technische universität dortmund

fakultät physik

Anfängerpraktikum 2015/2016

Aktivierung mit Neutronen

Durchführung: 21.06.16

1. Abgabe

Clara Rittmann[1]
Anja Beck[2]

Betreuer:
Björn Wendland

[1]clara.rittmann@tu-dortmund.de
[2]anja.beck@tu-dortmund.de

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

In der Natur kommen stabile ebenso wie instabile Atomkerne vor. Instabile Atomkerne zerfallen solange, bis eine stabile Konfiguration. Die Geschwindigkeit des Kernzerfalls schwankt stark und ist über die Halbwertszeit, d.h. die Zeit bis die Hälfte aller Kerne zerfallen ist, definiert. Der Zerfall von N_0 Teilchen in N Teilchen wird durch

$$N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t} \tag{1}$$

mit der Zerfallskonstante λ beschrieben. Und die Halbwertszeit ist entsprechend

$$T = \ln\frac{2}{\lambda} \quad . \tag{2}$$

Ein Kern zerfällt, wenn die Anzahl von Neutronen zu Protonen ungünstig ist. Stabile Kerne weisen eine Neutronenzahl auf, die etwa 20 % bis 50 % über der Anzahl der Protonen liegt. In diesem Experiment werden Elemente mit einer sehr kurzen Halbwertszeit betrachtet. Ein zusätzlich in den Kern eingefügtes Neutron aktiviert diesen zu einem Zwischenkern und führt zu einem Beta-Zerfall. Ein Neutron n zerfällt in ein Proton unter Aussendung eines Elektrons β^- und zusätzlicher Strahlung ν_e^-. Die Strahlung ist eine Folge des Massendefizits: Proton und Elektron gemeinsam sind leichter als ein Neutron, die Differenz der Massen entspricht der Energie der Strahlung. In diesem Experiment wird der Zerfall von Brom in Krypton und Silber (52.3 % Isotop ${}^{107}_{47}\mathrm{Ag}$ und 48.7 % Isotop ${}^{109}_{47}\mathrm{Ag}$) in Cadmium betrachtet:

$$ {}^{79}_{35}\mathrm{Br} + \mathrm{n} \to {}^{80}_{35}\mathrm{Br} \to {}^{80}_{36}\mathrm{Kr} + \beta^- + \nu_\mathrm{e}^- \tag{3}$$

$$ {}^{107}_{47}\mathrm{Ag} + \mathrm{n} \to {}^{108}_{47}\mathrm{Ag} \to {}^{108}_{48}\mathrm{Cd} + \beta^- + \nu_\mathrm{e}^- \tag{4}$$

$$ {}^{109}_{47}\mathrm{Ag} + \mathrm{n} \to {}^{110}_{47}\mathrm{Ag} \to {}^{110}_{49}\mathrm{Cd} + \beta^- + \nu_\mathrm{e}^- \tag{5}$$

Die eingefügten Neutronen sollen möglichst langsam sein. Je länger sich das Neutron im Kern befindet, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Wechselwirkung. Die Neutronen werden durch den Beschuss von Beryllium mit α-Teilchen gewonnen und müssen anschließen abgebremst werden. Das geschieht in einer Paraffin-Schicht durch elastische Stöße an Protonen.

2 Aufbau und Ablauf des Experiments

Wesentlicher Bestandteil des Experiments ist ein Geiger-Müller-Zählrohr, das die Anzahl der Zerfälle registriert. Ein nachgeschalteter Zähler registriert die verstärkten Pulse in einem wählbaren Zeitintervall. Das Zeitintervall darf weder zu lang noch zu kurz gewählt werden, um statistische und systematische Fehler zu vermeiden.
Zu Beginn des Experiments wird eine Messung ohne Probe durchgeführt, um den Nulleffekt, d.h. die natürliche Anzahl an Pulsen, zu bestimmen.
Danach wird Brom eine halbe Stunde lang in drei minütigen Zeitintervallen gemessen und Silber sieben Minuten lang in Zeitintervall von 30 Sekunden.

3 Auswertung

Die Messung des Nulleffekts ergibt einen Offset von

$$N_{u,\mathrm{Br}} = \frac{182}{900}\mathrm{counts/s} = 36.4\,\mathrm{counts/intervall} \tag{6}$$

$$N_{u,\mathrm{Ag}} = \frac{222}{1200}\mathrm{counts/s} = 1.85\,\mathrm{counts/intervall}\ . \tag{7}$$

Dieser wird von den aufgenommenen Werten abgezogen, die dann erhaltenen eigentlichen Zerfallsraten N pro Messintervall inklusive dem statistischen Fehler $\sqrt{N}$, der aus der Poissonverteilung des radioaktiven Zerfalls kommt, sind in Tabelle 1 dargestellt.

3.1 Brom

Die Anzahl der im Zeitintervall Δt Zerfallenen Brom-Atome ist

$$N_{\Delta t}(t) = N_0 \exp(-\lambda t) - N_0 \exp(-\lambda(t + \Delta t)) = N_0 \left(1 - \exp(-\lambda \Delta t)\right) \exp(-\lambda t)\ . \tag{8}$$

Logarithmiert ergibt sich so der lineare Zusammenhang

$$\Leftrightarrow \ln N_{\Delta t}(t) = \underbrace{\ln N_0 \left(1 - \exp(-\lambda \Delta t)\right)} = \mathit{const} - \lambda t\ . \tag{9}$$

Es kann eine lineare Ausgleichsrechnung mit den Wertepaaren $\{t_i, \ln N_{\Delta t}(t_i)\}$ durchgeführt werden. Der Zeitpunkt t_i ist hierbei der Zeitpunkt nach dem i-ten Messintervall (also $t_3 = 3\Delta t = 450\,\mathrm{s}$). Der Graph der linearen Regression ist in Abbildung 1 zu sehen, die Rechnung mit Python berechnet die Parameter (Steigung m, Achsenabschnitt b)

$$m = -\lambda = (-0.012 \pm 0.004)\,\frac{1}{\mathrm{s}} \tag{10}$$

$$b = 5.72 \pm 0.07\ . \tag{11}$$

Die Halbwertszeit von Brom-80 ist demnach

$$T_{^{80}_{35}\mathrm{Br}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = (56.98 \pm 0.07)\,\mathrm{s}\ . \tag{12}$$

3.2 Silber

Bei Silber finden zwei Zerfälle statt. Um sie zu Trennen wird ein Punkt bestimmt, ab dem nur noch der lange Zerfall eine Rolle spielt. Es wird $t = 130\,\mathrm{s}$ gewählt. Mit den Werten rechts davon wird nun eine lineare Regression, wie im vorigen Abschnitt für Brom durchgeführt. Allerdings werden einige Werte (siehe Abbildung 2) nicht berücksichtigt, da sie zu stark abweichen und das Ergebnis verfälschen würden. Die Ausgleichsrechnung liefert hier

$$m = -\lambda = (-0.0047 \pm 0.0005)\,\frac{1}{\mathrm{s}} \tag{13}$$

$$b = 3.1 \pm 0.2\ , \tag{14}$$

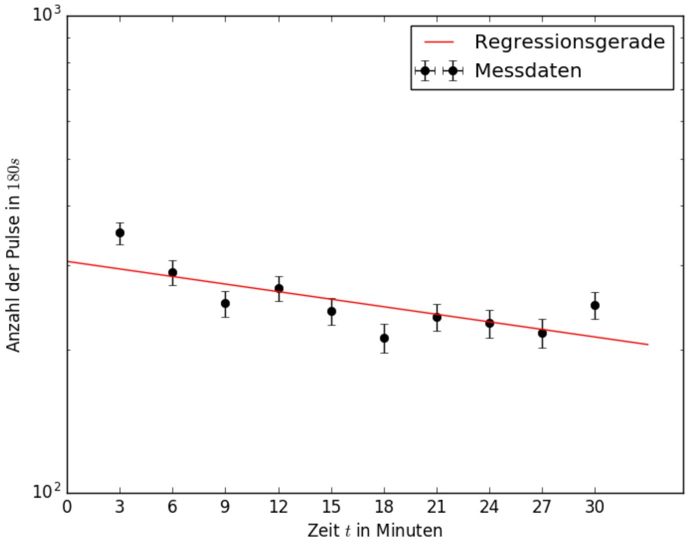

Abbildung 1: Regressionsgerade Brom

woraus sich eine Halbwertszeit von

$$T_{^{108}_{47}\mathrm{Ag}} = (146.662 \pm 0.008)\,\mathrm{s} \tag{15}$$

ergibt.
Um die Halbwertszeit für den kurzlebigen Zerfall zu erhalten werden nun die Werte mit $t < 90\,\mathrm{s}$ gewählt. Der Anteil des langen Zerfalls wird abgezogen, sodass allein der Anteil des kurzen Zerfalls übrig bleibt. Wiederum wird eine lineare Regression durchgeführt, die Parameter lauten

$$m = -\lambda = (-0.023 \pm 0.002)\,\frac{1}{\mathrm{s}} \tag{16}$$
$$b = 4.5 \pm 0.1 \;, \tag{17}$$

die Halbwertszeit lautet

$$T_{^{110}_{47}\mathrm{Ag}} = (30.701 \pm 0.004)\,\mathrm{s} \;. \tag{18}$$

Abbildung 2 zeigt die Regressionsgeraden mit den verwendeten Werten.
Der gesamte Zerfall beider Isotope kann durch einfach Addition der beiden Geraden erhalten werden. Dabei ist zu beachten, dass gilt

$$N_{\Delta t}(t) = N_{0,\mathrm{k}} \exp(-\lambda_\mathrm{k} t) + N_{0,\mathrm{l}} \exp(-\lambda_\mathrm{l} t) - N_{0,\mathrm{k}} \exp(-\lambda_\mathrm{k}(t+\Delta t)) + N_{0,\mathrm{l}} \exp(-\lambda_\mathrm{l}(t+\Delta t)) \tag{19}$$
$$= N_{0,\mathrm{k}} \exp(-\lambda_\mathrm{k} t)\,(1-\exp(-\lambda_\mathrm{k}\Delta t)) + N_{0,\mathrm{l}} \exp(-\lambda_\mathrm{l} t)\,(1-\exp(-\lambda_\mathrm{l}\Delta t)) \;, \tag{20}$$

sodass nicht die Geraden addiert werden, sondern die exponentiellen Zerfallskurven vor dem Logarigthmieren. Die addierten Kurven sind in Abbdildung 3 zu sehen.

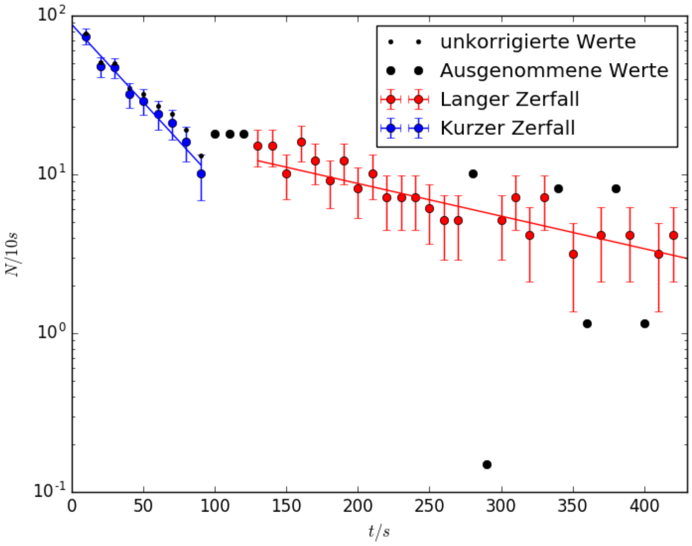

Abbildung 2: Regressionsgeraden Silber. Für die Regression wurden die Werte des reinen kurzen Zerfalls verwendet. Die Werte, bei denen der lange Zerfall noch nicht abgezogen wurde, werden als unkorrigierte Werte bezeichnet.

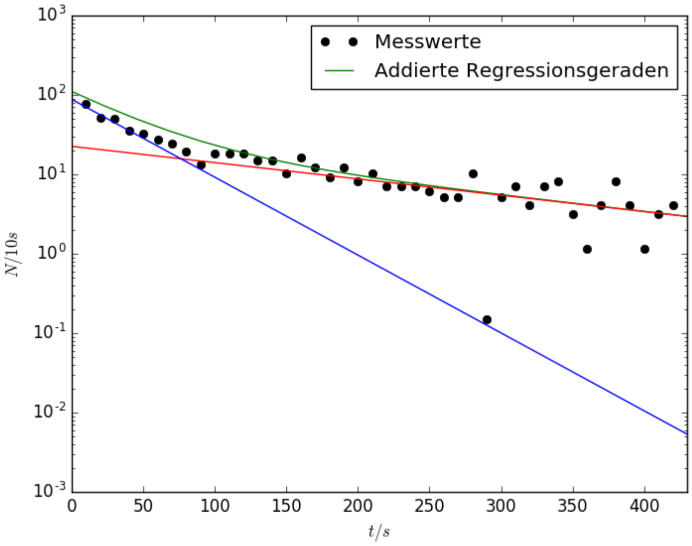

Abbildung 3: Addierte Zerfälle bei Silber

Tabelle 1: In einem Intervall gemessene Pulse nach Abziehen des Nullwertes

N_{Ag}	ΔN_{Ag}	N_{Br}	ΔN_{Br}
77	9	351	19
51	7	290	17
50	7	250	16
35	6	269	16
32	6	241	16
27	5	212	15
24	5	234	15
19	4	227	15
13	4	217	15
18	4	248	16
18	4		
18	4		
15	4		
15	4		
10	3		
16	4		
12	3		
9	3		
12	3		
8	3		
10	3		
7	3		
7	3		
7	3		
6	2		
5	2		
5	2		
10	3		
0.1	0.4		
5	2		
7	3		
4	2		
7	3		
8	3		
3	2		
1	1		
4	2		
8	3		
4	2		
1	1		
3	2		
4	2		

4 Diskussion

Literaturwerte[1] zu den berechneten Halbwertszeiten finden sich in Tabelle 2. Wie Abbildung 1 schon vermuten lässt, die Messpunkte liegen scheinbar willkürlich verstreut um die Gerade herum, weicht Brom sehr stark von diesem Wert ab. Die Messung von Silber liefert im Gegensatz dazu relativ gute Werte. Wobei auch hier Fehler unvermeidbar sind. Bei der Messung wurde das Zählwerk zunächst falsch eingestellt, sodass zwei Messperioden „verschenkt" wurden. Außerdem ist die Wahl der Zeitpunkte, wann ein Zerfall beginnt bzw. endet, (so gut wie) willkürlich. Und zuletzt folgt der radioaktive Zerfall einer Statistik, d.h. selbst eine perfekte Messung ohne systematischen Fehler, könnte ein stark vom erwarteten Wert abweichendes Ergebnis liefern.

Tabelle 2: Vergleich der berechneten Halbwertszeiten mit Literaturwerten

Element	gemessene Halbwertszeit	Literaturwert	Abweichung
Brom-80	$(56.98 \pm 0.07)\,\mathrm{s}$	$1061\,\mathrm{s}$	-94.6%
Silber-108	$(30.701 \pm 0.004)\,\mathrm{s}$	$24.6\,\mathrm{s}$	19.9%
Silber-110	$(146.662 \pm 0.008)\,\mathrm{s}$	$142.2\,\mathrm{s}$	3.2%

[1] `http://www.periodensystem-online.de`, aufgerufen am 26.06.16 um 21:00 Uhr

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis