

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ФІЗИКА АТОМА Й АТОМНОГО ЯДРА

*Збірник задач для індивідуальної роботи
з курсу фізики*

Під редакцією М. В. Ушкаця, С. С. Ковалю

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2007

Фізика атома й атомного ядра: Збірник задач для індивідуальної роботи з курсу фізики / Під ред. *М.В. Ушкаця, С.С. Ковалья*. – Миколаїв: НУК, 2007. – 32 с.

Кафедра фізики

У збірнику наведені задачі з розділів: атом Бора, рентгенівське випромінювання; елементи квантової механіки; радіоактивність, ядерні реакції для індивідуальної роботи протягом вивчення загального курсу фізики.

Призначений для студентів усіх факультетів.

У написанні розділів брали участь викладачі кафедри фізики: Мочалов О.О., Шенкевич В.М. "Атом Бора. Рентгенівське випромінювання"; Ушкац М.В., Коваль С.С. "Елементи квантової механіки"; Коваль Н.І., Кулик А.Д. "Радіоактивність. Ядерні реакції".

Рецензент канд. фіз.-мат. наук, проф. А.М. Кузнецов

1. АТОМ БОРА. РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Згідно з теорією Бора електрон у воднеподібному атомі (атом, в електронній оболонці якого лише один електрон), рухаючись круговою орбітою навколо ядра (планетарна модель атома Резерфорда), повинен мати момент імпульсу, кратний малій сталій Планка $\hbar$:

$$mv_n r_n = n\hbar = n \frac{h}{2\pi}, \quad (1.1)$$

де m – маса електрона; n – номер орбіти, або головне квантове число; r_n , v_n – радіус n -ї орбіти і швидкість електрона на ній відповідно; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка.

Формулу (1.1) називають правилом відбору орбіт. Його можна формулювати інакше: у довжину кола орбіти повинно укладатися ціле число довжин хвиль де Бройля електрона, тобто $2\pi r_n = n\lambda_B$, де

$$\lambda_B = \frac{h}{p} \quad (1.2)$$

і є так званою довжиною хвилі де Бройля будь-якого об'єкта з імпульсом p .

Використовуючи формулу (1.1) або (1.2) разом із законом Кулона для сили взаємодії між ядром і електроном, можна отримати вирази для радіуса n -ї борівської орбіти і швидкості електрона на ній:

$$r_n = \frac{\epsilon_0 \hbar^2}{\pi m e^2} \frac{n^2}{Z}; \quad (1.3) \quad v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 \hbar} \frac{Z}{n}, \quad (1.4)$$

де Z – порядковий номер атома в періодичній системі елементів; e – заряд електрона; ϵ_0 – електрична стала.

У свою чергу, вирази (1.3) і (1.4) дозволяють знайти потенціальну, кінетичну та повну енергію електрона на n -й орбіті, а потім і частоту фотона, що буде випромінювати атом при переході електрона з n -ї орбіти на k -у ($n > k$):

$$\nu_{n \rightarrow k} = R c Z^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (1.5)$$

де c – швидкість світла у вакуумі;

$$R = \frac{m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} - \text{стала Рідберга.}$$

Формула Бальмера (1.5) описує положення всіх ліній в атомарних воднеподібних спектрах. Усі переходи на k -у орбіту створюють серії ліній:

Лаймана	– $k = 1$;
Бальмера	– $k = 2$;
Пашена	– $k = 3$;
Брекетта	– $k = 4$;
Пфунда	– $k = 5$ і т. д.

Переходу з найближчої орбіти ($n = k + 1$) відповідає так звана головна лінія кожної серії (найменшої частоти в серії), а переходу з іонізованого стану ($n = \infty$) – границя серії (лінія найбільшої частоти).

Для отримання випромінювання дуже малих довжин хвиль – рентгенівського – використовують рентгенівські трубки, в яких електрони прискорюються великою різницею потенціалів до релятивістських швидкостей. При гальмуванні в речовині антикатада електрони втрачають свою значну кінетичну енергію, повністю або частково, у вигляді випромінювання великих частот. Оскільки кінетична енергія електронів обмежена напругою між катодом і антикатодом рентгенівської трубки, то і спектр гальмівного випромінювання є обмеженим певною максимальною частотою ν_0 (або відповідною мінімальною довжиною хвилі λ_0), яку називають короткохвильовою межею гальмівного випромінювання. Ця частота ν_0 однозначно пов'язана з напругою U у рентгенівській трубці: $h\nu_0 = eU$.

При достатньо великих напругах між анодом і антикатодом у рентгенівській частині спектра гальмівного випромінювання виникають лінії, положення яких схоже на серії у воднеподібних спектрах і визначається матеріалом антикатада. Це лінійчатє атомарне випромінювання називають характеристичним.

Воно виникає, коли енергії електронів, що бомбардують антикатод, стає достатньо для вибивання електронів з внутрішніх електронних оболонок атомів. На відповідне вакантне місце в деякій оболонці k можуть переходити з випромінюванням електрони будь-якої зовнішньої оболонки n . Серії ліній цього випромінювання називають відповідно позначенням електронних оболонок, на яких утворюються вакантні місця – K -серія, L -серія і т. д. Положення ліній у спектрі характеристичного випромінювання приблизно визначається формулою Мозлі

$$\nu_{n \rightarrow k} = R c (Z - b)^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

де величина b має для кожної серії своє значення і називається сталою екранування.

Теорія Бора

1. Знайдіть радіуси перших трьох борівських електронних орбіт в атомі водню.

2. Знайдіть швидкості електрона на трьох перших борівських орбітах в атомі водню.

3. Знайдіть радіуси перших трьох борівських електронних орбіт в однократно іонізованому атомі гелію (He^+).

4. Знайдіть швидкості електрона на трьох перших борівських орбітах у двократно іонізованому атомі літію (Li^{++}).

5. Визначте період обертання електрона на трьох перших борівських орбітах в атомі водню.

6. Визначте кутову швидкість обертання електрона на трьох перших борівських орбітах в однократно іонізованому атомі гелію (He^+).

7. Знайдіть числові значення кінетичної, потенціальної та повної енергії електрона на 4-й борівській орбіті атома водню.

8. Знайдіть числові значення кінетичної, потенціальної та повної енергії електрона на 5-й борівській орбіті в однократно іонізованому атомі гелію (He^+).

9. Знайдіть числові значення кінетичної, потенціальної та повної енергії електрона на 1-й борівській орбіті в двократно іонізованому атомі літію (Li^{++}).

10. Знайдіть кінетичну енергію електрона на n -й борівській орбіті атома водню. Задачу розв'язати для $n = 1, 2, 3$ і 5 .

11. Знайдіть кінетичну енергію електрона на n -й борівській орбіті в однократно іонізованому атомі гелію (He^+). Задачу розв'язати для $n = 1, 2, 3$ і 8 .

12. Який момент імпульсу має електрон на 3-й борівській орбіті в атомі водню?

13. На скільки змінюється момент імпульсу електрона при переході з 2-ї на 3-тю орбіту в атомі водню згідно з теорією Бора?

14. Визначте зміну швидкості електрона в борівському атомі при переході з 2-ї на 4-у орбіту в однократно іонізованому атомі гелію (He^+).

15. Визначте зміну швидкості електрона в борівському атомі при переході з 1-ї на 3-тю орбіту в двократно іонізованому атомі літію (Li^{++}).

16. На скільки зменшується кінетична енергія електрона при переході з 1-ї на 2-у борівську орбіту в атомі водню?

17. На скільки збільшується кінетична енергія електрона при переході з 3-ї на 1-у борівську орбіту в двократно іонізованому атомі літію (Li^{++})?

18. Як і в скільки разів змінюється кінетична енергія електрона в однократно іонізованому атомі гелію (He^+) при переході з 2-ї на 3-ю борівську орбіту?

19. Знайдіть різницю потенціалів кулонівського поля ядра атома гелію (He^+) між точками 1-ї і 4-ї борівських орбіт.

20. Яку роботу треба виконати проти сил кулонівської взаємодії між ядром атома водню та його електроном, щоб перемістити цей електрон з 2-ї на 3-тю борівську орбіту?

21. Знайдіть довжину хвилі де Бройля для електрона, що рухається 2-ю борівською орбітою в двократно іонізованому атомі літію (Li^{++}).

22. Скільки довжин хвиль де Бройля електрона на n -й борівській орбіті можна розмістити довжиною кола цієї орбіти? Задачу розв'язати для $n = 1, 2, 3$.

23. У скільки разів довжина кола 3-ї борівської орбіти воднеподібного літію (Li^{++}) більше від довжини хвилі де Бройля електрона на цій орбіті?

24. У скільки разів довжини хвилі де Бройля електрона воднеподібного літію (Li^{++}) менше, ніж у електрона в атомі водню на тій же борівській орбіті?

25. Використовуючи теорію Бора, знайдіть для воднеподібних систем магнітний момент μ_n , що відповідає руху електрона на n -й орбіті, а також відношення магнітного моменту до механічного μ_n / L_n . Обчисліть магнітний момент електрона, що знаходиться на 1-й борівській орбіті в атомі водню.

26. Вважаючи електрон на 1-й борівській орбіті круговим електричним струмом, знайдіть напруженість магнітного поля цього струму в центрі орбіти.

27. Якою повинна бути індукція магнітного поля, щоб вільний електрон рухався в ньому так само, як на 1-й борівській орбіті в атомі водню?

Атом Бора і воднеподібні спектри

28. Знайдіть найменшу і найбільшу довжини хвиль спектральних ліній водню у видимій області спектра.

29. Визначте найбільше і найменше значення енергії фотона в ультрафіолетовій серії спектра атома водню.

30. Визначте межі області, в якій лежать довжини хвиль ліній серії Бальмера.

31. Визначте межі спектральної області, в якій лежать довжини хвиль ліній серії Пашена.

32. На скільки відрізняються довжини хвиль границі серії Лаймана і головної лінії серії Пашена?

33. На скільки частота головної лінії серії Лаймана більше від частоти головної лінії серії Бальмера?

34. У скільки разів гранична частота серії Бальмера більше від частоти, що відповідає головній лінії цієї серії?

35. Знайдіть (в електрон-вольтах) різницю енергій фотонів, що відповідають головній лінії та границі видимої серії атомарного водневого спектра.

36. Обчисліть довжину хвилі фотона, що випромінює іон літію Li^{++} при переході з другого енергетичного рівня на перший.

37. Яку мінімальну довжину хвилі можуть випромінювати атоми повністю іонізованого літію?

38. Який хімічний елемент у повністю іонізованому стані випромінює спектр з мінімальною довжиною хвилі 228 Å?

39. Які лінії містить спектр поглинання атомарного водню в діапазоні довжин хвиль від 94,5 до 130,0 нм?

40. Знайдіть номери серій спектра випромінювання атомів воднеподібного гелію (He^+), лінії яких може сприймати людське око (в межах водневої серії Бальмера лежать хоч якісь лінії цих серій).

41. Обчисліть для атомарного водню мінімальну роздільну здатність спектрального приладу $\lambda/\Delta\lambda$, що дозволяє розділити перші 20-у і 21-у лінії серії Бальмера.

42. В яких межах повинна лежати довжина хвиль монохроматичного світла, щоб при збудженні атомів водню квантами цього світла радіус орбіти електрона збільшувався в 9 разів?

43. Оцініть, у скільки разів збільшиться радіус орбіти електрона в атомі водню, що знаходиться в основному стані, при збудженні його квантом з енергією 12,09 еВ.

44. Атом водню в основному стані поглинув квант світла з довжиною хвилі 1215 Å. Визначте радіус електронної орбіти збудженого атома водню.

45. На скільки змінилася кінетична енергія електрона в атомі водню при випромінюванні атомом фотона з довжиною хвилі 4860 Å?

46. На скільки зменшиться кінетична енергія обертання електрона в незбудженому атомі водню, який поглинає фотон довжиною хвилі 1215 Å?

47. Знайдіть частоту фотона, який випромінює однократно іонізований атом гелію (He^+) при переході в основний стан, якщо кінетична енергія електрона атома при цьому зростає в 4 рази.

48. Яку найменшу енергію (в електрон-вольтах) повинні мати електрони, щоб при збудженні атомів водню ударами цих електронів спектр водню мав тільки три спектральні лінії? Знайдіть довжини хвиль цих ліній.

49. В яких межах повинні лежати довжини хвиль монохроматичного світла, щоб при збудженні атомів водню квантами цього світла спостерігалися тільки три спектральні лінії?

50. Атоми водню в основному стані бомбардують енергічними електронами, в результаті чого збуджений водень випромінює. В яких межах повинна лежати енергія бомбардуючих електронів, щоб спектр збудженого водню мав тільки одну спектральну лінію?

51. В яких межах повинна лежати енергія бомбардуючих еле-

ктронів, щоб при збудженні атомів водню ударами цих електронів спектр водню мав тільки три спектральні лінії?

52. Знайдіть загальний вираз для кількості спектральних ліній, що буде випромінювати атомарний водень, збуджений на n -й енергетичний рівень. Визначте кількість ліній для $n = 10, 100$.

53. Нерухомий спочатку атом водню випромінює фотон, що відповідає головній лінії серії Лаймана. Яку швидкість набуває атом? (Використовуйте закон збереження імпульсу).

54. Фотон з енергією 18 еВ вибив електрон із незбудженого атома водню. Яку швидкість буде мати електрон удаліні від ядра атома?

55. Визначте потенціал іонізації атома водню та іонів He^+ і Li^{++} .

56. Визначте перший потенціал збудження атома водню та іонів He^+ і Li^{++} .

57. На скільки електрон-вольт потрібно збільшити енергію іона He^+ , що знаходиться в основному стані, щоб він міг випромінити фотон, який відповідає головній лінії 2-ї серії спектра He^+ ?

58. Обчисліть сталу Рідберга R , якщо відомо, що для іонів He^+ різниця довжин хвиль між головними лініями серій Бальмера і Лаймана $\Delta\lambda = 133,7$ нм.

59. Іон He^+ у стані мінімального збудження випромінює фотон. Цей фотон вирвав електрон атома водню, що знаходився в основному стані. Знайдіть швидкість електрона за межами взаємодії з атомами.

60. Обчисліть швидкість, яку набувають електрони, що вириваються електромагнітним випромінюванням з довжиною хвилі 18,0 нм з іонів He^+ в основному стані.

Гальмівне і характеристичне рентгенівське випромінювання

61. Яку максимальну кінетичну енергію мають електрони в рентгенівській трубці, якщо в її спектрі відсутнє випромінювання з довжинами хвиль меншими ніж $2 \text{ \AA}$? Яка напруга між електродами цієї трубки?

62. Гальмівний спектр випромінювання антикатада рентгенівської трубки має короткохвильову межу $0,1 \text{ \AA}$. Яку швидкість мають електрони при підльоті до антикатада?

63. Гальмівний спектр випромінювання антикатада рентгенівської трубки має короткохвильову межу $0,1 \text{ \AA}$. У скільки разів

маса електронів, що бомбардують антикатод, більше від їх маси спокою?

64. Фотони якої максимальної частоти буде випромінювати антикатод, якщо швидкість електронів, що його бомбардують, складає $0,5 c$ (c – швидкість світла у вакуумі)?

65. Між електродами рентгенівської трубки підтримується напруга в 50 кВ. Знайдіть максимальну частоту випромінювання цієї трубки.

66. На скільки зменшиться довжина хвилі, що відповідає короткохвильовій межі гальмівного рентгенівського спектра, якщо напругу на рентгенівській трубці збільшили з 60 до 80 кВ?

67. Довжина хвилі де Бройля електронів, що бомбардують антикатод рентгенівської трубки, дорівнює комптонівській довжині хвилі електрона. Якою буде мінімальна довжина хвилі випромінювання трубки?

68. До електродів рентгенівської трубки прикладена напруга 60 кВ. Якою стала напруга після підвищення, якщо короткохвильова межа випромінювання трубки зменшилася на $0,1 \text{ \AA}$?

69. До електродів рентгенівської трубки прикладена різниця потенціалів 60 кВ. Найменша довжина хвилі рентгенівських променів, одержаних від цієї трубки, дорівнює $20,6 \text{ пм}$. Знайдіть із цих даних сталу Планка h .

70. Знайдіть короткохвильову межу (довжину хвилі) суцільного рентгенівського спектра, якщо відомо, що зменшення прикладеної до рентгенівської трубки напруги на 23 кВ збільшує цю довжину хвилі в 2 рази.

71. При переході електрона в атомі з L на K -оболонку випромінюються рентгенівські промені з довжиною хвилі $78,8 \text{ пм}$. Який це атом? Для K -серії стала екранування $b = 1$.

72. Знайдіть сталу екранування для L -серії рентгенівських променів, якщо відомо, що при переході електрона в атомі вольфраму з M на L -оболонку випромінюються рентгенівські промені з довжиною хвилі 143 пм .

73. Знайдіть довжини хвиль, що відповідають головній лінії і границі K -серії характеристичного випромінювання золота. Для K -серії стала екранування $b = 1$.

74. Вважаючи сталу екранування для L -серії $b = 6,5$, знайдіть для срібла довжину хвилі, що відповідає головній лінії цієї серії.

75. У скільки разів частота фотонів, що відповідають границі

L-серії характеристичного спектра вольфраму більше, ніж у відповідних фотонів випромінювання заліза? Сталу екранування для *L*-серії взяти $b = 6,5$.

76. Який хімічний елемент дає головну лінію в *L*-серії характеристичного випромінювання 115 пм, якщо для вольфраму ця лінія складає 143 пм?

77. Головна лінія *K*-серії характеристичного випромінювання деякого елемента 78,8 пм. Якою буде довжина хвилі 2-ї лінії цієї серії?

78. Головна лінія *K*-серії характеристичного випромінювання деякого елемента 78,8 пм. Якою буде границя *K*-серії цього елемента?

79. Яку мінімальну енергію повинен мати вільний електрон, щоб вибити внутрішній електрон з *K*-оболонки атома платини і зайняти його місце? Для *K*-серії стала екранування $b = 1$.

80. При зіткненні вільного електрона з атомом свинцю він половину своєї енергії віддав одному з внутрішніх електронів атома. Атом після випромінювання фотона, що відповідає 5-й лінії *K*-серії характеристичного спектра свинцю, повернувся у первісний практично незбуджений стан, залишаючись нейтральним. Якою була енергія вільного електрона? Для *K*-серії стала екранування $b = 1$.

2. ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Згідно із сучасними квантовими уявленнями жоден об'єкт в усіх системах відліку не може мати одночасно й абсолютно точно визначеними будь-яку координату (наприклад, x) та складову імпульсу вздовж цієї координати (p_x). Ці величини завжди невизначені в межах $\pm \Delta x$ для координати і $\pm \Delta p_x$ для імпульсу. Причому межі їх невизначеності зв'язані між собою через сталу Планка $\hbar$:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar. \quad (2.1)$$

Так само і повна енергія будь-якого об'єкта або системи протягом часу Δt теж є невизначеною в межах $\pm \Delta E$:

$$\Delta t \Delta E \geq \hbar. \quad (2.2)$$

Вирази (2.1) і (2.2) називають співвідношеннями невизначеностей Гейзенберга.

Узагалі для будь-яких об'єктів (особливо мікроскопічних) можна говорити тільки про ймовірність того, що їх координати, імпульс, енергія тощо лежать у тих або інших межах. Тому математичний апарат квантової механіки пристосований до знаходження так званої хвильової функції об'єкта ψ – функції, квадрат модуля якої в будь-якій точці дає густину ймовірності w , тобто ймовірність знайти об'єкт в одиничному об'ємі в області цієї точки $w = |\psi|^2$.

Наприклад, для частинки масою m в одновимірній прямокутній безкінечно глибокій потенціальній ямі шириною l (потенціальному ящику) розв'язання квантово-механічних рівнянь дає наступні результати:

1) повна енергія частинки має дискретний спектр можливих значень – квантується за формулою

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2,$$

де $n = 1, 2, 3, \dots$ – ціле число, яке називається головним квантовим;

2) хвильова функція частинки в n -му квантовому стані

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\left(n\pi \frac{x}{l}\right).$$

Розв'язок для електрона в атомі приводить до висновку, що стан (хвильова функція) електрона визначається не лише головним квантовим числом n . Різним квантовим станам електрона в атомі відповідають набори із чотирьох квантових чисел. Крім головного n , це такі числа:

1) орбітальне квантове $l = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$, що квантує величину орбітального механічного моменту:

$$L = \hbar \sqrt{l(l+1)};$$

2) магнітне квантове $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$, що квантує можливі значення проекції вектора орбітального моменту на довільний напрямок z у просторі:

$$L_z = m \hbar;$$

3) магнітне спінове $m_S = \pm 1/2$, що задає дві можливі проекції власного механічного моменту L_S (спіну) електрона на довільний напрямок z у просторі:

$$L_{Sz} = m_S \hbar.$$

У багатоелектронному атомі електрони розподіляються за оболонками: $K, L, M, N \dots$ ($n = 1, 2, 3, 4 \dots$) – і підоболонками: $s, p, d, f \dots$ ($l = 0, 1, 2, 3 \dots$) згідно з принципом Паулі: кожен електрон повинен мати власний набір квантових чисел (хоча б одне із чисел n, l, m, m_S повинно відрізнятися від чисел інших електронів).

Співвідношення невизначеностей

81. Вважаючи, що невизначеність координати електрона в основному стані атома водню дорівнює радіусу 1-ї борівської орбіти, знайдіть невизначеність швидкості електрона в цьому стані й порівняйте її зі швидкістю електрона на 1-й борівській орбіті.

82. Вважаючи, що кінетична енергія електрона в основному стані атома водню невизначена у межах від 0 до 10 еВ, знайдіть невизначеність координати електрона в цьому стані й порівняйте її з радіусом 1-ї борівської орбіти.

83. Пучок електронів, прискорених різницею потенціалів 1000 В на виході з електронної пушки має поперечний розмір 0,2 мм. Використовуючи співвідношення невизначеностей координати та імпульсу, оцініть поперечний розмір пучка на відстані 10 м.

84. Електрон знаходиться в дуже маленькій металевій кулі діаметром 0,5 мкм при температурі 27 °С. Оцініть відносну неточність (у процентах), з якою може бути визначена швидкість електрона.

85. Електрон із середньою кінетичною енергією 15 еВ знаходиться в дуже маленькій металевій кулі діаметром 1 мкм. Оцініть відносну неточність (у процентах), з якою може бути визначена швидкість електрона.

86. Електрон із середньою кінетичною енергією 15 еВ знаходиться в дуже маленькій металевій кулі діаметром 1 мкм. З якою взагалі точністю ΔE_k можна говорити про його кінетичну енергію?

87. Знайдіть невизначеність координати протона, який має кінетичну енергію 100 еВ, а невизначеність його швидкості складає 5 %.

88. У скільки разів дебройлівська довжина хвилі частинки менше від невизначеності її координати, якщо відносна невизначеність імпульсу складає 2 %?

89. Скільки довжин хвиль де Бройля складає невизначеність координати електрона, якщо відносна невизначеність його швидкості 50 %?

90. Електрон, прискорений різницею потенціалів 500 В, має відносну невизначеність швидкості 10 %. Яка невизначеність його координати?

91. Яка буде відносна невизначеність швидкості ($\Delta v/v$) деякої частинки, якщо невизначеність координати цієї частинки дорівнює довжині її хвилі де Бройля?

92. Яка буде відносна невизначеність імпульсу ($\Delta p/p$) деякої частинки, якщо невизначеність координати цієї частинки дорівнює довжині її хвилі де Бройля?

93. Знайдіть невизначеність координати частинки, що має довжину хвилі де Бройля 100 Å. Невизначеність швидкості частинки складає 4 %.

94. З якою точністю можна говорити про швидкість протона в атомному ядрі ($r \sim 10^{-15}$ м) згідно зі співвідношенням невизначеностей координати та імпульсу?

95. Використовуючи співвідношення невизначеностей для енергії та часу, оцініть відносне розширення ($\Delta\lambda/\lambda$) спектральної лінії, якщо час життя атома у збудженому стані $\Delta t = 10^{-8}$ с, а довжина хвилі фотона, що випромінюється, 0,6 мкм.

96. Оцініть час життя атома у збудженому стані Δt , якщо відносне розширення ($\Delta\lambda/\lambda$) спектральної лінії $\lambda = 0,54$ мкм завдяки невизначеності енергії та часу складає 0,5 %.

97. Використовуючи співвідношення невизначеностей для енергії та часу, оцініть ширину $\Delta\nu$ спектральної лінії, якщо час життя атома у збудженому стані $\Delta t = 3 \cdot 10^{-8}$ с.

98. Використовуючи співвідношення невизначеностей для енергії та часу, оцініть невизначеність маси фотона, що випромінюється, коли час життя атома у збудженому стані $\Delta t = 2 \cdot 10^{-8}$ с.

99. Оцініть час життя атома у збудженому стані Δt , якщо відносна невизначеність маси фотонів ($\Delta m/m$), що відповідають спектральній лінії $\lambda = 0,35$ мкм завдяки невизначеності енергії та часу складає 0,3 %.

100. Згідно зі співвідношенням невизначеностей енергії та часу, у вакуумі може з'явитися будь-яка частинка з повною енергією ΔE і проіснувати протягом певного часу Δt . Яку максимальну кінетичну

тичну енергію може мати такий віртуальний електрон, якщо він існує протягом часу $3 \cdot 10^{-21}$ с?

Частинка в потенціальному ящику

101. Електрон знаходиться в потенціальному ящику шириною 5 Å. Знайдіть повну енергію електрона на трьох перших енергетичних рівнях.

102. Електрон знаходиться в потенціальному ящику шириною 10 Å. Знайдіть мінімальну енергію збудження електрона й основного стану.

103. Електрон знаходиться у незбудженому стані в потенціальному ящику шириною 2 Å. Знайдіть максимальну довжину хвилі фотона, який може змінити стан електрона.

104. Електрон у потенціальному ящику шириною 1 Å знаходиться у збудженому стані ($n = 3$). Знайдіть частоту фотона, що випромінює електрон при переході в основний стан.

105. Оцініть енергію мінімального збудження протона в ядрі. Вважайте протон в ядрі частинкою в потенціальному ящику шириною 10^{-14} м.

106. Оцініть довжину хвилі фотона, що випромінює протон в ядрі при переході зі стану мінімального збудження в основний. Вважайте протон в ядрі частинкою в потенціальному ящику шириною 10^{-14} м.

107. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. Знайдіть вираз для відносної різниці енергій сусідніх енергетичних рівнів

$\left(\frac{E_{n+1} - E_n}{E_n} \right)$. Проаналізуйте отриману функцію для n від 1 до ∞ .

108. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. В скільки разів енергія третього ($n = 3$) стану більша від енергії другого ($n = 2$) стану?

109. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. В скільки разів енергія другого ($n = 2$) стану більша від енергії основного стану?

110. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. В скільки разів енергія збудження у третій ($n = 3$) енергетичний стан з основного стану більша від енергії збудження у другий ($n = 2$) стан?

111. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. Знайдіть відношення енергії збудження у третій ($n = 3$) енергетичний стан з другого ($n = 2$) стану до енергії збудження у другий ($n = 2$) стан з основного стану?

112. Частинка в потенціальному ящику шириною l знаходиться в основному стані. В яких точках ящика густина ймовірності знаходження частинки максимальна?

113. Частинка в потенціальному ящику шириною l знаходиться в основному стані. В яких точках ящика густина ймовірності знаходження частинки мінімальна?

114. Частинка в потенціальному ящику шириною l знаходиться в найнижчому збудженому стані. В яких точках ящика густина ймовірності знаходження частинки максимальна?

115. Частинка в потенціальному ящику шириною l знаходиться в найнижчому збудженому стані. В яких точках ящика густина ймовірності знаходження частинки мінімальна?

116. Частинка в потенціальному ящику шириною l знаходиться в третьому ($n = 3$) енергетичному стані. В яких точках ящика густина ймовірності знаходження частинки максимальна?

117. Частинка в потенціальному ящику шириною l знаходиться в третьому ($n = 3$) енергетичному стані. В яких точках ящика густина ймовірності знаходження частинки мінімальна?

118. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. Знайдіть точки ($0 < x < l$), в яких густина ймовірності знаходження частинки в основному і другому ($n = 2$) енергетичних станах однакова. Розв'язок поясніть графічно.

119. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. Знайдіть точки ($0 < x < l$), в яких густина ймовірності знаходження частинки в основному і третьому ($n = 3$) енергетичних станах однакова. Розв'язок поясніть графічно.

120. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. Знайдіть точки ($0 < x < l$), в яких густина ймовірності знаходження частинки в другому ($n = 2$) і третьому ($n = 3$) енергетичних станах однакова. Розв'язок пояснити графічно.

121. Частинка в потенціальному ящику знаходиться в основному стані. Яка ймовірність знайти частинку в середній третині ящика? Розв'язок поясніть графічно.

122. Частинка в потенціальному ящику знаходиться в основному стані. Яка ймовірність знайти частинку в першій (останній) третині ящика? Розв'язок поясніть графічно.

123. Частинка в потенціальному ящику знаходиться в найнижчому збудженому стані. Яка ймовірність знайти частинку в середній третині ящика? Розв'язок поясніть графічно.

124. Частинка в потенціальному ящику знаходиться в найнижчому збудженому стані. Яка ймовірність знайти частинку в першій (останній) третині ящика? Розв'язок поясніть графічно.

125. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. Знайдіть відношення ймовірностей знаходження частинки в середній третині ящика в основному та другому ($n = 2$) енергетичних станах. Розв'язок поясніть графічно.

Стани електрона в атомі

126. На скільки зміниться орбітальний момент електрона в атомі при переході з s -стану в p -стан?

127. На скільки зміниться орбітальний момент електрона в атомі при переході з p -стану в f -стан?

128. У скільки разів збільшиться орбітальний момент електрона в атомі при переході з p -стану в d -стан?

129. У скільки разів збільшиться орбітальний момент електрона в атомі при переході з d -стану в f -стан?

130. Визначте всі можливі проекції орбітального моменту f -електрона на напрямок зовнішнього магнітного поля.

131. Визначте всі можливі проекції орбітального моменту d -електрона на напрямок зовнішнього магнітного поля.

132. У скільки разів максимальна проекція орбітального моменту електрона на напрямок зовнішнього магнітного поля в d -стані більше, ніж в p -стані?

133. Використовуючи векторну модель атома, визначте найменший кут, який може утворювати орбітальний момент g -електрона з напрямком зовнішнього магнітного поля.

134. Знайдіть усі можливі кути, які може утворювати орбітальний момент d -електрона з напрямком зовнішнього магнітного поля.

135. Знайдіть усі можливі кути, які може утворювати орбітальний момент p -електрона з напрямком зовнішнього магнітного поля.

136. Скільки всього електронів на повністю заповненій оболонці з номером n ?

137. Скільки електронів може розміститися на підоболонці, якій відповідає орбітальне число l ?

138. Скільки електронів у повністю заповненій N -оболонці атома мають орбітальні квантові числа більші одиниці?

139. Скільки електронів у повністю заповненій N -оболонці атома мають магнітне квантове число $m = 0$?

140. Скільки електронів у повністю заповненій M -оболонці атома мають спінове квантове число $m_s = -1/2$?

141. Скільки електронів у повністю заповненій N -оболонці атома мають магнітне квантове число $m = \pm 1$?

142. Скільки електронів на повністю заповнених M і N -оболонках атома мають магнітне квантове число $m = -1$?

143. Скільки електронів у повністю заповненій N -оболонці атома мають магнітне квантове число $m = 2$?

144. Скільки електронів у повністю заповненій O -оболонці атома мають магнітне квантове число $m = -1$ і при цьому спінове квантове число $m_s = 1/2$?

145. Скільки електронів у повністю заповненій N -оболонці атома мають магнітне квантове число $m = 2$ і при цьому спінове квантове число $m_s = -1/2$?

146. Скільки електронів у нейтральному атомі з конфігурацією $1s^2 2s^2 p^6 3s^1$ мають магнітне квантове число $m = 1$? Який порядковий номер цього атома в періодичній системі елементів?

147. Скільки електронів у нейтральному атомі з конфігурацією $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6$ мають спінове квантове число $m_s = 1/2$? Який порядковий номер цього атома в періодичній системі елементів?

148. Скільки електронів у нейтральному атомі з конфігурацією $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6$ мають магнітне квантове число $m = -1$ і при цьому спінове квантове число $m_s = 1/2$? Який порядковий номер цього атома в періодичній системі елементів?

149. Скільки електронів у нейтральному атомі з конфігурацією $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6 5s^2$ мають орбітальне квантове число $l = 1$, а спінове квантове число $m_s = 1/2$? Який порядковий номер цього атома в періодичній системі елементів?

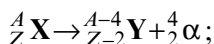
150. Скільки електронів у нейтральному атомі з конфігурацією $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6 5s^2$ мають орбітальне квантове число більше нуля, а магнітне квантове число $m = 0$? Який порядковий номер цього атома в періодичній системі елементів?

3. РАДІОАКТИВНІСТЬ. ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ

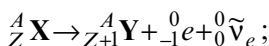
Згідно з нуклонною моделлю ядра складаються із частинок – нуклонів двох типів: позитивно заряджених протонів p і електрично нейтральних нейтронів n . Маса спокою протонів і нейтронів приблизно однакова і складає одну атомну одиницю маси. Загальне позначення ядер різних атомів ${}^A_Z\mathbf{X}$ означає, що в ядрі вся кількість Z (зарядове число) протонів і A (масове число) нуклонів.

Ядра деяких елементів нестабільні й можуть спонтанно випромінювати мікрочастинки зі зміною зарядового і масового чисел, тобто з перетворенням у ядра зовсім інших елементів. Виділяють декілька видів радіоактивного розпаду:

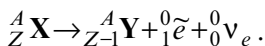
1) α -розпад – ядро випромінює α -частинку



2) β^- -розпад – ядро випромінює електрон і електронне антинейтрино



3) β^+ -розпад – ядро випромінює позитрон і електронне нейтрино



Активність препарату радіоактивного ізотопу (кількість розпадів за одиницю часу) пропорційна кількості N радіоактивних ядер у препараті $A_p = \lambda N$, де λ називають сталою розпаду даного радіоактивного ізотопу.

Крім сталої розпаду використовують також поняття:

періоду напіврозпаду $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda};$

середнього часу життя ядра $\tau = \frac{1}{\lambda}.$

Завдяки постійному перетворенню певної частини ядер радіоактивного елемента в ядра інших хімічних елементів, загальна кількість радіоактивного елемента зменшується із часом за законом

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (3.1)$$

Закон радіоактивного розпаду (3.1) визначає кількість ядер $N(t)$, що залишилися до моменту t , якщо початкова їх кількість в момент $t = 0$ дорівнює N_0 .

Навіть у нестабільних ядрах нуклони зв'язані між собою дуже великими силами, і для того щоб розщепити ядро на вільні нуклони, треба надати їм досить велику енергію, яку називають енергією зв'язку $E_{\text{зв}}$. Ця енергія ядра складає значну частку його повної енергії спокою, тому і маса ядра помітно менша, ніж маса відповідної кількості вільних нуклонів. Величина цього дефекту маси

$\Delta m = E_{\text{зв}}/c^2$. Точна маса ядра ${}^A_Z\text{X}$ визначається через його енергію

зв'язку:

$$m = Z m_{0p} + (A - Z) m_{0n} - \frac{E_{\text{зв}}}{c^2},$$

де m_{0p} , m_{0n} – маси спокою вільного протона і нейтрона відповідно.

У будь-яких ядерних реакціях і перетвореннях ядер повинен виконуватися закон збереження енергії. Якщо сукупна маса всіх частинок до реакції перевищує масу частинок після реакції, то реакція проходить з виділенням енергії і називається екзотермічною. Навпаки, якщо більше маса частинок після реакції, то для утворення додаткової маси відповідна енергія $E = \Delta m c^2$ поглинається під час реакції – реакцію називають ендотермічною.

Крім закону збереження енергії в реакціях виконуються також закони збереження:

електричного заряду;

лептонного заряду (кожному лептону ставлять у відповідність лептонний заряд +1, а антилептону –1);

баріонного заряду (кожному баріону ставлять у відповідність баріонний заряд +1, а антибаріону –1).

Склад ядер. Закони зміщення при радіоактивному розпаді

151. Поясніть відмінність ізотопів та ізобарів.

152. Визначте число протонів і нейтронів, що входять до складу ядер трьох ізотопів бора: 1) ${}^9_5\text{B}$; 2) ${}^{10}_5\text{B}$; 3) ${}^{11}_5\text{B}$.

153. Визначте число протонів і нейтронів, що входять до складу ядер трьох ізотопів кисню: 1) ${}^{16}_8\text{O}$; 2) ${}^{17}_8\text{O}$; 3) ${}^{18}_8\text{O}$.

154. Визначте, користуючись таблицею Менделєєва, число нейтронів і протонів у атомах платини та урану.

155. Визначте зарядові числа ядер, масові числа й символи ядер, що отримуються, якщо в ядрах ${}^9_4\text{Be}$, ${}^{13}_7\text{N}$, ${}^{23}_{11}\text{Na}$ нейтрони замінити протонами, а протони – нейтронами.

156. Визначте номери, масові числа і хімічні символи ядер, що отримуються, якщо в ядрах ${}^3_2\text{He}$, ${}^7_4\text{Be}$, ${}^{15}_8\text{O}$ протони замінити нейтронами, а нейтрони – протонами.

157. Поясніть, як змінюється положення хімічного елемента в таблиці Менделєєва після α - і β -розпадів ядер його атомів.

158. Користуючись таблицею Менделєєва й правилами зміщення, визначте, в який елемент перетворюється ${}^{238}_{92}\text{U}$ після трьох α - і двох β -розпадів.

159. Користуючись таблицею Менделєєва й правилами зміщення, визначте, в який елемент перетворюється ${}^{233}_{92}\text{U}$ після шести α - і трьох β -розпадів.

160. Ядра радіоактивного ізотопу торія ${}^{232}_{90}\text{Th}$ проходять поспідовно α -розпад, два β -розпади і α -розпад. Визначте кінцевий продукт розпаду.

161. Визначте, скільки β - і α -частинок викидається при перетворенні ядра талію ${}^{210}_{81}\text{Tl}$ у ядро свинцю ${}^{206}_{82}\text{Pb}$.

162. Радіоактивний ізотоп радію ${}^{225}_{88}\text{Ra}$ проходить чотири α -розпади і два β -розпади. Визначте для кінцевого ядра: 1) зарядове число Z ; 2) масове число A .

163. В яке ядро перетворилося ядро ізотопу фосфору ${}^{30}_{15}\text{P}$, викинувши позитивно заряджену бета-частинку?

164. Визначте порядковий номер і масове число нукліда, що вийде з торія ${}^{232}_{90}\text{Th}$ після трьох α - і двох β -перетворень.

165. Скільки α - і β -частинок викидається при перетворенні ядра урану ${}^{233}_{92}\text{U}$ в ядро вісмуту ${}^{209}_{83}\text{Bi}$?

166. Записати α -розпад радію ${}^{226}_{88}\text{Ra}$.

167. Записати β -розпад магнію ${}^{27}_{12}\text{Mg}$.

168. Який ізотоп утвориться з ${}^{232}_{90}\text{Th}$ після чотирьох α -розпадів і двох β -розпадів?

169. Який ізотоп утвориться з ${}^{238}_{92}\text{U}$ після трьох α -розпадів і двох β -розпадів?

170. Який ізотоп утвориться з ${}^{239}_{92}\text{U}$ після двох β -розпадів і одного α -розпаду?

171. Який ізотоп утвориться з радіоактивного ізотопу ${}_3\text{Li}^8$ після одного β -розпаду і одного α -розпаду?

172. Який ізотоп утвориться з радіоактивного ізотопу ${}_{51}\text{Sb}^{133}$ після чотирьох β -розпадів?

Закон радіоактивного розпаду

173. Скільки атомів полонію розпадається за одну добу з 10^6 атомів?

174. Скільки атомів еманції радію (радону) розпадається за одну добу з 10^6 атомів?

175. Знайдіть число розпадів за 1 с в 1 г радію.

176. Знайдіть масу радону, активність якого дорівнює 1 Ки.

177. Знайдіть масу полонію ${}_{84}^{210}\text{Po}$, активність якого дорівнює $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

178. Знайдіть активність 1 г урану ${}_{92}^{235}\text{U}$.

179. Знайдіть активність 1 мкг полонію ${}_{84}^{210}\text{Po}$.

180. Визначте активність 1 мг фосфору ${}^{32}\text{P}$.

181. Визначте питому активність a (число розпадів за 1 с на 1 кг речовини) ізотопу ${}_{92}^{238}\text{U}$, якщо період його напіврозпаду $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ років.

182. Обчисліть питому активність кобальту ${}^{60}\text{Co}$.

183. Знайдіть питому активність: 1) урану ${}_{92}^{235}\text{U}$; 2) радону ${}_{86}^{222}\text{Rn}$.

184. Знайдіть питому активність штучно отриманого радіоактивного ізотопу стронцію ${}_{38}^{90}\text{Sr}$.

185. Скільки ядер розпадається за 1 с в 1 мг радіоактивного ізотопу йоду ${}_{53}^{131}\text{I}$ (період напіврозпаду $T_{1/2} = 8$ діб)?

186. Початкова маса радіоактивного ізотопу йоду ${}_{53}^{131}\text{I}$ (період напіврозпаду $T_{1/2} = 8$ діб) дорівнює 1 г. Визначте: 1) початкову активність ізотопу; 2) його активність через 3 доби.

187. Початкова активність 1 г ізотопу радію ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ дорівнює 1 Ки. Визначте період напіврозпаду $T_{1/2}$ цього ізотопу.

188. Знайдіть відношення питомої активності стронцію ${}_{38}^{90}\text{Sr}$ до питомої активності радію ${}^{226}\text{Ra}$.

189. Яка кількість урану ${}^{238}\text{U}$ має таку ж активність, як 1 мг стронцію ${}_{38}^{90}\text{Sr}$?

190. За допомогою іонізаційного лічильника досліджується швидкість розпаду деякого радіоактивного ізотопу. У початко-

вий момент часу лічильник дає 75 відкидань за 10 с. Яке число відкидань за 10 с дає лічильник по закінченні часу $T_{1/2}/2$? Рахувати, що період напіврозпаду ізоотпу $T_{1/2} \gg 10$ с.

191. Лічильник Гейгера, встановлений поблизу препарату радіоактивного ізоотпу срібла, при першому вимірі реєстрував 5200 β -частинок за хвилину, а через добу тільки 1300. Визначте період напіврозпаду ізоотпу.

192. Чому дорівнює активність радону, що утворився з 1 г радію за 1 год?

193. В ампулу поміщений радон, активність якого дорівнює 400 мКи. Через який час після наповнення ампули активність радону буде дорівнювати $2,22 \cdot 10^9$ Бк?

194. До 10 мг радіоактивного ізоотпу $^{45}_{20}\text{Ca}$ домішано 30 мг нерадіоактивного ізоотпу $^{40}_{20}\text{Ca}$. На скільки зменшилася питома активність препарату?

195. Скільки атомів розпадається в радіоактивному нукліді за 1 с, якщо його активність 2,71 мКи?

196. Яка кількість теплоти виділяється при розпаді радону активністю 1 Ки за 1 с? Кінетична енергія кожної α -частинки, що вилітає з ядра радону дорівнює 5,5 МеВ.

197. Активність препарату зменшилася в 250 разів. Скільком періодам напіврозпаду дорівнює минулий проміжок часу?

198. Активність деякого радіоактивного ізоотпу в початковий момент часу складала 100 Бк. Визначте активність цього ізоотпу після закінчення проміжку часу, рівного половині періоду напіврозпаду.

199. За добу активність нукліда зменшилася від 3,2 до 0,2 Ки. Визначте період напіврозпаду цього нукліда.

200. На скільки процентів знизиться активність ізоотпу ірідію ^{192}Ir через місяць?

201. Через скільки років активність ізоотпу стронцію ^{90}Sr зменшиться в 10 разів?

202. Визначте період напіврозпаду $T_{1/2}$ деякого радіоактивного ізоотпу, якщо його активність за 5 діб зменшилася в 2,2 рази.

203. Стала розпаду рубідію ^{89}Rb дорівнює $0,00077 \text{ с}^{-1}$. Визначте період напіврозпаду рубідію.

204. Період напіврозпаду радіоактивного нукліда один рік. Визначте середню тривалість життя цього нукліда.

205. Визначте, що і в скільки разів триваліше – три періоди напіврозпаду чи два середніх часи життя радіоактивного ядра.

206. Знайдіть сталу розпаду радону, якщо відомо, що число атомів радону зменшується за одну добу на 18,2 %.

207. Скільки процентів початкової кількості радіоактивного нукліда залишається через час t , рівний середній тривалості життя цього нукліда?

208. Яка частинка початкової маси радіоактивного ізотопу розпадається за середній час життя цього ізотопу?

209. Визначте, яка частина початкової кількості ядер радіоактивного ізотопу розпадеться за час t , рівний двом періодам напіврозпаду $T_{1/2}$.

210. Деякий радіоактивний ізотоп має сталу розпаду $\lambda = = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$. Через скільки годин розпадеться 75 % початкової маси атомів?

211. У результаті розпаду 1 г радію за рік утворилася деяка маса гелію, що займає при нормальних умовах об'єм 0,043 см³. Знайти із цих даних число Авогадро.

212. В ампулу поміщений препарат, що містить 1,5 г радію. Яка маса радону накопичується в цій ампулі після закінчення часу $t = T_{1/2}/2$, де $T_{1/2}$ – період напіврозпаду радону?

213. Яка частинка початкової кількості атомів розпадеться за один рік у радіоактивному ізотопі торія ²²⁹Th?

214. Період напіврозпаду радіоактивного ізотопу актинію ²²⁵₈₉Ac складає 10 діб. Визначте час, за який розпадеться 1/3 початкової кількості ядер актинію.

215. Стала радіоактивного розпаду ізотопу ²¹⁰₈₂Pb дорівнює 10⁻⁹ с⁻¹. Визначте час, протягом якого розпадеться 2/5 початкової кількості ядер цього радіоактивного ізотопу.

216. Скільки процентів початкової кількості актинію ²²⁵Ac залишаться через 5 днів?

217. Визначте, скільки процентів початкової кількості ядер радіоактивного ізотопу залишаться через час t , рівний двом середнім часам життя τ радіоактивного ядра.

218. За один рік початкова кількість радіоактивного нукліда зменшилася в 3 рази. У скільки разів вона зменшиться за 3 роки?

219. Визначте, яка частина початкової кількості ядер радіоактивного ізотопу розпадається за 3 роки, якщо за один рік розпадається 1/4 ядер.

220. За який час розпадеться $1/4$ початкової кількості ядер радіоактивного нукліда, якщо період його напіврозпаду 24 години?

221. За вісім діб розпалося 75 % початкової кількості радіоактивного нукліда. Визначте період напіврозпаду.

222. Визначте період напіврозпаду радіоактивного полонію $^{210}_{84}\text{Po}$, якщо 1 г цього ізотопу утворить за рік $89,5 \text{ см}^3$ гелію при нормальних умовах.

223. Визначте період напіврозпаду радіоактивного ізотопу, якщо $5/8$ початкової кількості ядер цього ізотопу розпалося за час $t = 849 \text{ с}$.

Енергія зв'язку ядра. Ядерні реакції

224. Визначте енергію зв'язку ядра атома гелію ^4_2He . Маса нейтрального атома гелію дорівнює $6,6467 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

225. Знайдіть енергію зв'язку ядра ізотопу літію ^7_3Li .

226. Знайдіть енергію зв'язку ядра атома алюмінію $^{27}_{13}\text{Al}$.

227. Знайдіть енергію зв'язку ядра дейтерію ^2_1H .

228. Знайдіть енергію зв'язку ядер ^3_1H і ^3_2H . Яке із цих ядер найбільш стійке?

229. Визначте питому енергію зв'язку $\epsilon_{\text{зв}}$ (енергію зв'язку, віднесу до одного нуклона) для ^4_2H . Маса нейтрального атома гелію $6,6467 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

230. Визначте питому енергію зв'язку $\epsilon_{\text{зв}}$ (енергію зв'язку, віднесу до одного нуклона) для $^{12}_6\text{C}$. Маса нейтрального атома вуглецю $19,9272 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

231. Знайдіть енергію $\epsilon_{\text{зв}}$ зв'язку, що приходить на один нуклон у ядрі атома кисню $^{16}_8\text{O}$.

232. Визначте, яка енергія в електрон-вольтах відповідає дефекту маси $\Delta m = 3 \text{ мг}$.

233. У процесі здійснення реакції $\gamma \rightarrow ^0_{-1}e + ^0_{+1}e$ енергія E_0 фотона складала 2,02 МеВ. Визначте повну кінетичну енергію позитрона й електрона в момент виникнення.

234. При зіткненні позитрона й електрона відбувається їх анігіляція, у процесі якої електрон-позитронна пара перетворюється в два однакових γ -фотона. Визначте енергію кожного з фотонів, приймаючи, що кінетичною енергією електрона і позитрона до їх зіткнення можна знехтувати.

235. Визначте масу ізотопу ${}^{15}_7\text{N}$, якщо зміна маси при утворенні ядра ${}^{15}_7\text{N}$ складає $0,2508 \cdot 10^{-27}$ кг.

236. Енергія зв'язку $E_{\text{зв}}$ ядра, що складається з трьох протонів і чотирьох нейтронів, дорівнює 39,3 МеВ. Визначте масу m нейтрального атома, що має це ядро.

237. Питома енергія зв'язку $\epsilon_{\text{зв}}$ ядра, що складається з трьох протонів і чотирьох нейтронів, дорівнює 5,6 МеВ. Визначте масу m нейтрального атома, що має це ядро.

238. При відриві нейтрона від ядра гелію ${}^4_2\text{He}$ утвориться ядро ${}^3_2\text{He}$. Визначте енергію, яку необхідно для цього затратити. Маса нейтральних атомів ${}^4_2\text{He}$ та ${}^3_2\text{He}$ відповідно дорівнюють $6,6467 \cdot 10^{-27}$ кг і $5,0084 \cdot 10^{-27}$ кг.

239. Знайдіть енергію, що звільняється в ядерній реакції ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$.

240. Знайдіть енергію, що поглинається в ядерній реакції ${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_8\text{O}^{17}$.

241. Знайдіть енергію, що виділяється в ядерній реакції ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^3$.

242. Знайдіть енергію, що виділяється в ядерній реакції ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + {}_0\text{n}^1$.

243. Знайдіть енергію, що виділяється в ядерній реакції ${}_1\text{H}^2 + {}_2\text{He}^3 \rightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_2\text{He}^4$.

244. Знайдіть енергію, що виділяється в ядерній реакції ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$.

245. Знайдіть енергію, що виділяється в ядерній реакції ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + {}_2\text{He}^4$.

246. Знайдіть енергію, що виділяється в ядерній реакції ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_4\text{Be}^8 + {}_0\text{n}^1$.

247. Визначте: 1) екзотермічною чи ендотермічною є реакція ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_4\text{Be}^7 + {}_0\text{n}^1$; 2) енергію цієї ядерної реакції.

248. Визначте, поглинається чи виділяється енергія в ядерній реакції ${}_1\text{H}^2 + {}_3\text{H}^3 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_0\text{n}^1$, а також цю енергію.

249. Визначте, виділяється чи поглинається енергія в ядерній реакції ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^{17}_8\text{O}$. Маса ядер, що беруть участь у реакції: $m_{\text{N}} = 2,3253 \cdot 10^{-26}$ кг, $m_{\text{He}} = 6,6467 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_{\text{H}} = 1,6737 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_{\text{O}} = 2,8229 \cdot 10^{-26}$ кг.

250. Визначте енергію (в електрон-вольтах), яку можна одержати при розщепленні 1 г урану $^{235}_{92}\text{U}$, якщо при розщепленні кожного ядра урану виділяється енергія 200 МеВ.

251. Визначте добову витрату чистого урану $^{235}_{92}\text{U}$ атомною електростанцією з тепловою потужністю $P = 300$ МВт. Енергія, що виділяється в одному акті розщеплення, складає 200 МеВ.

252. Під дією яких частинок – нейтронів чи α -частинок – ядерні реакції здійснюються більш ефективно? Поясніть відповідь.

253. Вільне нерухоме ядро $^{191}_{77}\text{Ir}$ ($m = 317,10953 \cdot 10^{-27}$ кг) з енергією збудження $E = 129$ кеВ перейшло в основний стан, випустивши γ -квант. Визначте зміну енергії γ -кванта, що виникає в результаті віддачі ядра.

254. У ядерній реакції $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + ^1_0\text{n}$ виділяється енергія $E = 3,27$ МеВ. Визначте масу атома ^3_2He , якщо маса атома ^2_1H дорівнює $3,34461 \cdot 10^{-27}$ кг.

Закони збереження електричного, лептонного та баріонного зарядів у ядерних реакціях

255. Запишіть перетворення нейтрона в протон з указівкою частинок, що при цьому випускаються. Поясніть, чому цей процес є енергетично можливим.

256. Запишіть перетворення протона в нейтрон з указівкою частинок, що при цьому випускаються. Поясніть, чому це перетворення енергетично можливе тільки для протона, зв'язаного в ядрі.

257. Визначте зарядове число Z і масове число A частинки, позначеною буквою x , у символічному записі ядерної реакції $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{17}_8\text{O} + x$.

258. Визначте зарядове число Z і масове число A частинки, позначеною буквою x , у символічному записі ядерної реакції $^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + x$.

259. Визначте зарядове число Z і масове число A частинки, позначеною буквою x , у символічному записі ядерної реакції $^6_3\text{Li} + x \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He}$.

260. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $^{10}_5\text{B}(\alpha, x)$.

261. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $^{40}_{18}\text{Ar}(\alpha, x)$.

262. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $x(\text{p}, \text{n})^{37}_{18}\text{Ar}$.

263. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $^3_2\text{He}(x, \text{p})^3_1\text{H}$.

264. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $x(n, \alpha)_1^3\text{H}$.

265. Запишіть схему електронного захоплення (e -захоплення) і поясніть його відмінність від $\beta^\pm$ -розпадів. Наведіть приклад електронного захоплення.

266. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_{13}\text{Al}^{27}(n, \alpha)x$.

267. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_9\text{Fe}^{19}(p, x)_8\text{O}^{16}$.

268. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_{25}\text{Mn}^{55}(x, n)_{26}\text{Fe}^{55}$.

269. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_{13}\text{Al}^{27}(\alpha, p)x$.

270. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_7\text{N}^{14}(n, x)_6\text{C}^{14}$.

271. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $x(p, \alpha)_{11}\text{Na}^{22}$.

272. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції, що викликають γ -фотони $_{13}\text{Al}^{27}(\gamma, x)_{12}\text{Mg}^{26}$.

273. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції, що викликають γ -фотони $_{13}\text{Al}^{27}(\gamma, n)x$.

274. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції, що викликають γ -фотони $_{29}\text{Cu}^{63}(\gamma, x)_{29}\text{Cu}^{62}$.

275. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції, що викликають γ -фотони $x(\gamma, n)_{74}\text{W}^{181}$.

276. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{57}^{145}\text{La} + x + 4{}_0^1\text{n}$.

277. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{99}^{99}\text{Zr} + {}_{43}^{135}\text{Te} + x{}_0^1\text{n}$.

278. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_{90}^{232}\text{Th} + {}_0^1\text{n} \rightarrow x + {}_{54}^{140}\text{Xe} + 3{}_0^1\text{n}$.

279. Запишіть відсутні позначення x у ядерній реакції $_{94}^{239}\text{Pu} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{80}\text{Se} + {}_{40}^{157}\text{Nd} + 3{}_0^1\text{n}$.

280. При енергіях нейтронів близько 10 MeV стає можливою на ядрі урану $_{92}^{238}\text{U}$ ядерна реакція типу $(n; 2n)$, у результаті чого утвориться штучно-радіоактивне ядро, що дає β^- -розпад. Запишіть цю реакцію.

281. Ядро урану $_{92}^{238}\text{U}$, захоплюючи швидкий нейтрон, пере-

творюється в радіоактивний ізоотоп урану, перетерплює β^- -розпад з перетворенням у трансурановий елемент, що у свою чергу також перетерплює β^- -розпад, у результаті чого утвориться плутоній. Запишіть всі ці процеси у вигляді ядерної реакції.

282. Ядро урану ${}^{235}_{92}\text{U}$, захопивши тепловий нейтрон, ділиться на два осколки з масовими числами 95 і 139, другий з яких перетерплює три β^- -розпади. Запишіть цю реакцію.

283. При захопленні теплового нейтрона ядром урану ${}^{235}_{92}\text{U}$ утворюються два осколки розділу і два нейтрони. Визначте порядковий номер Z і масове число A одного з осколків, якщо іншим осколком є ядро стронцію ${}^{95}_{38}\text{Sr}$.

284. Жоліо–Кюрі опромінювали алюміній ${}^{27}_{13}\text{Al}$ α -частинками, у результаті чого випускався нейтрон і утворювалося штучно-радіоактивне ядро, що дає β^+ -розпад. Запишіть цю реакцію.

285. Жоліо–Кюрі опромінювали магній ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ α -частинками, у результаті чого випускався нейтрон і утворювалося штучно-радіоактивне ядро, що дає β^+ -розпад. Запишіть цю реакцію.

У кожному індивідуальному завданні студент виконує задачі за номерами, наведеними в таблицях нижче, згідно зі своїм варіантом (номером у списку групи).

Індивідуальне завдання № 1

Атом бора. Рентгенівське випромінювання

Номер варіанта	Номери задач					
1	1	16	31	46	61	71
2	2	17	32	47	62	72
3	3	18	33	48	63	73
4	4	19	34	49	64	74
5	5	20	35	50	65	75
6	6	21	36	51	66	76
7	7	22	37	52	67	77
8	8	23	38	53	68	78
9	9	24	39	54	69	79
10	10	25	40	55	70	80
11	11	26	41	56	62	71
12	12	27	42	57	64	73
13	13	28	43	58	66	75
14	14	29	44	59	68	77
15	15	30	45	60	70	79

Індивідуальне завдання № 2

Елементи квантової механіки

Номер варіанта	Номери задач					
1	81	91	101	116	126	141
2	82	92	102	117	127	142
3	83	93	103	118	128	143
4	84	94	104	119	129	144
5	85	95	105	120	130	145
6	86	96	106	121	131	146
7	87	97	107	122	132	147
8	88	98	108	123	133	148
9	89	99	109	124	134	149
10	90	100	110	125	135	150
11	82	91	111	117	136	141
12	84	93	112	119	137	143
13	86	95	113	121	138	145
14	88	97	114	123	139	147
15	90	99	115	125	140	149

Індивідуальне завдання № 3

Радіоактивність. Ядерні реакції

Номер варіанта	Номери задач								
1	151	166	181	196	211	226	241	256	271
2	152	167	182	197	212	227	242	257	272
3	153	168	183	198	213	228	243	258	273
4	154	169	184	199	214	229	244	259	274
5	155	170	185	200	215	230	245	260	275
6	156	171	186	201	216	231	246	261	276
7	157	172	187	202	217	232	247	262	277
8	158	173	188	203	218	233	248	263	278
9	159	174	189	204	219	234	249	264	279
10	160	175	190	205	220	235	250	265	280
11	161	176	191	206	221	236	251	266	281
12	162	177	192	207	222	237	251	267	282
13	163	178	193	208	223	238	253	268	283
14	164	179	194	209	224	239	254	269	284
15	165	180	195	210	225	240	255	270	285

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики: Учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с.
 2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Справочник по физике. – М.: Наука, 1985.
 3. *Зисман Г.А., Тодес О.М.* Курс общей физики: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд.: В 3 т. – М.: Наука, 1968. – Т. 3. – 495 с.
 4. *Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П.* Загальний курс фізики: Навч. посіб.: В 3 т. – К.: Техніка, 1999. – Т. 3. – 520 с.
 5. *Савельев И.В.* Курс физики: Учебник: В 3 т. – М.: Наука, 1989. – Т. 3. – 304 с.
 6. *Трофимова Т.И.* Курс физики: Учеб. пособие для техн. спец. вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 478 с.
 7. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие: В 3 т. / Под ред. *Г.С. Ландсберга*. – 10-е изд. – М.: Наука, 1986. – Т. 3. – 656 с.
-

Навчальне видання

**УШКАЦ Михайло Вікторович
КОВАЛЬ Сергій Станіславович**

ФІЗИКА АТОМА Й АТОМНОГО ЯДРА

Збірник задач для індивідуальної роботи

з курсу фізики

Під редакцією М. В. Ушкаця, С. С. Ковалю

(українською мовою)

Редактор Ю.О. Вірьовка
Комп'ютерна правка та верстка Н.В. Ялова
Коректор М.О. Паненко

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 26.09.07. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 1,8. Обл.-вид. арк. 1,9.
Тираж 400 прим. Вид. № 20. Зам. № 268. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5