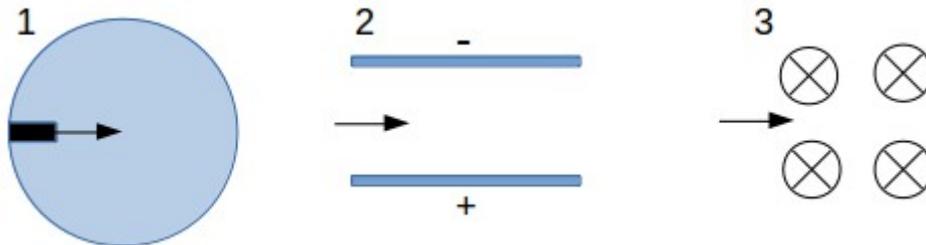




Lösung

- 1 Ein unbekanntes Präparat sendet entweder nur  $\alpha$ -Teilchen oder nur  $\beta$ -Teilchen aus. Welche dieser Teilchenart vorliegt, soll eindeutig in einem Versuch bestimmt werden. Zur Auswahl stehen
1. eine Nebelkammer (ohne Magnetfeld),
  2. ein elektrisches Kondensatorfeld, in das die Teilchen parallel zu den Platten eintreten und
  3. ein Magnetfeld, in dem die Teilchen zunächst senkrecht zu den magnetischen Feldlinien fliegen.



Geben Sie mit Begründung an, welche der Versuchseinrichtungen zur eindeutigen Bestimmung der Teilchenart genutzt werden kann und wie die Bahnen in den 3 Versuchen verlaufen.

Alle 3 Versuche können zur Identifikation genutzt werden:

zu 1: In der Nebenkammer sind die Spuren von  $\alpha$ -Teilchen eines Präparats alle gleich lang. Die Spuren von  $\beta$ -Teilchen sind unterschiedlich lang. Die Bahnen sind jeweils geradlinig.

zu 2: Im Kondensatorfeld (obere Platte negativ, untere Platte positiv geladen) werden sich auf Grund ihrer Ladung  $\alpha$ -Teilchen schwach gekrümmt nach oben und  $\beta$ -Teilchen stark gekrümmt nach unten bewegen. Es handelt sich jeweils um Parabelbahnen (homogenes elektrisches Feld).

zu 3: Im Magnetfeld (Magnetfeld zeigt in die Papierebene hinein) werden entsprechend der Rechten- bzw. Linken-Hand-Regel  $\alpha$ -Teilchen schwach gekrümmt nach oben und  $\beta$ -Teilchen stark gekrümmt nach unten abgelenkt. Die Bahnen sind jeweils Kreisbahnen (Lorentzkraft).

- 2 Ein Thorium-Präparat mit Th-227 wird 10 Minuten in einer Hand der Masse 1,5 kg gehalten. Th-227 sendet mit der Halbwertszeit  $T_{0,5} = 18,72 d$   $\alpha$ -Teilchen (Qualitätsfaktor 10) mit der Energie 6,1 MeV aus. Die Aktivität des Präparats beträgt 2,4 kBq.

- 2.1 Berechnen Sie die Äquivalentdosis für die von der Strahlung betroffene Hand.

$$\text{Äquivalentdosis} = \text{Qualitätsfaktor} \cdot \text{Gesamtenergie} / \text{Masse}$$

$$= \text{Qualitätsfaktor} \cdot (\text{Aktivität} \cdot \text{Zeit} \cdot \text{Energie}) / \text{Masse} =$$

$$10 \cdot \frac{2400 \text{ Bq} \cdot 10 \cdot 60 \text{ s} \cdot 6,1 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,5 \text{ kg}} = 9,3696 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} \approx 9,4 \mu\text{Sv} = 0,0094 \text{ mSv}$$

- 2.2 Entscheiden Sie mit Hilfe der Tabelle, ob die Strahlung eine gesundheitliche Belastung darstellt.

Tabelle aus „Impulse - Physik 1 - Klett-Verlag“

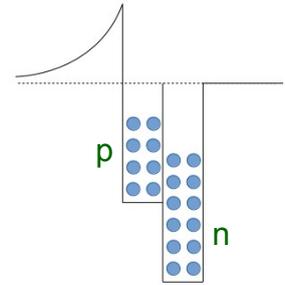
kurze Belastung	Strahlenschäden
250 – 500 mSv	Veränderung im Blutbild, Schäden an Embryos
1000 mSv	Beginn der Strahlenkrankheit: Übelkeit, Erbrechen, Haarausfall
2000 mSv	Strahlenkrankheit, Hautschäden
3000 mSv	Blutungen, schwere Veränderungen im Blutbild
4000 mSv	schwere Entzündungen, 50 % Todesfälle
ab 5000 mSv	mehr als 90 % Todesfälle

2 Folgen kurzzeitiger Strahlenbelastung

Die Äquivalentdosis müsste etwa 50000-mal größer sein, um die Gesundheit kurzfristig zu beeinträchtigen. Langfristige Folgen sind natürlich nicht auszuschließen.

3 Nebenstehende Abbildung zeigt einen Potentialtopf für Neutronen und Protonen.

3.1 Bezeichnen Sie die linke und rechte Seite so, dass zu erkennen ist, wo die Neutronen (n) und wo die Protonen (p) zu finden sind und begründen Sie ihre Entscheidung schriftlich.



Beim Potentialtopf der Protonen befindet sich der äußere Potentialwall (Abstoßung ankommender positiv geladener Teilchen). Außerdem ist der Potentialtopf nicht so tief, da sich die Protonen auf Grund ihrer Ladung abstoßen und deshalb eine kleinere Bindungsenergie besitzen als die Neutronen.

3.2 Geben Sie mit Begründung an, welcher Zerfall bei dem der Zeichnung zu Grunde liegenden Nuklid am wahrscheinlichsten ist.

Der wahrscheinlichste Zerfall ist der  $\beta^+$ -Zerfall (oder K-Einfang), da der Potentialtopf der Protonen mehr gefüllt ist als der Potentialtopf der Neutronen und sich daher ein Proton unter Energieabgabe in ein Neutron umwandeln kann.

3.3 Neptunium  ${}_{93}^{236}\text{Np}$  zerfällt mit der Halbwertszeit  $154.000 \text{ a}$  in  $87,3 \%$  der Fälle durch Elektroneneinfang zu Uran  ${}_{92}^{236}\text{U}$ , in  $12,5 \%$  der Fälle durch Beta-Minus-Zerfall zu Plutonium  ${}_{94}^{236}\text{Pu}$  und in  $0,16 \%$  der Fälle durch Alphazerfall zu Protactinium Pa-232. Geben Sie mit Begründung an, unter welchen Bedingungen sowohl ein K-Einfang als auch ein  $\beta^-$ -Zerfall bei einem Nuklid möglich ist.

$\text{Np-236}$  ist ein  $u-u$ -Kern ( $93$  Protonen und  $(236-93)=143$  Neutronen), d. h. sowohl im Protonen- wie auch im Neutronen-Potentialtopf ist der energiereichste Zustand nur einfach besetzt. Bei einem  $\beta^-$ - und  $\beta^+$ -Zerfall wird aus dem Kern ein  $g-g$ -Kern mit gerader Protonen- und Neutronenzahl, der damit eine größere Bindungsenergie aufweist. Diese Energie steht bei etwa ausgeglichener Energie bei Protonen und Neutronen zu jedem der beiden  $\beta^-$ -Zerfälle zur Verfügung.

4 Thorium Th-232 (Halbwertszeit  $1,41 \cdot 10^{10} \text{ a}$ ) war schon vor  $4,6 \cdot 10^6 \text{ a}$  (Alter der Erde) vorhanden. Begründen Sie bei jedem Aufgabenteil, welche der beiden Zerfallsformeln Sie benutzt haben.

4.1 Berechnen Sie, wie viel Prozent des Thoriums Th-232 seit Beginn der Erde zerfallen sind.

1. Formel: 
$$\Delta N = -\frac{\ln 2}{T_{0,5}} \cdot N \cdot \Delta t = -\frac{\ln 2}{1,41 \cdot 10^{10}} \cdot 100\% \cdot 4,6 \cdot 10^6 = -0,0226\%$$

2. Formel: 
$$\Delta N = N(0) \cdot (e^{-\lambda \cdot t} - 1) = 100\% \cdot \left( e^{-\frac{\ln 2}{1,41 \cdot 10^{10}} \cdot 4,6 \cdot 10^6} - 1 \right) = -0,0226\%$$

Beide Formeln sind möglich, da die Halbwertszeit wesentlich größer (Faktor  $10^4$ ) ist als die Messzeit, aber nicht so unterschiedlich, als dass die Taschenrechnergenauigkeit nicht ausreichen würde (die Potenz wird nicht als 1 angegeben).

4.2 Ein Thorium-Th-232-Präparat besitzt eine Aktivität von  $674 \text{ kBq}$ . Berechnen Sie die Masse des Th-232 im Präparat.

Mit der Formel  $\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$  (sehr kurze Messzeit gegenüber der Halbwertszeit) und der Aktivität  $A(t) = -674000 \text{ Bq}$  kann man die Anzahl der Teilchen im Präparat ausrechnen:

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t \rightarrow -\lambda \cdot N = \frac{\Delta N}{\Delta t} = A(t) \rightarrow N = \frac{A(t)}{-\lambda} = \frac{-674000 \text{ Bq}}{-\frac{\ln 2}{1,41 \cdot 10^{10} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}}} = 4,32 \cdot 10^{23}$$

Masse:  $m_{\text{Th-232}} = 232,03808 \cdot u \cdot 4,32 \cdot 10^{23} = 232,03808 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 4,32 \cdot 10^{23} \approx 0,166 \text{ kg} = 166 \text{ g}$

- 5 Durch Beschuss von Bor mit Wasserstoff kann Energie gewonnen werden.  
 Reaktionsgleichung:  ${}^1_1\text{H} + {}^{11}_5\text{B} \rightarrow 3 \cdot {}^4_2\text{He} + \text{Energie}$

Berechnen Sie, wie viel Energie bei dem Prozess frei wird.

Massen auf der linken Seite:  $1,007825 \cdot u + 11,0093054 \cdot u = 12,0171304 \cdot u$

Massen auf der rechten Seite:  $3 \cdot 4,002603 \cdot u = 12,007809 \cdot u$

Der Massendefekt beträgt

$$12,0171304 \cdot u - 12,007809 \cdot u = 0,0093214 \cdot u = 0,0093214 \cdot 1,660539 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,54785482 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

Mit  $E = m \cdot c^2$  folgt  $E = 1,54785482 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1,393 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 8706683 \text{ eV} \approx 8,7 \text{ MeV}$

Formeln und Werte

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

Physikalische Konstante in der Formelsammlung auf Seite 69

Auswahl einiger Atommassen in Vielfachen der atomaren Masseneinheit u

Wasserstoff	H-1	$m_{\text{H-1}} = 1,007825 \cdot u$
Helium	He-4	$m_{\text{He-4}} = 4,002603 \cdot u$
Bor	B-11	$m_{\text{B-11}} = 11,0093054 \cdot u$
Thorium	Th-227	$m_{\text{Th-227}} = 227,027704 \cdot u$
	Th-232	$m_{\text{Th-232}} = 232,03808 \cdot u$

Viel Erfolg bei der  
 Bearbeitung der  
 Aufgaben!