

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд лабораторної установки: 1 – блок живлення; 2 – капілярна трубка з воднем; 3 – індукційна високовольтна котушка; 4 – монохроматор УМ-2; 5 – коліматор; 6 – окуляр; 7 – барабан

електрони та іони водню розганяються полем та стикаються з молекулами водню. Внаслідок цього з'являються нові іони та електрони, які, у свою чергу, також розганяються полем і т.д. Таким чином, має місце лавинний розряд, наслідком якого є утворення окремих атомів водню у збудженому стані. Самочинний перехід електронів зі збуджених станів до основного супроводжується випромінюванням світлових хвиль, і газ у трубці світиться яскраво-бузковим кольором.

Таке забарвлення свідчить про те, що джерело світла є **немонохроматичним**. Щоб одержати інформацію про спектральний склад даного світла, достатньо пропустити його вузький пучок через скляну призму. За рахунок того, що швидкість поширення електромагнітної хвилі в середовищі залежить від довжини хвилі (дане явище називають **дисперсією**), заломлене світло для різних довжин хвиль буде виходити з призми під різними кутами (див. рис. 2а). Кут виходу променя з призми (φ) є тією інформаційною ознакою, за якою можна виміряти довжину хвилі. Дана ідея реалізована у вимірювальному приладі, який називають

монохроматором (див. рисунок 1). У даній роботі використовується монохроматор типу УМ-2. Незважаючи на свій «поважний» вік (його було спроектовано у 50-х роках 20-го століття), дана модель використовується до цього часу через свою вдаль конструкцію. Оптична схема приладу наведена на рисунку 2б. Завдяки вхідній щілині 1 та системі лінз конденсора 2, що входять до коліматора, на систему призм 3 потрапляє вузький пучок світла від джерела. Система призм може обертатися у площині рисунка таким чином, що у полі зору окуляра 6 виявляються лише промені з того чи іншого діапазону довжин хвиль. Призми 3 повертаються шляхом обертання барабана 7 (див. рис. 1), на якому є шкала в градусах. Кожній поділці на барабані відповідає та довжина хвилі видимого діапазону, на яку вказує візир 5 (рисунок 2б). Зображення візира можна бачити у центрі поля зору окуляра 6 (див. рисунок 3а). Безпосереднє значення довжини хвилі залежно від показання барабана визначається за допомогою спеціального графіка – дисперсійної кривої даного монохроматора (див. рисунок 3б).

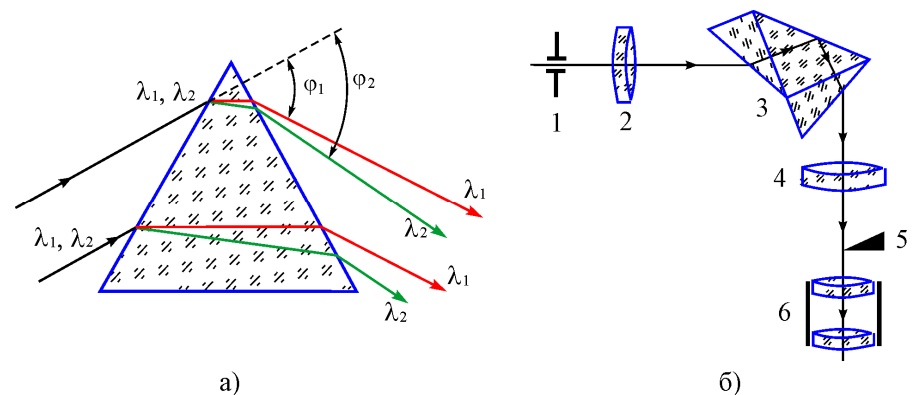


Рисунок 2 – Хід світлових хвиль з різною довжиною через призму (а). Оптична схема монохроматора УМ-2 (б): 1 – вхідна щілина коліматора; 2 – конденсор; 3 – дисперсійний елемент (призма Аббе); 4 – об'єктив; 5 – візир; 6 – окуляр

називають *сталю Рідберга*. Зауважимо, що у планетарній моделі атома ціле число n позначає номер орбіти, з якої електрон переходить на нижчу орбіту, номер якої, у свою чергу, позначається числом m .

Вираз (7) визначає можливі довжини хвиль випромінювання атома водню, які напрочуд добре узгоджуються з експериментальними даними. Проте спроби описати за допомогою теорії Бора спектри більш складних атомів не дали позитивного результату. Тому на сьогодні дана теорія має виключно історичне значення як перехідний етап від класичної фізики до квантової.

Більш складний та послідовний підхід, який дозволяє, у принципі, описати спектри випромінювання усіх без винятку атомів, базується на так званому рівнянні Шредінгера. Дискретний спектр енергії валентних електронів у атомах впливає безпосередньо з умови існування розв'язку зазначеного рівняння. Цікаво, що серіальна формула (7) виявляється справедливою з позицій нової теорії, що, за великим рахунком, є випадковим збігом.

Спектральні лінії атома водню можна об'єднати у групи згідно зі значенням величини m у співвідношенні (7). Усі довжини хвиль випромінювання атомів, що відбувається при переході електронів з будь-якої орбіти на певну, яка визначається величиною m , називають **серією**. Серії в спектрі атома водню отримали свої назви.

- $m = 1$ – серія **Лаймана** ($n = 2, 3, 4, \dots$), належить до ультрафіолетової частини спектра;
- $m = 2$ – серія **Бальмера** ($n = 3, 4, 5, \dots$) – вивчається в даній роботі, лежить у видимій частині спектра;
- $m = 3$ – серія **Пашена** ($n = 4, 5, 6, \dots$), лежить у близькій інфрачервоній (ІЧ) області;
- $m = 4$ – серія **Брекета** ($n = 5, 6, 7, \dots$), лежить у близькій ІЧ-області;
- $m = 5$ – серія **Пфунда** ($n = 6, 7, 8, \dots$), лежить у далекій ІЧ-області.

Таблиця 1 – Результати вимірювань

Колір лінії	n	$r(n)$	Кількість поділок					Середнє, в поділках	λ , нм
			№ досліду						
			1	2	3	4	5		
Червоний	3								
Зелено-блакитний	4								
Синій	5								
Слабко-фіолетовий	6								

Для запобігання виходу з ладу капілярної трубки не слід довго тримати пускову кнопку у ввімкненому положенні.

3. Повторіть дослід зі знаходження першої лінії ще 4 рази. Результат занесіть до таблиці 1.
4. Знайдіть решту спектральних ліній та виміряйте відповідні їм кількості поділок, як було зазначено у попередніх пунктах. Результати занесіть до таблиці 1.
5. Визначте середні значення показів барабана монохроматора для кожної спектральної лінії та за дисперсійною кривою (рисунок 3) знайдіть відповідні значення довжин хвиль.

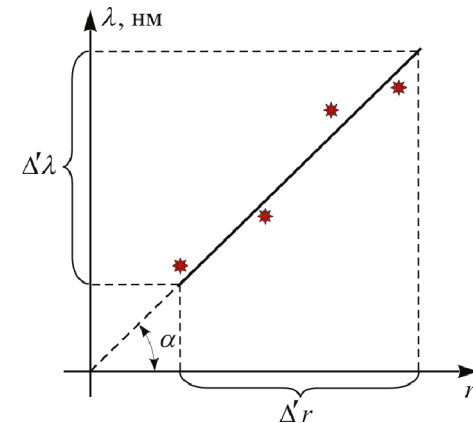


Рисунок 4 – До визначення сталої Рідберга за експериментальними даними

Перший постулат Бора пояснює можливість стабільного існування атомів і формулюється так: атом здатний необмежено довгий час перебувати лише в особливих стаціонарних станах, кожному з яких відповідає своя енергія W_n . Тут індекс n позначає номер стану, $n = 1, 2, 3, \dots$ – ціле додатне число, яке ще називають **головним квантовим числом**. У стаціонарних станах атом не випромінює та не поглинає енергію. Для планетарної моделі атома це означає, що електрон в атомі може рухатися лише по строго визначених колових стаціонарних орбітах. Радіуси стаціонарних орбіт визначаються з так званого **правила квантування моменту імпульсу**

$$L_n = m_e V_n r_n = 2\pi n h, \quad (1)$$

де L_n – момент імпульсу електрона; r_n – радіус орбіти електрона в n -му стані; V_n – швидкість руху електрона; m_e – маса електрона; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка. Таким чином, момент імпульсу має бути дискретною величиною.

Другий постулат Бора: випромінювання або поглинання атомом енергії відбувається лише при переходах з одного стаціонарного енергетичного рівня на інший. Частота випромінювання ν_{nm} при цьому визначається значеннями енергії в станах n та m

$$h\nu_{nm} = W_n - W_m. \quad (2)$$

Для планетарної моделі атома даний постулат зумовлює те, що випромінювання енергії відбувається під час переходу електрона з орбіти з більшим радіусом на орбіту з меншим радіусом. Перехід же електрона з орбіти з меншим радіусом на орбіту з більшим радіусом відбувається за рахунок поглинання енергії. Даний постулат необхідний для пояснення здатності атома випромінювати і поглинати хвилі, спектр яких є дискретним.

Знайдемо зв'язок між постулатами Бора та дискретністю спектра випромінювання атома водню. Будемо вважати електрон та ядро атома зарядженими матеріальними точками, динаміка яких відбувається за класичними законами. Оскільки маса ядра набагато більша від маси електрона, ядро можна вважати

10. Як у даній роботі за експериментальними даними визначається стала Рідберга?

На оцінку “відмінно”

11. Які протиріччя містить теорія Бора?
12. Яким чином водень у капілярній трубці починає світитися? Якими процесами це супроводжується?
13. Розрахувати енергію, швидкість та радіус орбіти електрона в атомі водню.
14. Розрахувати для воднеподібного атома потенціал іонізації та роботу іонізації.
15. Вивести формулу теоретичного визначення сталої Рідберга (8).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савельев И.В. Курс физики. Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1989.
2. Черняк Л.М. Лекції із загальної фізики: навчальний посібник: у 3 книгах. Книга 3. Фізика атома, твердого тіла і ядра. – Суми: Алан ЕКС, 2003.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Курс фізики: у 2 книгах. Книга 2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Либідь, 2001.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.:Высш. шк., 1990.
5. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник по физике. Том 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. – М.: Физматлит, 2001.
6. Сивухин Д.В. Общій курс физики. Том 4. Оптика. – М.: Наука, 1980.

Лабораторна робота 13

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИДИМОГО СПЕКТРА АТОМАРНОГО ВОДНЮ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Експериментально переконатися у тому, що спектр випромінювання атомарного водню є дискретним.
2. Ознайомитися з принципом роботи монохроматора УМ-2.
3. Визначити сталу Рідберга.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Спектр випромінювання – це сукупність довжин (або частот) електромагнітних хвиль, які здатна випромінювати речовина. Також, коли говорять про спектр, автоматично мають на увазі характер розподілу енергії випромінювання за довжинами хвиль. Надалі будемо мати на увазі лише **оптичні спектри** або спектри, що відповідають **оптичному** діапазону довжин хвиль ($\sim 400\text{-}700$ нм).

Дослідження спектрів випромінювання різних хімічних елементів та їх сполук має велике значення як з фундаментальної, так і з практичної точок зору. Механізми випромінювання прямо пов'язані з будовою атома та принципами взаємодії його структурних елементів. Випромінювання атомом електромагнітної хвилі є наслідком зміни його стану, а енергія випромінювання слугує кількісною характеристикою таких змін. Таким чином, спектр випромінювання відображає хімічну та фізичну індивідуальність атомів і молекул та дає однозначну інформацію про їх внутрішню будову.

Практичне значення даного питання є прямим продовженням його фундаментальної цінності. Оскільки спектр є фактично “паспортом” хімічного елемента або сполуки, дослідження спектра випромінювання може дати якісну та кількісну інформацію про склад речовини. Метод визначення хімічного складу речо-

$$p = h/\lambda . \quad (2)$$

Хвилі, які відповідають частинкам, на честь автора ідеї називаються **хвилями де Бройля**.

Нехай електрон набуває швидкості під дією різниці потенціалів U . Тоді, скориставшись законом збереження енергії, одержимо

$$eU = W_k, \quad (3)$$

де $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – модуль заряду електрона; W_k – кінетична енергія, яка для нерелятивістського випадку (коли швидкість V руху електрона набагато менша від швидкості світла $c = 3 \cdot 10^8$ м/с) дорівнює

$$W_k = \frac{1}{2} m_e V^2, \quad (4)$$

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг – маса спокою електрона. У релятивістському випадку (тобто коли виконується умова $V \sim c$) кінетична енергія визначається як

$$W_k = c\sqrt{p^2 + m_e^2 c^2} - m_e c^2. \quad (5)$$

З урахуванням співвідношень (2)-(5) можна показати, що довжина хвилі де Бройля електрона знаходиться як

$$\lambda = h/\sqrt{2m_e eU} \quad (V \ll c), \quad (6)$$

$$\lambda = h/\sqrt{2m_e eU(1 + eU/2m_e c^2)} \quad (V \sim c). \quad (7)$$

Гіпотеза де Бройля не є просто зручним прийомом, який дозволяє математично формалізувати закономірності мікросвіту. Ще раз підкреслимо, що об'єкти, які ми звикли вважати “частинками”, насправді можуть демонструвати хвильові властивості. Наприклад, явища інтерференції та дифракції електронів не лише можуть спостерігатися, а мають дуже широке застосування у фізиці та техніці.

16. Зробіть оцінку похибки визначення A за формулою

$$\Delta A = \frac{\Delta U_3}{U_1} A. \quad (13)$$

17. Зробіть висновки до лабораторної роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

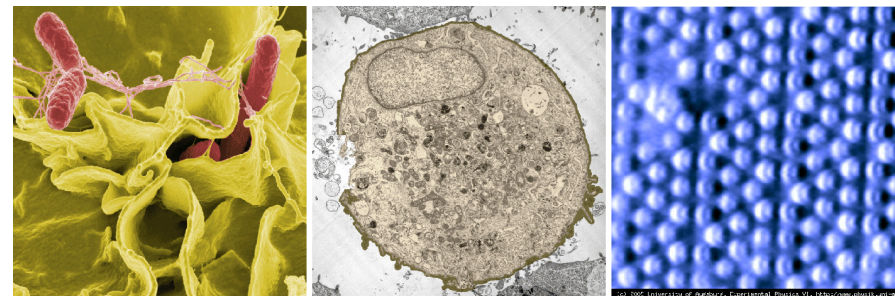
1. У чому сутність явища фотоефекту?
2. Що називають затримувальною напругою?
3. Записати рівняння Ейнштейна для фотоефекту.
4. Накреслити принципову схему установки та пояснити призначення її елементів.
5. Викласти послідовність виконання лабораторної роботи.

На оцінку “добре”

6. Сформулювати три закони фотоефекту.
7. Що називають роботою виходу? Як її визначають та від чого вона залежить?
8. Яку форму має залежність затримувальної напруги від частоти? Відповідь аргументувати.
9. Нарисувати якісну типову вольт-амперну характеристику фотоелемента та пояснити процеси, що відбуваються на її основних ділянках.
10. Навести приклади застосування фотоефекту.

На оцінку “відмінно”

11. Пояснити різницю між внутрішнім та зовнішнім фотоефектами.
12. Розкрити методика визначення сталої Планка в лабораторній роботі.
13. Який фізичний зміст має стала Планка?
14. Як пояснюються закони фотоефекту з позицій корпускулярного уявлення про світло?
15. Вивести формулу визначення сталої Планка.



а)

б)

в)

Рисунок 1 – Зображення бактерії сальмонели, одержане за допомогою скануючого електронного мікроскопа (а); зображення клітини, одержане за допомогою просвічувального електронного мікроскопа (б); зображення атомів на поверхні кристала з гексагональною решіткою, одержане за допомогою атомно-силового мікроскопа (в)

широкого спектру модифікацій цього приладу, збільшення далеко не єдина його функція. Серед найбільш відомих можливостей сучасних електронних мікроскопів слід відзначити такі:

- а) дослідження топології поверхні матеріалів;
- б) дослідження внутрішньої будови твердих тіл;
- в) побудова тривимірних зображень мікрооб'єктів;
- г) дослідження їх електричних та магнітних властивостей;
- д) маніпулювання мікрооб'єктами.

Типові приклади зображень, одержаних за допомогою електронних мікроскопів, наведені на рисунку 1.

Розглянемо детально найпростіший тип електронного мікроскопа – **просвічувальний електронний мікроскоп** (ПЕМ). За принципом дії він подібний до звичайного оптичного мікроскопа, лише замість світла використовується пучок електронів – так званий електронний промінь. Однак конструкційно ПЕМ значно відрізняється від оптичного, у першу чергу принципом керування променем. Впливати на рух заряджених електронів можна за допомогою електричних та магнітних полів. Тому керування електронним променем відбувається за допомогою так званих **електростатичних** або **магнітних лінз**. Також необхідною умовою безперешкодного проходження електронного променя є глибокий вакуум. Тому вся оптична система ПЕМ розміщена у спеціальній евакуйованій колоні, тиск у якій у мільйони разів менший від атмосферного.

Таблиця 1 – Результати вимірювань

Колір фільтра		Червоний	Помаранчевий	Жовтий	Зелений	Синій	Фіолетовий
λ , нм		630	580	560	525	470	430
$\Delta\lambda$, нм		2	2	2	2	2	2
ν , Гц·10 ¹⁴							
$\Delta\nu$, Гц·10 ¹⁴							
U_3 , В	№	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
$\langle U_3 \rangle$, В							
$\Delta\nu_{max} =$		$\Delta U_3 =$					

Процес правильного позиціонування бігунка є трудомістким і передбачає рух в обох напрямках. При цьому стрілка гальванометра буде зазнавати коливань. Для їх гасіння в схему вмонтований ключ K_2 . Короткочасним натисканням на K_2 стрілка гальванометра швидко виводиться на свій рівноважний рівень.

- Повторіть операції, наведені у пунктах 4 та 5 для решти світлофільтрів з набору. Результати запишіть у таблицю 1.
- Визначте похибку вимірювання затримувальної напруги ΔU_3 за формулою

$$\Delta U_3 = \frac{\delta U \cdot U_{\max}}{100}, \quad (7)$$

де δU – клас точності вольтметра, зазначений на корпусі або на шкалі приладу; U_{\max} – його верхня межа вимірювання. Занесіть одержане значення до таблиці 1.

- Обчисліть значення частот, що відповідають значенням відповідних довжин хвиль згідно з виразом

Напруженість магнітного поля у центрі магнітної лінзи дуже велика і регулюється струмом у котушці. Кожна лінза має своє призначення. Перша, так звана **конденсорна** лінза 2, проектує електронний промінь на досліджуваний об'єкт 3. Після просвічування модифікований промінь проходить через **проекційну** 4 та **об'єктивну** 5 лінзи, які формують зображення на екрані. У цьому полягає аналогія з системою звичайного оптичного мікроскопа.

Зображення в ПЕМ формується завдяки розсіянню електронів у матеріалі досліджуваного зразка. При цьому ступінь розсіювання пропорційний товщині та густині ділянок зразка. Таким чином, за інтенсивністю променя, що потрапляє в результаті на екран, можна дізнатися про будову об'єкта досліджень. Кінцева обробка зображення може бути різноманітною. Наприклад, можна безпосередньо спостерігати зображення у спеціальний біноклярний мікроскоп, фотографувати зображення або переводити його у цифрову форму за допомогою матриці фотодіодів та передавати у комп'ютер. Зовнішній вигляд сучасного ПЕМ наведений на рисунку 2б.

2.3. Електронографія

Будь-який ПЕМ може працювати у двох режимах:

- режим мікроскопа**, коли на екрані спостерігається безпосередньо зображення об'єкта;
- режим електронографії**, коли на екрані спостерігається дифракційна картина від зразка.

Електронографія – метод дослідження будови речовини, що базується на дифракції електронів на атомній структурі матеріалу. Даний метод є потужним інструментом дослідження внутрішньої будови речовини. За його допомогою визначають атомну структуру кристалів, аморфних тіл і навіть молекул. Так, структуру молекули ДНК розшифрували саме за електронограмами. **Електронограма** – фотографічний знімок дифракційної картини, яка утворюється під час розсіювання електронів об'єктами. Взаємне розміщення і ступінь освітленості дифракційних максимумів на електронограмі дають інформацію про структуру досліджуваного зразка.

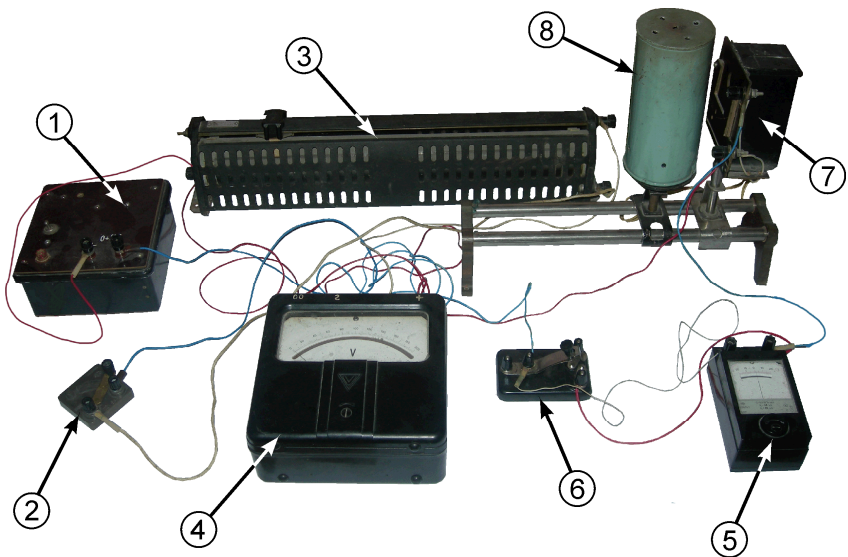


Рисунок 3 – Лабораторна установка: 1 – блок живлення; 2 – ключ K_1 ; 3 – реостат; 4 – вольтметр; 5 – гальванометр; 6 – ключ K_2 ; 7 – фотоелемент; 8 – освітлювач

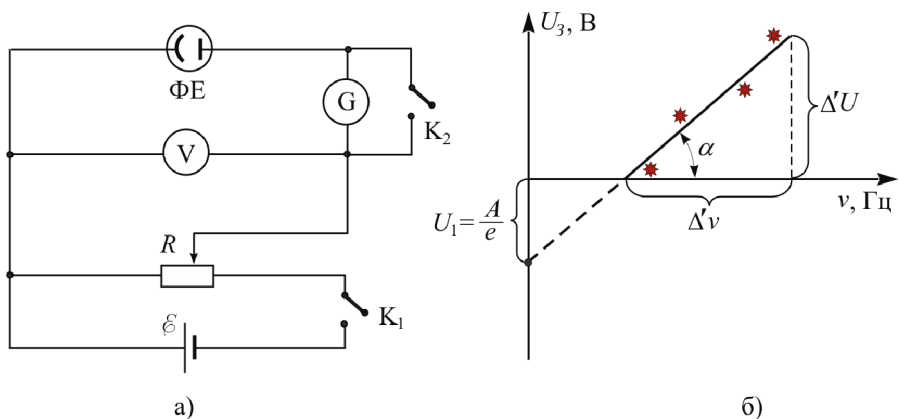


Рисунок 4 – Принципова схема установки (а); залежність затримувальної різниці потенціалів від частоти (б)

Відсутність струму в електричному колі фіксується за допомогою чутливого гальванометра 5. При цьому вольтметр покаже шукану величину U_3 . Природно, що різним частотам відповіда-

симумів, а сама дифракційна картина матиме вигляд симетрично розміщених світлих плям різної інтенсивності (див. рисунок 4а). Кожен із таких максимумів буде задовольняти рівняння (9), що записане для конкретної системи паралельних атомних площин (див. рисунок 3а).

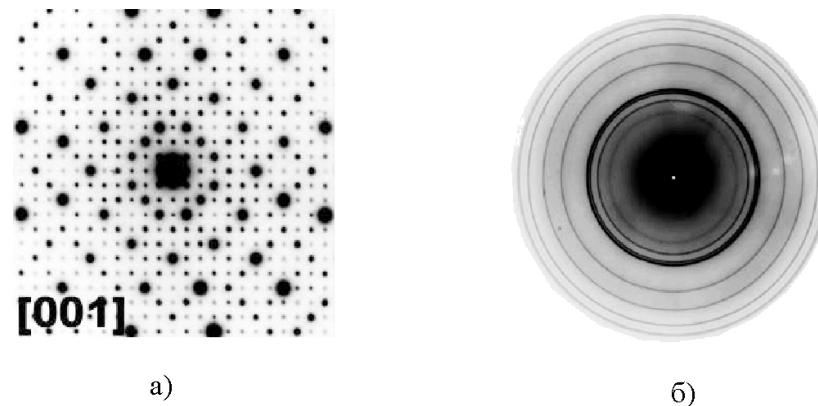


Рисунок 4 – Приклади електронogram: від монокристалічного телуриду галію $Ta_{97}Te_{60}$ (а); від полікристалічного берилію (б)

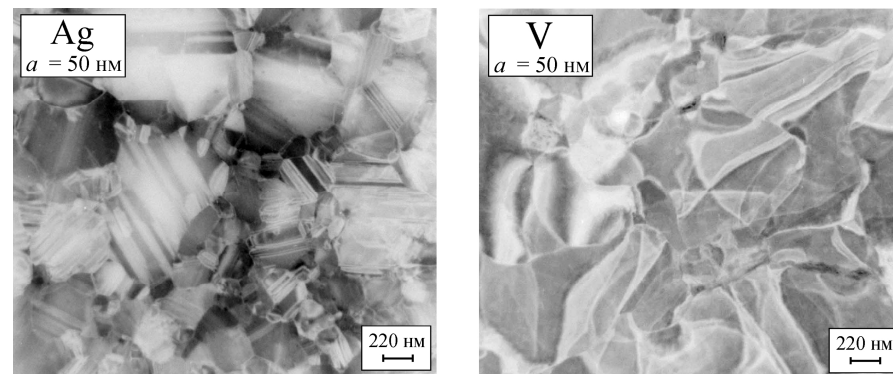


Рисунок 5 – Знімки полікристалічних плівок срібла та ванадію (одержані співробітниками кафедри прикладної фізики СумДУ за допомогою електронного мікроскопа ПЕМ-125К Сумського заводу “Selmi”)

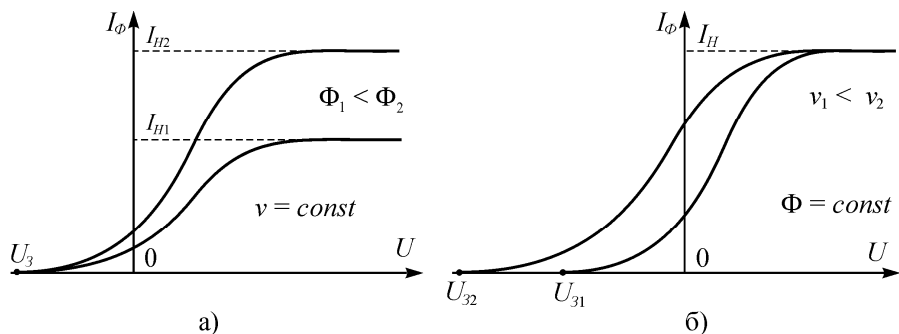


Рисунок 2 – Вольт-амперні характеристики фотоелемента для різних величин світлового потоку Φ (а), для різних частот світлового випромінювання ν (б)

елемента з деякою початковою швидкістю. Максимальне значення швидкості V буде визначати так звану **затримувальну напругу** U_3 – напругу, яку потрібно прикласти між анодом і катодом для припинення фотоструму

$$\frac{m_e V^2}{2} = eU_3, \quad (1)$$

де e – модуль заряду електрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); m_e – маса електрона ($m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг). З рисунка 2 бачимо, що швидкості фотоелектронів залежать від частоти падаючого випромінювання і не залежать від інтенсивності. У той самий час інтенсивність світлового потоку визначає величину струму насичення.

Явище фотоелектру є експериментальним підтвердженням корпускулярної природи світла, суть якої в тому, що світло випромінюється, поширюється та поглинається неподільними порціями, або **фотонами**. Енергію фотона визначають його частотою ν як

$$\varepsilon = h\nu, \quad (2)$$

де $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – одна з фундаментальних фізичних констант, яку називають **сталюю Планка**. Вважаючи, що електрон поглинає лише один фотон, закони фотоелектру легко пояснюються з міркувань закону збереження енергії

де D_i – діаметр кільця електроннограми, що відповідає першому максимуму дифракції від i -ї системи атомних площин; d_i – відстань між атомними площинами i -ї системи; L – ефективна відстань між зразком та фотопластинкою.

Перепишемо вираз (10) у такому вигляді:

$$D_i = 2\lambda L \frac{1}{d_i} = \text{tg} \alpha_i \frac{1}{d_i}.$$

Останнє співвідношення дозволяє простежити, що довжина хвилі де Бройля λ входить у коефіцієнт пропорційності у лінійній залежності D_i від $1/d_i$. Цим можна скористатися для точного визначення величини λ з експериментальних даних. Якщо нанести одержані у результаті вимірювань значення D_i та d_i на координатну площину та провести пряму лінію, як показано на рисунку бб, тангенс кута нахилу цієї прямої до осі $1/d$ і буде визначати величину довжини хвилі де Бройля як

$$\lambda = \frac{1}{2L} \cdot \text{tg} \alpha = \frac{1}{2L} \cdot \frac{D_{\max} - D_{\min}}{1/d_{\min} - 1/d_{\max}}, \quad (11)$$

де величини D_{\max} , D_{\min} , $1/d_{\max}$, $1/d_{\min}$ визначаються з рисунка бб.

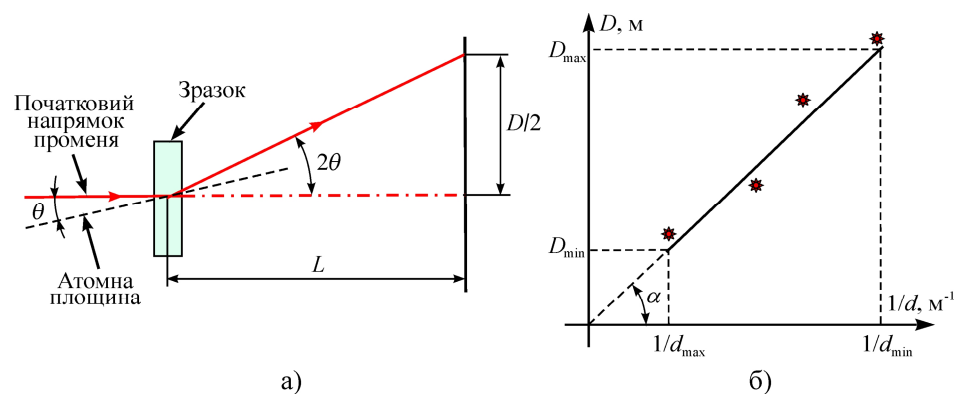


Рисунок 6 – Хід електронного променя через зразок (а); графік щодо визначення хвилі де Бройля з експериментальних даних (б)

Лабораторна робота 12

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Визначити величину сталої Планка.
2. Визначити роботу виходу електрона з металу.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розрізняють два типи фотоefекту – зовнішній та внутрішній. **Зовнішнім фотоefектом** називають вихід електронів з поверхні матеріалу в навколишній простір під дією світла. Як правило, він спостерігається у провідниках. На відміну від цього **внутрішній фотоefект** має місце, насамперед, у напівпровідниках і полягає у вивільненні електронів від зв'язків з атомами під дією світла та набутті ними якості вільних зарядів без виходу за межі матеріалу. Обидва типи фотоefекту широко застосовуються в техніці. Так, зовнішній фотоefект є основою для роботи так званих фотоелектричних помножувачів та електронно-оптичних підсилювачів, які є складовими приладів нічного бачення. Матриці чутливих до світла напівпровідникових діодів є базовим елементом сучасних пристроїв для фото- та відеозйомки.

Механізми зовнішнього та внутрішнього ефектів пояснює рисунок 1. В об'ємі провідника існують вільні заряди, які можуть рухатися в межах провідника, проте не можуть самовільно його залишати. Щоб подолати сили притягання зі сторони позитивно заряджених іонів у вузлах кристалічної решітки, потрібно надати електрону додаткову кінетичну енергію. Джерелом такої енергії може бути світлове випромінювання. Аналогічним чином відбувається і внутрішній фотоefект.

Російським фізиком О.Г. Столетовим (1889 р.) експериментально встановлено, що характер перебігу зовнішнього фотоefекту визначається трьома законами:

Таблиця 1 – Результати вимірювань

№ зра-зка	№ дифракційного кільця	d , нм	$1/d$, нм ⁻¹	№ вимірювання	D , мм	λ , нм	λ , нм теор. (6)	λ , нм теор. (7)
1	1			1				
				2				
				3				
				Середнє				
	...							
	N_{max}							
2	1			1				
				2				
				3				
				Середнє				
	...							
	N_{max}							

$U_1 =$	$D_{min} =$	$D_{max} =$	$1/d_{min} =$	$1/d_{max} =$	$\Delta\lambda_1 =$
$U_2 =$	$D_{min} =$	$D_{max} =$	$1/d_{min} =$	$1/d_{max} =$	$\Delta\lambda_2 =$

$\Delta D =$

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

1. Сформулювати сутність корпускулярно-хвильового дуалізму матерії. Записати формули для визначення енергії та імпульсу мікрочастинки.
2. Що таке електронний мікроскоп? Для чого він використовується?
3. Що таке електронограма?
4. Записати формулу Вульфа-Брегга.
5. Викласти послідовність виконання лабораторної роботи.

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОАКТИВНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ

1. МЕТА РОБОТИ

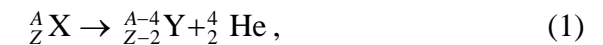
1. Експериментально переконатися у справедливості закону Бугера.
2. Визначити радіоактивний фон навколишнього середовища.
3. Визначити коефіцієнт поглинання заданого матеріалу.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.1. Радіоактивність

Радіоактивністю називається самочинне перетворення одних атомних ядер в інші з випромінюванням суб'ядерних частинок. Як правило, розрізняють три види радіоактивних випромінювань, названі відповідно α -, β - та γ -променями. Аналіз їх траєкторій у магнітному полі показує, що α -промені є потоком ядер гелію; також їх ще називають α -частинками. Бета-промені є потоком електронів (або позитронів); їх ще називають β -частинками. Напрямок руху γ -променів не зазнає дії поля. У подальшому було встановлено, що це електромагнітне випромінювання з дуже малою довжиною хвилі ($\lambda = 10^{-13}$ - 10^{-10} м), тому його ще називають γ -квантами.

Альфа-частинки утворюються у результаті так званого α -розпаду. Загальна схема його проходження умовно записується як



де A – масове число атома або кількість протонів та нейтронів у ядрі атома; Z – зарядове число атома або кількість протонів у ядрі атома. Під час запису реакцій типу (1) завжди потрібно пам'ятати про те, що виконується **закон збереження** заряду та маси, тобто сума масових чисел у лівій частині виразу дорівнює аналогічній сумі у правій. Те саме виконується стосовно Z . Зрозуміло, що ядро

$$\Delta a_{Ti} = a_{Ti} \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I_i}\right)^2 + \left(4 \frac{\Delta T_i}{\langle T_i \rangle}\right)^2}. \quad (15)$$

Абсолютну похибку вимірювання температури в i -му положенні перемикача блока живлення ΔT_i слід визначати у відповідності до виразу

$$\Delta T_i = \sqrt{(\Delta_1 T)^2 + (\Delta_2 T_i)^2}, \quad (16)$$

де випадкова складова абсолютної похибки $\Delta_2 T_i$ визначається за правилом «трьох сигм»

$$\Delta_2 T_i = 3 \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (T_{ij} - \langle T_i \rangle)^2} \quad (N = 5). \quad (17)$$

14. Побудуйте графік $a_T(T)$. Переконайтесь у тому, що a_T повільно зростає з температурою.
15. Зробіть висновки до лабораторної роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

1. Що називають тепловим випромінюванням?
2. Що називають енергетичною світністю та випромінювальною здатністю?
3. Що таке поглинальна здатність тіла?
4. Сформулювати закон Віна та закон Стефана-Больцмана.
5. Викласти послідовність виконання лабораторної роботи.

На оцінку “добре”

6. Який зв'язок між енергетичною світністю та випромінювальною здатністю?
7. Як на якісному рівні можна переконатися у справедливості закону зміщення Віна?

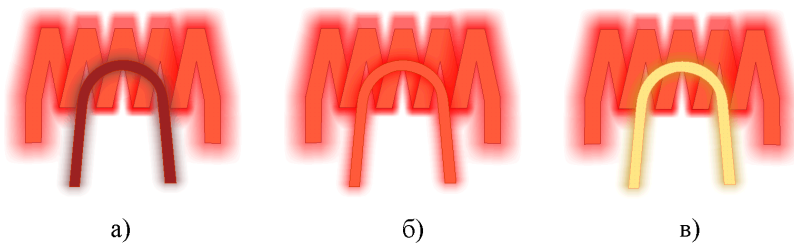


Рисунок 4 – Зображення спіралі лампи та еталонної дуги в окулярі: температура дуги менша за температуру спіралі (а); температура дуги збігається з температурою спіралі (б); температура дуги більша за температуру спіралі (в)

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Уважно ознайомтеся з установкою та попередніми розділами методичних вказівок до даної лабораторної роботи.
2. Запишіть величину площі поверхні спіралі лампи S , яка зазначена на стенді, та інструментальні похибки вольтметра ΔU та амперметра ΔI до таблиці 1. Похибка кожного електровимірювального приладу знаходиться за формулою

$$\Delta X = \frac{\delta X \cdot X_{\max}}{100}, \quad (14)$$

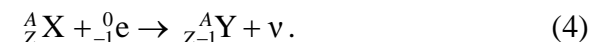
де X – величина, що вимірюється; δX – клас точності приладу, зазначений на корпусі або на шкалі; X_{\max} – верхня межа вимірювання приладу.

Таблиця 1 – Результати вимірювань

Перемикач	U, V	I, A		№ досліду					$\langle T \rangle, K$	$\Delta_2 T, K$	$\Delta T, K$	a_T	Δa_T
				1	2	3	4	5					
1			$t, ^\circ C$										
			T, K										
...	
5			$t, ^\circ C$										
			T, K										
$S =$			$\Delta U =$					$\Delta I =$		$\Delta_1 T =$			

ν – нейтрино – частинка, аналогічна до антинейтрино. Спостерігати позитрон можливо лише у вакуумі, оскільки після його утворення за рахунок кулонівської взаємодії він буде притягуватися до одного з електронів, наявних у речовині. У результаті зіткнення обидві частинки зникають, а їх енергія випромінюється у вигляді декількох γ -квантів. Цей процес називається **анігіляцією**.

Електронне захоплення полягає у тому, що один із протонів ядра поглинає електрон внутрішньої електронної оболонки атома. Схема процесу має такий вигляд:



Ядро Y , що виникає при цьому, може бути у збудженому стані, а перехід до основного стану супроводжується випромінюванням γ -квантів. Як і у описаному вище випадку α -розпаду, вакансія, яка виникає на місці захопленого електрона, заповнюється електроном з верхніх оболонок атома. А такі переходи електронів супроводжуються характеристичним рентгенівським випромінюванням.

2.1. Дія радіоактивного випромінювання на біологічні об'єкти

Акти перетворення (або розпаду) атомних ядер та випромінювання частинок мають ймовірнісний характер. Зрозуміло, що коли процеси розпаду відбуваються незалежно один від одного, кількість атомів радіоактивного хімічного елемента буде зменшуватися з часом за експоненціальним законом

$$N = N_0 \exp(-t/\tau), \quad (5)$$

де τ – час, за який кількість ядер зменшується в e ($\approx 2,7183$) разів, залежить від типу матеріалу; N_0 – початкова кількість атомів. Вираз (5) називається **законом радіоактивного розпаду**. Кількість A актів розпаду, що відбувається за одиницю часу, називається **активністю радіоактивної речовини**. Зі співвідношення (5) нескладно одержати, що

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \frac{N_0}{\tau} \exp(-t/\tau) = \frac{N}{\tau}. \quad (6)$$

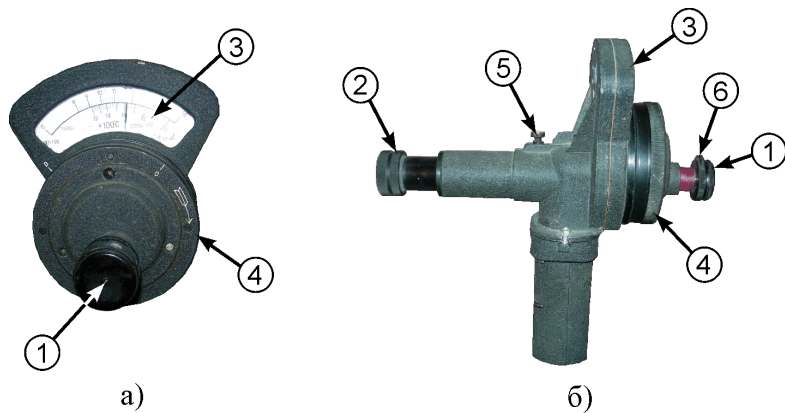


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд пірометра: вигляд спереду (а); вигляд збоку (б): 1 – окуляр; 2 – об’єктив; 3 – шкала приладу; 4 – ручка реостата; 5 – перемикач температурних діапазонів вимірювання; 6 – ручка світлофільтра

дуга буде змінювати свою температуру, а отже, яскравість свічення. Струм змінюється за допомогою реостата 4, ручка якого виготовлена у формі рифленого кільця. Зважаючи на однозначний зв’язок між температурою та силою струму через еталонну дугу, шкала амперметра 3 відразу проградуєвана в градусах Цельсія. За допомогою об’єктива на фоні зображення тіла, температура якого підлягає вимірюванню, спостерігач може бачити також і еталонну дугу. Зміною опору реостата 4 яскравість свічення дуги прирівнюється до яскравості свічення досліджуваного тіла. Шкала 3 при цьому вкаже його температуру. Слід відзначити, що в окулярі 1 пірометра видно не саме досліджуване тіло, а його зображення. Зрозуміло, що світність зображення менша світності самого тіла внаслідок втрат в об’єктиві 2. Відповідна поправка врахована під час конструювання пірометра та калібрування його шкали.

Як досліджуване тіло в роботі використовується вольфрамова спіраль лампи розжарювання 2 (див. рис. 3), струм через яку можна задавати за допомогою блока живлення 1. Потік енергії, що випромінюється з поверхні спіралі, визначатиметься як

Інший тип дії радіоактивного випромінювання полягає не у руйнуванні клітин організму, а у частковій зміні їх будови та функціональності. Коли такі зміни не передаються наступному поколінню, кажуть, що мають місце **соматичні ефекти**. Якщо ж ці зміни мають місце у наступних поколіннях, кажуть про **генетичні ефекти**, або **мутації**.

Для характеристики дії радіоактивного випромінювання на біологічні об’єкти вводять величини, наведені нижче.

1) **Доза опромінення (експозиційна доза)**. Вона визначається кількістю іонів, що утворилась під дією випромінювання. Одиницею вимірювання в системі СІ є **кулон на кілограм** (Кл/кг). Позасистемною одиницею є **рентген** (Р). Один рентген відповідає дозі випромінювання, за якої в 1 см³ сухого повітря за нормальних умов утворюється $2,08 \cdot 10^9$ пар іонів. Природно, що одна й та сама кількість іонізуючих частинок різного сорту утворює різну кількість іонів.

2) **Доза поглинання**. Вона визначається кількістю енергії іонізуючого випромінювання, яке поглинається одиницею маси. Одиницею вимірювання у системі СІ є **грей** (Гр = Дж/кг). Позасистемна одиниця – рад (1 Гр = 100 рад).

3) **Біологічна доза**. Біологічний ефект пов’язаний не лише з енергією, яка поглинається одиницею маси опромінюваної тканини, а залежить ще й від локальної густини іонізації. Тому вводять поняття **коефіцієнта відносної біологічної ефективності** (ВБЕ) випромінювання. Він показує, у скільки разів дія того чи іншого випромінювання ефективніша за рентгенівські промені. Так, для α -частинок ВБЕ = 20, для β -частинок ВБЕ = 1. Одиницею вимірювання біологічної дози у системі СІ є **зіверт** (Зв). Один зіверт – це доза будь-якого випромінювання, поглинання якої одним кілограмом живої тканини спричиняє таку саму дію, як доза поглинання 1 Гр рентгенівських променів. Позасистемною одиницею є “бер”, що є скороченням від “біологічний еквівалент рентгена”. Один бер – це доза будь-якого виду іонізуючого випромінювання, яка спричиняє таку саму біологічну дію, як і доза рентгенівського випромінювання 1 рентген.

ний факт на якісному рівні підтверджується повсякденним досвідом: металеві предмети під час нагрівання спочатку світяться червоним світлом, а із зростанням температури їх колір стає яскраво-жовтим та білим.

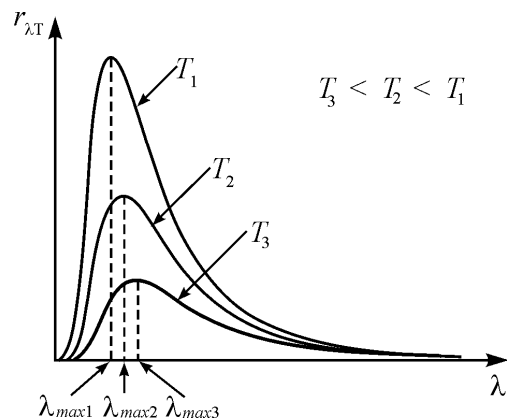


Рисунок 1 – Випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла для різних температур

Закони теплового випромінювання мають послідовне пояснення в рамках гіпотези про **квантову природу випромінювання**, висунуту німецьким вченим М. Планком в 1900 р. Сутність її у тому, що електромагнітна енергія випромінюється у вигляді окремих порцій (квантів), енергія яких $h\nu$. Тут $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка, фізичний зміст якої у тому, що вона визначає найменший крок дискретизації енергії. Енергія, яка випромінюється на даній частоті, буде визначатися кількістю квантів n

$$\varepsilon_n = n \cdot h\nu. \quad (9)$$

Грунтуючись на виразі (9), можна показати, що випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла має вигляд

$$r_{\lambda T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/k_B T \lambda) - 1}, \quad (10)$$

де c – швидкість світла; k_B – стала Больцмана.

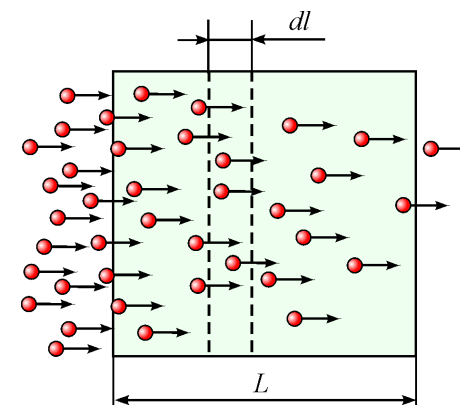


Рисунок 1 – Поглинання радіоактивного потоку речовиною

3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ

1. Газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера.
2. Джерело радіоактивного випромінювання узахисному корпусі.
3. Металеві пластинки.
4. Мікрометр.
5. Секундомір.
6. Лічильник електричних імпульсів.

4. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТУ

4.1. Лічильник Гейгера-Мюллера

Для визначення інтенсивності наявного радіоактивного випромінювання використовується лабораторна установка, наведена на рисунку 2. Основу установки становить так званий **лічильник Гейгера-Мюллера**. Конструкційно він являє собою газорозрядний діод (див. рисунок 3а), на який подано високу напругу. Частинка, яка потрапляє у простір між його електродами, іонізує атоми газу. Іони та електрони прискорюються електричним полем, що утворюється між анодом та катодом, зіштовхуються з неіонізованими атомами газу та іонізують їх і т.д. Таким чином, починається лавиноподібна іонізація газу, а простір між електродами діода стає провідним. У результаті електричне

$$r_{\lambda T} = \frac{d\Phi_{\lambda T}}{dS \cdot d\lambda} = \frac{dR_{\lambda T}}{d\lambda}. \quad (3)$$

Тут $dR_{\lambda T}$ – енергетична світність тіла в діапазоні довжин хвиль від λ до $\lambda + d\lambda$ за даної температури T . Енергетична світність та випромінювальна здатність знаходяться між собою у такому самому співвідношенні, як маса тіла та його густина

$$R = \int_0^{\lambda_{\max}} r_{\lambda T} d\lambda. \quad (4)$$

Кожне тіло здатне не лише випромінювати, але й *поглинати* та *відбивати* енергію, що падає на нього. Для того щоб кількісно охарактеризувати співвідношення між поглинутим та відбитим випромінюванням, вводять спеціальну величину – поглинальну здатність тіла. **Поглинальна здатність**, або **коефіцієнт чорноти**, $a_{\lambda T}$ визначає ту частину падаючого потоку, яка поглинається тілом

$$a_{\lambda T} = \frac{d\Phi'_{\lambda T}}{d\Phi_{\lambda T}}, \quad (5)$$

де $d\Phi'_{\lambda T}$ – величина потоку, що поглинається, із загального потоку $d\Phi_{\lambda T}$, що падає на тіло. Індеси в (5) свідчать про те, що поглинальна здатність (як і випромінювальна здатність $r_{\lambda T}$) залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання та температури тіла. Також $a_{\lambda T}$ значною мірою залежить від матеріалу, форми та структури поверхні тіла, що опромінюється.

Встановлено, що відношення випромінювальної та поглинальної здатностей не залежить від природи тіла і є для всіх тіл однією й тією самою функцією довжини хвилі та температури

$$\frac{r_{\lambda T}}{a_{\lambda T}} = \varphi(\lambda, T). \quad (6)$$

Останнє твердження становить зміст **закону Кірхгофа**. Він свідчить про те, що механізми випромінювання та поглинання електромагнітних хвиль пов'язані та є *зворотними* один до одного.

4.2. Методика визначення коефіцієнта поглинання

Для експериментальної перевірки справедливості виразу (9) досить одержати відомості про кількість іонізуючих частинок, що пройшли через різну кількість поглинаючих пластинок 4 (див. рис. 2) однакової товщини, зроблених з одного й того самого матеріалу. Зазначена кількість визначається за допомогою лічильника Гейгера-Мюллера 2, на який спрямовується потік іонізуючого випромінювання від джерела 3. На практиці лічильник буде показувати не лише інтенсивність випромінювання, що пройшло через поглинаючий матеріал, а й одночасно реєструватиме так званий **нульовий фон** I_{ϕ} . Природа останнього є різноманітною: до його складу входять частинки космічного походження, випромінювання з надр Землі, випромінювання від радіоактивних ізотопів, що містяться у конструкції будівлі. Тому завжди від виміряного у конкретному експерименті значення інтенсивності I потрібно віднімати інтенсивність фону I_{ϕ} .

Залежність (9) має нелінійний характер, тому для спрощення опрацювання експериментальних даних доцільно використовувати лінійний характер залежності $\ln[(I_0 - I_{\phi})/(I - I_{\phi})]$ від товщини l (див. рис. 4). Тангенс кута нахилу прямої визначатиме коефіцієнт поглинання матеріалу:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{I_0 - I_{\phi}}{I_{\min} - I_{\phi}} \right), \quad (10)$$

де L – загальна товщина усіх поглинаючих пластин, а величина $\ln[(I_0 - I_{\phi})/(I_{\min} - I_{\phi})]$ визначається безпосередньо з рисунка 4. Похибка визначення величини μ може бути знайдена у такий спосіб. Знайдемо по чергово логарифм та диференціал від правої та лівої частин виразу (10). Після заміни диференціалів на відповідні значення абсолютних похибок, а також знаків усіх від'ємних складових похибки μ з “мінус” на “плюс” одержимо

Лабораторна робота 11

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1. МЕТА РОБОТИ

1. Експериментально вивчити основні закони теплового випромінювання.
2. Ознайомитися з принципом роботи оптичного пірометра.
3. Визначити коефіцієнт чорноти вольфрамового дроту.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Електромагнітне випромінювання, яке виникає внаслідок хаотичного теплового руху структурних елементів речовини, називають **тепловим випромінюванням**. За умови ненульової абсолютної температури хаотичний рух атомів або молекул завжди наявний у будь-якому тілі. Тому цей вид випромінювання неможливо усунути.

Його механізми досить складні й залежать від температури та агрегатного стану речовини. За відносно низьких температур ($T < 500-600$ К) теплове випромінювання для рідин та газів зумовлене коливально-обертальним рухом молекул, а для твердих тіл – коливаннями атомів або іонів у вузлах кристалічної решітки. Заряджені частинки, з яких складаються атоми, при цьому рухаються з прискоренням, а, отже, згідно із класичними уявленнями повинні випромінювати електромагнітні хвилі. Крім того, в металах випромінювати можуть вільні електрони, що під час руху змінюють свою швидкість за рахунок зіткнень з вузлами кристалічної решітки. Енергія випромінювання в рамках означених механізмів незначна, і практично весь спектр знаходиться в інфрачервоній області.

Для високих температур механізм випромінювання є дещо іншим. Кінетична енергія хаотичного теплового руху спричиняє переведення електронів, що знаходяться на зовнішніх електронних оболонках атомів, на збуджені енергетичні рівні. Згодом електрони самочинно повертаються зі збуджених рівнів на стаціона-

3. Виміряйте нульовий фон. Для цього **5 разів** запустіть лічильник імпульсів 5 (див. рисунок 2) на **1 хвилину** за умови, що лічильник Гейгера-Мюллера 2 розміщений поза зоною дії радіоактивного препарату 3. Результати запишіть у таблицю 1.
4. Виміряйте п'ять разів початкову інтенсивність препарату. Для цього розмістіть штатив з радіоактивним препаратом 3 на невеликій відстані (~ 10 см) від лічильника Гейгера-Мюллера 2 та спрямуйте отвір у його захисному корпусі на лічильник імпульсів 5. Вимірювання виконуйте впродовж одного й того самого часу (однієї хвилини). Результати запишіть у таблицю 1.

***Увага!** Отвір захисного корпусу, в якому міститься радіоактивний препарат, повинен бути завжди спрямований у бік, протилежний від людей, які знаходяться в аудиторії.*

5. Виконайте вимірювання з попереднього пункту, не змінюючи положення препарату 3 відносно лічильника 2 для випадків, коли у спеціальному пазу містяться 1, 2, ..., N_{\max} пластин поглинаючого матеріалу. Час вимірювань залишити незмінним.
6. Мікрометром виміряйте товщину поглинаючих пластин 5 разів та знайдіть їх середнє значення $\langle l_0 \rangle$. Випадкову складову $\Delta_2 L$ абсолютної похибки знайдіть як

$$\Delta_2 L = 3 \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{j=1}^N (l_{0j} - \langle l_0 \rangle)^2} \quad (N = 5). \quad (12)$$

7. Визначте абсолютну похибку визначення товщини пластини у відповідності до виразу

$$\Delta L = \sqrt{(\Delta_1 L)^2 + (\Delta_2 L)^2}, \quad (13)$$

де $\Delta_1 L = 0,005$ мм – інструментальна похибка мікрометра.

8. Знайдіть середні значення показів лічильника $\langle I_i \rangle$ у кожному експерименті та знайдіть випадкову складову похибки

$$\Delta I_i = 3 \sqrt{\frac{1}{N_i(N_i-1)} \sum_{j=1}^{N_i} (I_{ij} - \langle I_i \rangle)^2}, \quad (14)$$

ЗМІСТ

Лабораторна робота 11. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	С. 8
1. МЕТА РОБОТИ	8
2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	8
3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ.....	13
4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ	13
5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	16
6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	18
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	19
Лабораторна робота 12. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ	20
1. МЕТА РОБОТИ	20
2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	20
3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ.....	23
4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ	23
5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	25
6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	28
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	29
Лабораторна робота 13. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИДИМОГО СПЕКТРА АТОМАРНОГО ВОДНІЮ	30
1. МЕТА РОБОТИ	30
2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	30
3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ.....	35
4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ	35
5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	38
6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	40
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	41
Лабораторна робота 14. ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ ДІЇ ЕЛЕКТРОННОГО МІКРОСКОПА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ДЕ БРОЙЛЯ ЕЛЕКТРОНА	42
1. МЕТА РОБОТИ	42
2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	42
2.1. Хвильові властивості речовини.....	42
2.2. Електронний мікроскоп.....	44
2.3. Електронографія.....	47
3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ.....	50

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

1. Назвати види радіоактивного випромінювання та пояснити їх фізичну природу.
2. Якими величинами характеризують дію радіоактивного випромінювання на біологічні об’єкти? Дати їх визначення.
3. Записати закон радіоактивного розпаду.
4. Дати визначення активності радіоактивної речовини.
5. Викласти послідовність виконання лабораторної роботи.

На оцінку “добре”

6. Навести схеми, за якими відбуваються α - та β -розпади.
7. Перелічити та охарактеризувати види β -розпаду.
8. Охарактеризувати типи випромінювання за рівнем небезпеки для живих організмів.
9. Що таке нульовий фон? Яка його природа?
10. Одержати закон Бугера (9).

На оцінку “відмінно”

11. Одержати закон радіоактивного розпаду (5).
12. Пояснити природу рентгенівського характеристичного випромінювання.
13. Пояснити сутність біологічної дії радіоактивного випромінювання та роль іонізації у цьому процесу.
14. Викласти принцип роботи лічильника Гейгера-Мюллера.
15. Пояснити сутність методу визначення коефіцієнта поглинання у лабораторній роботі.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савельев И.В. Курс физики: в. 3 т. Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1989.

ББК 52.818.1я7
УДК 53(076.5)
Л 96

Навчальне видання

Рецензенти:
д-р. фіз.-мат. наук, проф. І. Ю. Проценко
(Сумський державний університет);
канд. фіз.-мат. наук, доцент О. В. Лисенко
(Сумський державний університет)

Лютий Тарас Володимирович,
Денисова Олена Станіславівна

Лабораторний практикум з фізики

*Рекомендовано до друку вченою радою
Сумського державного університету
(протокол № 7 від 09.02.2012)*

Навчальний посібник

Л 96 **Лютий Т. В.**, Лабораторний практикум з фізики: навч.
посіб. / Т. В. Лютий, О. С. Денисова. – Суми: Сумський
державний університет, 2012. – 67 с.

Укладач	Т. В. Лютий
Дизайн обкладинки	Т. В. Лютого
Редактор	Н. В. Лисогуб
Комп'ютерний набір та верстання	Т. В. Лютого

Посібник містить опис лабораторних робіт з курсу загальної фізики для напряму підготовки 6.040106 – **екологія, охорона навколишнього середовища та збалансованого природокористування**, факультет технічних систем та енергоефективних технологій. Кожна робота супроводжується ґрунтовним викладенням теоретичного матеріалу, необхідного для вмотивованого виконання вимірювань та розрахунків. Детальні та проілюстровані пояснення процесу виконання робіт дозволяють підвищити ступінь самостійності студента на лабораторних заняттях, що значно підвищує ефективність бригадного методу виконання робіт.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. Обл.-вид. арк. Тираж 100 пр. Зам. №

ББК 52.818.1я7
УДК 53(076.5)

© Лютий Т. В., Денисова О. С., 2012
© Сумський державний університет, 2012

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.

