

• jądro atomowe, promień, siły jądrowe (oddziaływanie silne); • energia wiązania jądra; • prawa zachowania w reakcjach jądrowych; • rozpad  $\beta$ ; • prawo rozpadu promieniotwórczego

- Promień sferycznego jądra zmierzony metodą rozpraszania elektronów wynosi 3.6 fm. Ile wynosi przypuszczalna wartość liczby masowej jądra?
- Masa stabilnego jądra jest mniejsza niż suma mas tworzących go nukleonów. Różnica jest równoważna energii, nazwanej energią wiązania:  $E_w = (Zm_p + Nm_n)c^2 - \frac{A}{Z}M_Jc^2$ .  
W tablicach podaje się jednak zmierzone masy atomów  $\frac{A}{Z}M$ , nie jąder. Pokaż, że wtedy wzór przybiera postać:  $E_w = (Zm_H + Nm_n)c^2 - \frac{A}{Z}M_a c^2$ , lub prościej:  $E_w = Zm_H + Nm_n - \frac{A}{Z}M_a$ , jeśli opuścimy  $c^2$  i masę wyrazimy w jednostkach energii.
- Defektem masy umawiamy się nazywać wielkość  $\Delta = \frac{A}{Z}M_a - A$  wyrażoną w jednostkach masy atomowej ( $1 u = \frac{1}{12}$  masy atomu węgla  $^{12}\text{C}$ ). Ta wielkość podawana jest w tablicach, w związku z czym wygodnie jest stosować wzór:  $E_w = Z\Delta_H + (A - Z)\Delta_n - \Delta$ , gdzie  $\Delta_H$ ,  $\Delta_n$  i  $\Delta$  to defekty masy ( $M - A$ ) odpowiednio dla atomu wodoru, neutronu i atomu, którego jądro rozpatrujemy.  
Wprowadź powyższą zależność.
- Oblicz energię wiązania (w MeV) jądra  $^6\text{Li}$  oraz energię wiązania przypadającą na jeden nukleon w jądrze  $^6\text{Li}$ .
- Znaleźć energię wiązania w jądrze  $^{21}\text{Ne}$ : a) neutronu (czyli energię potrzebną do usunięcia neutronu z jądra), b) cząstki  $\alpha$ . ( Odp. 6.76 MeV, 7.34 MeV)
- Wyznaczyć energię potrzebną do spowodowania reakcji  $^{16}\text{O} \rightarrow 4\ ^4_2\text{He}$  (rozpad jądra  $^{16}\text{O}$  na cztery cząstki  $\alpha$ ). (Odp. 14.42 MeV)
- Zapisz reakcję, w wyniku której z syntezy deuteronu i jądra litu-6 powstają dwie cząstki  $\alpha$ . Oblicz energię wyzwalaną podczas reakcji. Energie wiązania przypadające na jeden nukleon w jądrach  $^2\text{H}$ ,  $^4\text{He}$  i  $^6\text{Li}$  wynoszą odpowiednio: 1.11 MeV, 7.08 MeV i 5.33 MeV.
- Rozpad  $\beta$  to spontaniczna przemiana jądra w wyniku tzw. oddziaływania słabego, w efekcie którego dochodzi do emisji elektronu ( $\beta^-$ , neutron zamienia się w proton), pozytonu ( $\beta^+$ , proton zamienia się w neutron), bądź absorpcji przez jądro elektronu z orbity  $K$  atomu (wychwyt  $K$ ). Przykłady:
 
$$^3_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + e^- \quad (T_{1/2} = 12 \text{ lat})$$

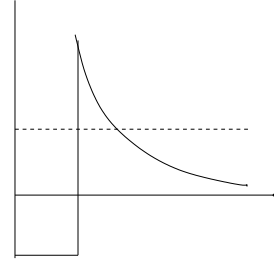
$$^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + e^+ \quad (T_{1/2} = 20.4 \text{ min.})$$

$$^7_4\text{Be} + e^- \rightarrow ^7_3\text{Li} \quad (T_{1/2} = 56.6 \text{ dni})$$
 1) Uzasadnij poniższe energetyczne warunki dla poszczególnych rozpadów ( $M_j$  - masa jądra,  $M$  - masa atomu).  
 $\beta^-$ :  $M_j(A, Z) > M_j(A, Z + 1) + m_e$     lub     $M(A, Z) > M(A, Z + 1)$   
 $\beta^+$ :  $M_j(A, Z + 1) > M_j(A, Z) + m_e$     lub     $M(A, Z + 1) > M(A, Z) + 2m_e$   
 wychwyt  $K$ :  $M_j(A, Z + 1) + m_e > M_j(A, Z)$     lub     $M(A, Z + 1) > M(A, Z)$ 
 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.
- W przemianach radioaktywnych liczba rozpadów w jednostce czasu jest proporcjonalna (dla danego typu izotopu) tylko od aktualnej liczby jąder  $N$ :  $\frac{-dN}{dt} \sim N$ , a dokładniej:  $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ , gdzie stała  $\lambda$  to tzw. stała rozpadu, charakterystyczna dla danego izotopu. Rozwiąż to równanie różniczkowe.
- Obliczyć stałą rozpadu, średni czas życia i czas połowicznego zaniku izotopu radioaktywnego, którego aktywność po upływie 100 dni zmniejsza się 1.07 raza.
- Określić wiek antycznych przedmiotów drewnianych, jeżeli aktywność właściwa izotopu  $^{14}\text{C}$  zawartego w tych przedmiotach stanowi 3/4 aktywności właściwej tego izotopu w świeżo ściętym drzewie. Czas połowicznego zaniku dla  $^{14}\text{C}$  jest równy 5570 lat.
- 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. Znaleźć objętość krwi w organizmie. Okres połowicznego zaniku dla sodu-24 wynosi  $T_{1/2} = 15.3$  h (rozpad  $\beta^-$ ,  $E_\beta = 2.95$  MeV).

13. Zad. nadobowiązkowe. Wyznaczyć wysokość bariery potencjału oddziaływań kulombowskich dla cząstek  $\alpha$  emitowanych w rozpadzie jądra izotopu  $^{222}\text{Rn}$ . Jaka jest szerokość bariery (odległość tunelowa) dla cząstek  $\alpha$ , które opuszczając jądra posiadają energię kinetyczną równą 5.5 MeV? Oszacować prawdopodobieństwo  $D$  przeniknięcia cząstek  $\alpha$  przez barierę. Oszacować stałą rozpadu  $\lambda$  jąder  $^{222}\text{Rn}$ .

Wskaz.: Ze względu na dużą energię wiązania cząstki  $\alpha$ , w ciężkich jądrach chętnie tworzą się klastry złożone z dwóch protonów i dwóch neutronów, poruszają się one wewnątrz jądra uwięzione przez przyciągające, krótkozasięgowe siły jądrowe, ograniczone do obszaru jądra; jest to więc ruch cząstki w sferycznej jednowymiarowej jamie potencjału. Ograniczeniem tej jamy jest potencjał odpychania kulombowskiego pomiędzy cząstką  $\alpha$  a pozostałym ładunkiem jądra  $(Z - 2)e$  (rys., przerywaną linią oznaczono energię kinetyczną emitowanej cząstki).

Stała rozpadu to iloczyn prawdopodobieństwa przeniknięcia i częstości uderzeń w ścianki jamy,  $\lambda = D\nu$ ;  $\nu$  to odwrotność czasu przebycia przez cząstkę  $\alpha$  (mającą energię 5.5 MeV) drogi równej średnicy  $2R$  jądra.



### Uzupełnienia:

promień jądra:  $r = 1.4 A^{1/3}$  fm; 1 fm (1 fermi) =  $10^{-15}$  m

jednostka masy atomowej 1 u =  $1.66 \cdot 10^{-27}$  kg = 931.44 MeV

masa protonu  $m_p = 1.007276$  u, masa neutronu  $m_n = 1.008665$  u

równoważność masy i energii (całkowitej):  $E = mc^2$  (często opuszcza się  $c^2$  i wyraża masę w jednostkach energii, np.

masa elektronu  $m_e = 0.511$  MeV)

energia kinetyczna  $T = E - m_0c^2$ , gdzie  $m_0$  jest masą spoczynkową

energia wiązania = (suma mas nukleonów jądra - masa jądra)  $\cdot c^2$ ;  $E_w = Zm_p + (A - Z)m_n - \frac{A}{Z}M_j$  (masy wyrażone w jednostkach energii)

	defekt masy ( $M - A$ ) [u]
n	0.008665
$^1\text{H}$	0.007825
$^2\text{H}$	0.014102
$^4\text{He}$	0.002604
$^6\text{Li}$	0.015126
$^{16}\text{O}$	-0.005085
$^{17}\text{O}$	-0.000867
$^{20}\text{Ne}$	-0.007560
$^{21}\text{Ne}$	-0.006151

aktywność = ilość rozpadów w jednostce czasu =  $dN/dt$

aktywność właściwa = aktywność jednostki masy próbki