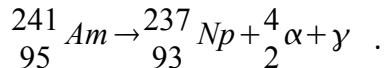


Untersuchungen eines Americiumpräparats - Am241

I.

Im α -Spektrum eines Americiumpräparates treten u.a. die Energien $E_{\alpha,1}=5,387 \text{ MeV}$, $E_{\alpha,2}=5,442 \text{ MeV}$ und $E_{\alpha,3}=5,484 \text{ MeV}$ auf. Außerdem wird γ -Strahlung mit den Energien $E_{\gamma,1}=0,098 \text{ MeV}$ und $E_{\gamma,2}=0,043 \text{ MeV}$ gemessen.

Die Ursache der beobachteten Strahlung liegt im Zerfall von Americium zu Neptunium:



- Erkläre die Entstehung der α -Teilchen mit Hilfe des Potenzialtopfmodells!
- Der Radius eines Nukleons beträgt $r_0=1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. Für den Kernradius des Neptuniumkerns gilt $r_k=r_0 \cdot 237^{\frac{1}{3}}$. Leite diese Formel begründet her und berechne r_k !
- Berechne die Höhe des Potenzialwalls für α -Teilchen!
- Stelle die beobachteten Strahlungen in einem Energietermschema qualitativ dar! Welche γ -Strahlung müsste zusätzlich beobachtbar sein?

II.

Zur Geschwindigkeitsfilterung der α -Teilchen wird ein Wien-Filter benutzt. Die Flussdichte des Magnetfeldes beträgt $B=11 \text{ mT}$ und die Platten des Kondensators haben einen Abstand von $d=0,9 \text{ mm}$. Um α -Teilchen einer bestimmten Energie $E_{\alpha,i}$ bzw. Geschwindigkeit hinter dem Filter zu erhalten, muss die Spannung $U_i=d \cdot B \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\alpha,i}}{m_\alpha}}$ an den Kondensator gelegt werden.

- Leite diese Formel begründet her und berechne Geschwindigkeit und anzulegende Spannung für die Teilchen mit der Energie $E_{\alpha,3}$!
- Anschließend durchlaufen diese Teilchen ein weiteres Magnetfeld der Flussdichte $B^*=0,27 \text{ T}$ und werden auf eine Kreisbahn mit dem Radius $r=1,25 \text{ m}$ gelenkt. Bestimme die spezifische Ladung der α -Teilchen!
- Berechne die Energie, die bei dem oben dargestellten Zerfallsprozess frei wird und vergleiche sie mit den beobachteten Werten!
[Atommassen: Am241 (241,05685u); Np237 (237,04819u); He4 (4,002603u)]

III.

Die Halbwertszeit von Am241 beträgt $432,2 \text{ a}$. Zu Beginn der Beobachtung besitzt das untersuchte Präparat eine Aktivität von 340 kBq .

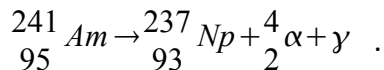
- Stelle das Zerfallsgesetz für dieses Präparat auf!
- Berechne die Masse dieses Präparates!

Untersuchungen eines Americiumpräparats - Am241

I.

Im α -Spektrum eines Americiumpräparates treten u.a. die Energien $E_{\alpha,1}=5,387 \text{ MeV}$, $E_{\alpha,2}=5,442 \text{ MeV}$ und $E_{\alpha,3}=5,484 \text{ MeV}$ auf. Außerdem wird γ -Strahlung mit den Energien $E_{\gamma,1}=0,098 \text{ MeV}$ und $E_{\gamma,2}=0,043 \text{ MeV}$ gemessen.

Die Ursache der beobachteten Strahlung liegt im Zerfall von Americium zu Neptunium:



- a) Erkläre die Entstehung der α -Teilchen mit Hilfe des Potenzialtopfmodells!

Um einzelne Nukleonen zu separieren, muss pro Nukleon eine Energie von ca. 8 MeV aufgebracht werden. Diese Energie müsste der AM-Kern für 2 Protonen und 2 Neutronen liefern; hierzu ist er nicht in der Lage. Beim Zusammenschluss dieser vier Nukleonen im Kern wird Bindungsenergie frei, und zwar ca. 7 MeV pro Nukleon. Bildet sich also ein Alphateilchen im Kern, so kann es mit bzw. durch diese Energie von ca. 28 MeV den Kern verlassen, da die Besetzungsgrenze im Potenzialtopf bei ca. -14 MeV liegt. Außerdem muss das Alphateilchen noch den Potenzialwall durchtunneln, der sich um dem Potenzialtopf der Protonen befindet. Die Höhe des Potenzialwalles entspricht dem Abstoßungspotenzial des positiven Kerns. Will man z.B. ein weiteres Proton in den Kern, der z.B. bereits 92 Protonen besitzt, stopfen, so wird dieses Proton von den 92 Protonen abgestoßen, bis es in den Bereich der Kernkräfte kommt und in den Topf fallen kann. Die Energie des aus dem Topf tretenden Alphateilchens reicht i.A. Nicht aus, diesen Wall auch noch überwinden zu können. Da es aber offensichtlich trotzdem außerhalb des Walls angetroffen wird, muss es mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit den Wall durchtunneln können; z.B. beträgt diese $1:10^{38}$.

- b) Der Radius eines Nukleons beträgt $r_0=1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. Für den Kernradius des Neptuniumkerns gilt $r_k=r_0 \cdot 237^{\frac{1}{3}}$. Leite diese Formel begründet her und berechne r_k !

Der Kern besitzt 237 Nukleonen. Ein Nukleon hat die Gestalt einer Kugel: $V_0=\frac{4}{3}\pi r_0^3$.

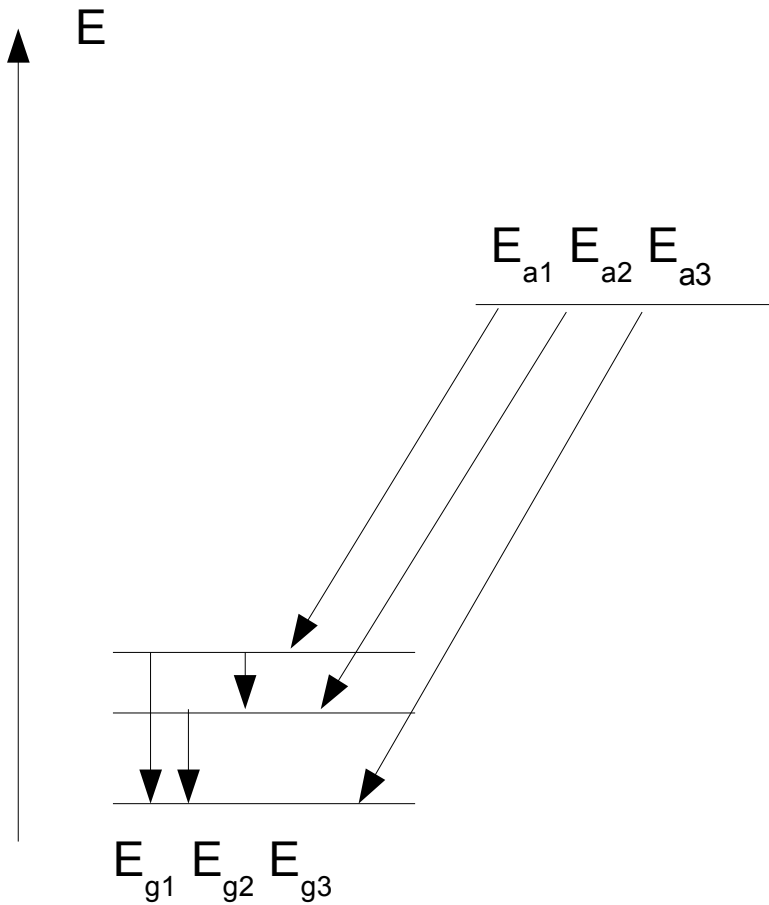
Hat auch der Kern Kugelgestalt, so gilt: $V_K=\frac{4}{3}\pi r_K^3$. Also folgt: $V_K=237 V_0=\frac{4}{3}\pi r_K^3$

$$\Leftrightarrow 237 r_0^3 = r_K^3 \Leftrightarrow r_K = r_0 \cdot 237^{\frac{1}{3}} \text{ . Der berechnete Wert: } r_K \approx 8,0450 \cdot 10^{-15} \text{ m .}$$

- c) Berechne die Höhe des Potenzialwalles für α -Teilchen !

$$E_{pot} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_K} = \frac{93e \cdot 2e}{4\pi\epsilon_0 \cdot 8,0450 \cdot 10^{-15} \text{ m}} \approx 33,2919 \text{ MeV}$$

d) Stelle die beobachteten Strahlungen in einem Energietermschema qualitativ dar! Welche γ -Strahlung müsste zusätzlich beobachtbar sein?



Die y-Achse stellt die Energie dar. Nebeneinander werden die Energieterme (waagerechte Linien) von Np237 und Am241 gezeichnet. Für Am241 ist nur ein Term zu zeichnen, er liegt am höchsten. Darunter (seitlich versetzt) sind 3 Terme für Np237 zu zeichnen. Vom Am-Term führen drei Pfeile zu den drei Np-Termen: sie stellen die Alphastrahlung mit drei Energien dar. Zwischen den Termen von Np237 können auch drei Energieübergänge dargestellt werden, diese Pfeile kennzeichnen die Gammastrahlung. Berechnet man die Differenzen der drei angegebenen Alphaenergien, so erhält man die Gammaenergien. Es sind: $E_{\alpha,2} - E_{\alpha,1} = 0,055 \text{ MeV}$. Diese Linie müsste zusätzlich beobachtbar sein. Die anderen beiden Übergänge sind: $E_{\alpha,3} - E_{\alpha,1} = 0,097 \text{ MeV} = E_{\Gamma,1}$ und $E_{\alpha,3} - E_{\alpha,2} = 0,042 \text{ MeV} = E_{\Gamma,2}$.

II.

Zur Geschwindigkeitsfilterung der α -Teilchen wird ein Wien-Filter benutzt. Die Flussdichte des Magnetfeldes beträgt $B = 11 \text{ mT}$ und die Platten des Kondensators haben einen Abstand von $d = 0,9 \text{ mm}$. Um α -Teilchen einer bestimmten Energie $E_{\alpha,i}$ bzw. Geschwindigkeit hinter dem Filter zu erhalten, muss die Spannung $U_i = d \cdot B \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\alpha,i}}{m_\alpha}}$ an den Kondensator gelegt werden.

- a) Leite diese Formel begründet her und berechne Geschwindigkeit und anzulegende Spannung für die Teilchen mit der Energie $E_{\alpha,3}$!

Auf das Alphateilchen wirken beim Eintritt in die gekreuzten Felder zwei Kräfte, die sich kompensieren sollen:

- die elektrische Kraft $F_{el} = e \cdot E = \frac{e \cdot U}{d}$, da $E = \frac{U}{d}$; und

- die Lorentzkraft $F_m = e \cdot v \cdot B$

Setz man sie gleich, erhält man: $\frac{e \cdot U}{d} = e \cdot v \cdot B \Rightarrow U = d \cdot v \cdot B$. v ergibt sich aus der

kinetischen Energie der Teilchen: $E_{kin} = \frac{1}{2} m_{\alpha} v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 E_{kin}}{m_{\alpha}}}$. Mit der angegebenen

Energie der Alphateilchen folgt insgesamt: $U = d \cdot B \cdot \sqrt{\frac{2 E_{\alpha,i}}{m_{\alpha}}}$.

Mit $E_{\alpha,3} = 5,484 \text{ MeV}$ folgt: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,484 \text{ MeV}}{6,6447 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} \approx 1,6262 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 5,4 \% \cdot c$.

Hiermit ergibt sich für die anzulegende Spannung: $U_3 \approx 161 \text{ V}$.

- b) Anschließend durchlaufen diese Teilchen ein weiteres Magnetfeld der Flussdichte $B^* = 0,27 \text{ T}$ und werden auf eine Kreisbahn mit dem Radius $r = 1,25 \text{ m}$ gelenkt. Bestimme die spezifische Ladung der α -Teilchen !

$$\frac{m_{\alpha} v^2}{r} = q v B \Rightarrow \frac{q}{m_{\alpha}} = \frac{v}{r B} \Rightarrow \frac{q}{m_{\alpha}} \approx \frac{1,6262 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,27 \text{ T} \cdot 1,25 \text{ m}} \approx 4,8184 \cdot 10^7 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

- c) Berechne die Energie, die bei dem oben dargestellten Zerfallsprozess frei wird und vergleiche sie mit den beobachteten Werten!
[Atommassen: Am241 (241,05685u); Np237 (237,04819u); He4 (4,002603u)]

$$m(241\text{Am}) - m(237\text{NP}) - m(4\text{He}) = \Delta m; \Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta m \approx 1,00578908 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \approx 0,006057 \text{ u}; \Delta E \approx 9,03958143 \cdot 10^{-13} \text{ J} \approx 5,642 \text{ MeV}$$

Die frei werdende Energie liegt etwas höher als jede beobachtete Energie. Das ist dadurch zu erklären, Dass der Neptunkern auch eine Rückstoßenergie bekommt.

III.

Die Halbwertszeit von Am241 beträgt $432,2 \text{ a}$. Zu Beginn der Beobachtung besitzt das untersuchte Präparat eine Aktivität von 340 kBq .

- a) Stelle das Zerfallsgesetz für dieses Präparat auf!

$$t_H = 432,2 \text{ a} = 1,36298592 \cdot 10^{10} \text{ s}; A_0 = 340 \text{ kBq}; m = ?$$

$$A = \lambda \cdot N ; \quad N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} ; \quad \lambda = \frac{\ln(2)}{t_H} \approx 5,0855 \cdot 10^{-11} \text{s}^{-1}$$

$$N_0 = \frac{1}{\lambda} \cdot A_0 = \frac{t_H}{\ln(2)} \cdot A_0 \approx 6,6857 \cdot 10^{15} ; \quad N(t) = 6,6857 \cdot 10^{15} \cdot e^{-5,0855 \cdot 10^{-11} \text{s}^{-1} \cdot t} .$$

b) Berechne die Masse dieses Präparates!

241 g enthalten $6,0221 \cdot 10^{23}$ Teilchen

x g enthalten N_0 Teilchen

1 g enthält $\frac{N_0}{x}$ Teilchen

241 g enthalten $\frac{N_0}{x} \cdot 241$ Teilchen

$$\Rightarrow \frac{N_0}{x} \cdot 241 = 6,0221 \cdot 10^{23} \Rightarrow x = \frac{N_0 \cdot 241}{6,0221 \cdot 10^{23}} \approx 2,68 \cdot 10^{-6}$$

Man besitzt zur Zeit also $2,68 \mu\text{g}$.