

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ,  
САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**«ФІЗИКА»**  
(РОЗДІЛИ «КВАНТОВІ ВЛАСТИВОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ»,  
«ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ І АТОМНОЇ ФІЗИКИ»,  
«ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА»,  
«ЕЛЕМЕНТИ ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ»)  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

КРЕМЕНЧУК 2016

Методичні вказівки до виконання практичних робіт, самостійної роботи та контрольних робіт з навчальної дисципліни «Фізика» (розділи «Квантові властивості випромінювання», «Елементи квантової механіки і атомної фізики», «Елементи квантової фізики твердого тіла», «Елементи ядерної фізики») для студентів усіх спеціальностей

Укладачі: доц. О. В. Сукачов,  
асист. В. В. Журав,  
асист. Г. В. Єременко

Рецензент доц. М. О. Єлізаров

Кафедра біотехнології та здоров'я людини

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Голова методичної ради \_\_\_\_\_ проф. В. В. Костін

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
Приклади розв'язування типових задач .....	6
Задачі для практичних, контрольних робіт і самостійного розв'язування	19
Список літератури .....	27
Додаток А (Таблиці фізичних величин).....	28

## ВСТУП

Фізика є фундаментальною базою для підготовки інженера, без опанування якою неможлива його успішна діяльність.

У зв'язку з тією увагою, що приділяється самостійній роботі студентів у їх навчанні у ВНЗ, в останній час виникли потреби в допоміжній літературі, яка використовується для самостійного опрацювання студентами відповідних курсів. Мета методичних вказівок – допомогти студентам вищих навчальних закладів, насамперед, у самостійному вивченні курсу фізики.

Важливим компонентом при вивченні курсу фізики є розв'язування задач. Це допомагає студенту глибше зрозуміти суть фізичних законів, які викладені в теоретичній частині фізики, оцінити їх практичну цінність, знайти зв'язок між теорією та практичними результатами. Крім того, розв'язання задач навчає студента, аналізуючи вихідні дані, правильно вибрати фізичні закони, засвоїти їхнє використання при розв'язуванні конкретної задачі, що і є підґрунтям інженерної діяльності.

Методичні вказівки містять широке коло задач і прикладів їх розв'язання з квантової і атомної фізики, призначені для спеціальностей з обмеженою кількістю аудиторних годин з фізики.

У прикладах типових задач матеріал викладено достатньо змістовно, просто, зрозуміло, за необхідності з рисунками.

Після вивчення дисципліни студент повинен

**знати:** основні закони сучасної та класичної фізики, класичні та сучасні теорії, взаємозв'язок фізичних законів із законами діалектики;

**уміти:** аналізувати фізичні явища і встановлювати причинні зв'язки між ними, формулювати інженерно-фізичні задачі, уміти їх розв'язувати, давати розумну оцінку отриманих результатів.

### Номери задач контрольної роботи

Варіант	Номери задач			
1	1	11	26	51
2	2	12	27	52
3	3	13	28	53
4	4	14	29	54
5	5	15	30	55
6	6	16	31	56
7	7	17	32	57
8	8	18	33	58
9	9	19	34	59
0	10	20	35	60

Номер варіанта визначає остання цифра номера залікової книжки студента.

## ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ

### *Квантові властивості випромінювання*

**№ 1.** Довжина хвилі, на яку припадає максимум енергії у спектрі випромінювання сірого тіла,  $\lambda_m = 500$  нм. Визначити енергетичну світність поверхні цього тіла, якщо його коефіцієнт поглинання  $a_T = 0,25$ .

Дано: $\lambda_m = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $R_e - ?$	Енергетична світність сірого тіла згідно із законом Стефана–Больцмана: $R_e = a_T \sigma T^4$ , де $a_T$ – коефіцієнт поглинання, $T$ – термодинамічна температура.  Температуру можна знайти за законом Віна :
--	--

$$\lambda_m = b/T,$$

де  $b$  – стала Віна. Звідки:  $T = \frac{b}{\lambda_m}$ .

Тепер знаходимо енергетичну світність:  $R_e = a_T \sigma \left( \frac{b}{\lambda_m} \right)^4$ .

Виконаємо обчислення:  $R_e = 0,25 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}} \right)^4 \approx 1,6 \cdot 10^7 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$ .

**№ 2.** Визначити кількість теплоти, що втрачається  $50 \text{ см}^2$  поверхні розплавленої платини за 1 хв, якщо поглинаюча здатність платини  $a_T = 0,8$ . Температура плавлення платини дорівнює  $1770^\circ\text{C}$ .

Дано: $S = 50 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ $t = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$ $T = 1770^\circ\text{C} = 2043 \text{ К}$ $a_T = 0,8$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $Q - ?$	Кількість теплоти, що втрачається платиною, дорівнює енергії, випромінюваною її розпеченою поверхнею:  $Q = W = a_T R_e S t, \quad (1)$ де $R_e$ – енергетична світність чорного тіла, $S$ – поверхня випромінювання, $t$ – час
--	---

випромінювання.

Відповідно до закону Стефана–Больцмана,

$$R_e = \sigma T^4, \quad (2)$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – стала Стефана–Больцмана. Підставивши (2) до (1), знайдемо шукану кількість теплоти, що втрачається розпеченою платиною:

$$Q = A_T \sigma T^4 St.$$

Обчислюючи, одержимо  $Q = 237 \text{ кДж}$ .

**№ 3.** Довжина хвилі, на яку припадає максимум енергії в спектрі випромінювання чорного тіла,  $\lambda_m = 0,58 \text{ мкм}$ . Визначити енергетичну світність  $R_e$  поверхні тіла.

Дано:

$$\lambda_m = 0,58 \text{ мкм} = 0,58 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

$$b = 2,90 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$$

$R_e$  -?

Енергетична світність  $R_e$  абсолютно чорного тіла відповідно до закону Стефана–Больцмана пропорційна четвертому ступеню термодинамічної температури і виражається формулою:

$$R_e = \sigma T^4, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – стала Стефана–Больцмана;  $T$  – термодинамічна температура.

Температуру  $T$  можна обчислити за допомогою закону зсуву Віна:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \quad (2)$$

де  $b$  – стала Віна. Використовуючи формули (2) і (1), одержимо

$$R_e = \sigma \left( \frac{b}{\lambda_m} \right)^4. \quad (3)$$

Зробимо обчислення та одержимо:  $R_e = 3,54 \cdot 10^7 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 35,4 \text{ МВт}/\text{м}^2$ .

**№ 4.** Визначити максимальну швидкість  $v_{max}$  фотоелектронів, що вириваються з поверхні срібла: 1) ультрафіолетовим випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda_1 = 0,155 \text{ мкм}$ ; 2)  $\gamma$ -випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda_2 = 1 \text{ пм}$ .

<p>Дано:</p> <p><math>h = 6,63 \cdot 10^{-34}</math> Дж·с</p> <p>1) <math>\lambda_1 = 0,155</math> мкм = <math>0,155 \cdot 10^{-6}</math> м</p> <p>2) <math>\lambda_2 = 1</math> пм = <math>10^{-12}</math> м</p> <hr/> <p><math>v_{max} = ?</math></p>	<p>Максимальну швидкість фотоелектронів можна визначити з рівняння Ейнштейна для фотоэффекту:</p> $\varepsilon_\gamma = A_{вих} + W_{max}, \quad (1)$ <p>де <math>\varepsilon_\gamma</math> – енергія фотонів, що падають на поверхню металу, <math>A_{вих}</math> – робота виходу, <math>W_{max}</math> – максимальна кінетична енергія фотоелектронів.</p>
---	--

Енергія фотона обчислюється за формулою:

$$\varepsilon_\gamma = hc/\lambda, \quad (2)$$

де  $h$  – стала Планка;  $c$  – швидкість світла у вакуумі;  $\lambda$  – довжина хвилі.

Кінетичну енергію електрона можна виразити залежно від того, яка швидкість надається фотоелектрону, або за класичною формулою:

$$W = \frac{m_0 v^2}{2}, \quad (3)$$

або за релятивістською формулою:

$$W = E_0 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right), \quad (4)$$

де  $E_0 = m_0 c^2 = 0,51$  МеВ – енергія спокою електрона,  $\beta = v/c$  – релятивістський фактор.

Формула, яка використовується для обчислення швидкості фотоелектрона, залежить від енергії фотона, що викликає фотоэффект: якщо енергія  $\varepsilon_\gamma$  фотона набагато менша, ніж енергія спокою  $E_0$  електрона, то може бути застосована формула (3), якщо ж  $\varepsilon_\gamma$  порівнювана за величиною з  $E_0$ , то обчислення за формулою (3) призводить до помилки, тому потрібно користуватися формулою (4).

Обчислимо енергію фотона ультрафіолетового випромінювання за формулою (2):



$$\varepsilon_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,55 \cdot 10^{-7}} = 1,28 \cdot 10^{-18} \text{ (Дж)} = 8 \text{ (eV)}.$$

Отримана енергія фотона ( $\varepsilon_\gamma = 8 \text{ eV}$ ) набагато менша, ніж енергія спокою електрона ( $E_0 = 0,51 \text{ MeV}$ ). Отже, для даного випадку кінетична енергія фотоелектрона у формулі (1) може бути виражена за класичною формулою (3):

$$\varepsilon_1 = A_{\text{вих}} + \frac{m_0 v_{\text{max}}^2}{2},$$

звідки

$$v_{\text{max}} = \frac{\sqrt{2(\varepsilon_1 - A)}}{m_0}. \quad (5)$$

Перевіримо, чи дає отримана формула одиницю швидкості. Для цього до правої частини формули (5), замість символів величин, підставимо значення одиниць:

$$\left( \frac{[\varepsilon_1 - A]}{[m_0]} \right)^{1/2} = \left( \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}} \right)^{1/2} = \left( \frac{1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}}{1 \text{ кг}} \right)^{1/2} = 1 \text{ (м/с)}.$$

Знайдена одиниця є одиницею швидкості. Підставивши значення величин до формули (5), знайдемо:

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2(1,28 \cdot 10^{-18} - 0,75 \cdot 10^{-18})}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ (м/с)}.$$

Обчислимо енергію фотона  $\gamma$ -випромінювання:

$$\varepsilon_2 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-12}} = 1,99 \cdot 10^{-13} \text{ (Дж)} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ (eV)} = 1,24 \text{ MeV}.$$

Робота виходу електрона ( $A_{\text{вих}} = 4,7 \text{ eV}$ ) нехтовно мала порівняно з енергією фотона ( $\varepsilon_2 = 1,24 \text{ MeV}$ ), тому можна вважати, що максимальна кінетична енергія електрона дорівнює енергії фотона:  $W_{\text{max}} = \varepsilon_2 = 1,24 \text{ MeV}$ . Оскільки в даному випадку кінетична енергія електрона більша за його енергію спокою, то для обчислення швидкості електрона варто взяти релятивістську формулу кінетичної енергії (4). З цієї формули знайдемо:

$$\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + W)W}}{E_0 + W}.$$

Оскільки  $v = c\beta$  і  $W_{max} = \varepsilon_2$ , то

$$v_{max} = \frac{c\sqrt{(2E_0 + \varepsilon_2)\varepsilon_2}}{E_0 + \varepsilon_2}.$$

Зробимо обчислення та одержимо:  $v_{max} = 2,85 \cdot 10^8$  м/с.

**№5.** Пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі  $\lambda = 663$  нм нормально падає на дзеркальну плоску поверхню. Потік випромінювання  $\Phi_e = 0,6$  Вт. Знайти: 1) силу тиску  $F$ , яка діє на цю поверхню; 2) число фотонів  $N_1$  щосекунди падаючих на поверхню.

Дано:

$$\lambda = 663 \text{ нм} = 663 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$\Phi_e = 0,6 \text{ Вт.}$$

$$F, N_1 - ?$$

Сила світлового тиску на поверхню дорівнює добутку світлового тиску  $p$  на площу  $S$  поверхні:

$$F = p \cdot S. \quad (1)$$

Світловий тиск може бути знайдений за формулою:

$$p = E_e(\rho + 1)/c, \quad (2)$$

де  $E_e$  – енергетична освітленість,  $c$  – швидкість світла у вакуумі,  $\rho$  – коефіцієнт відбиття. Підставляючи праву частину виразу (2) до формули (1), одержимо

$$F = E_e(\rho + 1)/c. \quad (3)$$

Оскільки  $E_e$  являє собою потік випромінювання  $\Phi_e$ , тоді

$$F = \Phi_e(\rho + 1)/c. \quad (4)$$

Зробивши обчислення, з огляду на те, що для дзеркальної поверхні  $\rho = 1$ , одержимо:  $F = 4 \cdot 10^{-9}$  Н = 4 нН.

Добуток енергії  $\varepsilon_\gamma$  одного фотона на число фотонів  $N_1$  щосекунди падаючих на поверхню, дорівнює потужності випромінювання, тобто потоку випромінювання:  $\Phi_e = \varepsilon_\gamma N_1$ . Оскільки енергія фотона  $\varepsilon_\gamma = hc/\lambda$ ,

$$\Phi_e = hc N_1/\lambda,$$

$$\text{Звідки} \quad N_1 = \frac{\Phi_e \lambda}{hc} \quad (5)$$

У результаті обчислень одержимо:  $N_I = 2 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$ .

**№ 6.** На поверхню металу падає опромінення з довжиною хвилі  $\lambda = 300 \text{ нм}$ . Швидкість фотоелектронів складає  $v_{\text{макс}} = 10^6 \text{ м/с}$ . Визначити червону межу фотоелектру для даного металу.

Дано:

$$\lambda = 300 \text{ нм} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$v_e = 10^6 \text{ м/с}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\lambda_{\text{макс}} = ?$$

Для розв'язання задачі використаємо формулу Ейнштейна

$$\text{для фотоелектру: } \varepsilon_\gamma = A_{\text{вих}} + W_{\text{макс}},$$

де  $\varepsilon_\gamma = h\nu = hc/\lambda$  – енергія кванта світла,

$A_{\text{вих}} = h\nu_{\text{мін}} = hc/\lambda_{\text{макс}}$  – робота виходу електрона з металу,

$W_{\text{макс}} = m_e v_{\text{макс}}^2 / 2$  – кінетична енергія фотоелектрона.

$$\text{Звідси: } \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\text{макс}}} + \frac{m_e v_{\text{макс}}^2}{2}, \quad \lambda_{\text{макс}} = \frac{hc}{\frac{hc}{\lambda} - \frac{m_e v_{\text{макс}}^2}{2}}$$

Підставляючи дані задачі, обчислюємо:

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-7}} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{12}}{2}} \approx 9,56 \cdot 10^{-7} \text{ (м)}.$$

**№ 7.** В ефекті Комптона вільний електрон розсіявся на кут  $\theta = \pi/2$ . Визначити імпульс електрона, якщо енергія фотона до розсіювання дорівнювала  $\varepsilon_\gamma = 1,02 \text{ MeV}$ .

Дано:

$$\varepsilon_\gamma = 1,02 \text{ MeV}$$

$$\theta = \pi/2$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$E_0 = 0,51 \text{ MeV}$$

$$p_e = ?$$

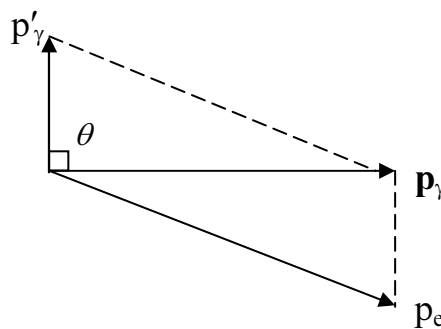


Рис. 1

Згідно з рисунком (рис.1) за теоремою Піфагора:  $p_e = \sqrt{p_\gamma^2 + p_{\gamma'}^2}$ ,

де  $p_\gamma$  – імпульс фотона до розсіювання,  $p'_\gamma$  – імпульс фотона після його розсіювання на вільному електроні.

З формул  $\varepsilon_\gamma = p_\gamma c$ ,  $\varepsilon'_\gamma = p'_\gamma c$  можна знайти імпульси фотонів, якщо спочатку знайти енергію розсіяного фотона. Для цього використаємо формулу Комптона:  $\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі фотона до розсіювання,  $\lambda'$  – довжина хвилі розсіяного фотона. Ураховуючи, що  $\varepsilon_\gamma = hc/\lambda$ ,  $\varepsilon'_\gamma = hc/\lambda'$ , звідси отримуємо:

$$\frac{hc}{\varepsilon'_\gamma} - \frac{hc}{\varepsilon_\gamma} = \frac{hc}{E_0} (1 - \cos \theta),$$

де  $E_0 = m_e c^2$  – енергія спокою електрона (таблична величина), або  $\frac{1}{\varepsilon_\gamma} - \frac{1}{\varepsilon'_\gamma} = \frac{1}{E_0}$

(оскільки  $\cos \theta = \cos \pi/2 = 0$ ).

Звідси  $\varepsilon'_\gamma = \frac{E_0 \varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\gamma - E_0}$  і далі знаходимо:  $p'_\gamma = \frac{\varepsilon'_\gamma}{c} = \frac{E_0 \varepsilon_\gamma}{c(\varepsilon_\gamma - E_0)}$ ,  $p_\gamma = \frac{\varepsilon_\gamma}{c}$ .

$$p_e = \sqrt{\left(\frac{E_0 \varepsilon_\gamma}{c(\varepsilon_\gamma - E_0)}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_\gamma}{c}\right)^2} = \frac{\varepsilon_\gamma}{c} \sqrt{\left(\frac{E_0}{\varepsilon_\gamma - E_0}\right)^2 + 1}.$$

Виконаємо розрахунки у позасистемних одиницях:

$$p_e = \frac{1,02}{c} \sqrt{\left(\frac{0,51}{1,02 - 0,51}\right)^2 + 1} = \frac{1,02 \cdot \sqrt{2}}{c} \approx 1,44 \text{ (MeV/c)} \approx 7,7 \cdot 10^{-28} \text{ (кг} \cdot \text{м/с)}.$$

### ***Елементи квантової механіки та атомної фізики***

**№ 8.** Атом водню, який знаходився в основному стані, поглинув квант випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda = 102,6$  нм. Визначити радіус електронної орбіти збудженого атома водню.

Дано:

$$\lambda = 102,6 \text{ нм} = 1,026 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$a_0 = 5,28 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

$$n_1 = 1$$

$$r_2 = ?$$

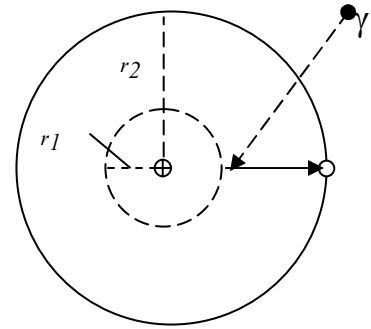


Рис.2

Довжина хвилі фотона, який поглинається атомом водню, при переході з орбіти  $n_1$  на орбіту  $n_2$ , визначається за формулою:

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

де  $R'$  – стала Рідберга.

Звідси знаходимо номер орбіти  $n_2$ :

$$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{\lambda R'}{\lambda R' - n_1^2}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{1,026 \cdot 10^{-7} \cdot 1,1 \cdot 10^7}{(1,026 \cdot 10^{-7} \cdot 1,1 \cdot 10^7 - 1)}} \approx 3.$$

Радіус  $n$ -ї орбіти визначимо з формули:  $r_n = n^2 a_0$ , де  $a_0$  – радіус 1-ї борівської орбіти. Звідси:  $r_2 = 3^2 \cdot 5,28 \cdot 10^{-11} \approx 47,5 \cdot 10^{-11} \text{ (м)}$ .

**№ 9.** Визначити енергію фотона лінії  $K_\alpha$  характеристичного рентгенівського спектра, який випромінюється хромом  ${}_{24}\text{Cr}$  при бомбардуванні його електронами.

Дано:

$$Z = 24$$

$$\sigma = 1$$

$$R' = 1,1 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$\varepsilon_\gamma = ?$$

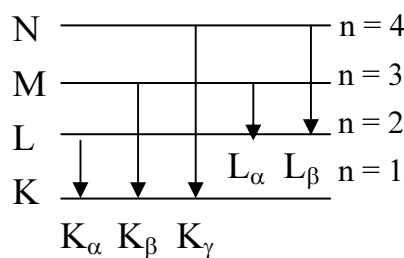


Рис.3

Довжину хвилі характеристичного лінійчастого спектра

визначимо за законом Мозлі:  $\frac{1}{\lambda} = R'(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$

де  $n_1$  – головне квантове число оболонки, на яку переходить електрон,  $n_2$  – головне квантове число оболонки, з якої переходить електрон.  $K_\alpha$  лінія випромі-

нюється в результаті переходу електрона з  $L$ -оболонки ( $n_2 = 2$ ) на  $K$ -оболонку ( $n_1 = 1$ ) (рис.3) після того, як електрон з  $K$ -оболонки виявився вибитим у результаті бомбардування атому швидкими електронами. Для лінії  $K_\alpha$  стала екранування  $\sigma = 1$ . Енергію випромінюваного фотона знайдемо за формулою  $\varepsilon_\gamma = h\nu = hc/\lambda$ .

Звідси:  $\varepsilon_\gamma = hcR'(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$ . Підставляючи дані задачі, обчислю-

ємо:

$$\varepsilon_\gamma = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,1 \cdot 10^7 (24 - 1)^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \approx 8,68 \cdot 10^{-16} \text{ (Дж)} = 5,43 \text{ (кеВ)}.$$

**№ 10.** Написати формулу будови електронних оболонок атома вуглецю  ${}^6\text{C}$ .

В атома вуглецю є 6 електронів на його електронних оболонках. Формула електронної будови атома:  $1s^2 2s^2 2p^2$ . Забудова оболонок починається з першої, якій відповідає головне квантове число  $n = 1$ . Цій оболонці відповідає  $s$ -підоболонка з орбітальним квантовим числом  $l = 0$ , на якій знаходиться  $N_s = 2(2l+1) = 2(2 \cdot 0 + 1) = 2$  електрони з магнітним орбітальним числом  $m_l = 0$  і зі спінами, відповідно,  $m_s = \pm 1/2$ . Відповідним чином забудовується оболонка з  $n = 2$ . Цьому квантовому числу відповідають дві підоболонки:  $s$ -підоболонка з  $l = 0$  з 2 електронами і  $p$ -підоболонка з  $l = 1$  ( $m_l = -1, \dots, 0, \dots, +1 = -1, 0, +1$ ). Максимальна кількість електронів на цій підоболонці  $N_p = 2(2l+1) = 2(2 \cdot 1 + 1) = 6$ . Вона заповнена частково, оскільки на ній знаходиться тільки два електрони.

**№ 11.** Визначити довжину хвилі де Бройля  $\alpha$ -частинки, яка пройшла прискорюючу різницю потенціалів  $U = 1$  кВ.

Дано:

$$U = 1 \text{ кВ} = 1 \cdot 10^3 \text{ кВ}$$

$$q_\alpha = 2e$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_\alpha = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$\lambda_B - ?$$

Довжина хвилі де Бройля мікрочастинки знаходиться за формулою:  $\lambda_B = h/p$ , де  $p = mv$  – імпульс мікрочастинки. Швидкість  $\alpha$ -частинки визначимо, використавши теорему про зміну кінетичної енергії:  $\Delta W_k = A_{el}$  або

$$\frac{m_\alpha v^2}{2} = q_\alpha U, \text{ звідки } v = \sqrt{\frac{2q_\alpha U}{m_\alpha}}. \text{ Підставивши одержаний вираз до формули де Бройля, одержимо:}$$

$$\lambda_B = \frac{h}{m_\alpha \sqrt{\frac{2q_\alpha U}{m_\alpha}}} = \frac{h}{\sqrt{4eU m_\alpha}}. \text{ Підставляючи дані задачі,}$$

$$\text{обчислимо: } \lambda_B = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3 \cdot 6,64 \cdot 10^{-27}}} \approx 3,2 \cdot 10^{-12} \text{ (м)}.$$

**№ 12.** Виходячи з того, що мінімальна енергія  $W$  нуклона в атомному ядрі становить величину  $\sim 10$  МеВ, оцінити, використавши співвідношення невизначеностей Гейзенберга, лінійний розмір ядра.

Дано:

$$W_{min} = 10 \text{ МеВ} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ Дж,}$$

$$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с,}$$

$$m = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

$$l_{min} - ?$$

Невизначеності координати та імпульсу нуклона зв'язані співвідношенням

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar, \quad (1)$$

де  $\Delta x$  – невизначеність його координати,  $\Delta p$  – невизначеність імпульсу нуклона.

Якщо ядро має лінійний розмір  $l$ , нуклон буде знаходитись у границях області з невизначеністю  $\Delta x = l/2$ . Тоді співвідношення (1) запишеться у вигляді  $\Delta p l/2 \geq \hbar$ , звідки

$$l \geq \frac{2\hbar}{\Delta p}. \quad (2)$$

Невизначеність імпульсу не може бути більша, ніж сам імпульс, тобто  $\Delta p \leq p$ . Імпульс  $p$  виразимо через кінетичну енергію нуклона  $p = \sqrt{2mW}$  і підс-

тавимо до виразу (2) замість  $\Delta p$ . Оскільки  $\Delta p \leq p$ , ця заміна не призведе до збільшення  $l$ . Далі перейшовши від нерівності до рівності, отримаємо:

$$l_{min} = \frac{2\hbar}{\sqrt{2mW}}.$$

Підставивши числові значення, обчислюємо  $l_{min} = 2,9 \cdot 10^{-15}$  м.

### *Елементи квантової фізики твердого тіла*

**№ 13.** Зразок германію нагрівають від температури  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  до температури  $t_2 = 10^\circ\text{C}$ . У скільки разів зміниться його питомий опір, якщо ширина забороненої зони  $\Delta E$  германію становить 0,72 еВ.

Дано:

$$T_1 = 273 \text{ К},$$

$$T_2 = 283 \text{ К},$$

$$\Delta E = 0,72 \text{ еВ} = 1,12 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}.$$

---


$$\rho_2/\rho_1 \text{.-?}$$

Оскільки питомий опір  $\rho = 1/\gamma$ , тоді для нього маємо формулу:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right),$$

де  $\rho_0 = 1/\gamma_0$  – деяка стала.

Звідси

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\exp\left(\frac{\Delta E}{2kT_2}\right)}{\exp\left(\frac{\Delta E}{2kT_1}\right)} = \exp\left(\frac{\Delta E}{2k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right).$$

Виконавши обчислення, одержимо  $\rho_2/\rho_1 \approx 0,6$ , тобто опір зменшиться.

### *Елементи ядерної фізики*

**№ 14.** Визначити енергію, яку необхідно витратити, щоб розділити на окремі нуклони ядра вуглецю  $^{13}_6\text{C}$  та азоту  $^{13}_7\text{N}$ ? Чому ці енергії відрізняються?



Дано:

$$m_C = 13,00335 \text{ а.о.м.}$$

$$m_N = 13,00574 \text{ а.о.м.}$$

$$m_H = 1,00783 \text{ а.о.м.}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ а.о.м.}$$

$$c^2 = 931,4 \text{ MeV/а.о.м.}$$

$$E_{36} - ?$$

Енергію зв'язку знаходимо за формулою:

$$E_{36} = c^2 \Delta m, \text{ де } \Delta m = c^2 (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}) - \text{дефект маси}$$

$$\text{атомного ядра, або } E_{36} = c^2 (Zm_H + (A-Z)m_n - m_a),$$

де  $Z$  – зарядове число (кількість протонів у ядрі),

$A$  – масове число (кількість нуклонів у ядрі).

$m_{\text{я}}$  – маса ядра,  $m_a$  – відповідно, маса нейтрального

атома, яку беремо з таблиці 4. Ураховуючи коефіцієнт

$c^2 = 931,4 \text{ MeV/а.о.м.}$ , обчислюємо у позасистемних одиницях:

$$E_{36}(C) = 931,4 \cdot (6 \cdot 1,00783 + (13-6)1,00867 - 13,00335) \approx 97,16 \text{ (MeV)},$$

$$E_{36}(N) = 931,4 \cdot (7 \cdot 1,00783 + (13-7)1,00867 - 13,00574) \approx 94,16 \text{ (MeV)}.$$

Оскільки кількість протонів у ядрі азоту більша, ніж у ядрі вуглецю, тому більші кулонівські сили відштовхування між нуклонами, а енергія зв'язку ядра азоту менша:  $E_{36}(N) < E_{36}(C)$ .

**№15.** Радіоактивне ядро полонію  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  викинуло  $\alpha$ -частинку. Визначити кінетичну енергію  $\alpha$ -частинки і ядра віддачі.

Дано:

$$m_{Po} = 209,98297 \text{ а.о.м.}$$

$$m_{Pb} = 205,97446 \text{ а.о.м.}$$

$$m_{He} = 4,00260 \text{ а.о.м.}$$

$$c^2 = 931,4 \text{ MeV/а.о.м.}$$

$$W_{\alpha}, W_{\text{я}} - ?$$

Запишемо рівняння ядерної реакції  $\alpha$ -розпаду полонію:



Оскільки в ядерних реакціях зберігаються зарядове і масове числа, звідси визначаємо:

$$Z = 84 - 2 = 82, A = 210 - 4 = 206, \text{ тобто в результаті реакції}$$

отримано ядро свинцю  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ .

Материнське ядро полонію знаходилося в спокої, тому, враховуючи закон збереження імпульсу  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ ,  $\alpha$ -частинка і ядро свинцю полетять у різні боки (рис.4):  $m_{\alpha}v_{\alpha} - m_{Pb}v_{Pb} = 0$ .

Звідси визначаємо співвідношення між швидкостями  $\alpha$ -частинки і ядра

$$\text{радону: } \frac{v_{Pb}}{v_{\alpha}} = \frac{m_{\alpha}}{m_{Pb}}, \text{ а також між}$$

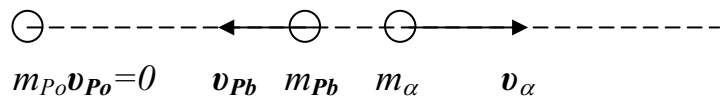


Рис. 4

їх кінетичними енергіями: 
$$\frac{W_{Pb}}{W_{\alpha}} = \frac{m_{Pb} v_{Pb}^2}{m_{\alpha} v_{\alpha}^2} = \frac{m_{\alpha}}{m_{Pb}}.$$

Повну енергію ядерної реакції визначимо за формулою:  $Q = c^2 \Delta m$ , де  $\Delta m = c^2(m_{Po} - m_{He} - m_{Pb})$  – дефект маси ядерної реакції,  $m_{Po}$ ,  $m_{He}$ ,  $m_{Pb}$  – маси відповідних атомів, які візьмемо з таблиці 4.

Враховуючи коефіцієнт  $c^2 = 931,4 \text{ MeV/a.o.m.}$ , обчислимо у позасистемних одиницях:  $Q(\text{MeV}) = 931,4 \Delta m(\text{a.o.m.}) = 931,4(m_{Po} - m_{He} - m_{Pb}) = 931,4(209,98297 - 4,00260 - 205,97446) \approx 5,505 \text{ (MeV)}$ .

Оскільки енергія ядерної реакції перерозподіляється між кінетичними енергіями  $\alpha$ -частинки і ядра свинцю:  $Q = W_{Pb} + W_{\alpha}$  або  $Q = \frac{m_{\alpha}}{m_{Pb}} W_{\alpha} + W_{\alpha}$ ,

звідси знаходимо: 
$$W_{\alpha} = \frac{Q}{\frac{m_{\alpha}}{m_{Pb}} + 1} = \frac{5,505}{\frac{4}{206} + 1} \approx 5,40 \text{ (MeV)}.$$

і таким самим чином: 
$$W_{Pb} = \frac{Q}{\frac{m_{Pb}}{m_{\alpha}} + 1} = \frac{5,505}{\frac{206}{4} + 1} \approx 0,105 \text{ (MeV)}.$$

**№16.** Визначити активність радіоактивного цезію  $^{137}\text{Cs}$  масою  $m = 1 \text{ мг}$ . За який час його активність зменшиться у  $k = 10$  разів?

Дано:

$m = 1 \text{ мг} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$

$M = 0,137 \text{ кг/моль}$

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

$T_{1/2} = 30 \text{ років} \approx 9,47 \cdot 10^8 \text{ с}$

$A_0/A = k = 10$

$A_0 = ? \quad t = ?$

Початкова активність ізотопу:  $A_0 = \lambda N_0$ ,

де  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$  – стала радіоактивного розпаду,

початкова кількість радіоактивних ядер (атомів) у

момент часу  $t=0$ :  $N_0 = \frac{m}{M} N_A$

Звідси знаходимо:  $A_0 = \frac{m N_A \ln 2}{M T_{1/2}}$ .

Активність ізотопу зменшується з часом за законом:

$A = A_0 \exp(-\lambda t)$ . Звідси  $\frac{A_0}{A} = \exp(-\lambda t)$ .

Узявши логарифм від обох частин рівняння, отримуємо:  $\lambda t = \ln \frac{A_0}{A}$ , звідки

$$t = \frac{\ln(A_0 / A)}{\lambda} \quad \text{або} \quad t = \frac{\ln k}{\ln 2} T_{1/2}.$$

Період напіврозпаду  $T_{1/2}$  візьмемо з табл. 3.

Підставляємо вихідні дані й обчислюємо:

$$A_0 = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \ln 2}{0,137 \cdot 9,47 \cdot 10^8} \approx 3,22 \cdot 10^9 \text{ (Бк)}.$$

$$t = \frac{\ln 10}{\ln 2} 9,47 \cdot 10^8 \approx 3,15 \cdot 10^9 \text{ (с)} \approx 100 \text{ (років)}.$$

## ЗАДАЧІ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ, КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ І САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

### Квантові властивості випромінювання

#### *Закони теплового випромінювання*

1. Температура абсолютно чорного тіла становить  $T = 600$  К. Яка буде його температура, якщо потік випромінювання зріс у  $n = 16$  разів.
2. З віконця печі випромінюється потік  $\Phi_e = 6$  кДж/хв. Визначити температуру печі, якщо площа віконця  $S = 10$  см<sup>2</sup>.
3. Визначити енергію  $W$ , яка випромінюється з віконця печі діаметром  $d = 20$  см за  $t = 5$  хвилин, якщо температура печі дорівнює  $T = 1000$  К.
4. Потік випромінювання абсолютно чорного тіла становить  $\Phi_e = 1$  кВт. Максимум випромінювання припадає на довжину хвилі  $\lambda_m = 1$  мкм. Визначити площу поверхні, що випромінює.
5. У скільки разів змінився потік випромінювання абсолютно чорного тіла, якщо максимум енергії випромінювання змістився з  $\lambda_{m1} = 1$  мкм до  $\lambda_{m2} = 0,6$  мкм?

6. Визначити дійсну температуру розжареної вольфрамової нитки, якщо радіаційний пірометр показує температуру 2500 К, а поглинальна здатність вольфраму  $a_T$  дорівнює 0,25 і не залежить від температури.

7. Визначити коефіцієнт поглинання  $a_T$  сірого тіла, якщо радіаційний пірометр показує температуру  $T_{\text{рад}} = 1500$  К, а дійсна температура  $T = 3000$  К.

8. Визначити, як і у скільки разів зміниться потужність випромінювання чорного тіла, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму його спектральної густини енергетичної світності, змістилася з  $\lambda_1 = 720$  нм до  $\lambda_2 = 400$  нм.

9. Чорне тіло знаходиться при температурі  $T_1 = 3$  кК. При охолодженні тіла довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної густини енергетичної світності, змінилася на  $\Delta\lambda = 3$  мкм. Визначити температуру  $T_2$ , до якої охолонуло тіло.

10. Середня енергетична світність  $R_e$  поверхні Землі дорівнює  $0,54$  Дж/(см<sup>2</sup>·хв). Якою повинна бути температура  $T$  поверхні Землі, якщо умовно вважати, що вона випромінює як сіре тіло з коефіцієнтом чорноти  $a_T = 0,25$ ?

### *Квантові властивості світла*

11. Визначити довжину хвилі  $\lambda$ , масу  $m_\gamma$  та імпульс  $p_\gamma$  фотона з енергією  $\varepsilon_\gamma$ . У скільки разів маса цього фотона відрізняється від маси електрона?

12. Визначити довжину хвилі  $\lambda$  та імпульс  $p_\gamma$  фотона, маса якого  $m_\gamma$  дорівнює масі електрона  $m_e$ .

13. Визначити червону межу ( $\lambda_{\text{макс}}$  і  $\nu_{\text{мін}}$ ) фотоефекту для срібла.

14. Визначити довжину хвилі ультрафіолетового випромінювання, яке падає на поверхню літію, якщо максимальна швидкість фотоелектронів  $v_{\text{макс}} = 10^6$  м/с.

15. На поверхню цинку падає ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda = 200$  нм. Визначити максимальну швидкість  $v_{\text{макс}}$  фотоелектронів.

16. Визначити енергетичну опроміненість  $E_e$  поверхні дзеркальної пластини площею  $S=100$  см<sup>2</sup>, якщо на неї діє сила тиску світла  $F=0,1$  мкН.

17. Сила тиску світла, яке падає на чорну поверхню площею  $50$  см<sup>2</sup> складає  $F = 1$  нН. Визначити потік світла  $\Phi_e$ , що падає на цю поверхню.

18. На дзеркальну поверхню площею  $S = 10$  см<sup>2</sup> нормально до неї падає потік випромінювання  $\Phi_e = 1$  Вт. Визначити тиск  $P$  і силу тиску  $F$  на цю поверхню.

19. Потік енергії  $\Phi_e$ , що випромінюється електричною лампою, дорівнює  $500$  Вт. На відстані  $r = 1$  м від лампи перпендикулярно до падаючих променів розташовано плоске дзеркальце площею  $S = 10$  см<sup>2</sup>. Визначити силу тиску світла  $F$  на дзеркальце.

20. Визначити довжину хвилі рентгенівського випромінювання, якщо при комптонівському розсіюванні цього випромінювання під кутом  $\vartheta = 60^\circ$  довжина хвилі розсіяного випромінювання дорівнює  $\lambda = 57$  пм.

21. Фотон з довжиною хвилі  $\lambda = 100$  нм зіштовхнувся з вільним електроном. Визначити кут  $\theta$  розсіяння фотона, якщо енергія  $\varepsilon'_\gamma$  розсіяного фотона дорівнює  $0,56$  МеВ.

22. У результаті комптонівського розсіювання фотон з енергією  $\varepsilon_\gamma=0,51$  МеВ втратив половину своєї енергії. Визначити кут розсіювання  $\theta$ .

23. Фотон з енергією  $\varepsilon_\gamma = 0,51$  МеВ розсіявся під кутом  $\theta = 60^\circ$  на вільному електроні. Визначити енергію  $\varepsilon'_\gamma$  розсіяного фотона.

## Елементи квантової механіки та атомної фізики

### *Борівська модель атома*

24. Збуджений атом водню при переході до основного стану випромінює тільки три спектральні лінії. Знайти довжини цих ліній і вказати до яких серій вони належать.
25. Визначити найбільшу довжину хвилі у серії Бальмера (видима частина спектра водню).
26. Визначити частоту другої спектральної лінії в ультрафіолетовій серії Лаймана спектра атома водню.
27. Визначити енергію кванта третьої спектральної лінії в інфрачервоній серії Пашена спектра атома водню.
28. Визначити енергію фотона, що випромінюється електроном, який переходить в атомі водню із четвертого енергетичного рівня на другий.
29. Грунтуючись на тому, що перший потенціал збудження атома водню  $\varphi_1 = 10,2$  В, визначити в електрон-вольтах енергію фотона, що відповідає другій лінії серії Бальмера.
30. Визначити роботу, яку необхідно виконати, щоб видалити електрон із другої борівської орбіти атома водню за межі притягання його ядром.

### *Елементи квантової механіки*

31. Визначити довжину хвилі де Бройля  $\lambda_B$  електрона, який пройшов прискорюючу різницю потенціалів  $U = 100$  В.
32. Визначити довжину хвилі де Бройля  $\lambda_B$  протона, який пройшов прискорюючу різницю потенціалів  $U = 1000$  В.
33. Заряджена частинка, заряд якої дорівнює заряду електрона, пройшла прискорюючу різницю потенціалів  $U = 500$  В і має довжину хвилі де Бройля  $\lambda_B = 1,282$  пм. Визначити її масу.

**34.** Яку прискорюючу різницю потенціалів  $U$  повинен пройти електрон, щоб його довжина хвилі де Бройля  $\lambda_B$  дорівнювала 0,5 нм.

**35.** Кінетична енергія протона дорівнює  $W_1 = 1$  кеВ. Визначити додаткову кінетичну енергію  $\Delta W$ , яку треба надати протону, щоб його довжина хвилі де Бройля  $\lambda_B$  зменшилася в  $k = 2$  рази.

**36.** Припускаючи, що невизначеність координати мікрочастинки, що рухається, дорівнює її дебройлевській довжині хвилі, визначити відносну неточність імпульсу  $\Delta p/p$  цієї частинки.

**37.** Використовуючи співвідношення невизначеностей у формі  $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$ , оцінити мінімально можливу повну енергію електрона в атомі водню. Прийняти лінійні розміри атома  $l \sim 0,1$  нм.

### *Елементи атомної фізики*

**38.** З якою швидкістю  $v$  падають електрони на анод рентгенівської трубки, якщо короткохвильова межа суцільного рентгенівського спектра  $\lambda_{\min} = 5$  пм?

**39.** Визначити елемент, у якого довжина хвилі лінії  $K_\alpha$  лінійчастого спектра  $\lambda(K_\alpha)$  дорівнює 0,845 нм? Стала екранування  $\sigma = 1$ .

**40.** В атомі вольфраму  ${}_{74}\text{W}$  електрон перейшов з М-оболонки на L-оболонку. Визначити довжину хвилі випроміненого фотона і його енергію. Стала екранування  $\sigma = 5,5$ .

**41.** Атом якого елемента має повністю заповнені К- і L-оболонки і 3S-підоболонку? Написати формулу електронної будови цього атома і знайти повне число електронів.

**42.** Написати формулу електронної будови атома натрію  ${}_{11}\text{Na}$  і пояснити зміст символів.

43. Електронна конфігурація деякого елемента  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ . Визначити, що це за елемент.

44. Визначити елемент, який має таку електронну конфігурацію  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ .

### *Елементи квантової фізики твердого тіла*

45. У досліджуваному напівпровіднику концентрація електронів при  $T = 400$  К становила  $1,3 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, а при 350 К -  $6,2 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Знайти ширину забороненої зони матеріалу, вважаючи, що її температурна залежність змінюється за лінійним законом.

46. Концентрація електронів у власному напівпровіднику при  $T = 400$  К виявилася рівною  $1,38 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Знайти значення добутку ефективних мас електрона й дірки, якщо відомо, що ширина забороненої зони змінюється за законом  $E_g = (0,785 - 4 \cdot 10^{-4} T)$  еВ.

47. Обчислити власну концентрацію носіїв заряду в кремнії при  $T = 300$  К, якщо ширина його забороненої зони  $E_g = 1,12$  еВ, а ефективні маси станів дорівнюють  $m_c = 1,05m_0$ ,  $m_v = 0,56m_0$ .

48. Визначити положення середини забороненої зони у власному напівпровіднику ( $E_i$ ) і її залежність від температури.

49. В експерименті з вивчення ефекту Холла, проведеному зі зразком кремнію, отримані наступні дані:  $l = 1,0$  см;  $d = 0,1$  см;  $a = 0,2$  см;  $I = 5$  мА;  $B = 1$  Тл;  $U = 0,245$  В (у напрямку струму  $I$ );  $U_H = 2,0$  мВ. Уважаючи, що коефіцієнт Холла  $r_H = 1,18$ , визначте: а) тип напівпровідника, з якого виготовлений зразок; б) концентрацію основних носіїв; в) холлівську рухливість носіїв; г) рухливість, пов'язану із протіканням основного струму; д) коефіцієнт дифузії.

### *Елементи ядерної фізики*

50. Визначити питому енергію зв'язку  $W_{зв}$  ядра свинцю  ${}_{82}^{206}Pb$ .



51. Визначити енергію зв'язку  $W_{зв}$ , яка виділяється при утворенні з протонів і нейтронів ядер дейтерію  ${}^2_1H$  масою  $m = 1$  мг.

52. Яка частина початкової кількості  $N_0$  ядер радіоактивного ізотопу йоду  ${}^{131}_{53}I$  розпадеться за час  $t = 1$  доба?

53. Яка частина початкової кількості  $N_0$  атомів радіоактивного ізотопу стронцію  ${}^{90}_{38}Sr$  залишиться через  $t = 20$  років?

54. За який час розпадеться  $j$  частина початкової кількості  $N_0$  ядер радіоактивного ізотопу цезію  ${}^{137}_{55}Cs$ ?

55. У скільки разів зменшиться активність ізотопу актинію  ${}^{225}_{89}Ac$  за час  $t = 20$  діб.

56. Початкова кількість  $N_0$  ядер радіоактивного ізотопу за  $t_1 = 1$  рік зменшилася в  $k_1 = 4$  рази. Визначити, у скільки разів  $k_2$  вона зменшиться за  $t_2 = 3$  роки.

57. Знайти активність  $A_0$  радіоактивного ізотопу  ${}^{222}_{86}Rn$  масою  $m = 0,2$  мг.

58. Визначити ізотоп, в який перетворилося материнське ядро талію  ${}^{210}_{81}Tl$  після одного  $\alpha$ - і трьох  $\beta^-$ -розпадів.

59. Скільки  $\alpha$ - і  $\beta^-$  частинок викидає ядро ізотопу урану  ${}^{233}_{92}U$  при перетворенні у ядро вісмуту  ${}^{209}_{83}Bi$ ?

60. У результаті  $\alpha$ - розпаду материнське ядро, яке знаходилося у спокої, викинуло  $\alpha$ -частинку зі швидкістю  $v_\alpha = 1,6 \cdot 10^6$  м/с і перетворилося у дочірнє ядро свинцю  ${}^{206}_{82}Pb$ . Записати рівняння реакції та знайти швидкість дочірнього ядра віддачі  $v_{Pe}$ .

61. Визначити елемент  $X$  у ядерній реакції:  ${}^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^A_ZX + {}^{145}_{57}La + 4 {}^1_0n$ .

62. Визначити елемент  $X$  у ядерній реакції:  ${}^{232}_{90}Th + {}^1_0n \rightarrow {}^A_ZX + {}^{145}_{54}Xe + 3 {}^1_0n$ .

63. У результаті зіткнення дейтрона з ядром берилію  ${}^8_4\text{Be}$  утворилися нове ядро і нейтрон. Визначити порядковий номер і масове число ядра, що утворилося, записати ядерну реакцію і визначити її енергетичний ефект  $Q$ .

64. Визначити енергію  $Q$  ядерної реакції:  ${}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^0_0\gamma$ .

65. Визначити енергію  $Q$  ядерної реакції:  ${}^2_1\text{H} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^0_0\gamma$ .

66. Визначити енергію  $Q$  ядерної реакції:  ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B}$ .

67. Визначити енергію  $Q$  ядерної реакції:  ${}^9\text{Be}(d, n){}^{10}\text{B}$ .

68. Визначити енергію  $W$  (у Джоулях і електрон-вольтах), яка виділиться при розщепленні  $m = 1$  г урану  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , якщо енергія, яка виділяється в одному акті поділу ядра урану-235, дорівнює  $Q_1 = 200$  МеВ.

69. Визначити масову витрату  $m$  урану  ${}^{235}_{92}\text{U}$  за час  $t=1$  доба в ядерному реакторі, електрична потужність якого становить  $P = 100$  МВт. Теплова енергія, яка виділяється в одному акті поділу ядра урану-235, дорівнює  $Q_1 = 200$  МеВ, к.к.д. реактора  $\eta = 25\%$ .

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова – М. : Высш.школа, 1996. – 500 с.
2. Детлаф А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с.
3. Дмитриева В. Ф. Основы физики : учеб. пособ. / В. Ф. Дмитриева, В. Л. Прокофьев, П. И. Самойленко. – Москва : Высшая школа, 1997. – 447 с.
4. Савельев И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев – М.: Наука, 1987. – Т.1-2.
5. Чертов А. Г. Сборник задач / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – Москва : Высш. шк., 1981. – 496 с.
6. Сукачов О. В. Задачі з фізики. Частина четверта: Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / О. В. Сукачов, В. П. Черепанов, Н. І. Мотрій – Кременчук: КДПУ, 2009. – 102 с.

Таблиця 1 – Фундаментальні фізичні сталі

Фізична стала	Числове значення
Електрична стала	$\epsilon_0 = (4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)^{-1} \text{ Ф/м} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнітна стала	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Стала Стефана–Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$
Стала Віна	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Стала Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Стала Рідберга	$R = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ $R' = 1,1 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$
1-й борівський радіус	$a_0 = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Елементарний заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Число Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Маса електрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Енергія спокою електрона	$E_0 = 8,16 \cdot 10^{-14} \text{ Дж} = 0,51 \text{ МеВ}$
Маса протона	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Атомна одиниця маси	$1 \text{ а.о.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Таблиця 2 – Робота виходу електрона з металу

Метал	A, eВ	A, $10^{-19}$ Дж	МЕТАЛ	A, eВ	A, $10^{-19}$ Дж
Калій	2,2	3,5	Срібло	4,7	7,5
Літій	2,3	3,7	Цинк	4,0	6,4

Таблиця 3 – Період напіврозпаду деяких радіоактивних ізотопів

Ізотоп	Тип розпаду	Період напіврозпаду
Актиній ${}_{89}^{225}\text{Ac}$	$\alpha$	10 діб
Йод ${}_{53}^{131}\text{I}$	$\beta^-$ , $\gamma$	8 діб
Радій ${}_{88}^{226}\text{Ra}$	$\alpha$ , $\gamma$	$1,62 \cdot 10^3$ років
Радон ${}_{86}^{222}\text{Rn}$	$\alpha$	8,8 діб
Полоній ${}_{84}^{210}\text{Po}$	$\alpha$ , $\gamma$	138,4 діб
Стронцій ${}_{38}^{90}\text{Sr}$	$\beta^-$	28 років
Цезій ${}_{55}^{137}\text{Cs}$	$\beta^-$	30 років
Уран ${}_{92}^{238}\text{U}$	$\alpha$ , $\gamma$	$4,5 \cdot 10^9$ років

**Таблиця 4 – Маса деяких ядерних частинок і нейтральних атомів**

ЧАСТИНКА/ ЕЛЕМЕНТ	МАСА (а.о.м.)	ЧАСТИНКА/ ЕЛЕМЕНТ	МАСА (а.о.м.)	
Електрон ${}^0_{-1}e$	0,00055	Бор ${}^9_5B$	9,01333	
Нейтрон ${}^1_0n$	1,00867	${}^{10}_5B$	10,01294	
Протон ${}^1_1p$	1,00728	${}^{11}_5B$	11,01931	
Дейтрон ${}^2_1d$	2,01355	Вуглець ${}^{10}_6C$	10,00168	
$\alpha$ -частинка ${}^4_2\alpha$	4,00149	${}^{12}_6C$	12,00000	
Водень ${}^1_1H$	1,00783	${}^{13}_{12}C$	13,00335	
	${}^2_1H$	2,01410	${}^{14}_6C$	14,00307
	${}^3_1H$	3,01605	Азот ${}^{13}_7N$	13,00574
Гелій ${}^3_2He$	3,01603	${}^{14}_7N$	14,00307	
	${}^4_2He$	4,00260	${}^{15}_7N$	15,00011
Літій ${}^6_3Li$	6,01513	Кисень ${}^{16}_8O$	15,99491	
	${}^7_3Li$	7,01601	${}^{17}_8O$	16,99913
Берилій ${}^7_4Be$	7,01693	${}^{18}_7O$	17,99916	
	${}^9_4Be$	9,01219	Свинець ${}^{206}_{82}Pb$	205,97446
	${}^{10}_4Be$	10,01354	Полоній ${}^{210}_{84}Po$	209,98297

**Таблиця 5 – Десяткові множники та префікси до найменувань одиниць**

Позначення	Префікс	Множник
Т	тера	$10^{12}$
Г	гіга	$10^9$
М	мега	$10^6$
к	кіло	$10^3$
г	гекто	$10^2$
да	дека	$10^1$
д	деци	$10^{-1}$
с	санти	$10^{-2}$
м	мілі	$10^{-3}$
мк	мікро	$10^{-6}$
н	нано	$10^{-9}$
п	піко	$10^{-12}$

Методичні вказівки до виконання практичних робіт, самостійної роботи та контрольних робіт з навчальної дисципліни «Фізика» (розділи «Квантові властивості випромінювання», «Елементи квантової механіки і атомної фізики», «Елементи квантової фізики твердого тіла», «Елементи ядерної фізики») для студентів усіх спеціальностей

Укладачі: доц. О. В. Сукачов,  
асист. В. В. Журав,  
асист. Г. В. Єременко

Відповідальна за випуск доц. О. В. Новохатько

Підп. до др. \_\_\_\_\_. Формат 60X84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.  
Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

Видавничий відділ  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600