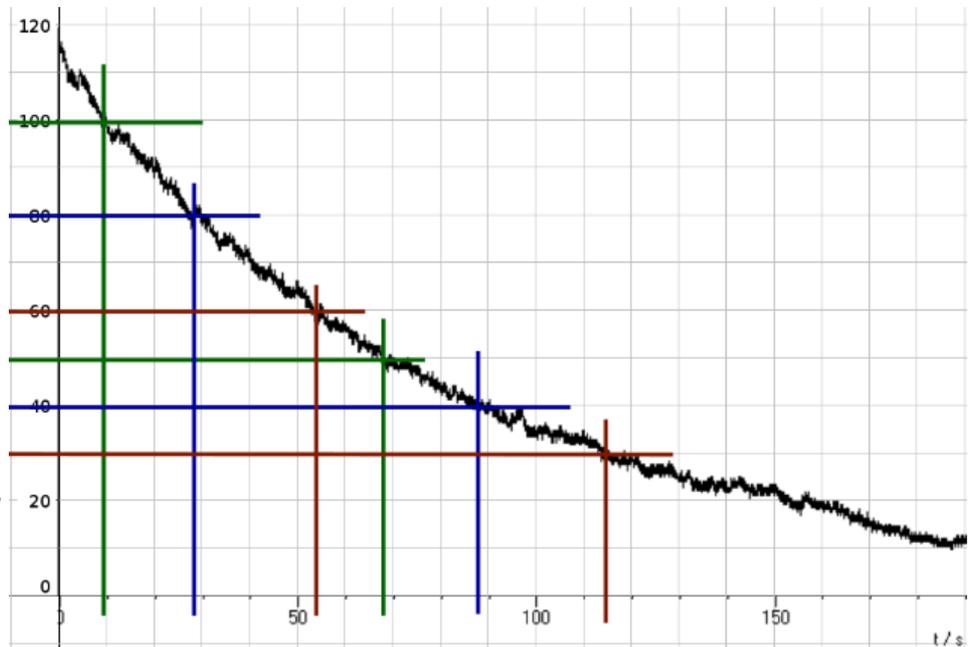


## Lösung

- 1 Registriert wurde mit einer Ionisationskammer die Stromstärke in Abhängigkeit von der Zeit.

Waagrecht wurde die Zeit in der Einheit Sekunden abgetragen, senkrecht die Stromstärke in Skalenteilen.

Bestimmen Sie aus dem Messgraphen auf Grund mindestens dreier Abmessungen die Halbwertszeit des verwendeten radioaktiven Präparates.



Zu zwei Funktionswerten, von denen der eine halb so groß ist wie der andere, werden die  $t$ -Werte abgelesen. Der Abstand der  $t$ -Werte gibt die Halbwertszeit an:

grün:  $y_1=100$  ;  $y_2=50$  ;  $x_1=9$  ;  $x_2=68 \rightarrow T_{0,5}=57$  s

blau:  $y_1=80$  ;  $y_2=40$  ;  $x_1=28$  ;  $x_2=87 \rightarrow T_{0,5}=59$  s

rot:  $y_1=60$  ;  $y_2=30$  ;  $x_1=54$  ;  $x_2=114 \rightarrow T_{0,5}=60$  s

Als Mittelwert ergibt sich die Halbwertszeit zu  $T_{0,5}=58,7$ s.

- 2 Das Thorium-Isotop Th-232 besitzt eine Halbwertszeit von  $T_{0,5}=1,41 \cdot 10^{10}$  a .

Die Aktivität eines Thorium-Präparats ist mit 4600 Bq angegeben.

Berechnen Sie die Masse des Thoriums.

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t \rightarrow \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N \rightarrow A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N = -\frac{\ln 2}{T_{0,5}} \cdot N \rightarrow N = -\frac{A \cdot T_{0,5}}{\ln 2}$$

Die Anzahl der Thorium-Isotope muss noch mit der Masse  $m_{\text{Th-232}}=232,03808 \cdot u$  eines Atoms multipliziert werden, um die Gesamtmasse  $m_{\text{gesamt}}$  zu ergeben:

$$m_{\text{gesamt}} = m_{\text{Th-232}} \cdot N = \frac{m_{\text{Th-232}} \cdot A \cdot T_{0,5}}{\ln 2} = \frac{232,03808 \cdot 1,660540 \cdot 10^{-27} \cdot 4600 \cdot 1,41 \cdot 10^{10} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{\ln 2} \text{ kg} =$$

$$0,001137 \text{ kg} = 1,137 \text{ g}$$

3 Das Radon-Isotop Rn-222 hat eine Halbwertszeit von  $T_{0,5}=3,825 d$ .

Berechnen Sie, wie viel Prozent einer vorhandenen Radonmenge nach 5 Tagen zerfallen ist.

*Da die Halbwertszeit gegenüber der Messzeit sehr klein ist, muss mit der exakten Formel gerechnet werden:*

$$\Delta N = N(0) \cdot (e^{-\lambda \cdot t} - 1) = 100\% \cdot \left( e^{-\frac{\ln 2}{3,825 d} \cdot 5 d} - 1 \right) = 100\% \cdot (0,4041 - 1) = 100\% \cdot (-0,5959) = -59,59\%$$

*Es zerfallen also in 5 Tagen knapp 60% des Radon-Isotops.*

---

4 Bi-212 zerfällt nicht nur mit  $\alpha$ -Zerfall, wie in der Nuklidkarte angegeben, sondern auch durch  $\beta$ -Zerfall in das Isotop Po-212.

4.1 Berechnen Sie die Energie des  $\beta$ -Teilchens.

*Die Energie des Elektrons ergibt sich aus dem Massendefekt beim Übergang von Bi-212 zu Po-212. Mit  $m_{\text{Bi-212}}=211,99127 \cdot u$  und  $m_{\text{Po-212}}=211,98886 \cdot u$  ergibt sich der Massendefekt*

$$211,99127 \cdot u - 211,98886 \cdot u = 0,00241 \cdot u = 0,00241 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 4,0019 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

*Mit  $E = m \cdot c^2$  ergibt sich  $E = 4,0019 \cdot 10^{-30} \cdot (2,99792458 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = 3,597 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 2,24 \text{ MeV}$*

4.2 Geben Sie mit Begründung an, ob bei der Rechnung zu 4.1 die Masse des Elektrons berücksichtigt werden muss.

*Die Massen der Atome beinhalten auch die Elektronenmassen. Da beim  $\beta$ -Zerfall ein Neutron in ein Proton umgewandelt wird, lagert sich für die neue positive Ladung ein freies Elektron der Umgebung an. Die Anzahl der Elektronen ändert sich also nicht: Bismut besitzt mit seinen 83 Elektronen plus dem ausgesendeten Elektron genau so viel Elektronen wie Polonium (84 Elektronen). Die Differenz der Massen, also der Massendefekt, geht ganz in die Bewegungsenergie des  $\beta$ -Teilchens (=Elektron) über.*

---

5 Bei der Kernreaktion  ${}^3_2\text{He} + {}^6_3\text{Li} \rightarrow 2 \cdot {}^4_2\text{He} + X$  wird die Energie 16,9 MeV frei.

5.1 Bestimmen Sie mit Hilfe der gegebenen Energie die Identität des beteiligten Teilchens X.

*Summe der Massen auf der linken Seite:  $m_{\text{He-3}}=3,016049 \cdot u$  und  $m_{\text{Li-6}}=6,015122 \cdot u$*

$$3,016049 \cdot u + 6,015122 \cdot u = 9,031171 \cdot u$$

*Summe der Helium-4-Massen:  $m_{\text{He-4}}=4,002603 \cdot u$*

$$2 \cdot 4,002603 \cdot u = 8,005206 \cdot u$$

*Umrechnung der Energie in Masse:*

$$16,9 \text{ MeV} = 16,9 \cdot 10^6 \cdot 1,60217646 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,70767822 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$E = m \cdot c^2 \rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{2,70767822 \cdot 10^{-12}}{(2,99792458 \cdot 10^8)^2} \text{ kg} = 3,01269832 \cdot 10^{-29} \text{ kg} = 0,0181428832 \cdot u$$

*Summe der Massen auf der rechten Seite:*

$$8,005206 \cdot u + 0,0181428832 \cdot u = 8,023348883 \cdot u$$

*Unterschied der Massen auf beiden Seiten (linke Seite minus rechte Seite):*

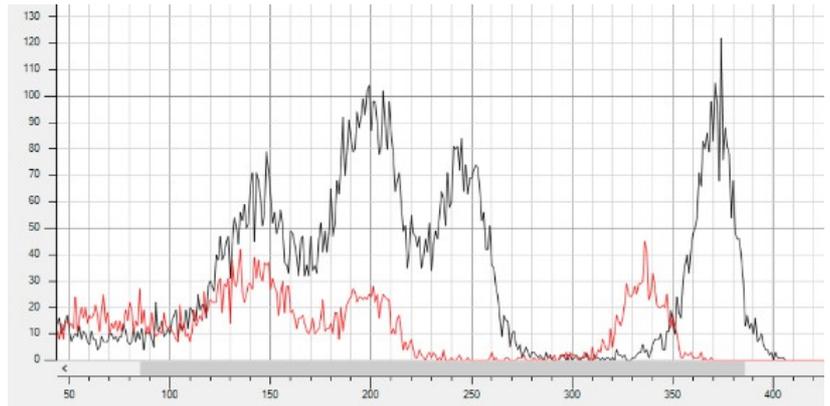
$$\Delta m = 9,031171 \cdot u - 8,023348883 \cdot u = 1,007822117 \cdot u$$

Der gefundene Wert stimmt sehr gut mit der Masse  $m_{H-1}=1,007825 \cdot u$  eines Wasserstoffatoms überein. X steht also wohl für  ${}^1_1\text{H}$ .

5.2 Begründen Sie mit Hilfe der Reaktionsgleichung, dass das Ergebnis aus 5.1 richtig sein kann.

Die angegebenen Zahlenwerte auf der linken Seite zeigen, dass beide Isotope zusammen  $(2+3)=5$  Protonen und  $(3+6-5)=4$  Neutronen besitzen. Rechts sind durch die Heliumkerne erst 4 Protonen und  $(8-4)=4$  Neutronen vorhanden. Es fehlt also auf der rechten Seite nur noch 1 Proton. Also muss X dieses Proton sein bzw. mit einem eingefangenen Elektron ein Wasserstoffkern H-1.

6 Die beiden Spektren sind mit einem Halbleiterdetektor aufgenommen worden. Der Abstand des Präparats wurde zwischen den beiden Messungen verändert. Ordnen Sie die schwarze und die rote Kurve jeweils einem Abstand zu („groß“ und „klein“). Begründen Sie, warum die beiden Kurven (gleiche Messzeit) unterschiedlich aussehen. Gehen Sie dabei speziell auf die Unterschiede ein.



Bei der schwarzen Kurve war der Abstand klein und bei der roten Kurve groß.

Nach rechts wird die Energie abgetragen. Ist der Abstand klein, behalten die radioaktiven Teilchen ihre Energie besser als wenn der Abstand groß ist, weil beim Durchgang durch die Luft durch Stöße Energie abgegeben wird. Ist der Weg durch die Luft weit, so werden viele Teilchen absorbiert oder durch eine kegelförmige Ausbreitung nicht den Halbleiterkristall treffen. Deshalb gilt: Je größer der Abstand, desto geringer ist die registrierte Energie und desto geringer ist die Intensität.

Formeln und Werte

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t \quad N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \Delta N = N(0) \cdot (e^{-\lambda \cdot t} - 1) \quad A = \frac{\Delta N}{\Delta t} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$$

Physikalische Konstante in der Formelsammlung auf Seite 69

Auswahl einiger Atommassen in Vielfachen der atomaren Masseneinheit u

Wasserstoff	H-1	$m_{H-1} = 1,007825 \cdot u$
Helium	He-3	$m_{He-3} = 3,016049 \cdot u$
	He-4	$m_{He-4} = 4,002603 \cdot u$
Lithium	Li-6	$m_{Li-6} = 6,015122 \cdot u$
Bismut	Bi-212	$m_{Bi-212} = 211,99127 \cdot u$
Polonium	Po-212	$m_{Po-212} = 211,98886 \cdot u$
Radon	Rn-222	$m_{Rn-222} = 222,01757 \cdot u$
Thorium	Th-232	$m_{Th-232} = 232,03808 \cdot u$

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!