

# **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

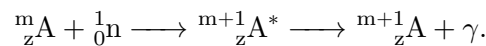
## 1.1 Zielsetzung

Der Versuch 702 setzt sich mit dem radioaktiven Zerfall von Aktivierten Atomkernen. Das Ziel des Versuches ist es die Halbwertszeit des Isotopes  $^{116}_{49}\text{In}$  und eines Rhodiumisomeres zu bestimmen.

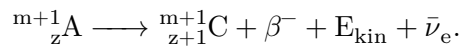
## 1.2 Theoretische Grundlagen

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 Kernes überwinden müssen.

Eine Allgemeine Kernreaktion eines Beispielkernes  $^m_z\text{A}$  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 des Neutrons und der Bindungsenergie 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  $10^{-16}\text{ s}$  ein  $\gamma$ -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 sieht folgendermaßen aus:



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

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

Die Masse wird in Form von kinetischer Energie an das  $\beta^-$ - und  $\bar{\nu}_e$ -Teilchen abgegeben ( $\bar{\nu}_e$  ist ein Antineutrino).

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

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

definiert, wenn Neutronen auf eine Folie mit einem Flächeninhalt von  $1 \text{ cm}^2$  geschossen werden. Dabei ist  $n$  die Anzahl der abgeschossenen Neutronen,  $u$  die Anzahl der eingefangenen Neutronen,  $d$  die Dicke der geschossenen 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  $\lambda$ , die definiert ist über:

$$\lambda = h/m_n v. \quad (3)$$

Ist  $\lambda$  groß gegenüber dem Kernradius  $R (\approx 10^{-14} \text{ m})$  handelt es sich um schnelle Neutronen. Andererseits 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  $\sigma$  reziprok von der Geschwindigkeit  $v$  der Neutronen abhängt.

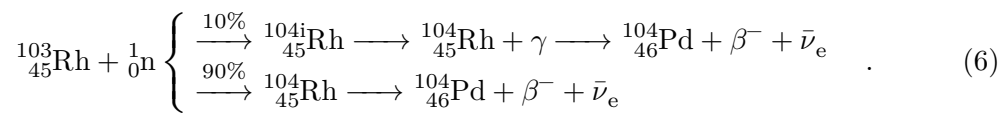
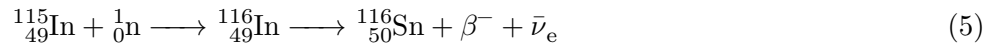
Bei der Aktivierung der Proben müssen langsame Neutronen zunächst erzeugt werden. Schnelle Neutronen lassen sich aus verschiedenen Reaktionen gewinnen. Der Abbremsungsvorgang wird über elastische Stöße realisiert. Dabei stoßen die Neutronen mit den Kohlenwasserstoffen in einem Paraffinmantel, der um 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 beinahe dieselbe 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 exponential Gesetz 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  $\lambda$  die Zerfallskonstante.

Die Zerfallsreihen der verwendeten Proben Indium und dem Rhodiumisomer sehen folgendermaßen aus:



## 2 Durchführung

Die zu untersuchenden Proben wurden im Vorhinein aktiviert. Für die Aktivierung wird die Apparatur 1 verwendet.

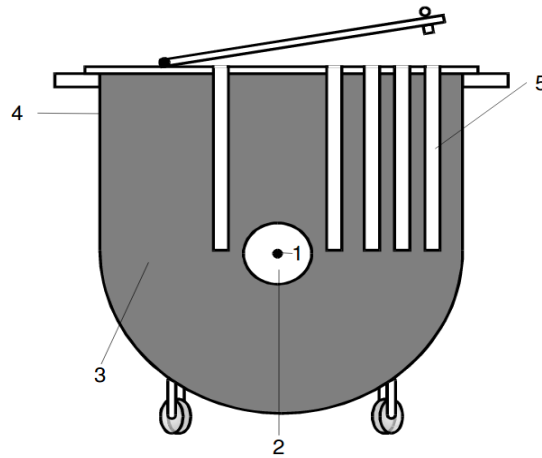


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Aktivierungsvorrichtung[TUD17]

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

- 1 Quelle schneller Neutronen
- 2 Bleiabschirmung
- 3 Paraffin
- 4 Stahlbehälter
- 5 Aktivierungsbohrungen

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

Die Messungen sind mit dem Aufbau, der in Abb. 2 dargestellt ist zu realisieren. 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 elektrischen Impulses. Dieser wird durch einen Impulsverstärker geschickt und letztendlich von einem Zählwerk registriert. Das Zählwerk sollte zwei Displays besitzen, sodass kontinuierlich gemessen werden kann.

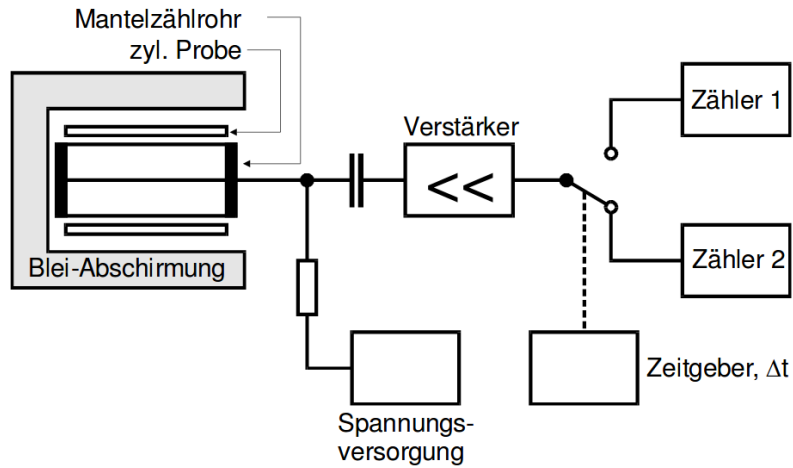


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau[TUD17]

## 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>.