

Versuch 702

Aktivierung mit Neutronen

Jonah Nitschke
lejonah@web.de

Sebastian Pape
sepa@gmx.de

Durchführung: 18.04.2017

Abgabe: 25.04.2017

1 Theorie

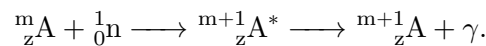
1.1 Zielsetzung

Der Versuch 702 setzt sich mit dem radioaktiven Zerfall von aktivierten Atomkernen auseinander. Das Ziel des Versuches ist es die Halbwertszeit des Isotopes $^{116}_{49}\text{In}$ des Rhodiumisotopes $^{104}_{45}\text{Rh}$, sowie $^{104i}_{45}\text{Rh}$ zu bestimmen.

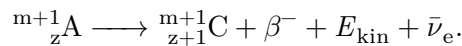
1.2 Theoretische Grundlagen

Damit instabile Kerne erzeugt werden, werden stabile Kerne mit Neutronen beschossen. Der Vorteil der Neutronenaktivierung liegt darin, dass die ladungsneutralen Neutronen weniger Energie benötigen, um die Kerne zu aktivieren, da sie nicht die Coulomb-Barriere des geladenen Kern überwinden müssen.

Eine allgemeine Kernreaktion eines Beispielkernes ^m_zA sieht folgendermaßen aus:



$^m_z\text{A}^*$ ist dabei der sogenannte Zwischenkern oder auch Compoundkern. Seine Energie ist im Vergleich zu dem Ausgangskern um die kinetische Energie und die Bindungsenergie des Neutrons höher. Bei geringer kinetischer Energie des Neutrons ist die eingebrachte Energie zu gering um ein Nukleon oder ein Neutron wieder abzugeben. Deshalb wird nach etwa 10^{-16} s ein γ -Quant abgegeben, sodass der Kern wieder in seinen Grundzustand zurückfällt. Dieser Kern ist immernoch instabil, hat aber eine deutlich längere Lebensdauer als der Zwischenkern. Die Zerfallsreihe dieses Kerns läuft wie folgt ab:



Dieser Zerfall ist ein erlaubter Zerfall, wenn die Masse der linken Seite größer ist als die Gesamtmasse der rechten Seite. Der Massenunterschied ist durch die Einsteinsche Energie-Masse Beziehung einzusehen.

$$\Delta E = \Delta mc^2 \tag{1}$$

1.3 Erzeugen freier Neutronen

Freie Neutronen kommen aufgrund ihrer Instabilität nicht in der Natur vor und müssen über Kernreaktionen erzeugt werden. Bei der Beschuss von ${}^9_4\text{Be}$ -Kernen mit α -Teilchen. Die α -Teilchen stammen aus dem Zerfall von ${}^{226}\text{Ra}$ -Kernen.

Wenn Neutronen auf stabile Atomkerne geschossen werden, ist die charakteristische Größe, dass ein Neutron von einem Atomkern eingefangen wird, der Wirkungsquerschnitt. Er ist über die Formel

$$\sigma = \frac{u}{nKd} \quad (2)$$

definiert, wenn Neutronen auf eine Folie mit einem Flächeninhalt von 1 cm^2 geschossen werden. Dabei ist n die Gesamtanzahl der Neutronen, u die Anzahl der eingefangenen Neutronen, d die Dicke der beschossenen Fläche und K die Anzahl der Atome pro Quadratcentimeter in der Folie. Der Wirkungsquerschnitt wird in der Einheit $10^{-24}\text{ cm}^2 = 1\text{ b}$ gemessen. Bei den abgeschossenen Neutronen wird zwischen schnellen und langsamen Neutronen unterschieden. Die beiden unterscheiden sich, wie der Name es suggeriert lediglich in ihrer Geschwindigkeit v . Als Kriterium dieser Klassifizierung dient die De-Broglie-Wellenlänge λ , die definiert ist über:

$$\lambda = \frac{h}{m_n v}. \quad (3)$$

Ist λ groß gegenüber dem Kernradius R ($\approx 10^{-14}\text{ m}$) handelt es sich um schnelle Neutronen. Andersherum handelt es sich um langsame Neutronen. Bei langsamen Neutronen ist der Wirkungsquerschnitt deutlich größer als bei schnellen Neutronen, weshalb sich langsame Neutronen besser für die Aktivierung von Atomkernen eignen. Es stellt sich heraus, dass σ reziprok von der Geschwindigkeit v der Neutronen abhängt.

Bei der Aktivierung der Proben müssen langsame Neutronen zunächst erzeugt werden. Schnelle Neutronen lassen sich aus verschiedenen Reaktionen gewinnen. Der Abbremsungsvorgang wird über elastische Stöße realisiert. Dabei stoßen die Neutronen mit den Kohlenwasserstoffen in einem Paraffinmantel, der um die Neutronenquelle anliegt. Zum Abbremsen der schnellen Neutronen eignen sich ähnlich schwere Moleküle besser, da aus den Formeln des elastischen Stoßes hervorgeht, dass der größte Energieübertrag zweier elastisch stoßender Teilchen bei gleicher Masse erfolgt. Deshalb eignet sich Paraffin, weil der in dem Paraffin enthaltene Wasserstoff ungefähr die gleiche Masse wie ein Neutron besitzt. Sind die Neutronen auf eine Geschwindigkeit von $2,2\text{ km/s}$ abgebremst, werden sie auch als thermische Neutronen bezeichnet.

Der radioaktive Zerfall von instabilen Atomkernen lässt sich durch ein Exponentialgesetz beschreiben. Die Anzahl der zur Zeit t noch nicht zerfallenen Kerne lässt sich wie folgt berechnen.

$$N(t) = N_0 \exp^{-\lambda t} \quad (4)$$

Dabei ist N_0 die anfängliche Anzahl der instabilen Kerne und λ die Zerfallskonstante. Die Halbwertszeit T ergibt sich über

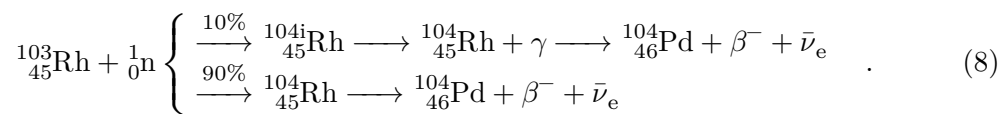
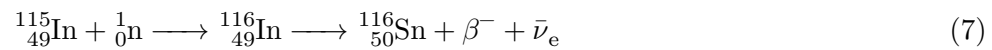
$$T = \ln \frac{2}{\lambda}. \quad (5)$$

In dem Versuch wurden Zeitintervalle δt untersucht. Die Halbwertszeit lässt sich trotzdem bestimmen und ist über folgenden Zusammenhang gegeben.

$$N\delta t(t) = N_0 e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda \delta t}) \quad (6)$$

Durch lineare Regression der Wertepaare $\{\ln N_{\delta t}(t_i), t_i\}$ kann die Zerfallskonstante λ ermittelt werden.

Die Zerfallsreihen der verwendeten Proben Indium und Rhodium sind im Folgenden dargestellt.



Bei aktivierten Rhodium laufen zwei Zerfälle parallel ab, wie in (6) dargestellt ist. Die Halbwertszeiten der beiden Isotope kann trotzdem bestimmt werden, da sie deutlich verschieden ist. Der Zerfall von ${}^{104}_{45}\text{Rh}$ ist kurzlebiger als der Zerfall von ${}^{104i}_{45}\text{Rh}$.

2 Durchführung

Die zu untersuchenden Proben sind im Vorhinein aktiviert, weil die Halbwertszeiten der Proben klein sind. Für die Aktivierung wird die Apparatur aus Abb. 1 verwendet.

Die in Abb. 1 aufgeführten Makierungen sind wie folgt erklärt.

1 Quelle schneller Neutronen

2 Bleiabschirmung

3 Paraffin

4 Stahlbehälter

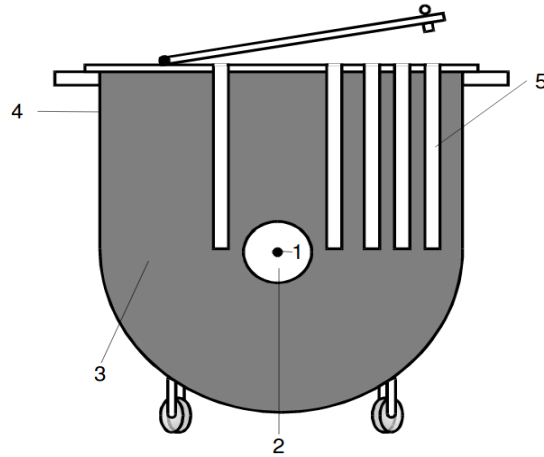


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Aktivierungsvorrichtung[TUD17]

5 Aktivierungsbohrungen

Vor der ersten Messung muss der Nullwert bestimmt werden. Dafür wird eine Messung über 900 s ohne Probe gemacht. Danach wird die zu untersuchenden Proben in den Aufbau eingelegt. Es werden das Isotop Indium-116 (^{116}In) und die Rhodiumisotope (^{104}Rh & $^{104\text{i}}\text{Rh}$) untersucht. Für das Indiumisotop ist eine Messzeit von einer Stunde mit einem Messintervall von $\Delta t = 240\text{ s}$ zu wählen. Für das Rhodiumisomer ist eine Messzeit von 12 min angesetzt, mit einem Messintervall Δt von 15 s.

Die Messungen sind mit dem Aufbau, der in Abb. 2 dargestellt ist, durchzuführen. Der Aufbau besteht grundlegend aus einem Geiger-Müller-Zählrohr, einen Impulsverstärker und einem Zählwerk mit zwei Displays. Das Geiger-Müller-Zählrohr misst die radioaktiven Zerfälle in Form eines Elektrischenimpulses. Dieser wird durch einen Impulsverstärker geschickt und letztendlich von einem Zählwerk registriert. Das Zählwerk besitzt zwei Displays, sodass kontinuierlich gemessen werden kann.

Die Probe wird zu Beginn der Messung gemäß Abb. 2 eingelegt. Vor dem Einlegen der Probe muss das Messintervall Δt an dem Zählwerk eingestellt werden. Die Messwerte können an dem Zählwerk erhoben werden.

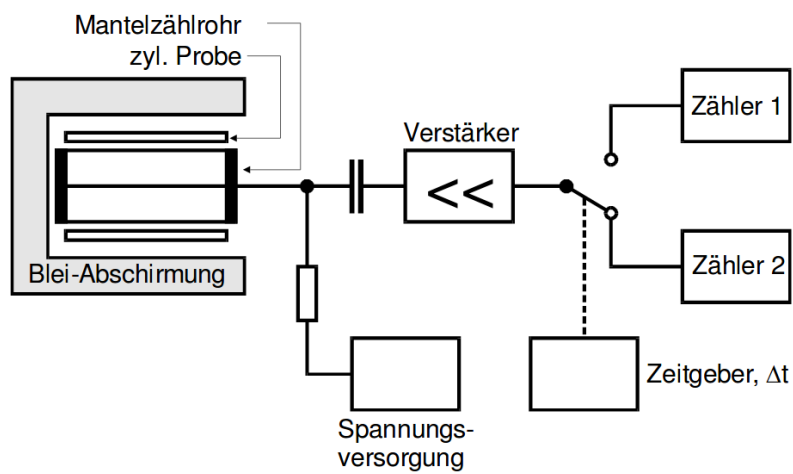


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau[TUD17]

Literatur

- [TUD17] TU-Dortmund. *Versuch V702: Aktivierung mit Neutronen*. 18. Apr. 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V702.pdf>.