		18		17		24		21		25		21		24		25		17		20		19		20		

Tabelle 3: Messwerte der Zählrate der aktivierten $^{103}_{45}Rh$ -Quelle mit $\Delta t = 15s$.

$t[s]$		15		30		45		60		75		90		105		120		135		150		165		180		195		210
$N[Imp]$		667		585		474		399		304		253		213		173		152		126		111		92		79		74
$t[s]$		225		240		255		270		285		300		315		330		345		360		375		390		405		420
$N[Imp]$		60		52		56		53		41		36		37		32		36		38		34		40		21		35
$t[s]$		435		450		465		480		495		510		525		540		555		570		585		600		615		630
$N[Imp]$		33		36		20		24		30		30		26		28		23		20		28		17		26		19

5 Auswertung

5.1 Vanadium

5.1.1 Ermittlung der Zählrate $N_{30s,V}$

Zur weiteren Rechnung wird zunächst die Untergrundrate N_U von den gemessenen Werten $N_{30s, \text{gem}, V}$ abgezogen nach Gleichung (11), um für den Nulleffekt zu kompensieren. Dazu werden die gemessenen Werte für $N_{30s,U}$ 1 an den Messintervall von $N_{30s, \text{gem}, V}$ angepasst, indem die Werte durch 10 geteilt werden. Daraufhin wird ein Mittelwert für die Werte von $N_{30s,U}$ gebildet. Der Mittelwert wird gebildet nach der Gleichung (12).

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \quad (12)$$

Dies ergibt für den Mittelwert der Nullrate \bar{N}_U dann

$$\bar{N}_{30s,U} = 14,0 \pm 0,4[\text{Imp}]. \quad (13)$$

Der Fehler des Mittelwerts wurde als Quotient der Standardabweichung s_x mit der Wurzel der Anzahl der Einträge \sqrt{N} gebildet. Allgemein gilt für den Fehler des Mittelwerts die Formel (14).

$$\Delta \bar{x} = \frac{s_x}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2} = \sqrt{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} \quad (14)$$

Was spezifisch für $N_{30s,U}$ die Formel (15) ergibt.

$$\Delta \bar{N}_{30s,U} = \sqrt{\frac{1}{42} \sum_{k=1}^7 (N_{30s,U,k} - \bar{N}_{30s,U})^2} = \sqrt{\bar{N}_{30s,U}^2 - \bar{N}_{30s,U}^2} \quad (15)$$

Nun kann die Untergrundrate $\bar{N}_{30s,U}$ von der gemessenen Zählrate $N_{30s, \text{gem}, V}$ abgezogen werden. Es folgen die Werte für die wahre Zählrate der Vanadium-Probe in Tabelle 4.

Die Fehler für Tabelle 4 wurden mithilfe der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung [2] berechnet, wobei zu beachten ist, dass die Zählraten der gemessenen Zählraten Poisson-verteilt sind und damit gilt $\Delta N = \sqrt{N}$. Die Formel für den Gauß-Fehler heißt

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \cdot (\Delta z)^2}. \quad (16)$$

Dies ergibt dann für den Fehler der Zählrate folgendes

$$\Delta N_{30s,V} = \sqrt{\left(\sqrt{N_{30s,V}}\right)^2 + (\Delta \bar{N}_{30s,U})^2}. \quad (17)$$

Tabelle 4: Die Zählraten $N_{30s,V}$ der Vanadium-Probe nach Abzug der Untergrundrate.

$t[s]$	$N_{30s,V}[\text{Imp}]$		
30	$175,0 \pm 13,7$	690	$21,1 \pm 5,9$
60	$183,0 \pm 14,0$	720	$5,1 \pm 4,4$
90	$136,0 \pm 12,2$	750	$14,1 \pm 5,3$
120	$145,0 \pm 12,6$	780	$13,1 \pm 5,2$
150	$141,0 \pm 12,4$	810	$22,1 \pm 6,0$
180	$118,0 \pm 11,4$	840	$11,1 \pm 5,0$
210	$103,0 \pm 10,8$	870	$15,1 \pm 5,4$
240	$93,1 \pm 10,3$	900	$4,1 \pm 4,3$
270	$80,1 \pm 9,7$	930	$3,1 \pm 4,1$
300	$86,1 \pm 10,0$	960	$10,1 \pm 4,9$
330	$65,1 \pm 8,9$	990	$7,1 \pm 4,6$
360	$55,1 \pm 8,3$	1020	$11,1 \pm 5,0$
390	$67,1 \pm 9,0$	1050	$7,1 \pm 4,6$
420	$32,1 \pm 6,8$	1080	$10,1 \pm 4,9$
450	$35,1 \pm 7,0$	1110	$11,1 \pm 5,0$
480	$47,1 \pm 7,8$	1140	$3,1 \pm 4,1$
510	$42,1 \pm 7,5$	1170	$6,1 \pm 4,5$
540	$26,1 \pm 6,3$	1200	$5,1 \pm 4,4$
570	$31,1 \pm 6,7$	1230	$6,1 \pm 4,5$
600	$18,1 \pm 5,7$	1260	$4,1 \pm 4,3$
630	$13,1 \pm 5,2$	1290	$2,1 \pm 4,0$
660	$29,1 \pm 6,6$	1320	$3,1 \pm 4,1$

5.1.2 Ermittlung der Halbwertszeit T_V und der Zerfallskonstante λ_V .

Um die Halbwertszeit T_V und die Zerfallskonstante λ_V für die Vanadium-Probe zu erhalten, wird die Beziehung aus Gleichung (8) genutzt. Mithilfe einer Ausgleichsrechnung wird eine Kurve an die vorhandenen Messwerte angepasst. Es wird dabei ausgenutzt, dass

$$\ln(N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t})) = \text{const.} \quad (18)$$

Also wird die Kurve mit der Funktion

$$f(t) = A - \lambda t \quad (19)$$

an die Messwerte angepasst. Es folgen die Werte für die Parameter in Tabelle 5

Tabelle 5: Die Parameter für die Ausgleichsrechnung für $f(t)$

A_V	$5,186 \pm 0,128$
λ_V	$3,168 \pm 0,164 \cdot 10^{-3} \text{ [1/s]}$

Die Zählrate $N_{30s,V}$ und die zugehörige Ausgleichsgerade mit den Parametern 5 für die Funktion (19) wurden in 1 graphisch dargestellt.

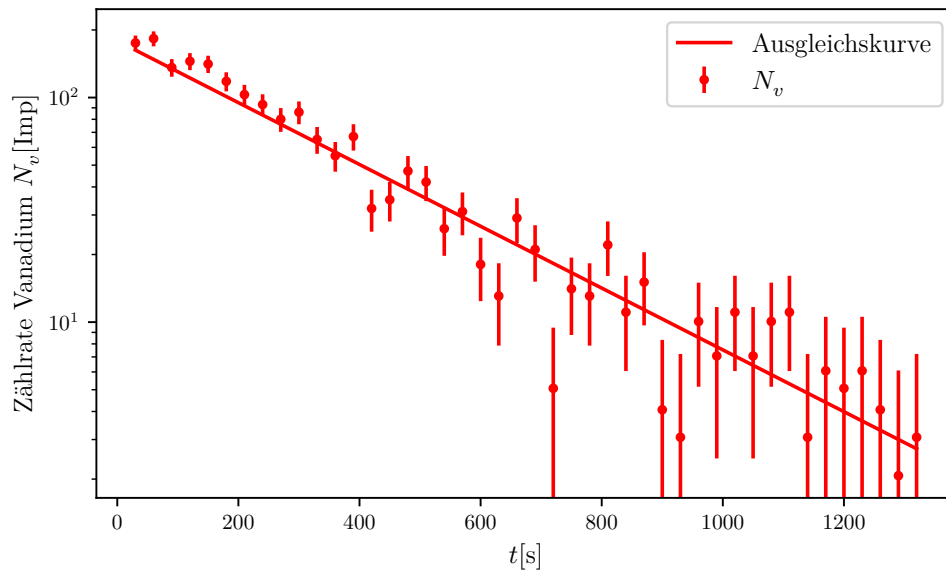


Abbildung 1: Die Zählraten der Vanadium-Probe mitsamt der Ausgleichskurve.

Mit der ermittelten Zerfallskonstante λ_V kann nun die Halbwertszeit nach der Gleichung (6) berechnet werden. Es folgt für Vanadium die Halbwertszeit

$$T_V = 218,76 \pm 11,36[\text{s}]. \quad (20)$$

Der Fehler wird wie folgt berechnet

$$\Delta T_V = \sqrt{\left(\frac{-\ln 2}{\lambda_V^2}\right) \cdot (\Delta \lambda_V)^2} \quad (21)$$

Da die letzten Zählintervalle sehr geringe Zählraten haben, welche in die Untergrundraten N_U übergehen wird davon ausgegangen, dass diese das Ergebnis verfälschen und die Genauigkeit minimieren. Um eine höhere Genauigkeit der ermittelten Zerfallskonstante λ_V und der ermittelten Halbwertszeit T_V zu erhalten, wird eine zweite Ausgleichsrechnung durchgeführt. Diesmal werden nur die Zählintervalle genommen, an denen die Messgenauigkeit relativ gering waren. Dies ist der Fall bis $t = 420$. Wieder wird die Funktion $f(t)$ aus Gleichung (19) verwendet. Es folgen die Werte aus Tabelle 6.

Tabelle 6: Die Parameter, welche aus der zweiten Ausgleichsrechnung folgen.

$A_{V,2}$	$5,395 \pm 0,088$
$\lambda_{V,2}$	$3,707 \pm 0,343 \cdot 10^{-3} [1/s]$

Damit kann nun mit höherer Genauigkeit die Halbwertszeit T_V ermittelt werden, nach Gleichung (6). Es folgt

$$T_{V,2} = 186,98 \pm 17,29[s]. \quad (22)$$

Hier entsteht der Fehler ähnlich wie in Gleichung (21). Er wird in (23) berechnet.

$$\Delta T_{V,2} = \sqrt{\left(\frac{-\ln 2}{\lambda_{V,2}^2}\right) \cdot (\Delta \lambda_{V,2})^2} \quad (23)$$

5.2 Rhodium

5.2.1 Ermittlung der Zählrate $N_{15s,Rh}$

Für die Ermittlung der Halbwertszeit T_{Rh} und der Zerfallskonstante λ_{Rh} wird ähnlich vorgegangen wie für Vanadium. Zunächst wird die Untergrundrate abgezogen, wobei die Untergrundrate nun durch 20 geteilt wird, um die Messwerte von N_U an die Messintervalle von $N_{15s,gem,Rh}$ anzupassen. Die erhaltene Untergrundrate wird nun wieder gemittelt (12) und der Fehler des Mittelwerts (14) wird berechnet. Für den Mittelwert $\bar{N}_{15s,U}$ folgt der Wert (24)

$$\bar{N}_{15s,U} = 6,96 \pm 0,2[Imp]. \quad (24)$$

Für den Mittelwert $\bar{N}_{15s,U}$ wird der Fehler wie folgt berechnet.

$$\Delta \bar{N}_{15s,U} = \sqrt{\frac{1}{42} \sum_{k=1}^7 (N_{15s,U,k} - \bar{N}_{15s,U})^2} = \sqrt{\bar{N}_{15s,U}^2 - \bar{N}_{15s,U}^2} \quad (25)$$

Es folgen die Werte aus Tabelle 7 für die Zählrate der Rhodium-Probe nach Abzug der Untergrundrate $\bar{N}_{15s,U}$.

Tabelle 7: Die Zählraten $N_{15s,Rh}$ der Rhodium-Probe nach Abzug der Untergrundrate.

$t[s]$	$N_{\Delta t,V}[\text{Imp}]$
15	$660,0 \pm 25,8$
30	$578,0 \pm 24,1$
45	$467,0 \pm 21,7$
60	$392,0 \pm 19,9$
75	$297,0 \pm 17,4$
90	$246,0 \pm 15,9$
105	$206,0 \pm 14,5$
120	$166,0 \pm 13,1$
135	$145,0 \pm 12,3$
150	$119,0 \pm 11,2$
165	$104,0 \pm 10,5$
180	$85,0 \pm 9,6$
195	$72,0 \pm 8,9$
210	$67,0 \pm 8,6$
225	$53,0 \pm 7,7$
240	$45,0 \pm 7,2$
255	$49,0 \pm 7,5$
270	$46,0 \pm 7,3$
285	$34,0 \pm 6,4$
300	$29,0 \pm 6,0$
315	$30,0 \pm 6,1$
330	$25,0 \pm 5,7$

Auch hier ergibt sich der Fehler mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung [2] und der Poisson-Verteilung der Zählrate. Es gilt

$$\Delta N_{Rh} = \sqrt{(\sqrt{N_{Rh}})^2 + (\Delta \bar{N}_U)^2}. \quad (26)$$

5.2.2 Ermittlung der Halbwertszeit T_{Rh} und der Zerfallskonstante λ_{Rh} .

Auch für Rhodium wird eine Ausgleichsrechnung mit der Funktion $f(t)$ nach (19) durchgeführt um die Zerfallskonstante λ_{Rh} zu ermitteln. Die Parameter A_{Rh} und λ_{Rh} ergeben sich dann nach Tabelle 8.

Auch die Zählrate $N_{15s,Rh}$ und die zugehörige Ausgleichsgerade mit den Parametern 8 für die Funktion (19) wurden in 2 graphisch dargestellt.

Aus dem ermittelten λ_{Rh} kann nun die Halbwertszeit T_{Rh} für die Rhodium-Probe ermittelt werden. Nun kann T_{Rh} nach Gleichung (6) berechnet werden. Das Ergebnis ist

Tabelle 8: Die Parameter A_{Rh} und λ_{Rh} für Rhodium.

A_{Rh}	$5,736 \pm 0,133$
λ_{Rh}	$5,747 \pm 0,343 \cdot 10^{-3} \text{ [1/s]}$

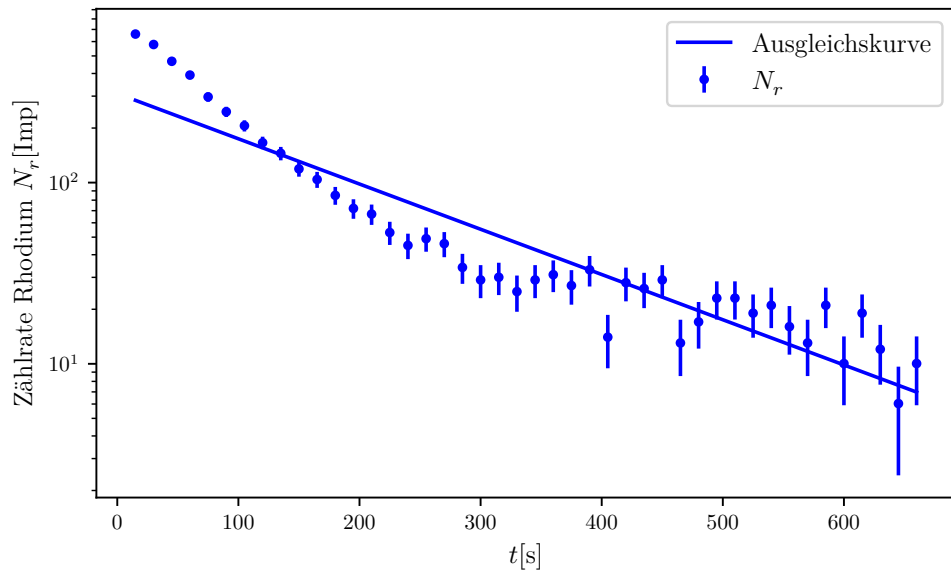


Abbildung 2: Die Zählraten der Rhodium-Probe mitsamt der Ausgleichskurve.

in (27) zu entnehmen.

$$T_{Rh} = 120,60 \pm 7,19[\text{s}]. \quad (27)$$

Mit der dazugehörigen Fehlerrechnung

$$\Delta T_{Rh} = \sqrt{\left(\frac{-\ln 2}{\lambda_{Rh}^2}\right) \cdot (\Delta \lambda_{Rh})^2} \quad (28)$$

In der Graphik 2 sind zwei verschiedene Steigungen zu erkennen. Dies liegt an dem kurzlebigen Zerfall der $^{104}_{45}\text{Rh}$ Isotope und dem langlebigen Zerfall von $^{104i}_{45}\text{Rh}$. Zu Beginn überlagern sich diese, jedoch stoppt der kurzlebige Zerfall an der Steigungsänderung der Graphik. Um die Zerfallskonstanten und Halbwertszeiten des langlebigen und kurzlebigen Zerfalls separiert zu erhalten müssen weitere Ausgleichsrechnungen geschehen. Zunächst werden die hinteren Zählintervalle beobachtet an denen der kurzlebige Zerfall eine zu vernachlässigenden Auswirkung hat. Dafür werden die Messwerte nach $t = 270\text{s}$ in Betracht gezogen. Bei der Ausgleichsrechnung entstehen die Parameter, welche in Tabelle 9 aufgezzeigt sind.

Tabelle 9: Die Parameter $A_{Rh,\text{lang}}$ und $\lambda_{Rh,\text{lang}}$ für den langlebigen Zerfall von Rhodium.

$A_{Rh,\text{lang}}$	$4,382 \pm$	$0,252$
$\lambda_{Rh,\text{lang}}$	$2,945 \pm 0,528 \cdot 10^{-3}$	$[1/\text{s}]$

Die nun erhaltenen Werte werden extrapoliert, um den Einfluss des langlebigen Zerfalls in den früheren Zählintervallen auszulöschen. Die erhaltenen Zählraten, welche durch (19) und der Ausgleichsrechnung berechnet wurden werden von den Zählraten der früheren Intervalle abgezogen. Mit diesen neuen Zählraten kann nun die Ausgleichsrechnung für den kurzlebigen Zerfall durchgeführt werden. Es folgen die Werte aus Tabelle 10.

Tabelle 10: Die Parameter $A_{Rh,\text{kurz}}$ und $\lambda_{Rh,\text{kurz}}$ für den kurzlebigen Zerfall von Rhodium.

$A_{Rh,\text{kurz}}$	$6,810 \pm$	$0,121$
$\lambda_{Rh,\text{kurz}}$	$17,978 \pm 0,743 \cdot 10^{-3}$	$[1/\text{s}]$

Mit den ermittelten Zerfallskonstante $\lambda_{Rh,\text{kurz}}$ und $\lambda_{Rh,\text{lang}}$ werden die Halbwertszeiten des lang- und des kurzlebigen Zerfalls berechnet. Es gilt

$$T_{Rh,\text{kurz}} = 38,55 \pm 1,59[\text{s}] \quad (29)$$

$$T_{Rh,\text{lang}} = 235,39 \pm 42,22[\text{s}] \quad (30)$$

6 Diskussion

Die ermittelten Halbwertszeiten liegen unterhalb der Literaturwerte. Die ermittelten Werte für Vanadium $T_V = 218,76 \pm 11,36[\text{s}]$ und $T_{V,2} = 186,98 \pm 17,29[\text{s}]$ liegen etwas tiefer im Vergleich zu der Halbwertszeit von $^{52}_{23}\text{V}$, welche $T_{\text{lit},V} = 224,58[\text{s}]$ [3] beträgt. Auch die Werte für Rhodium liegen etwas tiefer. Der langlebige Zerfall von $^{104i}_{45}\text{Rh}$ besitzt eine Halbwertszeit von $T_{\text{lit, lang},Rh} = 260,4[\text{s}]$ [4], wofür im Versuch der Wert $T_{Rh,\text{lang}} = 235,39 \pm 42,22[\text{s}]$ ermittelt wurde. Beim kurzlebigen Zerfall von $^{104}_{45}\text{Rh}$ beträgt der Literaturwert $T_{\text{lit, kurz},Rh} = 42,3[\text{s}]$ [4], wobei der ermittelte Wert $T_{Rh,\text{kurz}} = 38,55 \pm 1,59[\text{s}]$ beträgt. Die Fehler könnten aus mehreren Gründen hervorkommen. Zum einen könnte ein Zeitverzug zwischen Aktivierung und Messung stattgefunden haben. Fehler bei der Untergrundraten Messung haben das Ergebnis verfälscht. Eine schlechte Wahl der Messintervalle Δt hat auch sehr großen Einfluss. Die Ungenauigkeit der Geiger-Müller Zählrohrs spielt auch noch ein. Besonders, weil die ermittelten Halbwertszeiten alle niedriger als die Literaturwerte sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Totzeiten und Erholungszeiten des Geiger-Müller Zählrohrs die Messwerte für die Zählraten nach unten verschoben. Allgemein kann der Versuch als erfolgreich bewertet werden. Die Abweichungen der Halbwertszeiten betragen keine Größenordnungen und betragen höchstens 10%. Für die simple Messapparatur, die in dem Versuch genutzt wurde, können die Werte als relativ genau gewertet werden.

Literatur

- [1] *Anleitung zu Versuch Nr. 702: Aktivierung mit Neutronen*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.
- [2] *Fehler Formeln*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2020.
- [3] Wikipedia. *Isotopes of Vanadium*. 2021. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_vanadium (besucht am 31.01.2021).
- [4] Wikipedia. *Isotopes of Rhodium*. 2021. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_rhodium (besucht am 31.01.2021).