

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра „Автоматика та комп'ютерні системи”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з дисципліни

„ФІЗИКА”

Частина 3

Харків 2009

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні кафедри „Автоматика та комп'ютерні системи” 17 березня 2008 р., протокол №7.

Рекомендуються для студентів заочної форми навчання.

Укладачі:

доц. А.П. Фроленко,
старш. викл. О.І. Рудской

Рецензент

доц. О.Ф. Єнікєєв

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт
з дисципліни

„ФІЗИКА”

Частина 3

Відповідальний за випуск Фроленко А.П.

Редактор Губарева К.А.

Підписано до друку 31.03.08 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. Обл.-вид.арк. 1,5

Замовлення № Тираж 50. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра „Автоматика та комп'ютерні системи”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ
„ФІЗИКА”

ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ

ЧАСТИНА 3

ХАРКІВ 2008

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до видання на засіданні кафедри „Автоматика та комп'ютерні системи” 17 березня 2008 р., протокол №7

Укладачі :

Доцент А.П. Фроленко
Ст. викладач О.І. Рудской

Рецензент

Доцент О.Ф. Єнікєєв

ЗМІСТ

1	Лабораторна робота 10. Визначення показника заломлення скла за допомогою мікроскопа	4
2	Лабораторна робота 11. Визначення сталої Стефана – Больцмана за допомогою пірометра	8
3	Лабораторна робота 12. Вивчення фотоелектричного ефекту	12
4	Лабораторна робота 13. Вивчення температурної залежності опору провідників та напівпровідників	15
	Список літератури	24

1 Лабораторна робота 10 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА

ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПА

МЕТА РОБОТИ

- 1 Вивчення законів заломлення світла.
- 2 Експериментальне визначення показника заломлення скла.
- 3 Обчислення фазової швидкості розповсюдження світла в даній речовині.

ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

- 1 Мікроскоп вимірвальний.
- 2 Мікрометр.
- 3 Скляні пластинки.

1.1 Загальні положення

Експериментально отримані закони заломлення хвиль можна сформулювати таким чином:

1 Промінь падаючий, нормаль, проведена через точку падіння, і промінь заломлений лежать в одній площині.

2 Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для даних двох середовищ є величиною постійною. Вона називається відносним показником заломлення другого середовища відносно першого.

Пояснити закони заломлення і з'ясувати фізичне значення показника заломлення можна на основі принципу, сформульованого Гюйгенсом: *кожна точка хвильового фронту є джерелом вторинних сферичних хвиль; загальна обвідна вторинних хвиль утворює фронт хвилі, що розповсюджується.*

Під терміном "хвильовий фронт" розуміють геометричне місце точок, до яких у даній момент дійшло коливання. Хвильовий фронт – окремий випадок хвильової поверхні, тобто сукупності точок, що коливаються в однаковій фазі.

Нехай на межу розділу двох середовищ під кутом i падає плоска хвиля АВ (рисунок 1.1). Нехай швидкість розповсюдження хвилі в першому середовищі – v_1 , а в другому – v_2 . Тоді за час t проходження хвилею відстані ВС у першому

середовищі ($t = \frac{BC}{v_1}$) фронт вторинної хвилі, збудженої у другому середовищі точкою А, досягне точок півсфери з радіусом $R_2 = v_2 t = BC \cdot \frac{v_2}{v_1}$. Оскільки за принципом Гюйгенса фронт хвилі в другому середовищі є обвідною вторинних хвиль, тобто DC, то напрямком її розповсюдження – промінь AD, а кут r між заломленим променем AD і нормаллю N – кут заломлення. З прямокутних трикутників ABC і ADC видно, що $\sin i = \frac{BC}{AC}$, $\sin r = \frac{AD}{AC}$, а їх відношення

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BC}{AD} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2} = n_{12} \quad (1.1)$$

де n_{12} - відносний показник заломлення другого середовища відносно першого.

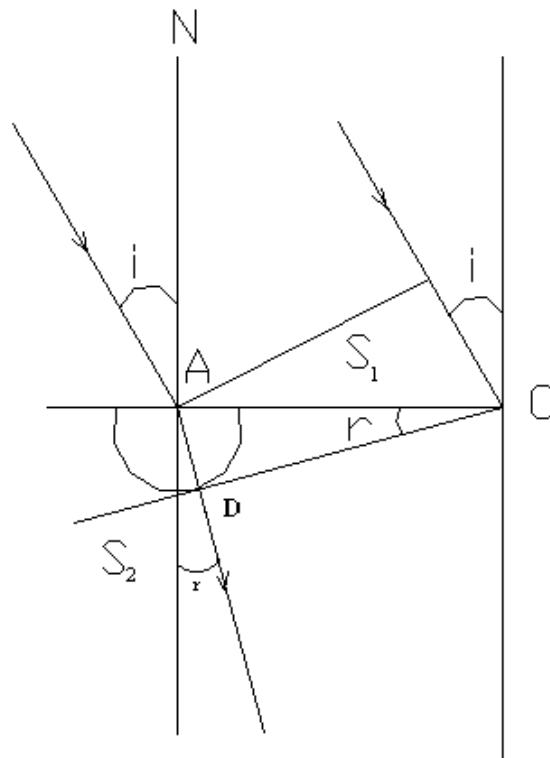


Рисунок 1.1 – Заломлення світла

Якщо світло переходить з вакууму (або повітря), в якому швидкість його розповсюдження дорівнює $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, у дане середовище, то відношення

$$n = \frac{c}{v}$$

називають абсолютним показником заломлення цього середовища. Знаючи цей показник, можна обчислити швидкість світла в даному середовищі, що і є метою цієї роботи.

Для визначення показника заломлення скла застосуємо мікроскоп, поле зору якого характеризується малою глибиною різкості. На обидві сторони плоскопаралельної скляної пластинки наносять лінійні мітки (дуже тонкі подряпини). Проміння світла розсівається у всі сторони нижньою міткою (рисунок 1.2, точка А). Проходячи крізь верхню поверхню пластини, вони заломлюються, а їх продовження перетинаються у точці С. Тому при розгляді нижньої мітки в мікроскоп представляється, що промені виходять з точки С, тобто що нижня мітка лежить ближче до верхньої поверхні.

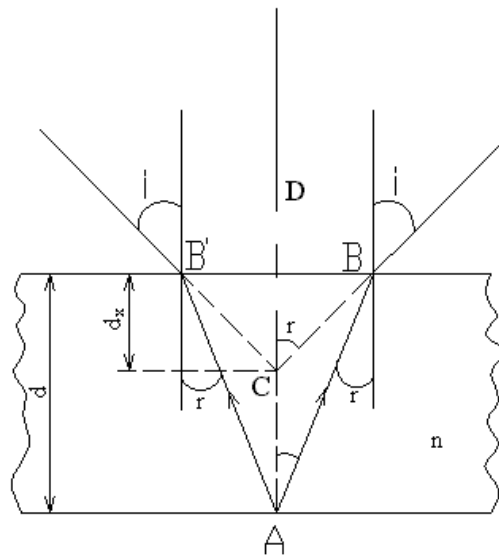


Рисунок 1.2 – Хід променів у плоскопаралельній пластинці

При виконанні роботи наводять мікроскоп спочатку на верхню мітку, а потім, обертаючи мікрометричний гвинт мікроскопа, на нижню (тобто на точку С). Підрахувавши кількість обертів гвинта і знаючи його крок, можна виміряти уявну товщину пластинки d_k . Кути i і r взаємозв'язані законом заломлення. На рисунку 1.2 промінь АВ йде зі скла в повітря, але щоб зберегти позначення, прийняті раніше у формулі (1.1), можна його в думках обернути. Оскільки поле зору мікроскопа

дуже мале, до нього потрапляють лише промені з малими кутами i , тому $\sin i \approx tgi$, $\sin r \approx tgr$, а із закону заломлення (1.1) маємо таке:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{tgi}{tgr} = \frac{\frac{Db}{Dc}}{\frac{Db}{AD}} = \frac{AD}{DC} = \frac{d}{d_x}. \quad (1.2)$$

1.2 Робоче завдання

1 Виміряти мікрометром товщину пластинки d . Виконати це три рази в різних точках.

2 Покласти пластину на столик мікроскопа і навести мікроскоп на добру видимість верхньої подряпини на пластині. Риски на склі потрібні лише для того, щоб зафіксувати положення верхньої площини пластини, наводити на різкість треба на точки подряпини, які знаходяться на самій поверхні скла.

3 За допомогою мікрометричного гвинта опустити тубус мікроскопа до появи різкого зображення межі подряпини на нижній поверхні пластини. При цьому одночасно другим експериментатор повинен рахувати повну кількість обертів N барабана мікрометричного гвинта і відзначати кількість поділок m на барабані, що відповідає неповному оберту гвинта. Виконати це три рази.

4 Всі результати вимірювань записати до таблиця 1.1.

Таблиця 1.1

Номер п/п	d , мм	Δd , мм	N	m	d_k , мм	Δk_1 , мм	Результат роботи
1							
2							
3							
Серед. знач.							

5 Підрахувати уявну товщину пластинки $d_k = Nh + mk$, де h – крок мікрометричного гвинта, мм; k – ціна поділки барабана, мм. Величини h , k та обчислені значення d_k занести до таблиці.

Обчислити середнє значення показника заломлення $n_{cp} = \frac{d_{cp}}{d_{kcp}}$, а також відносну та абсолютну похибку його визначення. Остаточний результат записати до таблиці у вигляді $n = n_{cp} \pm \Delta n$. Визначити швидкість розповсюдження світла в склі за формулою (1.1) і також записати її значення до таблиці у вигляді $v = v_{cp} \pm \Delta v$.

Контрольні питання

- 1 Як формулюються закони заломлення світла?
- 2 Яке фізичне значення абсолютного і відносного показників заломлення та як вони пов'язані між собою?
- 3 Як у даній роботі визначається показник заломлення скла?

2 Лабораторна робота 11 ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ СТЕФАНА - БОЛЬЦМАНА ЗА ДОПОМОГОЮ ПІРОМЕТРА

МЕТА РОБОТИ: за допомогою оптичного пірометра визначити температуру спіралі лампи розжарювання, перевірити закон Стефана – Больцмана для теплового випромінювання тіл і визначити сталу Стефана – Больцмана.

2.1 Пояснення до роботи

Закони теплового випромінювання використовуються для виміру температури розпечених і самосвітних тіл (наприклад, зірок). Методи виміру високих температур, що використовують залежність спектральної щільності енергетичної світності або інтегральної енергетичної світності тіл від температури, називають оптичною пірометрією. Прилади для виміру температури нагрітих тіл за інтенсивністю їхнього теплового випромінювання в оптичному діапазоні спектра називають пірометрами.

Залежно від того, який закон теплового випромінювання використовується при вимірі температури тіл, розрізняють радіаційну, колірну та яскравісну температури.

У даній роботі використовується оптичний пірометр з ниткою, що пропадає. Він складається із оптичної трубки, у фокусі якої знаходиться еталонна лампочка з ниткою розжарення. Цей прилад призначений для вимірювання температури тіл, нагрітих до такої температури, що вони починають світитися. Якщо навести пірометр на нагріте тіло (наприклад, злиток металу), то завдяки регулюванню струму через нитку можна добитись того, що світитись вони будуть з однаковою яскравістю і еталонна нитка ніби пропадає, зливаючись з фоном.

У нашому випадку джерело випромінювання – це спіраль лампи розжарювання, на яку наводимо оптичну трубку. Зображення спіралі зводиться у площину нитки еталонної лампочки (спіраль і нитку лампочки видно однаково чітко). Еталонна лампочка пірометра живиться від батареї і розжарення її нитки регулюється реостатом. Змінюючи величину струму розжарення еталонної лампочки, добиваються однакової яскравості їх світіння. У цьому випадку температура нитки еталонної лампочки і спіралі стануть однаковими.

У роботі визначають сталу Стефана – Больцмана. Як тіло випромінювання використовується спіраль лампи розжарювання. Потужність, що затрачується на нагрівання спіралі, визначають за показаннями амперметра і вольтметра. Ця потужність дорівнює кількості енергії, що випромінюється тілом відповідно до закону Стефана – Больцмана.

$$IU = \sigma T^4 S, \quad (2.1)$$

де I , U – сила струму і напруга;
 S – площа поверхні спіралі.

Підведена до спіралі енергія йде не тільки на випромінювання, частина її губиться за рахунок теплопровідності (газу, провідників). Крім того, спіраль лампи не є абсолютно чорним тілом. Тому формула (2.1) переписується у вигляді

$$k_1 IU = k_2 S \sigma T^4, \quad (2.2)$$

де k_1 враховує, яка частина енергії затрачується на випромінювання;
 k_2 – коефіцієнт, який враховує, що спіраль не є абсолютно чорним тілом.

Усі ці фактори можна врахувати одним експериментально визначеним коефіцієнтом:

$$M = k_1 / (k_2 S).$$

Тоді робоча формула приймає вигляд

$$MIU = \sigma T^4 . \quad (2.3)$$

2.2 Опис експериментальної установки

У даній роботі використовується пірометр зі зникаючою ниткою ОППІР-09. На рисунку 2.1 показані оптична й електрична схеми пірометра. Світло від джерела 1 фокусується об'єктивом 2 пірометра в площину, у якій розташовується нитка 4 фотометричної лампи. За допомогою окуляра 6 око спостерігача 7 бачить сполучені зображення поверхні тіла й нитки лампи. Змінюючи величину опору R , можна змінювати силу струму, що протікає через нитку лампи, і відповідно яскравість нитки. Добиваються збігу яскравостей тіла й нитки, тобто зникнення зображення нитки на тлі тіла. Тоді за шкалою гальванометра 8, включеного паралельно нитці, визначають температуру в градусах Цельсія. На рисунку 2.1 показані світлофільтр 3, що послабляє, і монохроматичний (червоний) світлофільтр 5.

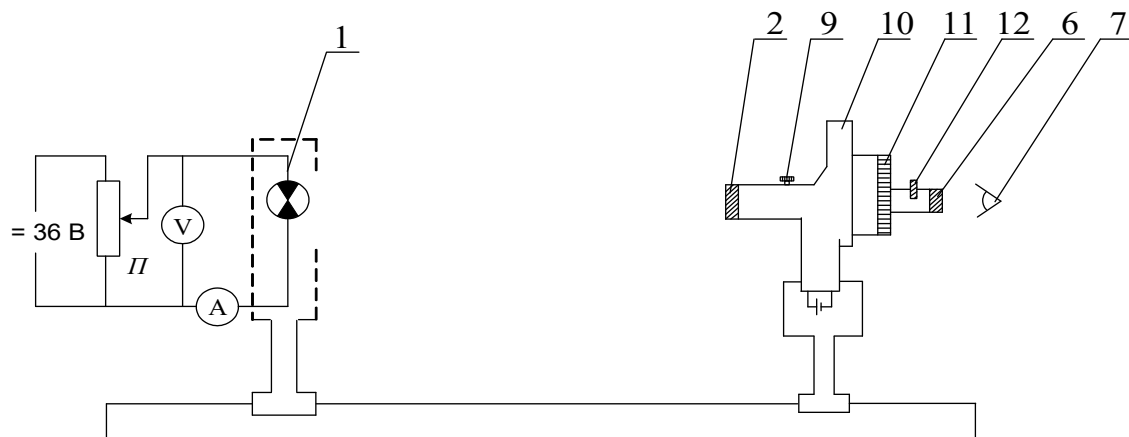


Рис. 2

Рисунок 2.1 – Оптична й електрична схеми пірометра

На рисунку 2.2 показана блок-схема експериментальної установки, що складається з пірометра й електричної схеми лампи 1, вольфрамова нитка якої є випробуваним тілом випромінювачем. Змінюючи положення рухливого контакту потенціометра П, змінюють силу струму лампи й напруги на ній. Відповідно змінюється потужність, що подається на випромінювач, і температура вольфрамової нитки лампи.

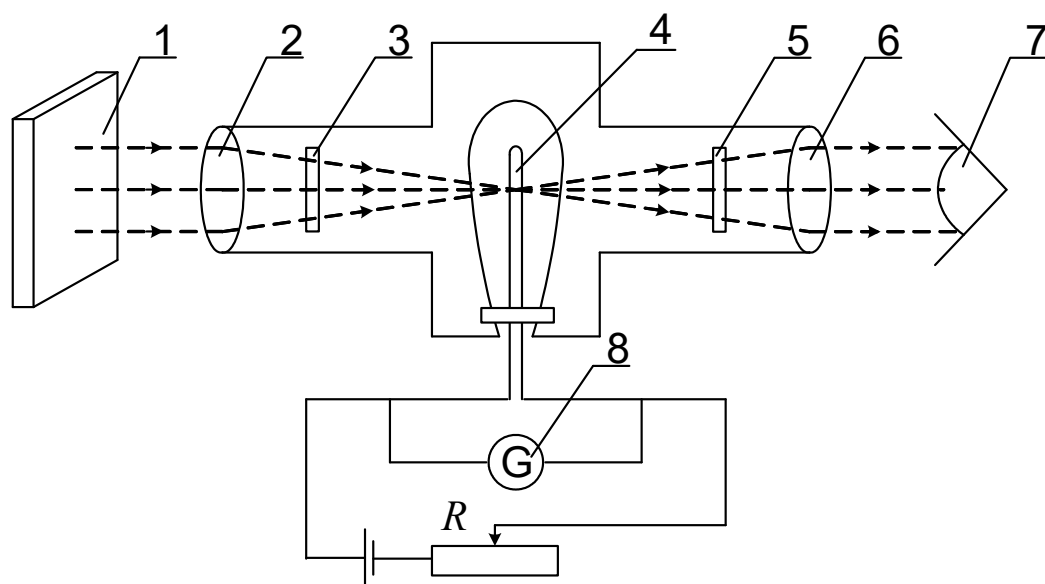


Рисунок 2.2 – Блок-схема установки

2.3 Робоче завдання

1 Увести весь опір реостата пірометра, повертаючи кільце пірометра вліво до упору, „0” сумістити з „0”.

2 Увімкнути прилад у мережу 220 В.

3 Спостерігаючи оком нитку пірометра і спіраль лампочки через окуляр, поступово обертати за годинниковою стрілкою кільце реостата пірометра доти, поки нитка і спіраль не будуть світитися з однаковою яскравістю. У цей момент на верхній шкалі пірометра зробити відлік температури ($t^{\circ}\text{C}$) і перевести її в абсолютну шкалу. На амперметрі і вольтметрі зняти значення сили струму і напруги (кільце пірометра обертати повільно, зупиняючись і очікуючи, поки нитка пірометра не прогріється).

4 За формулою (2.3) обчислити значення сталої Стефана – Больцмана .

5 Повторити дослід ще два рази, змінюючи накал лампи розжарювання .

Коефіцієнт M дивись у таблиці на приладі.

Контрольні питання

1 Яке тіло називають абсолютно чорним? Що розуміють під терміном „сіре тіло” ?

2 Сформулюйте закони, яким підкорюється випромінювання абсолютно чорного тіла.

3 Що таке спектральна густина випромінювання? Як і від чого вона залежить?

4 Що таке інтегральна густина випромінювання? Як вона пов'язана зі спектральною?

3 Лабораторна робота 12

ВИВЧЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕФЕКТУ

МЕТА РОБОТИ: ознайомитися з принципом роботи фотоелемента, дослідити залежність сили фотоструму від напруги, побудувати вольт-амперну характеристику фотоелемента.

3.1 Пояснення до роботи

Дія фотоелементів із зовнішнім фотоелементом заснована на втраті негативного заряду катодом фотоелемента при висвітленні його поверхні. Якщо на фотокатод подіяти світлом, що містить довжини хвиль, здатні вирвати електрони, то в колі потече струм, величина якого залежить від освітленості фотокатода світлом і від спектрального складу джерела світла. Електрони з освітленого катода летять на анод і прискорюються електричним полем, прикладеним між катодом і анодом.

Фотострум, що протікає у колі фотоелемента, вимірюється мікроамперметром і зростає залежно від напруги, яка подається на анод фотоелемента, але при деякій напрузі досягається струм насичення і подальше підвищення напруги не веде до його збільшення.

Залежність сили фотоструму у фотоелементі від величини наведеної на нього напруги (при незмінній освітленості фотокатода) називається вольт-амперною характеристикою фотоелемента.

У даній роботі для вивчення зовнішнього фотоелементу використовується сурм'яно-цезієвий вакуумний (СЦВ) фотоелемент. Він улаштований у такий спосіб: на стінку колби наноситься шар сурми, оброблений парами цезію. Цей шар є катодом. Щоб більшість електронів, що випускаються катодом при його висвітленні, потрапило на анод, останній поміщають у центрі колби. У колбі створюється вакуум порядку 10^{-6} мм рт. ст. Сурм'яно-цезієвий фотоелемент використовується для об'єктивної фотометрії (як замітник ока), тому що його спектральна характеристика може бути погоджена зі спектральною характеристикою людського ока.

Схема для зняття вольт-амперної характеристики фотоелемента складена в окремому стенді.

Принципова електрична схема установки показана на рисунку 3.1.

Із другої обмотки трансформатора ТР подається змінна напруга (12 В) на лампу освітлювача Л і через випрямляч В – постійна напруга (до 150 В) на потенціометри R1 і R2.

Для виміру напруги на електродах фотоелемента служить вольтметр E59-PV, ИП1. Струм у ланцюзі фотоелемента реєструє комбінований прилад-мультиметр-РА, ИП2.

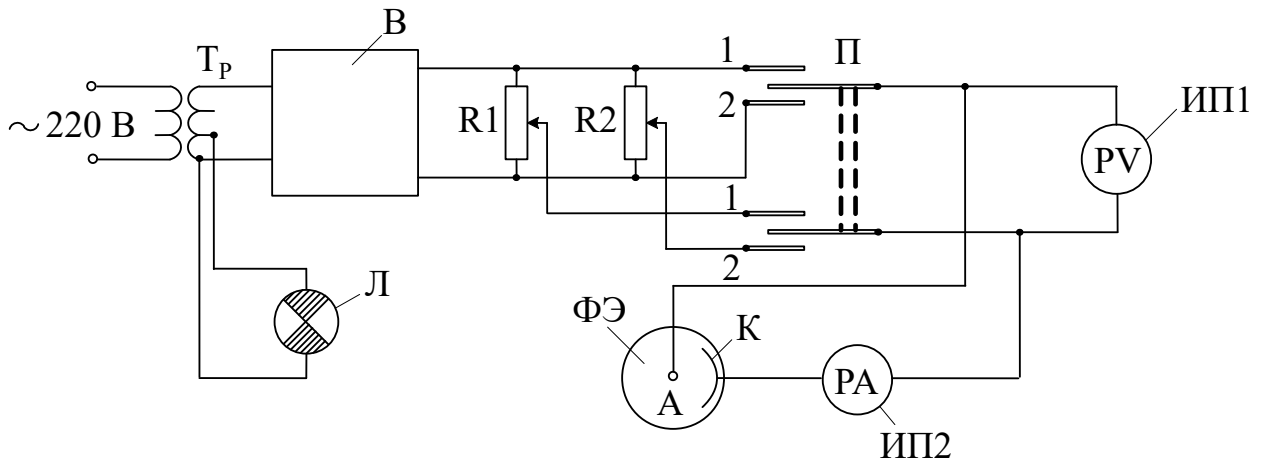


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема

3.2 Робоче завдання

1 Увімкнути стенд у мережу 220В (тумблер праворуч на лицьовій панелі).

2 Змінюючи за допомогою потенціометра „анод” напругу U , що подається на анод фотоелемента, від 0 до 150 В з інтервалами по 10 В, записати покази мікроамперметра.

3 За отриманими значеннями струму і напруги побудувати вольт-амперну характеристику даного фотоелемента .

4 Визначити інтегральну чутливість фотоелемента за формулою

$$\gamma = iI^2/IS,$$

де i – струм насичення;

l – відстань від джерела світла до фотокатода;

I – сила світла джерела у свічках;

S – площа фотокатода (для СЦВ-3 $S = 4 \text{ см}^2$).

Контрольні питання

- 1 У чому полягає явище фотоелектричного ефекту?
- 2 Сформулюйте закони Столетова для фотоелектричного ефекту.
- 3 Сформулюйте і поясніть рівняння Ейнштейна для фотоелектричного ефекту.
- 4 Що таке «червона» границя фотоелектричного ефекту?

4 Лабораторна робота 13 ВИВЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ ТА НАПІВПРОВІДНИКІВ

МЕТА РОБОТИ: побудувати графік залежності опору провідників і напівпровідників від температури. Визначити температурний коефіцієнт опору металу та ширину забороненої зони напівпровідника.

4.1 Загальні положення

При об'єднанні атомів у кристалічні тіла структура енергетичних рівнів зазнає істотних змін. Ці зміни майже не торкаються найбільш глибоких рівнів, які утворюють внутрішні заповнені оболонки. Разом з тим докорінно перебудовуються зовнішні рівні валентних електронів.

В ізольованих атомах одного й того ж елемента енергії відповідних рівнів однакові. При зближенні атомів ці енергії починають змінюватися (рисунок 4.1, а). Розщеплення енергетичних рівнів схоже на розходження частот коливань, що відбувається з появою зв'язку між електричними коливаннями контурами, настроєними на одну й ту ж частоту.

Системи „розщеплення” рівнів утворюють у кристалі дозволені енергетичні зони, розділені забороненими зонами (рисунок 4.1, б). Ширина зони визначається силою зв'язку між атомами і не залежить від кількості атомів у кристалі. Разом з тим кількість рівнів у кожній енергетичній зоні дорівнює кількості атомів у кристалі.

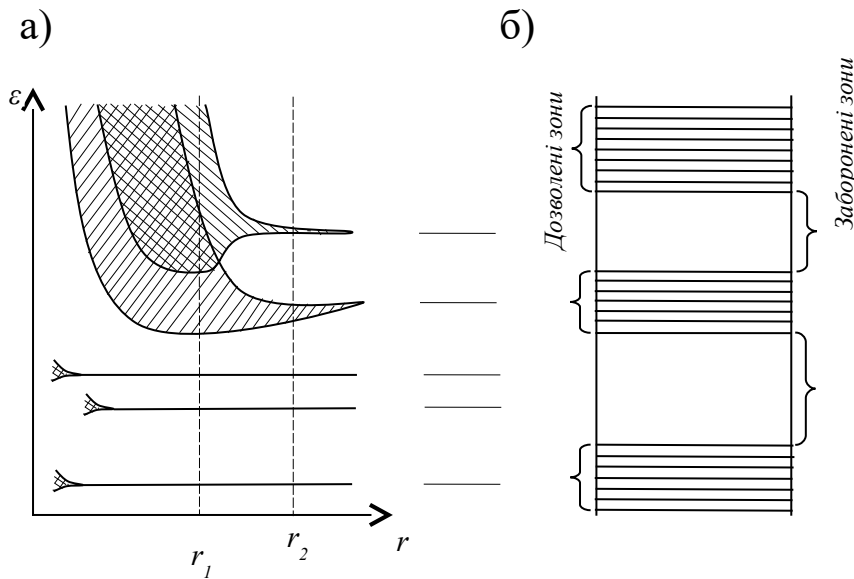


Рисунок 4.1 – Структура енергетичних рівнів

Відповідно до принципу Паулі на кожному енергетичному рівні не можуть знаходитись два електрони з протилежно напрямленими спінами. При температурі абсолютного нуля електрон намагається розташуватися на енергетичних рівнях так, щоб енергія системи була мінімальною. Внаслідок цього на енергетичній діаграмі кристала заповненими виявляються кілька найбільш низьких енергетичних зон (включаючи нижні нерозщеплені рівні сильно зв'язаних електронів), а вище розміщуються незаповнені енергетичні рівні.

Дозволену зону, що виникає з того рівня, на якому знаходяться валентні електрони в основному стані атома, називають *валентною зоною*. Залежно від ступеня заповнення зони електронами можливі два випадки. У першому випадку електрони заповнюють валентну зону неповністю (рисунок 4.2, *a*). Тому досить надати електронам, що знаходяться на верхніх рівнях, невелику енергію ($10^{-23} - 10^{-22} \text{ eV}$) для того, щоб перевести їх на більш високі рівні. Енергія теплового руху (kT) становить величину порядку 10^{-4} eV/K . Отже, при температурах, відмінних від абсолютного нуля, частина електронів переходить на більш високі рівні. Тому електрони прискорюються електричним полем у напрямку, протилежному до напрямку поля. Таким чином, кристал з подібною схемою енергетичних рівнів буде добре проводити електричний струм і є *металом*.

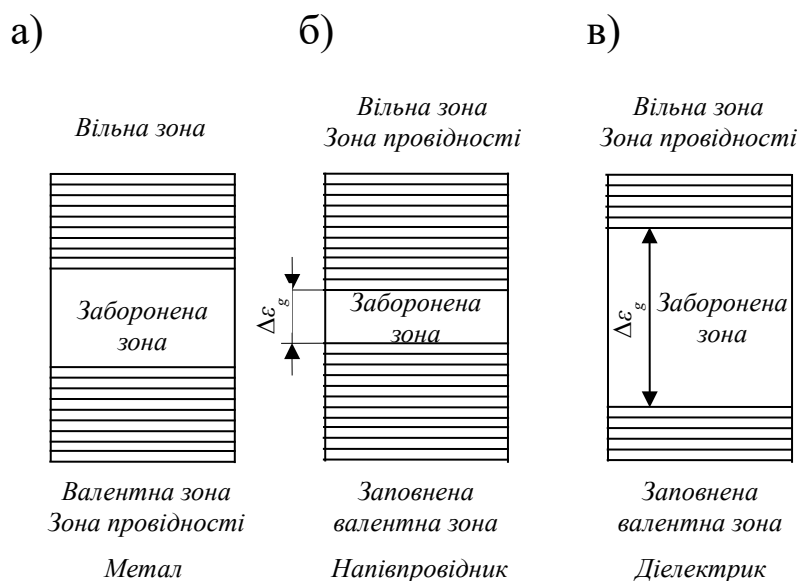


Рисунок 4.2 – Ступені заповнення енергетичних зон

Часткове заповнення валентної зони (у випадку металу її називають *зоною провідності*) спостерігається тоді, коли на останньому зайнятому рівні в атомі знаходиться лише один електрон або якщо має місце перекривання дозволених зон. У першому варіанті N електрони провідності заповнюють попарно тільки половину рівнів валентної зони. В іншому – кількість рівнів у зоні провідності більше за N так, що навіть коли кількість електронів провідності дорівнює $2N$, вони не зможуть зайняти всі рівні зони.

У другому випадку рівні валентної зони (ϵ_v) зайняті електронами повністю (рисунок 4.2, б, в). Наступна вільна зона називається *зоною провідності* (ϵ_c), а зона між останньою та валентною – *забороненою* (ϵ_g). У матеріалі із зонною діаграмою такого типу приріст енергії електрона не може бути меншим за ширину забороненої зони $\Delta\epsilon_g$. Електричне поле з напруженістю, меншою, ніж та, при якій відбувається електричний пробій кристала, надати електрону таку енергію не може. Тому подібні матеріали при абсолютному нулі температури електричний струм не проводять. При температурах, відмінних від 0 K , внаслідок теплового збудження частина електронів з верхніх рівнів валентної зони переходить на нижні рівні зони провідності. При

цих умовах електричне поле може змінювати стан таких електронів. Крім того, внаслідок утворення вакантних рівнів у валентній зоні (дірок) електрони цієї зони під дією зовнішнього поля також можуть змінювати свою швидкість. Провідність речовини визначається кількістю носіїв, що перейшли з валентної зони в зону провідності (загальною кількістю електронів і дірок), а отже, шириною забороненої зони матеріалу з енергетичною діаграмою такого типу домовились поділяти на напівпровідники ($\Delta\varepsilon_g \leq 2$ еВ) та діелектрики ($\Delta\varepsilon_g > 2$ еВ) (рисунок 4.2, б, в).

Розглянемо, як залежить провідність металів і напівпровідників (діелектриків) від температури.

Відповідно до закону Ома в диференціальній формі

$$j = \sigma E = enV, \quad (4.1)$$

де j – густина струму;

σ – питома провідність;

E – напруженість електричного поля;

e, n, V – заряд, концентрація та швидкість носіїв струму.

Звідси для провідності матеріалу можна записати вираз

$$\sigma = en \frac{V}{E} = en\mu, \quad (4.2)$$

де μ називається рухливістю носіїв струму.

З останнього виразу видно, що температурна залежність питомої провідності визначається температурною залежністю концентрації вільних носіїв струму, а також температурною залежністю їхньої рухливості.

У металах концентрація носіїв, що беруть участь в електропровідності, від температури не залежить. Їхня рухливість при достатньо високих температурах визначається розсіянням на теплових коливаннях кристалічної ґратки (так званих фононах). Цей механізм розсіяння приводить до такої залежності рухливості носіїв від температури

$$\mu = AT^{-1}, \quad (4.3)$$

де A – стала величина.

Внаслідок цього залежність опору металів від температури виявляється лінійною

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S} = \frac{1}{neAT^{-1}} \frac{l}{S} = \alpha_0 T_0. \quad (4.4)$$

Останній вираз можна звести до вигляду

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (4.5)$$

де R , R_0 – опори матеріалу при температурі t та нульовій (за шкалою Цельсія) температурі;
 α – температурний коефіцієнт провідності.

Залежність $R=f(t)$ опору металів від температури дає можливість за тангенсом кута нахилу прямої визначити температурний коефіцієнт електропровідності α матеріалу.

У власних напівпровідниках провідність здійснюється як електронами, так і дірками. З урахуванням цього вираз для електропровідності можна записати у вигляді

$$\sigma = en_e \mu_e + en_p \mu_p = en(\mu_e + \mu_p), \quad (4.6)$$

де n_e , n_p – концентрації електронів та дірок;
 μ_e , μ_p – рухливості електронів та дірок.

На відміну від металів у напівпровідниках концентрація вільних носіїв заряду істотно залежить від температури. З підвищенням температури кількість носіїв, перекинутих з валентної зони в зону провідності внаслідок теплового збудження, експоненціально зростає

$$n = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{\Delta \varepsilon_g}{2kT}}, \quad (4.7)$$

де N_c (N_v) – стала, яка називається ефективною густиною станів електронів (дірок) у зоні провідності (валентній зоні).

Разом з тим рухливість носіїв заряду при не дуже низьких температурах визначається співвідношенням

$$\mu = BT^{-m}, \quad (4.8)$$

де m – залежно від механізму розсіяння може набувати значень $m = -\frac{2}{3}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$.

Підставляючи вирази (4.7) і (4.8) у (4.6) та нехтуючи слабкою залежністю рухливості від температури, остаточно одержимо

$$\sigma = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{\Delta \varepsilon_g}{2KT}} BT^{-m} \approx \sigma_0 e^{-\frac{\Delta \varepsilon_g}{2KT}}, \quad (4.9)$$

де σ_0 – деяка стала.

Логарифмуючи рівняння (4.9), будемо мати таке:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{\Delta \varepsilon_g}{2KT}. \quad (4.10)$$

Як бачимо з (4.10), залежність $\ln \sigma$ від $\frac{1}{T}$ зображається прямою лінією для власних напівпровідників.

На осі ординат ця пряма відсікає відрізок $\ln \sigma_0$, а тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис дорівнює $\frac{\Delta \varepsilon_g}{2KT}$. Це дає можливість з температурної залежності провідності напівпровідників (діелектриків) визначити ширину забороненої зони $\Delta \varepsilon_g$.

4.2 Прилади та обладнання

Основними блоками стенда для дослідження залежності опору металів і напівпровідників від температури є термостат та вимірювально-комутаційний блок. Всередині реостата розташовані металевий провідник R_m та напівпровідник R_n . Джерело змінного струму G призначене для живлення нагрівального елемента $R_{наг}$, силу струму, а отже, і температуру всередині термостата дозволяє регулювати ЛАТР Л1. Сила змінного струму вимірюється міліамперметром A_0 . Для визначення співвідношення між струмом через нагрівальний елемент і температурою термостата необхідно скористатися градуювальною кривою, наявною на робочому місці.

До складу вимірювально-комутаційного блока входять омметр (Ом) та перемикач S_3 . Перемикач S_3 дає змогу під'єднати до омметра по черзі або металевий провідник або напівпровідник. Омметр дозволяє вимірювати опір навантаження.

4.3 Робоче завдання

1 Скласти вимірювальну схему, скориставшись рисунком 4.3.

2 З дозволу керівника занять увімкнути цифровий прилад та перевести його в режим вимірювання опорів. Перемикач ЛАТР повинен знаходитись у положенні „менше”. Струм у колі термостата повинен бути відсутнім.

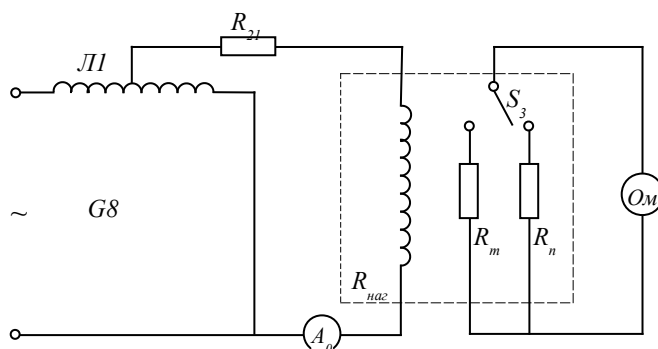


Рисунок 4.3 – Вимірювальна схема

3 За допомогою перемикача S_3 під'єднати до вимірювального приладу по черзі металевий провідник R_m та напівпровідник R_n . Провести вимірювання опорів при кімнатній температурі. Дані занести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Струм нагрівача I , мА	Температура термостата T , К	Опір металу R_m , Ом	Опір напівпровідника R_n , Ом

4 За допомогою ЛАТР, обертаючи барабан проти годинникової стрілки, встановити струм у колі нагрівального елемента 100 мА. Тримати термостат у такому режимі нагріву протягом 1-2 хвилин. Використовуючи графіки залежності температури опорів R_m і R_n від струму нагрівача, визначити їхні температури. Результати занести до таблиці 4.1. Вимірювання опорів R_m і R_n при даній температурі провести відповідно до п. 3.

5 Збільшити струм у колі нагрівального елемента на 50 мА. Провести операції, описані в п. 4. Вимірювання продовжувати доти, поки струм термостата не досягне 600 мА. Категорично забороняється збільшувати струм у колі вище даного значення!

6 Результати вимірювань зобразити у вигляді графіка. Для металічного провідника побудувати графік залежності $R=f(t)$, для напівпровідника $-\ln \sigma = \varphi\left(\frac{1}{T}\right)$.

7 З рівняння прямої $R=f(t)$ визначити температурний коефіцієнт опору металу згідно з співвідношенням

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1} \cdot$$

8 За тангенсом кут нахилу прямої $\ln \sigma = \varphi\left(\frac{1}{T}\right)$, за допомогою співвідношення

$$\Delta\varepsilon_g = 2K \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

визначити ширину забороненої зони напівпровідникового матеріалу. Результат подати в електрон-вольтах.

Контрольні питання

1 Пояснити механізм утворення енергетичних зон у кристалах.

2 Які речовини називаються провідниками, напівпровідниками, діелектриками? Чим пояснюється відмінність їхньої провідності?

3 Розглянути механізм утворення вільних носіїв у напівпровідниках.

4 Пояснити температурну залежність опору металів. Записати вираз, що описує цю залежність.

5 Пояснити температурну залежність опору напівпровідників. Записати відповідний вираз.

6 Пояснити високу чутливість напівпровідників до зовнішніх впливів, у тому числі до зміни температури.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1990.

2 Савельев И.В. Курс общей физики.– М.: Наука, 1982. – Т. 3.

3 Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. – М.: Высшая школа, 1970.

4 Иверонова В.И. Физический практикум. – М.: Наука, 1968.

5 Базакуца Б.А. Лабораторный практикум по физике. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1972.

