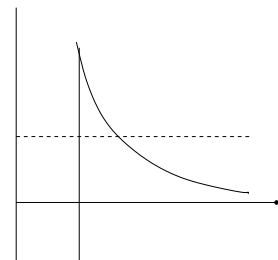


- atomy wieloelektronowe; • model wektorowy atomu; • widma atomowe; • widmo promieniowania rentgenowskiego ciągle i charakterystyczne; • jądro atomowe; • energia wiązania jądra; • prawa zachowania w reakcjach jądrowych;
- prawo rozpadu promieniotwórczego

1. Nadobowiązkowe. Atom wodoru w stanie podstawowym znajduje się w zewnętrznym polu magnetycznym  $\vec{B}$ . Objaśnij, że jego orbita wiruje ruchem precesyjnym wokół kierunku pola. Pokaż, że kołowa częstość precesji wyraża się wzorem  $\omega_p = \frac{eB}{m_e}$ . Oblicz tę częstość dla pola o indukcji  $B = 0.8$  T.
2. Rozgrzany sód emituje m.in. silne żółte światło składające się w rzeczywistości z dwóch b. silnych linii: 588,99 nm i 589,59 nm (tzw. dublet sodowy). Rozpisz konfigurację elektronową stanu podstawowego  $^{23}_{11}\text{Na}$  oraz pierwszego stanu wzbudzonego. Objaśnij jakościowo rozszczepienie tego stanu wzbudzonego na dwa poziomy, dające w przejściach radiacyjnych powyżej zapisane długości fal emitowanego światła. Jak obliczyć wielkość tego rozszczepienia?
3. Korzystając z prawa Moseleya obliczyć długość fal i energię fotonów, odpowiadających linii  $K_\alpha$  glinu. Poprawkę na ekranowanie przyjąć równą jedności. (odp.: 0.845 nm, 1.47 keV)
4. Określić napięcie na lampie rentgenowskiej z niklową anodą, jeśli różnica długości fal linii  $K_\alpha$  i krótkofalowej granicy ciągłego widma rentgenowskiego równa jest 0.084 nm. (odp.: 15 kV)
5. Promień sferycznego jądra zmierzony metodą rozpraszania elektronów wynosi 3.6 fm. Ile wynosi przypuszczalna wartość liczby masowej jądra?
6. Ponieważ w tablicach podaje się zmierzone defekty masy atomów (a nie jąder), często wygodnie jest stosować w obliczeniach energii wiązania 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. Wyprowadź, stosując definicję  $E_w$ , powyższą zależność.
7. Oblicz energię wiązania przypadającą na jeden nukleon w jądrze  $^6\text{Li}$ .
8. Znaleźć energię wiązania w jądrze  $^{21}\text{Ne}$ : a) neutronu (czyli energię po usunięciu neutronu z jądra), b) cząstki  $\alpha$ . (Odp. 6.76 MeV, 7.34 MeV)
9. Wyznaczyć energię potrzebną do spowodowania reakcji  $^{16}\text{O} \rightarrow 4\frac{1}{2}\text{He}$  (rozpad jądra  $^{16}\text{O}$  na cztery cząstki  $\alpha$ ). (Odp. 14.42 MeV)
10. 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.
11. W przemianach radioaktywnych liczba rozpadów w jednostce czasu zależy, dla danego typu izotopu, tylko od aktualnej liczby jąder. Sformułuj równanie różniczkowe, które rządzi tym procesem rozpadu i rozwiąż go.
12. Obliczyć stałą rozpadu, średni czas życia i czas połowicznego zaniku izotopu radioaktywnego, którego aktywność po upływie 100 dni zmniejsza się 1.07 raza.
13. 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.
14. 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:

Kwantowanie spinu. Moment pędu związany ze spinem elektronu ( $\vec{S}$ ) jest skwantowany podobnie jak orbitalny moment pędu (związany z ruchem wokół jądra):  $S = \sqrt{s(s+1)}\hbar$ , gdzie spinowa liczba kwantowa  $s$  ma tylko jedną wartość  $s = \frac{1}{2}$ . Podobnie z-owa składowa spinu jest skwantowana:  $S_z = m_s\hbar$ , gdzie magnetyczna spinowa liczba kwantowa  $m_s$  może przyjmować dwie wartości:  $\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ .

Suma wektorowa momentów orbitalnego i spinowego daje całkowity moment pędu  $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$ , który również się kwantuje podobnie:  $J = \sqrt{j(j+1)}\hbar$ , gdzie  $j = l + s$  lub  $j = l - s$ . Kwantowanie rzutu  $\vec{J}$  na oś  $z$ :  $J_z = m_j\hbar$ , gdzie  $m_j$  przyjmuje wartości różniące się o 1, zawarte w granicach  $-j \leq m_j \leq j$ .

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)· $c^2$ ;  $E_w = Zm_p + (A - Z)m_n - \frac{A}{Z}M_j$  (masy wyrażone w jednostkach energii)

	defekt masy ( $M - A$ ) [u]
n	0.008665
<sup>1</sup> H	0.007825
<sup>2</sup> H	0.014102
<sup>4</sup> He	0.002604
<sup>6</sup> Li	0.015126
<sup>16</sup> O	-0.005085
<sup>17</sup> O	-0.000867
<sup>20</sup> Ne	-0.007560
<sup>21</sup> Ne	-0.006151

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

aktywność właściwa = aktywność jednostki masy próbki

Sprawdzian przesuwamy na następne ćwiczenia; natomiast dla chętnych może być minikartkówka