

VERSUCH 702

Aktivierung mit Neutronen

Tabea Hacheney
tabea.hacheney@tu-dortmund.de

Bastian Schuchardt
bastian.schuchardt@tu-dortmund.de

Durchführung: 26.04.2022

Abgabe: 03.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Aktivierung mittels Neutronenbeschuss	3
2.2 Erzeugung niederenergetischer freier Neutronen	4
2.3 β^- -Zerfall und γ -Zerfall	4
2.4 Halbwertszeit	5
3 Durchführung und Aufbau	6
3.1 Aktivierung der Atomkerne durch Neutronenbeschuss	6
3.2 Bestimmung der Halbwertszeit der aktivierten Isotope	7
4 Auswertung	7
5 Diskussion	8
Literatur	8

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Halbwertszeit T verschiedener instabiler Isotope und Isotopengemische untersucht werden.

2 Theorie

Atomkerne sind instabil, wenn das Verhältnis der Neutronen- und Protonenanzahl außerhalb eines atomspezifischen Stabilitätsbereichs liegt. Dieser Akzeptanzrahmen liegt meistens zwischen 20 und 50% mehr Neutronen als Ordnungszahl Z .

Ein instabiler Atomkern kann mit von Atom zu Atom unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit zu verschiedenen Zerfallsprodukten zerfallen. Diese Zerfallsprodukte können Atome und/oder Teilchen sein.

Da nicht genau vorhergesagt werden kann, ob und wann ein instabiler Kern zerfällt, wird eine andere Größe verwendet, um die Wahrscheinlichkeit eines Zerfalls abschätzen zu können. Der Zeitraum, in dem die Hälfte der vorhandenen instabilen Kerne zerfallen ist, nennt sich Halbwertszeit T .

2.1 Aktivierung mittels Neutronenbeschuss

In diesem Versuch werden Atomkerne mit Neutronen beschossen, um diese in einen angeregten Zustand zu überführen und anschließend deren Zerfälle zu beobachten. Diese angeregten Kerne heißen auch Zwischenkern oder Compoundkern.

Die Neutronen werden von den stabilen Atomkernen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eingefangen, welche vom Wirkungsquerschnitt abhängt. Der Wirkungsquerschnitt σ ist hierbei die Fläche, die ein Kern besitzen müsste, wenn jedes diese Fläche treffende Neutron eingefangen werden würde.

Der Wirkungsquerschnitt wird in $10^{-24} \text{ cm}^2 := 1 \text{ barn}$ angegeben und lässt sich durch die Formel

$$\sigma = \frac{u}{nKd} \quad (1)$$

beschreiben.

Der Wirkungsquerschnitt für den Neutroneneinfang ist zudem stark abhängig von der Geschwindigkeit der Neutronen und somit dessen kinetischen Energie.

Die Wellenlänge λ des Neutrons ist antiproportional zu dessen Geschwindigkeit v ($\lambda \propto \frac{1}{v}$). Wenn die Geschwindigkeit hoch genug und die Wellenlänge somit klein gegen den Kernradius R ($\approx 10^{-12} \text{ cm}$) ist, können geometrische Überlegungen auf die Wechselwirkung angewendet werden. Bei langsamen Neutronen ($R \leq \lambda$) sind solche Überlegungen durch Interferenzeffekte nicht möglich.

Breit und Wigner haben eine Formel aufgestellt, die den Zusammenhang zwischen Wirkungsquerschnitt und Neutronenenergie darstellt:

$$\sigma(E) = \sigma_0 \sqrt{\frac{E_{r_i}}{E}} \frac{\tilde{c}}{(E - E_{r_i})^2 + \tilde{c}} \quad (2)$$

E ist die Neutronenenergie, E_{r_i} die Energieniveaus der Zwischenkerne und \tilde{c} und σ_0 sind charakteristische Konstanten.

In der Formel lässt sich ablesen, dass der Wirkungsquerschnitt maximal ist, wenn die Neutronenenergie gleich der Höhe des Energieniveaus des Zwischenkerns ist.

Wenn $E \ll E_r$, dann kann der quadrierte Term in der Formel als konstant angenommen werden und es ergibt sich die Proportionalität

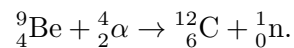
$$\sigma \propto \frac{1}{v}.$$

Somit ist die Einfangswahrscheinlichkeit größer, je kleiner die Energie des Neutrons ist. Daher werden für den Versuch vorzugsweise langsame Neutronen verwendet.

2.2 Erzeugung niederenergetischer freier Neutronen

Neutronen sind als freies Teilchen instabil und zerfallen nach etwa einer Viertelstunde. Daher kommen sie nicht in der Natur vor und müssen während des Versuchs erzeugt werden.

Wenn ${}^9\text{Be}$ -Kerne mit Heliumkernen (α -Teilchen) beschossen werden, wird dieser Kern zu einem Kohlenstoffkern und es wird ein Neutron emittiert:



Die Heliumkerne stammen von dem α -Zerfall von ${}^{226}\text{Ra}$ -Kernen.

Um nun niederenergetische Neutronen zu erhalten, werden diese dazu gezwungen durch dicke Materieschichten aus leichten Atomen hindurch zu diffundieren. Hierbei verlieren die Neutronen durch die elastischen Stöße mit den anderen Teilchen an Energie. Nach dem Gesetz des elastischen Stoßes ist die Energieübertragung umso größer, je kleiner die Massendifferenz der Teilchen ist. Also bietet sich das masseärmste Atom - Wasserstoff - an.

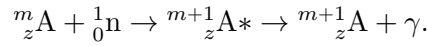
Die Neutronenenergie nähert sich somit der mittleren kinetischen Energie der Moleküle der Umgebung an. Alle Neutronen mit dieser spezifischen Energie und Geschwindigkeit werden als thermische Neutronen bezeichnet.

2.3 β^- -Zerfall und γ -Zerfall

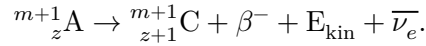
Wenn ein stabiler Kern mit einem Neutron beschossen und dieses absorbiert wird, ist die Energie des Compoundkerns um die kinetische Energie und Bindungsenergie des Neutrons höher als die des Ursprungskerns. Diese Energie verteilt sich dann auf alle Nukleonen, welche dadurch angeregt werden.

Wenn die Energie des einfallenden Neutrons klein genug ist, bewirkt die Verteilung der Energie im Kern, dass der Compoundkern das eingefallene Neutron oder ein anderes Nukleon nicht abstoßen kann.

Stattdessen geht der Kern durch emittieren eines γ -Quants (γ -Zerfall) nach kurzer Zeit (10^{-16}s) wieder in einen stabilen Zustand über:



Der Compoundkern ist allerdings durch die erhöhte Neutronenanzahl immernoch nicht stabil. Unter Emission eines Elektrons (β^- -Zerfall) geht der instabile Compoundkern in einen stabilen Kern über:



Die entstehende überschüssige Masse wird in kinetische Energie des Elektrons und Antineutrinos umgewandelt.

2.4 Halbwertszeit

Die Zahl $N(t)$ der zum Zeitpunkt t noch nicht zerfallenen Kerne ist durch

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

gegeben. N_0 ist hier die zum Beginn vorhandenen instabilen Kerne und λ die Zerfallskonstante, welche die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Zerfalls beschreibt.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben gibt die Halbwertszeit T an, nach welcher Zeit die Hälfte aller instabiler Kerne zerfallen ist. Mit diesem Wissen und der vorangegangenen Gleichung, lässt sich folgende Formel formulieren:

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda T}.$$

Durch Umformen ergibt sich dann schließlich

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (4)$$

Durch Messen von $N(t)$ in Abhängigkeit der Zeit könnte λ oder T ermittelt werden. Allerdings ist es sehr schwierig $N(t)$ zuverlässig zu messen.

Daher wird die Anzahl der zerfallenen Kerne $N_{\Delta t}(t)$ in einem Zeitintervall Δt gemessen. Die Größe $N_{\Delta t}(t)$ wird durch die Formel

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

beschrieben. Den Ausdruck kann wieder umgeschrieben werden zudem

$$\ln N_{\Delta t}(t) = \ln N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t}) - \lambda t \quad (5)$$

Durch eine lineare Ausgleichsrechnung, kann mithilfe von Gleichung 5 λ bestimmt werden. Hierbei ist die Wahl des Zeitintervalls wichtig. Bei kleinem Δt wird der statistische Fehler für $N_{\Delta t}(t)$ sehr groß und bei zu großem Δt der statistische Fehler für λ .

3 Durchführung und Aufbau

Die im Versuch verwendete Apparatur besteht aus einem Geiger-Müller-Zählrohr, auf das die aktivierte Probe gesteckt wird. Das Zählrohr ist hierbei dank einer Bleiabschirmung besonders gut von der Umgebungsstrahlung (Nulleffekt) abgeschirmt. Dies ist sehr wichtig, da die Anzahl der einzelnen gemessenen Zerfälle sehr klein sein können.

Die Zählung der Zerfälle erfolgt, nach Signalweitergabe des Zählrohrs, mithilfe eines umschaltbaren Zählwerks, dass jeweils nach einem festlegbaren Intervall zwischen zwei Impulszählern hin und her schaltet, was einfaches Ablesen und eine kontinuierliche Messung ermöglicht.

Der verwendete Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 zu sehen.

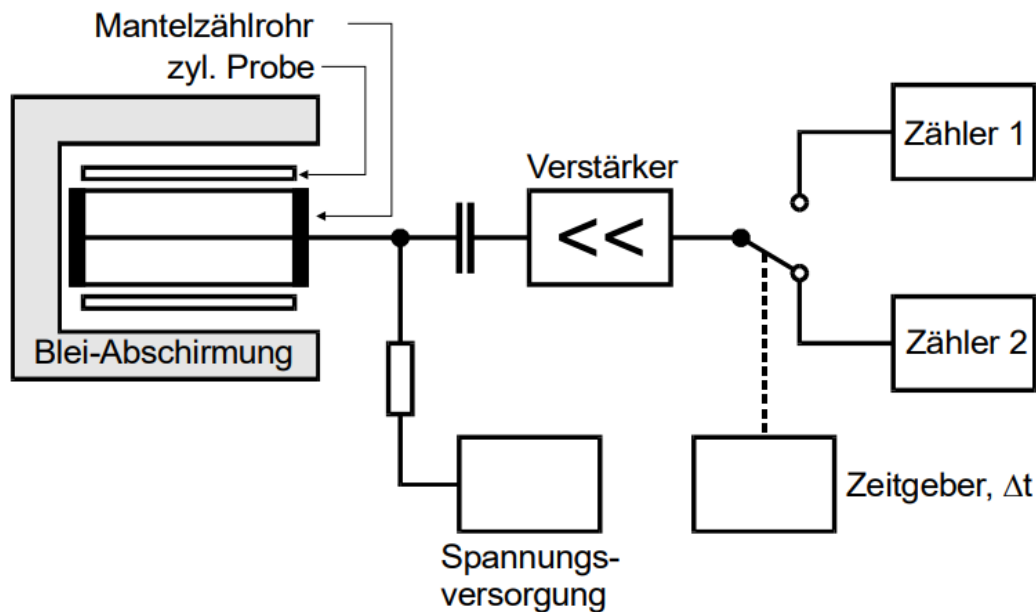


Abbildung 1: Verwendeter Versuchsaufbau zum Zählen der Zerfälle.[1]

3.1 Aktivierung der Atomkerne durch Neutronenbeschuss

Die Proben werden in einer speziellen Apparatur mit langsamen Neutronen beschossen und dadurch aktiviert.

Diese Apparatur, ist mit Paraffin (bestehend aus gesättigten Kohlenwasserstoffen) gefüllt, um die durch Kernreaktionen entstandenen Neutronen so stark wie möglich abzubremesen, bevor sie auf die Proben treffen. Die verwendete Apparatur ist in Abbildung 2 dargestellt.

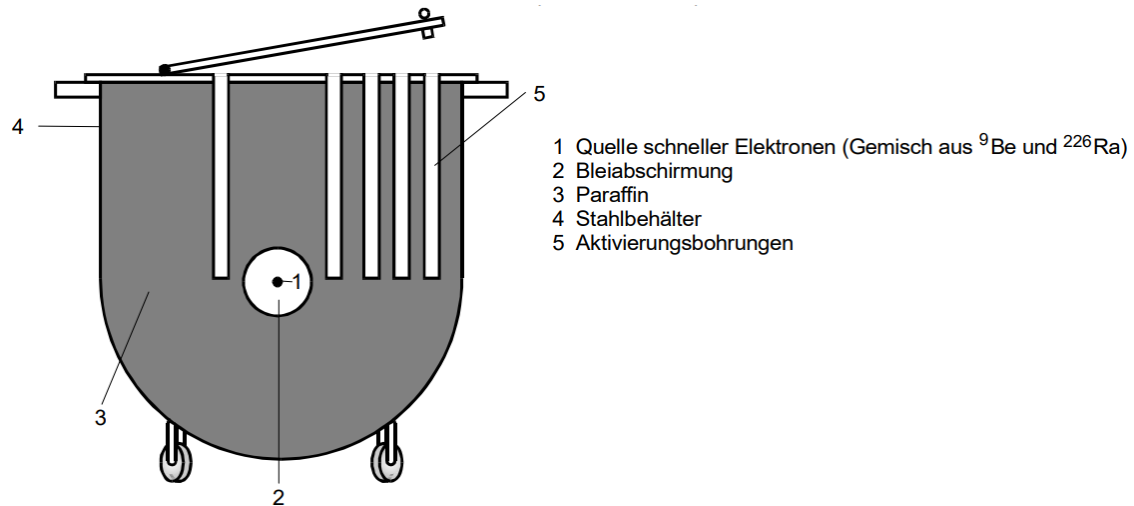


Abbildung 2: Verwendeter Versuchsaufbau zur Aktivierung der Proben.[1]

3.2 Bestimmung der Halbwertszeit der aktivierten Isotope

Zu Beginn wird eine Nullmessung über 500 s durchgeführt, um den Nulleffekt zu bestimmen.

Die aktivierten Proben müssen nach entfernen aus dem Stahlbehälter mit Paraffin so schnell wie möglich in die Messapparatur eingebracht werden, um die Halbwertszeit so genau wie möglich bestimmen zu können.

Es wird jeweils eine Messreihe für das Isotop ^{52}V (Vanadium) und das Isotopengemisch ^{108}Ag und ^{110}Ag (Silber) durchgeführt.

Zuerst werden bei dem Vanadium jeweils 30 Messungen gemacht, welche jeweils 30 Sekunden lang sind. Also wurde das Isotop insgesamt über 15 Minuten hinweg beobachtet. Anschließend werden bei dem Silber 42 Messungen, jeweils zehn Sekunden lang, durchgeführt. Das ergibt hier eine Gesamtzeit von sieben Minuten.

4 Auswertung

Siehe Abbildung 3!

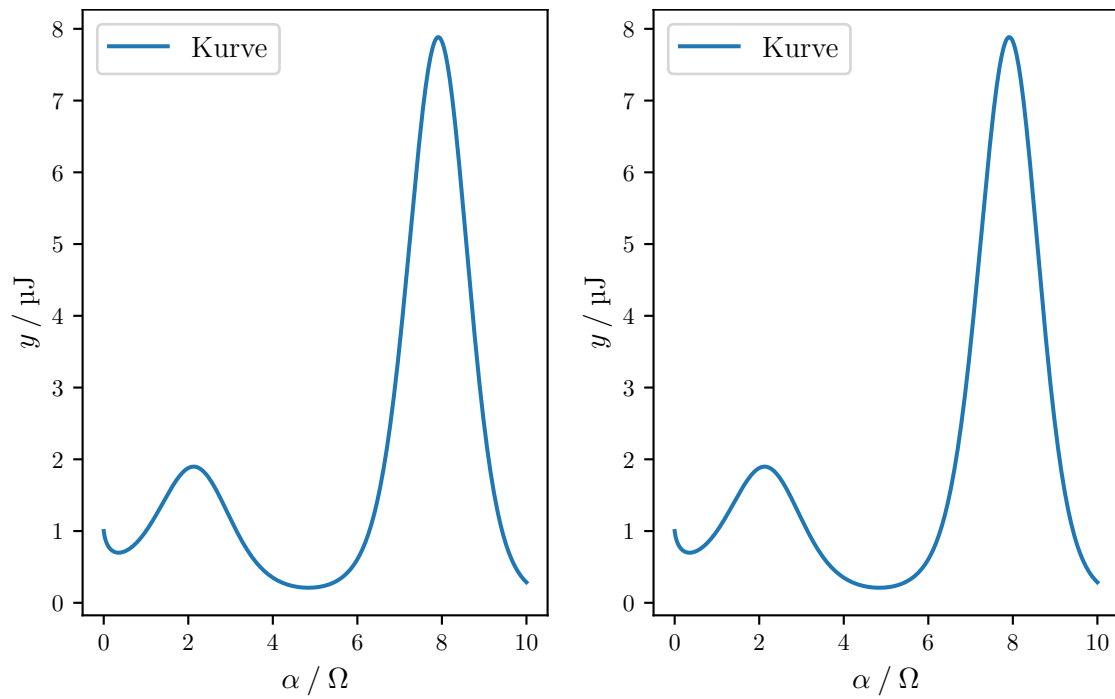


Abbildung 3: Plot.

5 Diskussion

Literatur

- [1] *Versuch 704 Aktivierung mit Neutronen*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2014.