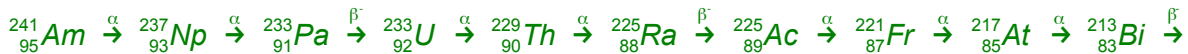


## Lösung

1 Das Nuklid Am-241 wird in Kernreaktoren künstlich hergestellt.

- 1.1 Geben Sie die vollständige Zerfallsreihe des Nuklids (also bis zum Erreichen eines stabilen Nuklids) in nebenstehender Form mit Angabe von Name, Ordnungszahl, Massenzahl und Zerfallsart an.

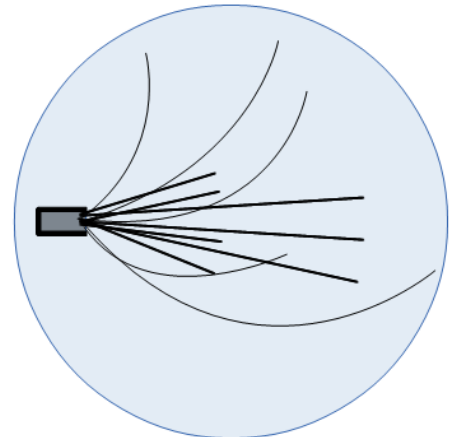


- 1.2 Wenn zu Beginn das Am-241-Präparat in reiner Form vorliegt, wird man auch bei hoher Aktivität nach vielen Jahren nur sehr wenige Nuklide vom stabilen Endprodukt finden können. Begründen Sie, warum das so ist.

*Es gibt Tochtersubstanzen (=Zerfallsprodukte) von Am-241, die sehr langlebig sind. So hat Np-237 eine Halbwertszeit von etwa  $2 \cdot 10^6$  Jahren und U-233 eine Halbwertszeit von etwa  $1,6 \cdot 10^5$  Jahren. Bis diese Nuklide in nennenswertem Maß zerfallen sind, vergehen also weit über 10000 Jahre.*

2 Die Symbolskizze zeigt eine Nebelkammeraufnahme eines radioaktiven Präparates, das  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung aussendet. Ein schwaches Magnetfeld durchsetzt die beobachtete Fläche.

- 2.1 Geben Sie an, ob die magnetischen Feldlinien in die Papierebene hinein oder heraus laufen.



*Die gekrümmten Spuren stammen von  $\beta$ -Teilchen, die negativ geladen sind. Die Feldlinien laufen deshalb aus der Papierebene heraus (3-Finger-Regel der linken Hand).*

- 2.2 Ordnen Sie mit Begründung die Nebelspuren vollständig bestimmten Teilchenarten zu und gehen Sie dabei auf Übereinstimmungen und Unterschiede bei den Spuren ein.

*$\alpha$ -Teilchen erzeugen in der Nebelkammer dickere Spuren als  $\beta$ -Teilchen. Die  $\beta$ -Teilchen werden auf Grund des Magnetfeldes auf Kreisbahnen abgelenkt, wobei die schnelleren Teilchen Bahnen mit größerem Radius und die langsameren Teilchen Bahnen mit kleinerem Radius zurücklegen. Eigentlich müsste man wegen der positiven Ladung auch bei den Spuren der  $\alpha$ -Teilchen eine Krümmung sehen. Da aber die Masse der  $\alpha$ -Teilchen wesentlich höher ist als die der  $\beta$ -Teilchen, fällt die Krümmung sehr gering aus, so dass sie nicht zu erkennen ist. Es gibt  $\alpha$ -Teilchen mit zwei verschiedenen Energien im Präparat, da es zwei unterschiedliche Spurenlängen bei den dicken Spuren gibt. Ein Anzeichen für  $\alpha$ -Teilchen ist die gleiche Länge bei verschiedenen Spuren.*

3 Ein möglicher Prozess bei der Kernfusion ist  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ .

3.1 Berechnen Sie die bei diesem Prozess frei werdende Energie in der Einheit MeV.

Benötigt werden für die Berechnung genaue Massen der beteiligten Partner:

$$m_{\text{H}2} = 2,014102 \cdot u ; m_{\text{H}3} = 3,016049 \cdot u ; m_{\text{He}4} = 4,002603 \cdot u ; m_n = 1,008665 \cdot u$$

Massen auf der linken Seite der Reaktionsgleichung:

$$m_{\text{H}2} + m_{\text{H}3} = 5,030151 \cdot u = 8,35276055 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Massen auf der rechten Seite der Reaktionsgleichung:

$$m_{\text{He}4} + m_n = 5,011268 \cdot u = 8,3214046 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Bei dem Prozess geht also die Masse  $\Delta m$  verloren, die als Energie frei wird:

$$\Delta m = (8,35276055 - 8,3214046) \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,135595 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$E = m \cdot c^2 = 3,135595 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \cdot \left( 2,99792458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 2,818132 \cdot 10^{-12} \text{ J} \stackrel{!}{=} 17,59 \text{ MeV}$$

3.2 Der Helium-Kern und das Neutron teilen sich die unter 3.1 berechnete Energie (notfalls den Wert 20 MeV benutzen) so auf, dass der Helium-Kern  $\frac{1}{5}$  der Energie und das Neutron  $\frac{4}{5}$  der Energie erhält. Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Neutrons.

Das Neutron erhält also die Energie  $2,818132 \cdot 10^{-12} \text{ J} \cdot \frac{4}{5} = 2,2545056 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ .

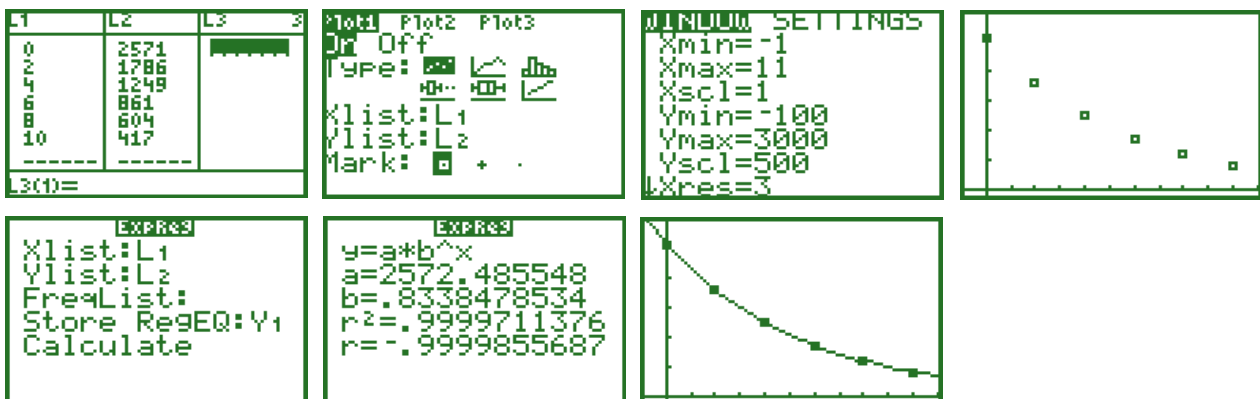
Stellt man die Formel  $E = \frac{1}{2} \cdot m_n \cdot v^2$  für die kinetische Energie des Neutrons nach  $v$  um, so erhält

man die Geschwindigkeit der Neutronen:  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,2545056 \cdot 10^{-12} \text{ J}}{1,6749273 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 51885,1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

4 Bestimmen Sie mit Taschenrechner-Hilfe (Regression mit Dokumentation) die Halbwertszeit eines radioaktiven Präparates, bei dem folgende Zerfälle im Abstand von jeweils 2 Tagen gemessen wurden:

| Zeit in Tagen | Zerfälle in 10s |
|---------------|-----------------|
| 0             | 2571            |
| 2             | 1786            |
| 4             | 1249            |
| 6             | 861             |
| 8             | 604             |
| 10            | 417             |

Mit dem Taschenrechner werden die Messpunkte dargestellt. Ist eine Halbwertsgröße zu bestimmen, liegt eine exponentielle Abnahme vor. Es wird deshalb eine entsprechende Regression (ExpReg) durchgeführt.



Als Gleichung für die Aktivität  $A(t)$  (gemessen in „Zerfälle pro 10 Sekunden“) ergibt sich

$$A(t) = 2572 \cdot 0,83385^t$$

Vergleicht man mit der Gleichung  $A(t) = A(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ , so erkennt man, dass  $A(0) = 2572$  ist und dass

$$e^{-\lambda} = 0,83385 \rightarrow -\lambda = \ln(0,83385) \text{ und sich mit } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \text{ folgende Halbwertszeit ergibt:}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{-\ln(0,83385)} \approx 3,8148$$

Da die Zeit in der Einheit Tage gemessen wurde, beträgt die Halbwertszeit etwa 3,8 Tage oder rund 3 Tage, 19 Stunden und 12 Minuten.

---

- 5 Ein Natrium-22-Präparat hat heute (2014) eine Aktivität von ca. 20 Bq.  
Das Präparat wurde 1971 angeschafft.  
Berechnen Sie die Aktivität zur Zeit des Erwerbs.

Mit der Aktivitätsgleichung  $A(t) = A(0) \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}} \cdot t}}$  und der Halbwertszeit 2,603 Jahre für Natrium-22 ergibt sich für den Zeitraum 43 Jahre  $A(0) = \frac{A(t)}{e^{-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}} \cdot t}}} = \frac{20 \text{ Bq}}{e^{-\frac{\ln 2}{2,603} \cdot 43}} = 1878733,21 \text{ Bq} \approx 1879 \text{ kBq}$ .

---

- 6 Bei einem Pu-239-Präparat misst man 130 Zerfälle pro Sekunde.  
Wegen der geringen Größe des Zählrohrs kann man nur etwa 1% der tatsächlichen Zerfälle registrieren.  
Berechnen Sie die Masse des vorhandenen Pu-239.

Wegen der Angabe „1%“ wird mit der Aktivität 13000 Bq gerechnet.

Pu-239 besitzt die Halbwertszeit  $2,411 \cdot 10^4$  Jahre. Da sich wegen der sehr großen Halbwertszeit und der sehr kurzen Messdauer der Bestand an Plutonium-Atomen nicht messbar ändert, wird mit der

Zerfallsformel  $\Delta N = -\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \cdot N \cdot \Delta t$  gerechnet und durch Umformen die Anzahl der vorhandenen

$$\text{Plutonium-Atome gefunden: } N = -\frac{T_{\frac{1}{2}} \cdot \Delta N}{\Delta t \cdot \ln 2} = -\frac{2,411 \cdot 10^4 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 13000}{1 \cdot \ln 2} = 1,426 \cdot 10^{16}$$

Die Masse eines Pu-239-Atoms beträgt  $239,05216 \cdot u = 3,97 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ .

Die Anzahl der Teilchen multipliziert mit der Masse eines Teilchens ergibt die Gesamtmasse:

$$m_{\text{Pu239}} = 3,97 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot 1,426 \cdot 10^{16} = 5,66 \cdot 10^{-9} \text{ kg} = 5,66 \cdot 10^{-6} \text{ g} = 5,66 \mu\text{g}$$

---

Erlaubte Materialien:

Tabellen mit wichtigen Naturkonstanten und mit Atommassen einiger Nuklide (Codata-Datenbank)

Formelsammlung, Nuklidkarte, grafikfähiger Taschenrechner

---

Formeln

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \Delta N = N(0) \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t}) \quad \Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$$

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

Viel Erfolg bei der letzten Physik-Arbeit vor dem Abitur!