Versuch 702

Aktivierung mit Neutronen

1. Januar 1970

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist die Messung von Halbwertszeiten im Bereich von einigen Sekunden bis hin zu einer Stunde.

2 Theorie

2.1 Aktivierung mit Neutronen

Die Aktivierung des zu vermessenden Kerns muss direkt vor der Messung geschehen, da die Halbwertszeit $T \leq 1\,\mathrm{h}$ ist. Die Halbwertszeit T ist die Zeit, in der die Hälfte der Kerne der Anfangsmenge zerfallen ist. Zur Anregung der Kerne werden Neutronen statt Protonen verwendet, da diese nicht vom Kern abgestoßen werden. Die Neutronen stammen aus dem Beschuss von ${}^{9}_{4}\mathrm{Be}$ mit α-Teilchen, diese stammen aus dem natürlichen Zerfall von ${}^{226}\mathrm{Ra}$. Die Erzeugung der Neutronen läuft nach

$$ {}^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{4}_{2}\alpha \longrightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \tag{1} $$

ab, [1]. Die Neutronen werden zunächst abgebremst, da somit der Wirkungsquerschnitt σ vergrößert wird. Dieser sagt aus wie wahrscheinlich ein Neutron von einem Kern eingefangen wird. Durch eine kleinere Geschwindigkeit ist die Energie ebenfalls kleiner, durch elastische Stöße mit möglichst leichten Atomen kann dies realisiert werden. In diesem Versuch wird Paraffin verwendet. Durch die niedrige Energie verweilen die Neutronen, bildlich gesehen, länger in der Nähe des Kerns, der Wirkungsquerschnitt wird dadurch größer.
Ein angeregter Kern wird Zwischenkern, oder auch Compoundkern genannt, er befindet sich etwa $10^{-16}\,\mathrm{s}$ in diesem Zustand. Mit Emission eines γ-Quants kehrt der Kern aus dem angeregten Zustand in den Grundzustand.

$$ {}^{m}_{z}\mathrm{A} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{m+1}_{z}\mathrm{A}^{*} \longrightarrow {}^{m+1}_{z}\mathrm{A} + \gamma \tag{2} $$

Die Anregung erfolgt durch Einfangen eines Neutrons, dessen Energie auf alle Teilchen im Kern gleichmäßig verteilt wird, sowie in die Bindungsenergien übergeht.
Mit einem β^{-}-Zerfall zerfällt der Kern zu einem stabilen Kern, unter Emission eines Elektrons und eines Anti-Elektron-Neutrino,

$$ {}^{m+1}_{z}\mathrm{A} \longrightarrow {}^{m+1}_{z+1}\mathrm{C} + \beta^{-} + E_{\mathrm{kin}} + \bar{\nu}_{\mathrm{e}} \tag{3} $$

Der Zerfall findet statt, wenn die Neutronenanzahl zu hoch für einen stabilen Kern ist. Bei den verwendeten Isotopen ist das bei einem Neutron mehr der Fall.

2.2 Verwendete Messmethode

Da die Messung der Zerfallskurve

$$N(t) = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t} \tag{4}$$

an sich nur mit großen Fehlern messbar ist, wird in diesem Versuch

$$N_{\Delta t}(t) = N(t) - N(t + \Delta t) \tag{5}$$

gemessen. Anders geschrieben

$$N_{\Delta t}(t) = N_0 \left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda\,\Delta t}\right) \mathrm{e}^{-\lambda t}\ . \tag{6}$$

Konstant ist der Ausdruck

$$N_0 \left(1 - \mathrm{e}^{-\lambda\,\Delta t}\right)\ , \tag{7}$$

sodass über die Gesamtformel die Zerfallskonstante λ bestimmt werden kann. λ kann zudem über die Halbwertszeit T_h bestimmt werden

$$N(T_\mathrm{h}) = \frac{N_0}{2} = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda T_\mathrm{h}} \tag{8}$$

$$T_\mathrm{h} = \frac{\ln(2)}{\lambda}\ . \tag{9}$$

2.3 Zerfälle

Das verwendete Indium Präparat zerfällt nach

$$^{115}_{49}\mathrm{In} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow ^{116}_{49}\mathrm{In} \longrightarrow ^{116}_{50}\mathrm{Sn} + \beta^- + \bar{\nu}_e\ . \tag{10}$$

Bei Rhodium kann ein instabiles höher energetisches Isomer entstehen, dieses zerfällt mit einem γ-Quant in das andere Zerfallsprodukt. Diese beiden Zerfälle können getrennt werden, da der Übergang des 104i zum 104 eine kürzere Halbwertszeit hat, als der Übergang von Rhodium zu Palladium.

$$^{103}_{45}\mathrm{Rh} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \begin{cases} \xrightarrow{10\,\%} ^{104i}_{45}\mathrm{Rh} \longrightarrow ^{104}_{45}\mathrm{Rh} + \gamma \longrightarrow ^{104}_{46}\mathrm{Pd} + \beta^- + \bar{\nu}_e \\ \xrightarrow{90\,\%} ^{104}_{45}\mathrm{Rh} \longrightarrow ^{104}_{46}\mathrm{Pd} + \beta^- + \bar{\nu}_e \end{cases} \tag{11}$$

3 Durchführung

Die Zerfälle werden mit einem Geiger-Müller-Zählrohr detektiert und in einem Zählwerk erfasst. Die gezählte Anzahl an Zerfällen wird wechelweise in zwei Anzeigefenstern angezeigt. Die angergte Probe kann um das Zählrohr gelegt werden, umgekehrt zur Skizze, insgesamt sind Probe und Zählrohr während der Messung in einer Bleiabschirmung.

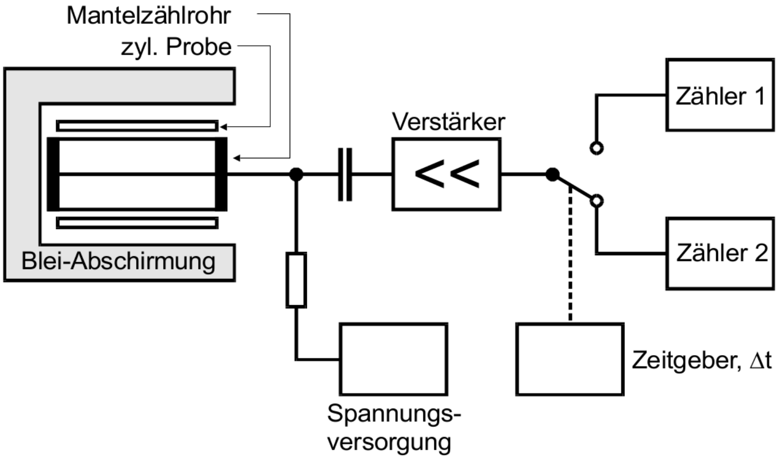

Abbildung 1: Aufbau des Versuches aus [1].

Der systematische Fehler der durch das Wechseln des Zählabschnitts entsteht, wird aufgrund der dafür benötigten Zeit von etwa 10^{-7} s im Vergleich zu den Intervallzeiten in Tabelle 1 vernachlässigt.
Als erstes wird eine Nullmessung durchgeführt, um die allgeneine Strahlungsintensität herauszufinden, es wird über eine Zeit von 800 s gemessen.
Die Messzeiten der Präparatsmessungen werden einer ausliegenden Tabelle entnommen. Unsere Messparameter stehen in Tabelle 1, vgl Kapitel 2.2.

Tabelle 1: Messparamter nach ausliegender Tabelle.

	Indium	Rhodium
min. Messzeit	60 min	12 min
Δt	240 s	20 s
# Messwerte	36	15

4 Auswertung

4.1 Nullmessung

In der Nullmessung wurden

$$N = 484 \tag{12}$$

Counts gemessen. Mit dem Fehler $\sqrt{N}$ ergibt sich

$$N = 484 \pm 22\,. \tag{13}$$

Der jeweilige Untergrund für die weiteren Messungen ist nach

$$N_{\Delta t} = \left(N \pm \sqrt{N}\right) \cdot \frac{\Delta t}{800\,\mathrm{s}} \tag{14}$$

für Rhodium

$$N_{20\,\mathrm{s}} = 12{,}1 \pm 0{,}6 \tag{15}$$

und für Indium

$$N_{240\,\mathrm{s}} = 145{,}2 \pm 6{,}6\,. \tag{16}$$

Wir haben den jeweils größten Fehler, aufgerundet verwendet.

4.2 Auswertung für Indium

Zuerst wird die Nullmessung beachtet und von den Messwerten subtrahiert. Die Kurve in Abbildung 2 wurde mit den logarithmierten Werten aus Tabelle 3 erstellt. Die Fitparameter ergeben sich mit einer Geradengleichung der Form

$$f = -m \cdot x + b \tag{17}$$

zu

$$m = (0{,}190 \pm 0{,}009) \cdot 10^{-3}\,\frac{1}{\mathrm{s}} \tag{18}$$

$$b = 8{,}068 \pm 0{,}020\,. \tag{19}$$

Dabei ist die Steigung m gerade der Exponent λ der Gleichung (4). Die Exponentialdarstellung der Messwerte für Indium ist Abbildung 3. Der Fehler ist mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{j=0}^{K} \left(\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}y_j}\Delta y_j\right)^2} \tag{20}$$

im logarithmierten

$$\Delta N_{\log} = \frac{\Delta N}{N} \tag{21}$$

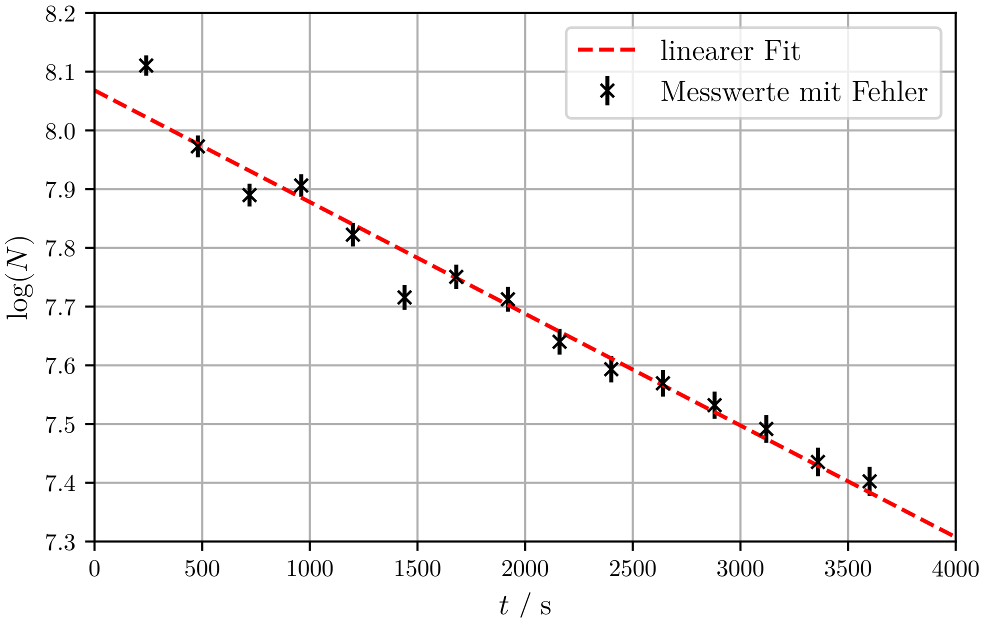

Abbildung 2: Zerfallskurve für Indium mit Fit.

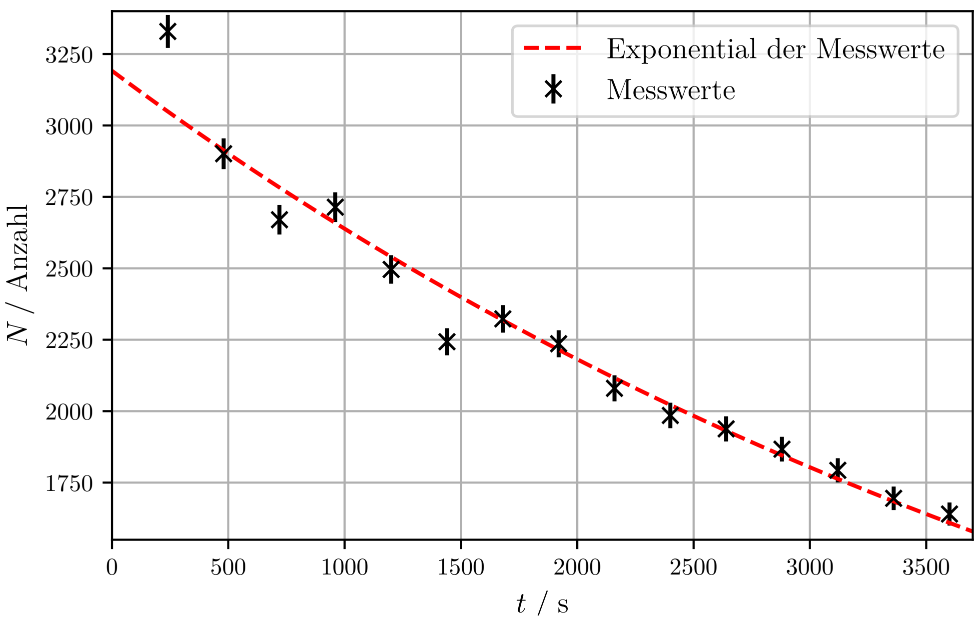

Abbildung 3: Messwerte für Indium mit Zerfallsgesetz.

sonst

$$\Delta N = \sqrt{N}\ . \tag{22}$$

Es ergibt sich eine Halbwertszeit gemäß Gleichung (9) von

$$\begin{align}
T_\mathrm{h} &= \frac{\ln(2)}{(0{,}190 \pm 0{,}009)\cdot 10^{-3}/\mathrm{s}} \tag{23}\\
&= (3{,}64 \pm 0{,}18)\cdot 10^{3}\,\mathrm{s} \tag{24}\\
&= (60{,}7 \pm 0{,}3)\,\mathrm{min}\ . \tag{25}
\end{align}$$

Der Fehler folgt aus der Fehlerfortpflanzung (20) zu

$$\Delta T_\mathrm{h} = -\frac{\ln(2)}{\lambda^2}\cdot \Delta\lambda\ . \tag{26}$$

Die prozentuale Abweichung zum Literaturwert [2] beträgt

$$\Delta T_\mathrm{h} = \frac{|54{,}28\,\mathrm{min} - 60{,}7\,\mathrm{min}|}{54{,}28\,\mathrm{min}}\cdot 100 = 11{,}83\,\%\ . \tag{27}$$

4.3 Auswertung für Rhodium

Die Zerfallskurve von Rhodium ist in Abbildung 4 dargestellt und wurde mit den Daten aus Tabelle 4 erstellt.
Zunächst wird die Kurve in zwei Abschnitte aufgespalten. Der erste Abschnitt wird bis etwa $t = 160\,\mathrm{s}$ gewählt. Ab da ist der Großteil des Isomeres mit der kleineren Halbwertszeit zerfallen, sodass die Kurve nahezu linear abfällt. Dies liegt daran, dass die Halbwertszeit des $^{104}_{45}\mathrm{Rh}$ wesentlich länger ist als die Messzeit.
Die Parameter des linearen Fits der Form

$$y = -m\cdot x + b \tag{28}$$

sind

$$\begin{align}
m_\mathrm{l} &= (1{,}93 \pm 0{,}17)\cdot 10^{-3}\,\frac{1}{\mathrm{s}} \tag{29}\\
b_\mathrm{l} &= 5{,}30 \pm 0{,}08\ . \tag{30}
\end{align}$$

Die Fehlerbalken wurden gemäß Formel (21) bestimmt. Für die Berechnung des Fits für das Isomer mit kurzer Halbwertszeit werden die theoretischen Werte der langen Halbwertszeitzerfälle von der Gesamtanzahl abgezogen, jedoch nur links des blauen Striches in Abbildung 4:

$$N_\mathrm{kurz}(t) = N_\mathrm{ges}(t) - N_\mathrm{lang}(t) = N_\mathrm{ges}(t) - \exp(-m\cdot t + b) \tag{31}$$

berechnet. Die Kurve der kurzen Halbwertszeit liegt somit tiefer als aller Zerfälle. Auch hier wird eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt. Beide Fits sind in Abbildung 5

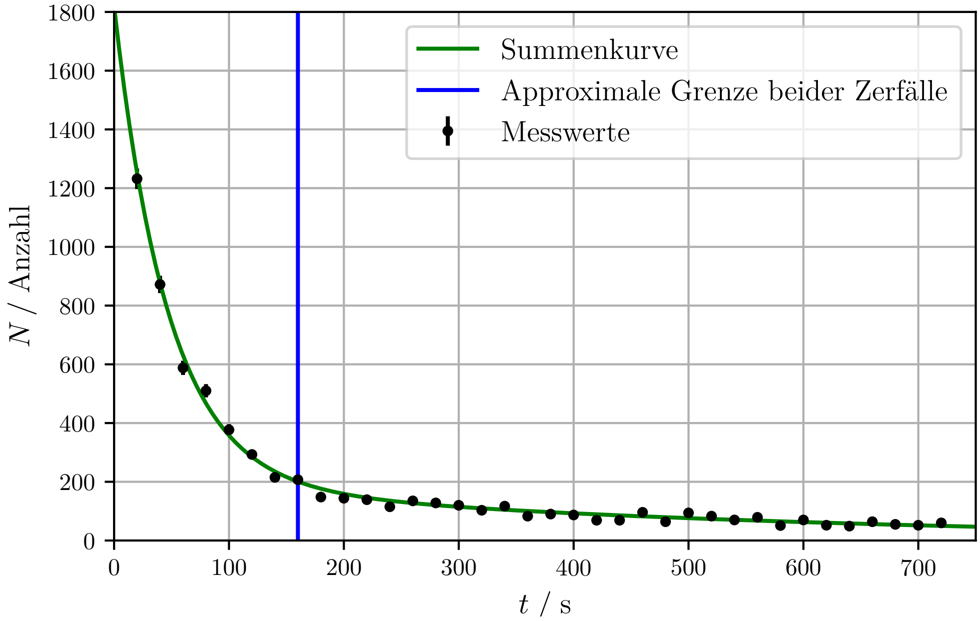

Abbildung 4: Messkurve für Rhodium.

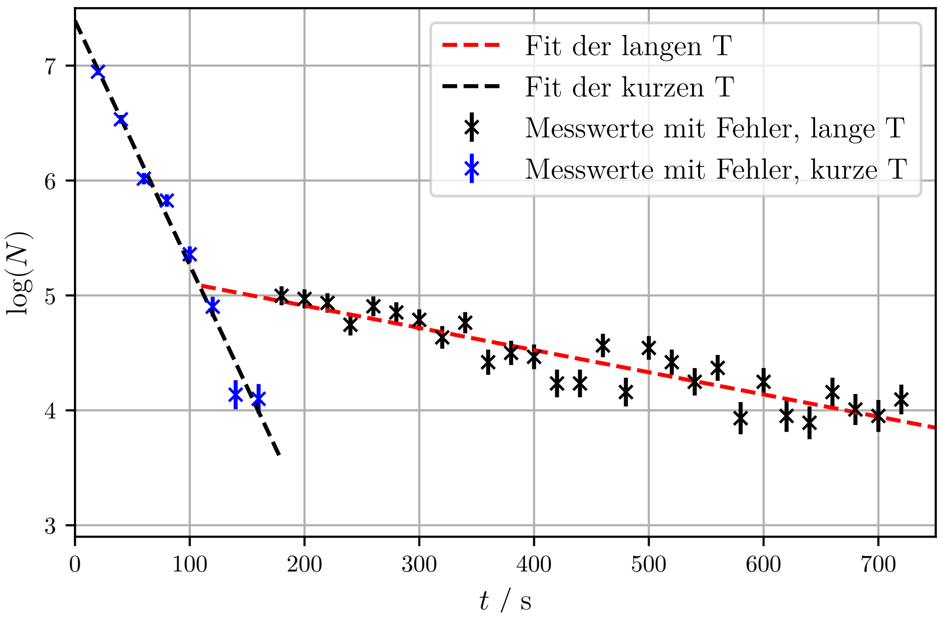

Abbildung 5: Beide Fits zusammengetragen.

zusehen. Die Parameter sind

$$m_{\text{k}} = (2{,}13 \pm 0{,}11) \cdot 10^{-2}\,\frac{1}{\text{s}} \tag{32}$$

$$b_{\text{k}} = 7{,}39 \pm 0{,}12\,. \tag{33}$$

Zum Schluss werden, um die Summenkurve zu bestimmen, beide Exponentialfunktionen gemäß

$$N_{\text{sum}}(t) = N_{\text{kurz}}(t) + N_{\text{lang}}(t) \tag{34}$$

mit

$$N_{\text{lang}}(t) = \exp(b_{\text{l}} + m_{\text{l}} \cdot t) \tag{35}$$

$$N_{\text{kurz}}(t) = \exp(b_{\text{k}} + m_{\text{k}} \cdot t) \tag{36}$$

addiert. Die Paramter m und b können den linearen Ausgleichsrechnungen oben entnommen werden. Für die beiden Isomere ergeben sich mit Formel (9) und dem Fehler aus Formel (26)

$$T_{\text{kurz}} = (32{,}6 \pm 1{,}7)\,\text{s}$$
$$T_{\text{lang}} = (359 \pm 31)\,\text{s} = (6{,}0 \pm 0{,}5)\,\text{min}\,.$$

Die zu den Literaturwerten aus [3] zugehörigen prozentualen Fehler sind

$$\Delta T_{\text{lang}} = \frac{|4{,}3\,\text{min} - 6\,\text{min}|}{4{,}3\,\text{min}} \cdot 100\,\% = 39{,}53\,\%$$
$$\Delta T_{\text{kurz}} = \frac{|42{,}3\,\text{s} - 32{,}6\,\text{s}|}{42{,}3\,\text{s}} \cdot 100\,\% = 22{,}93\,\%\,.$$

5 Diskussion

Über die Genauigkeit der Messung der Untergrundstrahlung, welche durch zum Beispiel ^{40}K auftritt, kann nicht viel gesagt werden. Das ist die erste Fehlerquelle. Außerdem musste bei jeder Messung davon ausgegangen werden, dass die Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohrs hinreichend klein ist, sodass dieses einen verschwindend kleinen Fehler einbringt.

Die prozentualen Abweichungen der Halbwertszeiten sind relativ groß, die σ-Umgebungen der Werte passen noch weniger mit den Literatrwerten überein. In Tabelle 2 ist zu erkennen, dass die Übereinstimmung von σ-Umgebung und Literaturwert bei ^{104}Rh mit einer 4-σ-Umgebung am kleinsten ist. Gerade die Rhodium-Mesung ist durch die beiden Zerfallsreihen in der Auswertung schwierig.

Aus den Abbildungen kann entnommen werden, dass die Zählungen bei Rhodium, für den hinteren Bereich, sehr mit statistischen Fehlern behaftet sind und deshalb der Fit nicht optimal ist. Dennoch liegen die Fitkurven in den Abbildungen gut zu den Messwerten.

Tabelle 2: Halbwertszeiten und prozentuale Abweichung. [2] [3]

Isotop	T_h	$T_\mathrm{h,lit}$	ΔT_h / %
^{115}In	$(60{,}7 \pm 0{,}3)$ min	54,28 min	11,83
^{104}Rh	$(6{,}0 \pm 0{,}5)$ min	4,3 min	39,53
^{104i}Rh	$(32{,}6 \pm 1{,}7)$ s	42,3 s	22,93

Literatur

[1] *Anleitung zu v702, Aktivierung mit Neutronen.* URL: `http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V702.pdf` (besucht am 19. 11. 2017).

[2] *Das Periodensystem der Elemente online.* URL: `http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=49&mz=116&nrg=0.1273&show=nuklid` (besucht am 10. 06. 2018).

[3] *Das Periodensystem der Elemente online.* URL: `http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=45&mz=104&nrg=0&show=nuklid&sel=` (besucht am 10. 06. 2018).

6 Tabellen

Tabelle 3: Messwerte für die Indium Messung.

t / s	N	$\log(N)$
240	3329 ± 58	$8{,}11 \pm 0{,}02$
480	2901 ± 54	$7{,}97 \pm 0{,}02$
720	2670 ± 52	$7{,}89 \pm 0{,}02$
960	2714 ± 52	$7{,}91 \pm 0{,}02$
1200	2496 ± 50	$7{,}82 \pm 0{,}02$
1440	2243 ± 47	$7{,}72 \pm 0{,}02$
1680	2323 ± 48	$7{,}75 \pm 0{,}02$
1920	2236 ± 47	$7{,}71 \pm 0{,}02$
2160	2080 ± 46	$7{,}64 \pm 0{,}02$
2400	1985 ± 45	$7{,}59 \pm 0{,}02$
2640	1938 ± 44	$7{,}57 \pm 0{,}02$
2880	1867 ± 43	$7{,}53 \pm 0{,}02$
3120	1793 ± 42	$7{,}49 \pm 0{,}02$
3360	1695 ± 41	$7{,}44 \pm 0{,}02$
3600	1640 ± 40	$7{,}40 \pm 0{,}02$

Tabelle 4: Messwerte für die Rhodium-Messung.

t / s	N	$\log(N)$	$\log(N)$ kurz|lang
20	1206 ± 35	$7{,}10 \pm 0{,}03$	$6{,}92 \pm 0{,}03$
40	846 ± 30	$6{,}74 \pm 0{,}03$	$6{,}50 \pm 0{,}04$
60	562 ± 24	$6{,}33 \pm 0{,}04$	$5{,}97 \pm 0{,}05$
80	484 ± 22	$6{,}18 \pm 0{,}05$	$5{,}78 \pm 0{,}06$
100	351 ± 19	$5{,}86 \pm 0{,}05$	$5{,}30 \pm 0{,}07$
120	267 ± 16	$5{,}59 \pm 0{,}06$	$4{,}83 \pm 0{,}09$
140	189 ± 14	$5{,}24 \pm 0{,}07$	$4{,}0 \pm 0{,}1$
160	181 ± 13	$5{,}20 \pm 0{,}07$	$4{,}0 \pm 0{,}1$
180	122 ± 11	$4{,}80 \pm 0{,}09$	$4{,}79 \pm 0{,}09$
200	118 ± 11	$4{,}77 \pm 0{,}09$	$4{,}73 \pm 0{,}09$
220	113 ± 11	$4{,}73 \pm 0{,}09$	$4{,}7 \pm 0{,}1$
240	89 ± 9	$4{,}5 \pm 0{,}1$	$4{,}6 \pm 0{,}1$
260	109 ± 10	$4{,}7 \pm 0{,}1$	$4{,}6 \pm 0{,}1$
280	102 ± 10	$4{,}6 \pm 0{,}1$	$4{,}5 \pm 0{,}1$
300	94 ± 10	$4{,}5 \pm 0{,}1$	$4{,}4 \pm 0{,}1$
320	77 ± 9	$4{,}3 \pm 0{,}1$	$4{,}4 \pm 0{,}1$
340	91 ± 10	$4{,}5 \pm 0{,}1$	$4{,}3 \pm 0{,}1$
360	57 ± 8	$4{,}0 \pm 0{,}1$	$4{,}3 \pm 0{,}1$
380	64 ± 8	$4{,}2 \pm 0{,}1$	$4{,}2 \pm 0{,}1$
400	61 ± 8	$4{,}1 \pm 0{,}1$	$4{,}2 \pm 0{,}1$
420	43 ± 7	$3{,}8 \pm 0{,}2$	$4{,}1 \pm 0{,}1$
440	43 ± 7	$3{,}8 \pm 0{,}2$	$4{,}0 \pm 0{,}1$
460	70 ± 8	$4{,}2 \pm 0{,}1$	$4{,}0 \pm 0{,}1$
480	38 ± 6	$3{,}6 \pm 0{,}2$	$3{,}9 \pm 0{,}1$
500	68 ± 8	$4{,}2 \pm 0{,}1$	$3{,}9 \pm 0{,}1$
520	57 ± 8	$4{,}0 \pm 0{,}1$	$3{,}8 \pm 0{,}1$
540	44 ± 7	$3{,}8 \pm 0{,}2$	$3{,}8 \pm 0{,}2$
560	53 ± 7	$4{,}0 \pm 0{,}1$	$3{,}7 \pm 0{,}2$
580	25 ± 5	$3{,}2 \pm 0{,}2$	$3{,}6 \pm 0{,}2$
600	44 ± 7	$3{,}8 \pm 0{,}2$	$3{,}6 \pm 0{,}2$
620	26 ± 5	$3{,}3 \pm 0{,}2$	$3{,}5 \pm 0{,}2$
640	23 ± 5	$3{,}1 \pm 0{,}2$	$3{,}5 \pm 0{,}2$
660	38 ± 6	$3{,}6 \pm 0{,}2$	$3{,}4 \pm 0{,}2$
680	29 ± 5	$3{,}4 \pm 0{,}2$	$3{,}4 \pm 0{,}2$
720	34 ± 6	$3{,}5 \pm 0{,}2$	$3{,}2 \pm 0{,}2$
700	26 ± 5	$3{,}3 \pm 0{,}2$	$3{,}3 \pm 0{,}2$