

K21 Halbwertszeit von Ag und In	
Name:	Matrikelnummer:
Fachrichtung:	Versuchsdatum:
Mitarbeiter/in:	Gruppennummer:
Assistent/in:	Endtestat:

Dieser Fragebogen muss von jedem Teilnehmer **eigenständig** (keine Gruppenlösung!) handschriftlich beantwortet und vor Beginn des Versuchs abgegeben werden. Die Vorbereitung wird zusätzlich durch einen Test bzw. eine mündliche Prüfung über die physikalischen Grundlagen des Versuchs kontrolliert.  
(Version: 16. Oktober 2021)

### Versuchsziel und Versuchsmethode:

1.) Definieren Sie den Begriff Radioaktivität.

2.) Was bedeutet der Begriff Isotop? Geben Sie Art und Anzahl der Teilchen in einem Atom des Isotops  $^{108}\text{Ag}$  an.

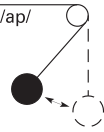
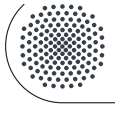
3.) Wie lautet das Zerfallsgesetz? Erklären Sie den Begriff Halbwertszeit.

4.) Warum brauchen Neutronen zur wirkungsvollen Abbremsung leichte Kerne?

5.) Geben Sie die kompletten Reaktionsgleichungen für den Betazerfall der beiden aktivierten Silberisotope an.

6.) Skizzieren Sie den Aufbau und die Beschaltung eines GM-Zählrohrs und erklären Sie dessen Funktionsweise.

7.) Weshalb hat das verwendete Zählrohr eine so geringe Wandstärke?



## K Kernphysik

### K21 Halbwertszeit von Ag und In

Diese Anleitung kann und soll kein Lehrbuch ersetzen. Die beschriebenen Grundlagen stellen einen kurzen Überblick dar und sind daher zum Erlernen der physikalischen Grundlagen nicht ausreichend. Genauere Beschreibungen finden sich in:

- [1] DEMTRÖDER, W.: *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer, 2017. – E-Book
- [2] BRÖCKER, B.: *Dtv-Atlas zur Atomphysik: Tafeln u. Texte*. Dt. Taschenbuch-Verl., 1976
- [3] *Kapitel Kerne und Elementarteilchen*. In: MESCHÉDE, D.: *Gerthsen Physik*. Springer, 2010. – E-Book
- [4] *Kapitel Instabile Kerne, Radioaktivität*. In: DEMTRÖDER, W.: *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Spektrum, 2017. – E-Book
- [5] *Kapitel Aufbau der Atomkerne*. In: DEMTRÖDER, W.: *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Spektrum, 2017. – E-Book
- [6] *Kapitel Kernzerfälle-Radioaktivität*. In: BETHGE, Klaus: *Kernphysik: Eine Einführung*. Springer Berlin Heidelberg, 2008. – E-Book
- [7] *Kapitel Experimentelle Techniken und Geräte in Kern- und Hochenergiephysik*. In: DEMTRÖDER, W.: *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Spektrum, 2017. – E-Book

#### Stichworte

Natürliche Radioaktivität [4],  $\beta$ -Zerfall [4], Isotope [3], Neutrino [4], Neutron [5], Zerfallsgesetz [6], Lebensdauer [6], Halbwertszeit [6], Zählrohr [7], Zählrohrcharakteristik [7], Totzeit [7].

**USB-Stick mitbringen!**

## Theoretische Grundlagen

1. Der Zerfall radioaktiver Kerne ist ein statistischer Vorgang, d.h. er unterliegt den Wahrscheinlichkeitssätzen. Finden von  $n$  Kernen  $dn$  Zerfälle während der Zeit  $dt$  statt, so ist die Wahrscheinlichkeit  $dW$  für den Zerfall eines Kerns während der Zeit  $dt$  definiert als der Grenzwert  $-dn/n$  für  $n \rightarrow \infty$ . Diese Wahrscheinlichkeit ist für  $dn \ll n$  proportional zur Betrachtungszeit  $dt$  [4]:

$$dW = -\frac{dn}{n} = \lambda dt \quad (\text{K21-1})$$

Die Zerfallskonstante  $\lambda = dW/dt$  (Wahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit) ist eine Stoffkonstante. Gl. (K21-1) integriert von  $t = 0$  bis  $t$  liefert

$$n = n_0 e^{-\lambda t} \quad (n_0: \text{Zahl der Kerne zur Zeit } t = 0) \quad (\text{K21-2})$$

für die Zahl der nach der Zeit  $t$  noch vorhandenen Kerne.

Die Halbwertszeit  $T_{1/2}$ , nach der die Hälfte der zur Zeit  $t = 0$  vorhandenen radioaktiven Substanzen zerfallen ist, ist gegeben durch

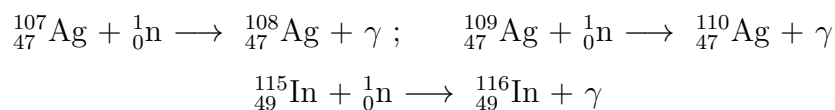
$$\frac{n_0}{2} = n_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

oder

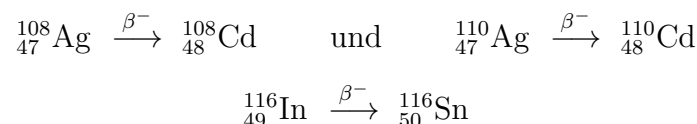
$$\lambda \cdot T_{1/2} = \ln 2 = 0,693 \quad \text{bzw.}$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (\text{K21-3})$$

2. Als radioaktive Nuklide werden instabile Silber- und Indiumisotope verwendet, deren Halbwertszeit bestimmt werden soll. Diese werden durch Beschuss eines Metallzylinders mit langsamen Neutronen nach den folgenden Reaktionsgleichungen aktiviert:

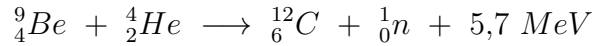


Die entstandenen Isotope zerfallen nun unter Aussendung von  $\beta^-$ -Strahlen in stabile Isotope des Elements mit der nächst höheren Kernladungszahl, also Cadmium bzw. Zinn:



Natürliches Silber besteht zu 51,4 % aus  ${}_{47}^{107}\text{Ag}$  und zu 48,6 % aus  ${}_{47}^{109}\text{Ag}$ . Der aktivierte Silberzylinder hat eine Aktivität von etwa 100 Bq.

3. Die Neutronenquelle besteht aus einem Gemisch von Radiumsalz und Berylliumpulver mit einem Neutronenfluß von  $3 \cdot 10^4$  Neutronen/s. Sie hat eine Aktivität von etwa  $10^8$  Bq. Radium sendet beim Zerfall in einigen Stufen seines Abbaus  $\alpha$ -Teilchen aus. Wenn die  $\alpha$ -Teilchen auf Be-Atome treffen, werden diese in Kohlenstoff umgewandelt, wobei ein Neutron in Freiheit gesetzt wird:



Die vom Beryllium ausgehenden Neutronen haben eine sehr große kinetische Energie von einigen MeV und können von einem Kern kaum eingefangen werden. Zur Bremsung bringt man sie zum Stoß mit leichten Kernen (z.B. Protonen von Wasser oder Paraffin). Der hier benutzte Paraffinmantel vermindert die Geschwindigkeit der Neutronen auf die mittlere Geschwindigkeit von 2200 m/s (thermische Geschwindigkeit). Die den Neutronen entzogene Energie bewirkt eine Erwärmung des Paraffins und beim Einfang eine starke Sekundärstrahlung ( $\gamma$ -Strahlung).

Diese  $\gamma$ -Strahlung und die nicht im Paraffin absorbierten Neutronen stellen eine große Gefahr für den menschlichen Organismus dar. Die verwendete Neutronenquelle ist deshalb durch Blei und einen in größerem Abstand angeordneten Schutzmantel so abgeschirmt, dass die Dosisleistung am Schutzmantel  $6 \mu\text{Sv/h}$  beträgt; in 1,4 m Abstand nur noch  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

## Messprogramm

1. **Messung des Nulleffekts.** Es werden für das verwendete Zählrohr die Ereignisse während **3 x 5 Minuten** mit der *CassyLab*-Datenaufnahme gemessen und die Nullrate (Imp./s) berechnet.
2. **Untersuchung der Metall-Isotope.** Das Zählen der **Ereignisse** des aktivierten Metallzylinders in Abhängigkeit von der Zeit erfolgt für **1500s in 1s Intervallen**. Die gemessenen Ereignisse  $n'_z$  (Zerfälle des Ag plus Nulleffekt) werden über der Zeit aufgetragen. Die x-Achse muss im Messprogramm entsprechend angepasst werden. Die von der Nullrate stammenden Impulse lassen sich bei der Ermittlung der Halbwertszeit graphisch berücksichtigen. Es ist zu beachten, dass in Gl. (K21-2)  $n$  die Zahl der noch nicht zerfallenen Kerne ist, während die Zahl der Zerfallsprozesse  $n_z = n_0 - n$  gemessen wird.  
Diese Messung wird für je einen aktivierten Ag- und In-Zylinder durchgeführt.
3. **Auswertung der Halbwertszeit für In-Isotope.** Wird die In-Probe aus der Neutronenquelle herausgenommen, so enthält sie  $n_0$  aktive Kerne des Isotops  $^{116}_{49}\text{In}$ . Nach dem Zerfallsgesetz erhält man die Anzahl der nach der Zeit  $t$  noch aktivierten Kerne aus

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t}. \quad (\text{K21-4})$$

Das Zählrohr registriert die zerfallenen Kerne

$$n_z(t) = n_0 (1 - e^{-\lambda t}). \quad (\text{K21-5})$$

Die Aktivität

$$dn_z/dt = \dot{n}_z(t) = \lambda n_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{K21-6})$$

hat wieder einen exponentiellen Verlauf, die halblogarithmische Darstellung liefert eine Gerade.

Vorgehensweise: Die Ereignis ( $n'_z$ )-Zeittabelle aus *CassyLab* soll um die gemessene Nullrate korrigiert und die Differenzenquotienten gebildet werden. Für längere Zeiten muss über mehrere Werte gemittelt werden, damit keine negativen Impulsraten entstehen. Bei der graphischen Auftragung der Aktivität  $\Delta n_z/\Delta t$  gegen die Zeit sollen die Fehlerbalken eingezeichnet werden. Die Aktivität geht nach anfänglichem steilen Abfall für große Zeiten in eine Gerade über. Die Steigung zu Beginn ergibt die gesuchte Halbwertszeit.

Liegt beim Indium tatsächlich nur ein Zerfall vor?

Um die Richtigkeit der Messung und die Funktion des Messapparats zu überprüfen, soll während der zweiten Messung eine einfache Abschätzung der Halbwertszeit erfolgen. Die vom Assistenten vorgegebenen Impulsvorwahlen werden über ihre entsprechende Zeit aufgetragen. Diese Kurve mündet nach längerer Zeit in eine nur noch mit dem Nulleffekt ansteigende Sättigungsgerade ein. Verlängert man die Sättigungsgerade bis zur Ordinatenachse, so erhält man aus dem Achsenabschnitt die Zahl der Kerne zur Zeit  $t = 0$  (Abb. K21-1). Halbiert man den Achsenabschnitt und zieht in der dargestellten Weise eine Parallele zum Nulleffekt bis zum Schnitt mit der Messkurve, so ergibt sich annähernd die Halbwertszeit des Präparats.

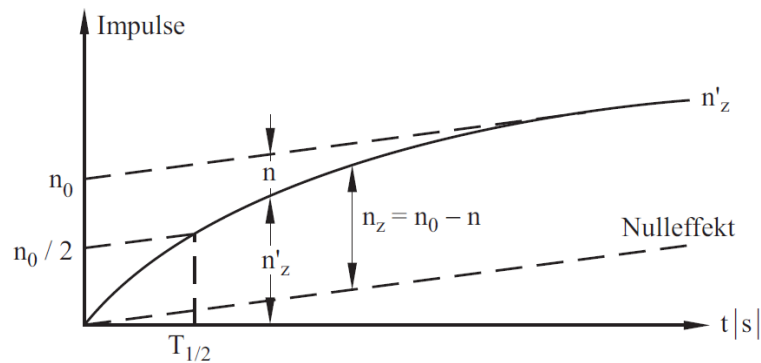


Abb. K21-1: Zur Bestimmung der Halbwertszeit eines radioaktiven Isotops.

4. **Auswertung der Halbwertszeiten für  $^{110}_{47}\text{Ag}$  und  $^{108}_{47}\text{Ag}$ :** Wird die Silberprobe aus der Neutronenquelle herausgenommen, so enthält sie  $n_{01}$  bzw.  $n_{02}$  aktivierte Kerne des Isotops  $^{108}_{47}\text{Ag}$  bzw.  $^{110}_{47}\text{Ag}$ .

Da die Messapparatur die Zerfälle der beiden Isotope nicht trennen kann, überlagern sich die Aktivitäten der beiden Zerfälle nach Gl. (K21-6) zu

$$\frac{dn_z}{dt} \approx \frac{\Delta n_z}{\Delta t} = \lambda_1 n_{01} e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 n_{02} e^{-\lambda_2 t} \quad (\text{K21-7})$$

Nach etwa 4 min ( $\cong 10$  Halbwertszeiten) sind die aktivierten Kerne des kurzlebigen Isotops fast vollständig zerfallen, aus der Geraden für große Zeiten ( $t > 240$  s) lässt sich daher die Halbwertszeit des langlebigen Isotops bestimmen. Für Zeiten  $t < 240$  s wird die extrapolierte Impulsrate des langlebigen Isotops von den Messwerten abgezogen, um die Aktivität des kurzlebigen Isotops und daraus seine Halbwertszeit zu erhalten.

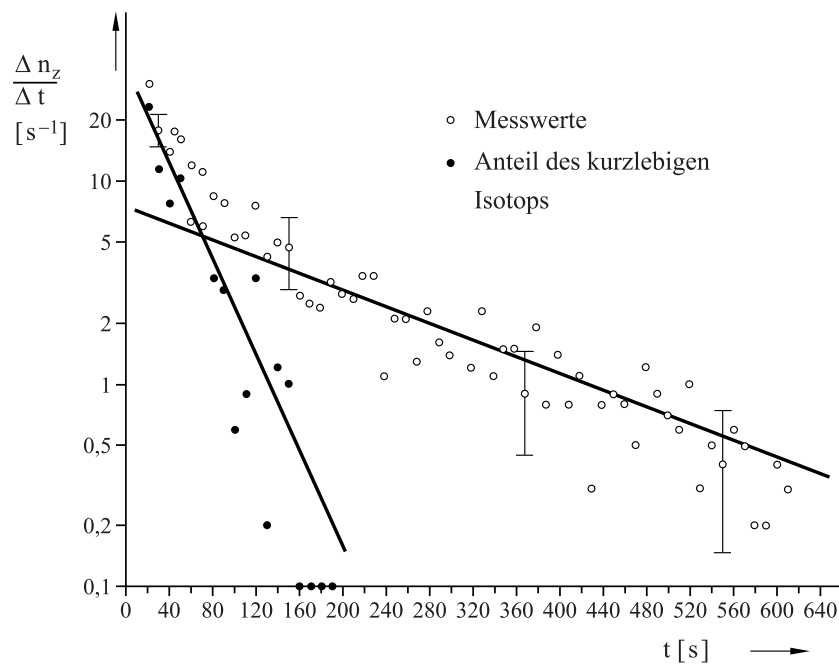


Abb. K21-2: Beispiel für die Messung und Auswertung der Halbwertszeit von Silberisotopen.

### Hinweise

1. Das Aktivieren der Silberzylinder darf **nur vom Assistenten** vorgenommen werden (siehe 1. Strahlenschutzverordnung). Der Aufenthalt unmittelbar am Schutzmantel der Neutronenquelle ist verboten.
2. Das Zählrohr ist durch einen Mantel aus Blei und Eisen abgeschirmt. Es darf nicht mit den Händen angefasst werden, da es eine Wandstärke von nur 40 bis 60 mg/cm<sup>2</sup> hat! (Warum so dünn?)
3. Einheiten :  
Man gibt die Aktivität in Becquerel (Bq) an,  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Neben der internationalen Einheit Bq wird noch die Einheit Curie (Ci) benutzt,  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .
4. Beachten Sie den Unterschied zwischen Lebensdauer und Halbwertszeit!
5. Informieren Sie sich bereits vor dem Versuch in geeigneter Literatur über die Halbwertszeiten der Metallisotope.