

V702 Aktivierung mit Neutronen

Alina Landmann, alina.landmann@tu-dortmund.de
Jannine Salewski, jannine.salewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 29.05.2018

Abgabe: 05.06.2018

TU Dortmund - Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

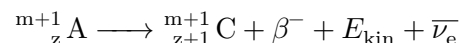
1 Zielsetzung	1
2 Theorie	1
3 Durchführung	5
4 Auswertung	6
4.1 Nullmessung	6
4.2 Vanadium	6
4.3 Rhodium	9
5 Diskussion	13
Literatur	13

1 Zielsetzung

Im Versuch werden die Halbwertszeiten verschiedener radioaktiver Isotope ermittelt.

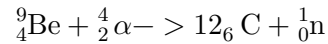
2 Theorie

Stabile Atomkerne zeichnen ein bestimmtes Verhältnis von Neutronen zu Protonen aus. Die Grenzen hierfür sind sehr eng. Gerät das empfindliche Verhältnis von Protonen zu Neutronen aus den Fugen, so entstehen instabile Atomkerne, die unter Emission von Strahlung (α -, β - und γ -Strahlung) wieder in stabile zerfallen. Dies geschieht nuklidabhängig mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit, mit der instabile Kerne zerfallen, ist die Halbwertszeit. Sie beschreibt, nach welcher Zeit die Hälfte einer großen Anzahl instabiler Kerne zerfallen ist, und kann nuklidabhängig um bis zu 23 Zehnerpotenzen variieren. Im Versuch werden Isotope untersucht, deren Halbwertszeiten in Größenordnungen von Sekunden bis Minuten liegen. Solche Isotope werden durch Beschuss stabiler Kerne mit Neutronen unmittelbar vor den durchgeführten Messungen hergestellt. Bei dem Beschuss stabiler Kerne mit Neutronen, wechselwirken diese mit dem Kern, da sie durch ihre fehlende Ladung nicht das Coulomb-Potential des Kerns überwinden müssen. Wird das Neutron im Kern A absorbiert, so entsteht ein energiereicherer Kern, der sogenannte **Compound-** oder **Zwischenkern** A^* . Die Energiedifferenz zwischen A und A^* ergibt sich daraus, dass A^* die kinetische und die Bindungsenergie des Neutrons trägt. Die Energie, die den Kern nun anregt, verteilt sich auf viele Nukleonen, die somit in einen höheren Energiezustand übergehen. Durch diese Energieverteilung ist der Compoundkern nicht mehr dazu in der Lage das aufgenommene Neutron oder ein andere Nukleon wieder abzustößen. Deshalb geht er unter Emission eines γ -Quants nach 10^{-16} s wieder in den Grundzustand über. Der neu entstandene Kern besitzt ein Neutron mehr, jedoch ist er durch den Energieverlust über das Photon wesentlich langlebiger als der Compoundkern. Bei der Umwandlung in einen stabilen Kern entsteht unter Elektronenemission β -Strahlung. Der Massendefekt wird durch das ausgesendete Antineutrino ($\bar{\nu}_e$) und die frei werdende kinetische Energie des Elektrons korrigiert:



Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Neutron von einem stabilen Kern eingefangen wird, wird durch den Wirkungsquerschnitt σ beschrieben. Er beschreibt, wie groß die Fläche des Kerns sein müsste, wenn jedes darauf treffende Neutron eingefangen würde. Der Wirkungsquerschnitt ist antiproportional abhängig von der Geschwindigkeit und somit der kinetischen Energie der Neutronen, mit der sie auf den Kern treffen. Das bedeutet, dass niederenergetische und somit langsame Neutronen besser in stabile Kerne aufgenommen werden als schnelle, hochenergetische. Neutronen sind als freie Teilchen instabil. Ihre

Lebensdauer beträgt circa 880 Sekunden. Deshalb müssen sie durch geeignete Kernreaktionen hergestellt werden. Eine solche Reaktion findet statt, wenn ${}^9\text{Be}$ mit α Teilchen beschossen werden:



Die α -Teilchen stammen aus dem ${}^{226}\text{Ra}$ -Zerfall und die freiwerdenden Neutronen besitzen ein kontinuierliches Energiespektrum von 13.7 MeV. Diese Energie wäre zur Anregung eines stabilen Kerns nicht günstig, weshalb sie verringert werden muss. Dies geschieht, indem sie durch eine dicke Schicht von Atomen mit leichten Kernen hindurchdiffundieren müssen. Bei den elastischen Stößen mit den leichten Kernen werden die Neutronen abgebremst und verlieren dadurch deutlich an Energie. Das im Versuch in der Neutronenquelle verwendete Material ist Parafin, was einen hohen Wasserstoffanteil besitzt. Ein schematischer Aufbau der Quelle für thermische Neutronen befindet sich in Abbildung 1. Die Neutronen besitzen nach zahlreichen Stößen mit den H^+ Protonen eine deutlich herabgesetzte Energie von lediglich 0.025 eV bei $T = 290\text{ K}$, was einer mittleren Neutronengeschwindigkeit von 2.2 km/s. Die Gesamtheit der Neutronen mit dieser Geschwindigkeit und Energie wird als **thermische Neutronen** bezeichnet. Um instabile Isotope zu erzeugen, werden zylindrische Proben mit entsprechenden Nukliden in die Aktivierungsschächte der Neutronenquelle eingeführt. Die so erzeugten instabilen Isotope wandeln sich unter Emission von $\beta -$ -Strahlung wieder in stabile Isotope um. Dieser Zerfall verläuft exponentiell und wird durch folgende Formel beschrieben:

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

Hierbei beschreibt $N(t)$ die nach der Zeit t noch vorhandenen Kerne, N_0 die Gesamtzahl der Kerne, die vor Beginn des Zerfalls vorhanden waren und λ die Zerfallskonstante. Die Formel für die Halbwertszeit $T_{1/2}$ ergibt sich folglich zu:

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

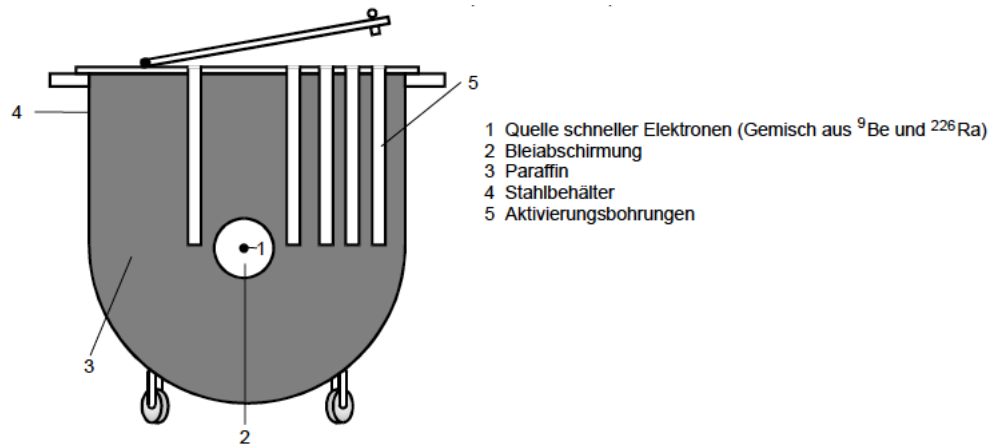


Abbildung 1: schematischer Aufbau der Neutronenquelle.[Dor]

Es ist einfacher, die in einem bestimmten Zeitintervall Δt zerfallenen Kerne zu bestimmen, als die noch vorhandenen Kerne zu untersuchen. Dies ist begründet darin, dass es geeignete Strahlungsdetektoren gibt, die bei jedem Zerfall einen elektrischen Puls abgeben, welche deutlich leichter quantifizierbar sind. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Wahl des Δt gewisse Risiken birgt: Wird es zu groß gewählt, entsteht ein systematischer Fehler, wird es zu klein gewählt, so entstehen statistische Fehler. Die Zahl, der in einem Zeitintervall Δt zerfallenen Kerne wird durch folgende Formel beschrieben:

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

$$N_{\Delta t}(t) = N_0 (1 - \exp(-\lambda \Delta t)) \exp(-\lambda t)$$

Für die Auswertung des Versuchs von besonderer Bedeutung ist der Zerfall von Rhodium. Wird der Kern von $^{103}_{45}\text{Rh}$ aktiviert, so entsteht mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 %, $^{104}_{45}\text{Rh}$ und mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 %, dessen energiereichere Vorstufe $^{104i}_{45}\text{Rh}$. Sie ist, wie bereits erwähnt lediglich eine energiereichere Vorstufe des Rhodiumisotops, die unter Emission eines γ - Quants zu $^{104}_{45}\text{Rh}$ zerfällt. Die beiden Zerfälle laufen parallel und mit unterschiedlichen Halbwertszeiten ab. Die Gesamtaktivität wird durch die Summe beider Zerfälle ausgedrückt. Nach hinreichend langer Zeit t^* , ist davon auszugehen, dass alle kurzlebigeren $^{104i}_{45}\text{Rh}$ - Kerne zerfallen sind und nur noch die stabileren $^{104}_{45}\text{Rh}$ - Kerne zerfallen, was sich im Zerfallsdiagramm 2 als eine Gerade darstellen sollte.

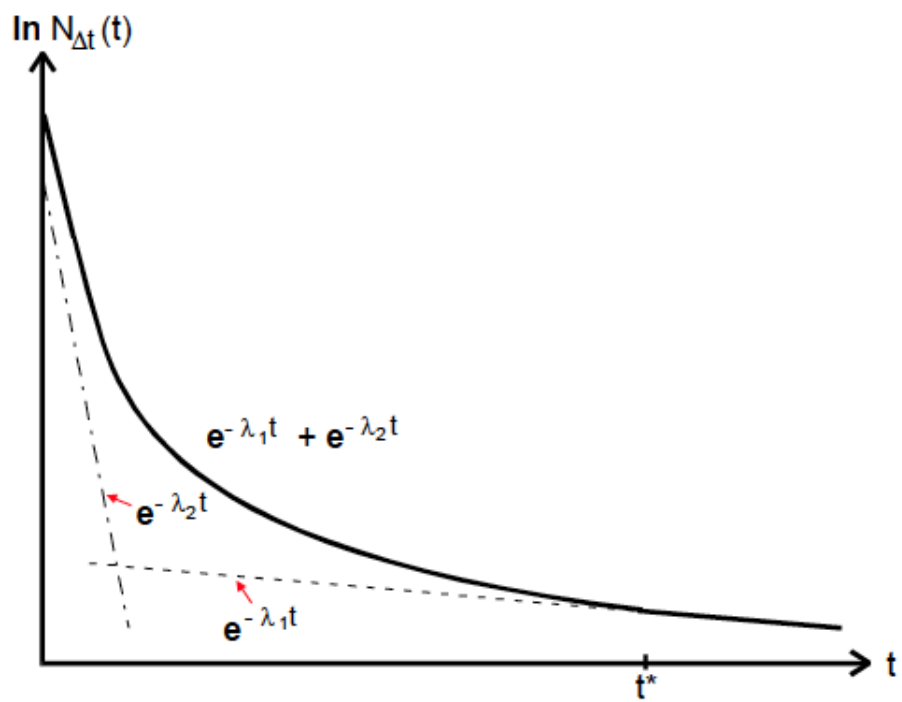
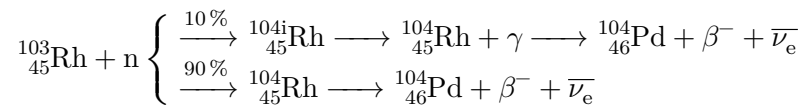


Abbildung 2: Zerfallskurve eines Präparates mit unterschiedlichen Zerfallskonstanten mit eingezeichnetem t^* . [Dor]

Es bleibt der Vollständigkeit halber zu erwähnen, dass der im Versuch verwendete Detektor in der Lage ist, ebenfalls die beim $^{104\text{i}}_{45}\text{Rh}$ - Zerfall frei werdenden γ - Strahlen aufzunehmen. Der Anteil dieses Zerfalls ist jedoch als so gering zu betrachten, dass er keinen nennswerten Einfluss auf die Gesamtbilanz hat und deshalb vernachlässigt werden kann. Der Zerfall von Rhodium läuft wie folgt ab:



3 Durchführung

Die Messungen werden allesamt mit einem Geiger-Müller-Zählrohr durchgeführt, an den ein Strahlungsdetektor angeschlossen ist. Der Detektor registriert die auftreffenden Teilchen, die an einem Verstärkerausgang einen elektrischen Impuls liefern. Der Detektor besitzt zwei Anzeigevorrichtungen, die periodisch umgeschaltet werden und in denen die Anzahl der während Δt stattgefundenen Ereignisse angezeigt werden. Ein schematischer Aufbau der Versuchsanordnung ist in Abbildung 3 zu sehen.

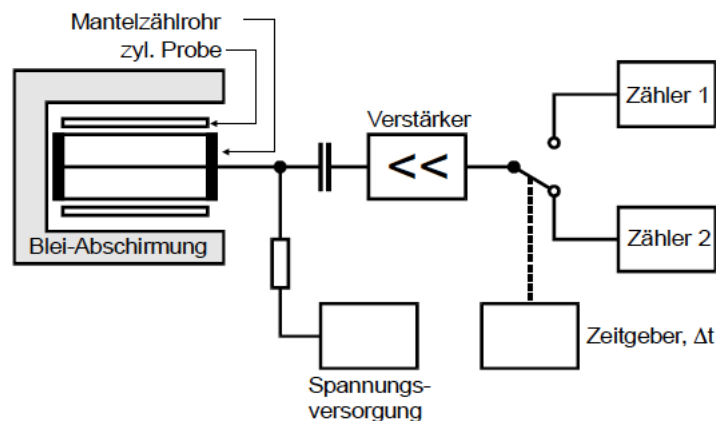


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Messapparatur.[Dor]

Zu Beginn des Versuchs wird die sogenannte Nullrate N_u ermittelt. Die Nullrate ist die Anzahl der vom Detektor registrierten elektrischen Impulse, die in Abwesenheit einer radioaktiven Probe gemessen werden können. Sie entsteht zum Beispiel durch Höhenstrahlung. Hierfür wird die Probenhalterung im Geiger-Müller-Zählrohr leer gelassen und die Zählrohr auf 240 s gestellt. Der Wert für die stattgefundenen Ereignisse ist leicht abzulesen und wird notiert. Im Anschluss daran wird ein einfacher Zerfall von Vanadium ($^{51}_{23}\text{V}$) untersucht. Hierfür wird eine aktivierte Probe $^{52}_{23}\text{V}$ in das Geiger-Müller-Zählrohr eingeführt und die Anzahl der Ereignisse, die während der einzelnen Zeitintervalle ($\Delta t = 20\text{ s}$) stattfinden, notiert. Die Länge für Δt und die Gesamtdauer der Messung kann einer am

Versuchsort vorliegenden Tabelle entnommen werden. Zum Schluss wird aktiviertes Rhodium auf die gleiche Weise untersucht. Die Dauer der Messung (12 min), sowie das geeignete Zeitintervall ($\Delta t = 20$ s) werden auch hier wieder einer am Versuchsort vorliegenden Tabelle entnommen.

4 Auswertung

Im folgenden Versuch werden die Fehler der gemessenen Ausschläge des Geiger-Müller-Zählers immer mit \sqrt{N} berechnet, da diese Messung der Poisson-Verteilung unterliegt.

4.1 Nullmessung

Es wurden innerhalb von $t = 240$ s $N = 216$ Ausschläge am Geiger-Müller-Zählrohr gemessen. Dies entspricht einem Wert von $N_{\text{null}} = (0.90 \pm 0.06)/\text{s}$. Der Fehler der Messung wurde mit $\Delta N_{\text{null}} = \frac{\sqrt{N}}{t}$ berechnet.

4.2 Vanadium

Die Messwerte und die berechneten Größen sind in Tabelle 1 zu finden. Zur Messung der Zerfallskonstante von Vanadium muss zunächst die Untergrundstrahlung von den gemessenen Ausschlägen des Geiger-Müller-Zählrohrs abgezogen werden. Die Untergrundstrahlung N_U ist für ein Zeitintervall der Länge $\Delta t = 30$ s:

$$N_U = N_{\text{null}} \cdot \Delta t = (27.0 \pm 1.8) \text{ s}$$

Daraus folgt für die Ausschläge ohne Untergrundstrahlung

$$N_{\Delta t} = N_{\Delta t \text{ mit } U} - N_U \quad (1)$$

$$\Delta N_{\Delta t} = \sqrt{(\Delta N_{\Delta t \text{ mit } U})^2 + (\Delta N_U)^2} \quad (2)$$

Durch das Zerfallsgesetz

$$N_{\Delta t} = N_0 e^{-\lambda t}$$

kann nun eine Aussage über die Zerfallskonstante λ getroffen werden, indem eine lineare Regression der Form

$$\ln(N_{\Delta t}(t)) = a_1 \cdot t + b_1$$

durchgeführt wird. Diese Regression (siehe Abbildung 4) liefert die Werte für a_1 und b_1

$$a_1 = (-3.47 \pm 0.26) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}}$$

$$b_1 = 5.67 \pm 0.16$$

Durch Vergleich mit dem Zerfallsgesetz folgt für die Zerfallskonstante λ und die Konstante N_0

$$\lambda_{\text{Vanadium}} = -a_1 = (3.47 \pm 0.26) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}}$$

$$N_{0 \text{ Vanadium}} = e^{b_1} = 290 \pm 46 ,$$

wobei der Fehler von N_0 mit

$$\Delta N_0 = e^{b_1} \cdot \Delta b_1 \quad (3)$$

berechnet wurde. Daraus folgt für die Halbwertszeit $T_{1/2}$ für Vanadium nach der Formel

$$T_{1/2} = \frac{-\ln(2)}{\lambda} \quad (4)$$

$$\Delta T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda^2} \cdot \Delta \lambda \quad (5)$$

$$T_{1/2 \text{ Vanadium}} = (200 \pm 15) \text{ s}$$

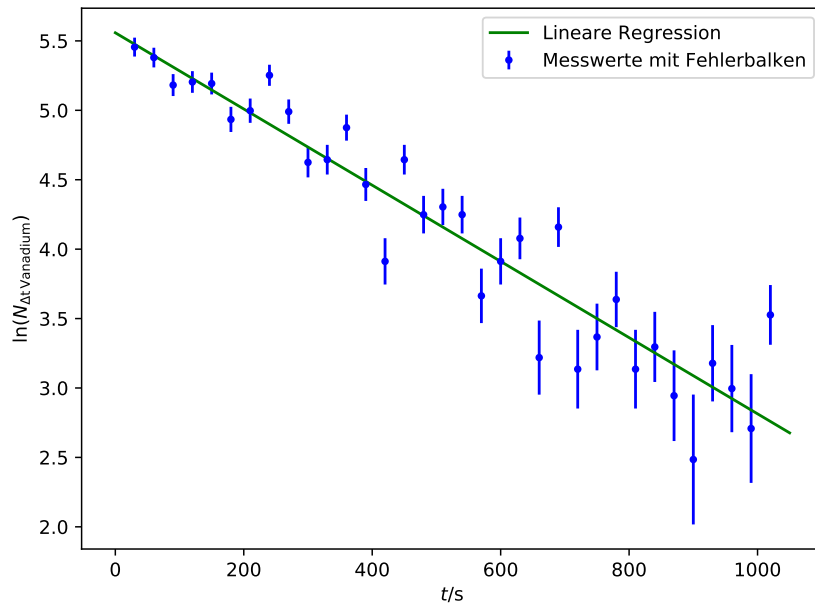


Abbildung 4: Messwerte und lineare Regression von Vanadium: Zeit t , Anzahl der Ausschläge ohne Untergrundstrahlung $N_{\Delta t \text{ Vanadium}}$.

Tabelle 1: Messwerte Vanadium: Zeit t , Anzahl der Ausschläge des Geiger-Müller-Zählrohrs $N_{\Delta t \text{ mit U}}$, Anzahl der Ausschläge ohne Untergrundstrahlung $N_{\Delta t \text{ Vanadium}}$.

t / s	$N_{\Delta t \text{ mit U}} / \text{Anzahl/20 s}$	$N_{\Delta t \text{ Vanadium}} / \text{Anzahl/20 s}$	$\ln(N_{\Delta t \text{ Vanadium}})$
30	252,00 \pm 15,88	225,00 \pm 15,98	5,42 \pm 0,07
60	235,00 \pm 15,33	208,00 \pm 15,44	5,34 \pm 0,07
90	196,00 \pm 14,00	169,00 \pm 14,12	5,13 \pm 0,08
120	200,00 \pm 14,14	173,00 \pm 14,26	5,15 \pm 0,08
150	198,00 \pm 14,07	171,00 \pm 14,19	5,14 \pm 0,08
180	157,00 \pm 12,53	130,00 \pm 12,66	4,87 \pm 0,10
210	166,00 \pm 12,88	139,00 \pm 13,01	4,93 \pm 0,09
240	209,00 \pm 14,46	182,00 \pm 14,57	5,20 \pm 0,08
270	165,00 \pm 12,85	138,00 \pm 12,98	4,93 \pm 0,09
300	120,00 \pm 10,95	93,00 \pm 11,11	4,53 \pm 0,12
330	122,00 \pm 11,04	95,00 \pm 11,20	4,55 \pm 0,12
360	149,00 \pm 12,21	122,00 \pm 12,34	4,80 \pm 0,10
390	105,00 \pm 10,25	78,00 \pm 10,41	4,36 \pm 0,13
420	68,00 \pm 8,25	41,00 \pm 8,45	3,71 \pm 0,21
450	122,00 \pm 11,04	95,00 \pm 11,20	4,55 \pm 0,12
480	88,00 \pm 9,38	61,00 \pm 9,56	4,11 \pm 0,16
510	92,00 \pm 9,59	65,00 \pm 9,77	4,17 \pm 0,15
540	88,00 \pm 9,38	61,00 \pm 9,56	4,11 \pm 0,16
570	57,00 \pm 7,55	30,00 \pm 7,77	3,40 \pm 0,26
600	68,00 \pm 8,25	41,00 \pm 8,45	3,71 \pm 0,21
630	77,00 \pm 8,78	50,00 \pm 8,96	3,91 \pm 0,18
660	43,00 \pm 6,56	16,00 \pm 6,81	2,77 \pm 0,43
690	82,00 \pm 9,05	55,00 \pm 9,24	4,01 \pm 0,17
720	41,00 \pm 6,40	14,00 \pm 6,66	2,64 \pm 0,48
750	47,00 \pm 6,86	20,00 \pm 7,10	3,00 \pm 0,35
780	56,00 \pm 7,48	29,00 \pm 7,71	3,37 \pm 0,27
810	41,00 \pm 6,40	14,00 \pm 6,66	2,64 \pm 0,48
840	45,00 \pm 6,71	18,00 \pm 6,96	2,89 \pm 0,39
870	37,00 \pm 6,08	10,00 \pm 6,35	2,30 \pm 0,64
900	30,00 \pm 5,48	3,00 \pm 5,78	1,10 \pm 1,93
930	42,00 \pm 6,48	15,00 \pm 6,74	2,71 \pm 0,45
960	38,00 \pm 6,16	11,00 \pm 6,43	2,40 \pm 0,58
990	33,00 \pm 5,75	6,00 \pm 6,03	1,79 \pm 1,00
1020	52,00 \pm 7,21	25,00 \pm 7,44	3,22 \pm 0,30

4.3 Rhodium

Zunächst muss bei dieser Messung erneut die Untergrundstrahlung abgezogen werden. Da hier ein anderes Zeitintervall zur Messung gewählt wurde ist nun $\Delta t = 20 \text{ s}$. Die Untergrundstrahlung $N_U = N_{\text{null}} \cdot \Delta t = (18.0 \pm 1.2) \text{ s}$ muss von der Messung, mit Hilfe von Gleichung (1), abgezogen werden, da diese für den Zerfall von Rhodium keine Rolle spielt. Der Fehler wurde mit Gleichung (2) berechnet.

Die Halbwertszeiten von Rhodium zu berechnen ist nicht ganz so einfach wie die von Vanadium, denn hier finden zwei Zerfälle gleichzeitig statt. Da einer der beiden Zerfälle aber viel langlebiger ist als der andere, kann nach einer Zeit t^* davon ausgegangen werden, dass nur noch der langsamere Zerfall eine Rolle spielt, für diesen Fall $t \geq t^*$ gilt

$$N_{\Delta t \text{ gesamt}} = N_{0,1}e^{-\lambda_1 t} + N_{0,2}e^{-\lambda_2 t} \approx N_{0,2}e^{-\lambda_2 t}$$

wobei der schnelle Zerfall durch den Index 1 und der langsamere Zerfall durch den Index 2 beschrieben wird. Durch Betrachtung der Abbildung 5 kann man in etwa ablesen, ab wann die Messwerte eine Gerade bilden, in unserer Messung war dies ab $t^* = 220 \text{ s}$ der Fall. Nun kann für die Messwerte $t \geq t^*$ eine lineare Regression der Form

$$\ln(N_{\Delta t 2}(t)) = a_2 t + b_2$$

durchgeführt werden, diese liefert die Werte für die Steigung a_2 und den Y-Achsenabschnitt b_2

$$a_2 = (-2.70 \pm 0.29) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}}$$
$$b_2 = 5.34 \pm 0.14$$

Aus dem Vergleich der Regressionsfunktion und der Zerfallsfunktion kann man die Zerfallskonstante λ_2 und die Konstante $N_{0,2}$ berechnen

$$\lambda_2 = -a_2 = (2.70 \pm 0.29) \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}}$$
$$N_{0,2} = e^{b_2} = 208 \pm 30$$

Der Fehler wurde mittels Gleichung (3) bestimmt. Mit der Formel (4) und (5) lässt sich nun die Halbwertszeit des langsamen Zerfalls berechnen

$$T_{1/2, 2, \text{Rhodium}} = (257 \pm 28) \text{ s}$$

Da man aus den vorherigen Berechnungen die Zerfallsfunktion des langsamen Zerfalls kennt, kann man diese nun von dem gesamten Zerfall abziehen und erhält nun noch die Werte des schnellen Zerfalls:

$$N_{\Delta t 1} = N_{\Delta t \text{ gesamt}} - N_{0,2}e^{-\lambda_2 t} = N_{0,1}e^{-\lambda_1 t}$$

Der Fehler wurde mit der folgenden Formel bestimmt

$$\Delta N_{\Delta t,1} = \sqrt{(\Delta N_{0,2} \cdot e^{-\lambda_2 t})^2 + (N_{0,2} t \cdot \Delta \lambda_2 \cdot e^{-\lambda_2 t})^2 + (\Delta N_{\Delta t, \text{gesamt}})^2}.$$

Mit den Werten von $N_{\Delta t,1}$ lässt sich somit eine lineare Regression durchführen. Um zu vermeiden, dass die berechneten Werte kleiner als Null werden, muss eine Grenze t_{\max} gesetzt werden. Hier haben wir die maximale Zeit bei $t_{\max} = 160 \text{ s}$ angesetzt. Nun kann für $t \leq t_{\max}$ eine lineare Regression der Form

$$\ln(N_{\Delta t,1}(t)) = a_3 t + b_3$$

durchgeführt werden. Diese Regression liefert die Werte für die Steigung und den y-Achsenabschnitt

$$\begin{aligned} a_3 &= (-2.06 \pm 0.09) \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{s}} \\ b_3 &= 7.31 \pm 0.09 . \end{aligned}$$

Der Vergleich zwischen der linearen Regression und der Zerfallsfunktion liefert die Werte für die Zerfallskonstante λ_1 und die Konstante $N_{0,1}$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -a_3 = (2.06 \pm 0.09) \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{s}} \\ N_{0,1} &= e^{b_3} = 1490 \pm 130 . \end{aligned}$$

Der Fehler wurde mit der Gleichung (3) berechnet. Durch die Gleichung (4) und (5) lässt sich die Halbwertszeit für den schnellen Zerfall berechnen

$$T_{1/2,1,\text{Rhodium}} = (33.7 \pm 1.4) \text{ s}$$

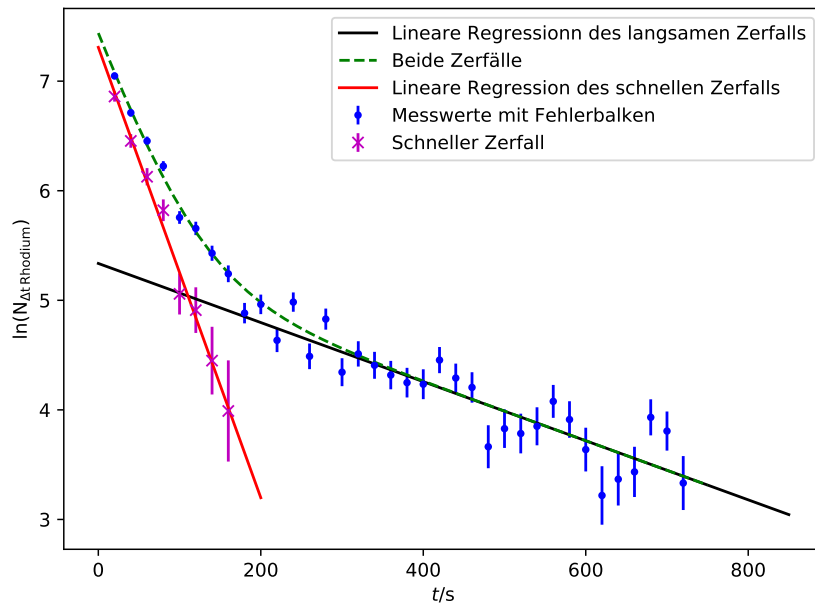


Abbildung 5: Messwerte und lineare Regression von Rhodium: Zeit t , Anzahl der Ausschläge ohne Untergrundstrahlung $N_{\Delta t, \text{Rhodium}}$.

Tabelle 2: Messwerte für die Regression des schnellen Zerfalls von Rhodium.

t / s	$N_{\Delta t \text{ mit U}} / \text{Anzahl}/20 \text{ s}$	$N_{\Delta t, 1, \text{Rhodium}} / \text{Anzahl}/20 \text{ s}$	$\ln(N_{\Delta t, 1, \text{Rhodium}})$
20,00	116,00 \pm 34,18	953,15 \pm 44,37	6,86 \pm 0,05
40,00	840,00 \pm 28,98	635,49 \pm 39,53	6,45 \pm 0,06
60,00	653,00 \pm 25,55	458,28 \pm 36,15	6,13 \pm 0,08
80,00	523,00 \pm 22,87	337,56 \pm 33,42	5,82 \pm 0,10
100,00	334,00 \pm 18,28	157,35 \pm 29,58	5,06 \pm 0,19
120,00	304,00 \pm 17,44	135,68 \pm 28,25	4,91 \pm 0,21
140,00	246,00 \pm 15,68	85,58 \pm 26,43	4,45 \pm 0,31
160,00	207,00 \pm 14,39	54,05 \pm 24,96	3,99 \pm 0,46

Tabelle 3: Messwerte Rhodium: Zeit t , Anzahl der Ausschläge des Geiger-Müller-Zählrohrs $N_{\Delta t \text{ mit U}}$, Anzahl der Ausschläge ohne Untergrundstrahlung $N_{\Delta t \text{ Rhodium}}$.

t / s	$N_{\Delta t \text{ mit U}} / \text{Anzahl}/20 \text{ s}$	$N_{\Delta t \text{ Rhodium}} / \text{Anzahl}/20 \text{ s}$	$\ln(N_{\Delta t \text{ Rhodium}})$
20	1168,00 \pm 34,18	1150,00 \pm 34,20	7,05 \pm 0,03
40	840,00 \pm 28,98	822,00 \pm 29,01	6,71 \pm 0,04
60	653,00 \pm 25,55	635,00 \pm 25,58	6,45 \pm 0,04
80	523,00 \pm 22,87	505,00 \pm 22,90	6,22 \pm 0,04
100	334,00 \pm 18,28	316,00 \pm 18,32	5,76 \pm 0,06
120	304,00 \pm 17,44	286,00 \pm 17,48	5,66 \pm 0,06
140	246,00 \pm 15,68	228,00 \pm 15,73	5,43 \pm 0,07
160	207,00 \pm 14,39	189,00 \pm 14,44	5,24 \pm 0,08
180	150,00 \pm 12,25	132,00 \pm 12,31	4,88 \pm 0,09
200	161,00 \pm 12,69	143,00 \pm 12,75	4,96 \pm 0,09
220	121,00 \pm 11,00	103,00 \pm 11,07	4,63 \pm 0,11
240	164,00 \pm 12,81	146,00 \pm 12,87	4,98 \pm 0,09
260	107,00 \pm 10,34	89,00 \pm 10,42	4,49 \pm 0,12
280	143,00 \pm 11,96	125,00 \pm 12,02	4,83 \pm 0,10
300	95,00 \pm 9,75	77,00 \pm 9,82	4,34 \pm 0,13
320	109,00 \pm 10,44	91,00 \pm 10,51	4,51 \pm 0,12
340	100,00 \pm 10,00	82,00 \pm 10,07	4,41 \pm 0,12
360	93,00 \pm 9,64	75,00 \pm 9,72	4,32 \pm 0,13
380	88,00 \pm 9,38	70,00 \pm 9,46	4,25 \pm 0,14
400	87,00 \pm 9,33	69,00 \pm 9,41	4,23 \pm 0,14
420	104,00 \pm 10,20	86,00 \pm 10,27	4,45 \pm 0,12
440	91,00 \pm 9,54	73,00 \pm 9,62	4,29 \pm 0,13
460	85,00 \pm 9,22	67,00 \pm 9,30	4,21 \pm 0,14
480	57,00 \pm 7,55	39,00 \pm 7,65	3,66 \pm 0,20
500	64,00 \pm 8,00	46,00 \pm 8,09	3,83 \pm 0,18
520	62,00 \pm 7,87	44,00 \pm 7,97	3,78 \pm 0,18
540	65,00 \pm 8,06	47,00 \pm 8,15	3,85 \pm 0,17
560	77,00 \pm 8,78	59,00 \pm 8,86	4,08 \pm 0,15
580	68,00 \pm 8,25	50,00 \pm 8,34	3,91 \pm 0,17
600	56,00 \pm 7,48	38,00 \pm 7,58	3,64 \pm 0,20
620	43,00 \pm 6,56	25,00 \pm 6,67	3,22 \pm 0,27
640	47,00 \pm 6,86	29,00 \pm 6,96	3,37 \pm 0,24
660	49,00 \pm 7,00	31,00 \pm 7,11	3,43 \pm 0,23
680	69,00 \pm 8,31	51,00 \pm 8,40	3,93 \pm 0,17
700	63,00 \pm 7,94	45,00 \pm 8,03	3,81 \pm 0,18
720	46,00 \pm 6,78	28,00 \pm 6,89	3,33 \pm 0,25

5 Diskussion

Die berechneten Halbwertszeiten und deren Literaturwerte sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die Literaturwerte der Halbwertszeiten von Rhodium liegen in dem von uns

Tabelle 4: Vergleich: berechnete Werte und Literaturwerte für die Halbwertszeiten.
[Rau] [Cen]

	berechnete Halbwertszeit $T_{1/2} / \text{s}$	Literaturwert $T_{1/2, \text{Literatur}} / \text{s}$	Abweichung $p / \%$
Vanadium	200 ± 15	224,6	10,95
Rhodium 1	$33,7 \pm 14$	42,3	20,33
Rhodium 2	257 ± 28	260,4	1,31

berechneten Fehlerintervall. Die berechnete Halbwertszeit von Vanadium weicht um etwa 10 % von dem Literaturwert ab. Eine Fehlerquelle die zu solchen Abweichungen führen kann, ist die Nullmessung. Diese konnte nur für eine Zeit von $t = 240 \text{ s}$ durchgeführt werden, da der automatische Zähler in hohen Zeitintervallen nicht gemessen hat. Diese zu kurze Messung der Untergrundstrahlung führt zu statistischen Fehlern für N_U und somit weiterführend für die ganze Berechnung der Halbwertszeiten.

Bei Rhodium lässt sich außerdem berechnen, mit welcher Wahrscheinlichkeit welcher der beiden Zerfälle stattfindet. Durch die Konstanten $N_{0,1}$, $N_{0,2}$, welche die Zerfallenen Kerne beschreiben, kann man den Anteil der zerfallenen Kerne des langsamen Zerfalls berechnen:

$$p = \frac{N_{0,2, \text{Rhodium}}}{N_{0,1, \text{Rhodium}} + N_{0,2, \text{Rhodium}}} \approx 12.25 \%$$

Dieser Anteil stimmt ungefähr mit dem Anteil aus der Literatur von $p_{\text{Literatur}} \approx 10 \%$ überein([Dor]).

Literatur

- [Cen] National Nuclear Data Center. *Isotope des Elements Rhodium*. URL: <http://www.oess.de/Kernphysik/Elemente/045-rh.html> (besucht am 04.06.2018).
- [Dor] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. V702 Aktivierung mit Neutronen*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V702.pdf> (besucht am 04.06.2018).
- [Rau] René Rausch. *Periodensystem online - Vanadium*. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=23&mz=52&nrg=0&show=nuklid> (besucht am 04.06.2018).