

• własności jąder; • energia wiązania jądra; • prawa zachowania w reakcjach • promieniotwórczość: rozpady  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , wychwyty elektronu przez jądro, rozpad  $\gamma$ ; • oddziaływanie promieniowania z materią; • reakcje rozszczepienia i syntezy jąder

1. Zależle zadania.

2. Choremu podano 1 cm<sup>3</sup> roztworu zawierającego izotop sodu  $^{24}_{11}\text{Na}$ , o aktywności 2000 1/s. Aktywność 1 cm<sup>3</sup> krwi pobranej po upływie 5 h, jest równa 16 1/min. Znajdź objętość krwi w organizmie. Okres połowicznego zaniku dla sodu-24 wynosi  $T_{1/2} = 15.3$  h (rozpad  $\beta^-$ ,  $E_\beta = 2.95$  MeV).

3. Izotop tor-232 występujący naturalnie w przyrodzie daje początek łańcuchowi przemian promieniotwórczych zwanych szeregiem torowym. Okres połowicznego zaniku dla toru-232 wynosi  $T_{1/2} = 1.4 \cdot 10^{10}$  lat. Ile cząstek  $\alpha$  emituje masa 1 g toru  $^{232}_{90}\text{Th}$  w ciągu 1 s? Czy to duża aktywność?

4. Jakie będzie jądro końcowe (stabilne), gdy w efekcie kolejnych rozpadów szeregu promieniotwórczego jądro  $^{238}_{92}\text{U}$  dozna ośmiu rozpadów  $\alpha$  i sześciu rozpadów  $\beta^-$ ?

5. Jedną z metod wytwarzania neutronów jest stosowanie radu jako emitera cząstek  $\alpha$ . Rad zmieszany z berylem umożliwia reakcję cząstki  $\alpha$  z berylem, a neutron jest jednym z dwóch produktów reakcji. Zapisz tę reakcję - jakie jądro jest drugim z produktów?

6. Promieniowanie  $\gamma$  pojawia się w wyniku przejścia jądra ze stanu o większej energii wzbudzenia do stanu o mniejszej energii. Energia kwantów  $\gamma$  zawiera się na ogół w przedziale od 10 keV do 5 MeV. Wyemitowane kwanty mogą tracić energię w wyniku oddziaływania z materią osłon.

1) Uzasadnij prawo osłabienia wiązki promieniowania w osłonie o grubości  $x$ :  $N = N_0 e^{-\mu x}$ . Od czego zależy liniowy współczynnik absorpcji  $\mu$ ?

2) Obliczyć grubość ołowiu konieczną do zredukowania natężenia wiązki promieniowania  $\gamma$  z pewnego izotopu promieniotwórczego do jednej dziesiątej pierwotnego natężenia, gdy liniowy współczynnik absorpcji wynosi  $\mu = 46$  1/m.

3) Promieniowanie  $\gamma$  oddziałuje z materią poprzez trzy procesy: zjawisko fotoelektryczne, rozpraszanie Comptonowskie, tworzenie par elektronowo-pozytonowych. Opisz każde z nich. Które z tych oddziaływań nie może zachodzić przy  $E_\gamma < 1$  MeV?

7. Rozpad  $\beta$  to spontaniczna przemiana jądra w wyniku emisji elektronu ( $\beta^-$ ), pozytonu ( $\beta^+$ ), bądź absorpcji przez jądro elektronu z orbity  $K$  atomu (wychwyty  $K$ ). Przykłady:



1) Uzasadnij poniższe energetyczne warunki dla poszczególnych rozpadów ( $M_j$  - masa jądra,  $M$  - masa atomu).

$$\beta^-: M_j(A, Z) > M_j(A, Z + 1) + m_e \quad \text{lub} \quad M(A, Z) > M(A, Z + 1)$$

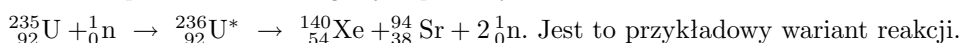
$$\beta^+: M_j(A, Z + 1) > M_j(A, Z) + m_e \quad \text{lub} \quad M(A, Z + 1) > M(A, Z) + 2m_e$$

$$\text{wychwyty } K: M_j(A, Z + 1) + m_e > M_j(A, Z) \quad \text{lub} \quad M(A, Z + 1) > M(A, Z)$$

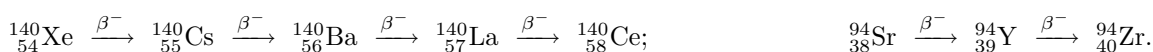
2) Sprawdź, czy jądra: a)  $^{15}_6\text{C}$ , b)  $^8_5\text{B}$  są stabilne ze względu na rozpady  $\beta$ . Jeśli nie, to zapisz odpowiednie reakcje.

8. Oblicz energię wyzwalaną w procesie rozszczepienia jądra atomowego uranu-235 naświetlanego neutronami powolnymi.

Wskaz.: Powolny (termiczny) neutron po wejściu do jądra uranu  $^{235}_{92}\text{U}$  (może tam przebywać stosunkowo długo) przekształca go we wzbudzony  $^{236}_{92}\text{U}^*$  (ile wynosi ta energia wzbudzenia?). Powstałe jądro jest silnie zdeformowane i energia wzbudzenia, przy wspomagającym działaniu odpychania kulombowskiego oddalonych części, jest wystarczająca do rozerwania jądra na fragmenty o zbliżonych masach, na podobieństwo rozdręganego kropli cieczy:



Fragmenty rozszczepienia są niestabilne i rozpadają się w wyniku kolejnych przemian  $\beta^-$ :



9. Nadobowiązkowe. Załóżmy, że protony są kulami o promieniu  $r \approx 1$  fm. Rozpatrz dwa protony zbliżające się do siebie, każdy z energią kinetyczną  $E_k$ . Oblicz: a) wysokość bariery kulombowskiej utrudniającej syntezę jądrową  $p + p$ , b) w jakiej temperaturze średnia energia kinetyczna protonów tworzących gaz protonowy w Słońcu (załóż, że gaz idealny) osiągnie wielkość obliczoną w pkt. a).

10. Oblicz energie  $Q$  wydzielane w reakcjach fuzji jądrowej z udziałem deuteru i trytu:



Uzupełnienia:

Wybrane masy izotopowe:

$${}_{92}^{235}\text{U} = 235,0439\text{u}; \quad {}_{58}^{140}\text{Ce} = 139,9054\text{u}; \quad {}_{40}^{94}\text{Zr} = 93,9036\text{u}$$

Defekty masy atomów trytu i helu-3 (odpowiednio): 0.016049, 0.016030