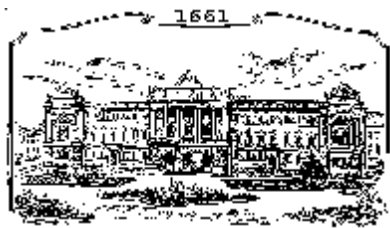


Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
із курсу "ОПТИКА"
для студентів природничих факультетів



Львів
Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка
2002

Рекомендовано до друку
кафедрою загальної фізики
Протокол № 6 від 27.12.2001

Уклали: Олег Михайлович Бордун,
Христина Гнатівна Лах

Відповідальний за випуск З.В. Стасюк
Редактор М.В. Ріпей
Технічний редактор С.З. Сенік
Коректор М.В. Михалюк

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
із курсу "ОПТИКА"
для студентів природничих факультетів

Підп. до друку 30.05.2002. Формат 60x84/16.
Папір друк. Умовн. друк. арк. 2,1. Друк на різогр.
Обл.-вид.арк. 2,2. Тираж 200 прим. Зам. 337.

Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка.
79000. Львів, вул. Дорошенка, 41.

Методичні вказівки призначені на допомогу студентам під час виконання лабораторних робіт з оптики. Поданий список літератури і перелік лабораторних робіт, вказівки для самостійного вивчення теоретичного матеріалу, а також питання, з методики проведення експерименту.

Назви лабораторних робіт:

1. Визначення показника заломлення рідини за допомогою рефрактометра Аббе (робота N 407).
2. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля (робота N 411).
3. Визначення радіуса кривизни лінзи та довжини світлової хвилі за допомогою кілець Ньютона (робота N 412).
4. Вивчення дифракційної ґратки (робота N 413).
5. Дослідження лінійчастого спектра випромінювання (робота N 415).
6. Вивчення явища природного повертання площини поляризації світла (робота N 419).
7. Вивчення законів зовнішнього фотоефекту (робота N 421).
8. Визначення червоної межі фотоефекту і роботи виходу електронів (робота N 422).
9. Визначення сталої в законі Стефана-Больцмана (робота N 427).
10. Перевірка закону Малюса (робота N 430).

Список літератури

1. Бушок Г. Ф., Півень Г. Ф. Курс фізики: В 2 ч. – К.: Вища шк. 1983. Ч.2. – 279 с.
2. Кучерук І. М., Горбачук І. Т. Загальний курс фізики: В 3 т. – К.: Техніка, 1999. – Т.3. – 520 с.
3. Савельев І. В. Курс общей фізики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т.2. – 480 с.
4. Савельев І. В. Курс общей фізики: В 3 т. – М.: Наука, 1968. – Т.3. – 415 с.
5. Грабовський Р. І. Курс фізики. – М.: Высш. шк. 1974. – 552 с.
6. Яворський Б. М., Детлаф А. А. Курс фізики: В 3 т. – М.: Высш. шк. 1979. – Т.3. – 553 с.
7. Физический практикум: Электричество и оптика / Под ред. В. И. Ивероновой – М.: Наука, 1968. – 815 с.
8. Трофимова Т. И. Курс фізики. – М.: Высш. шк. 1990. – 478 с.
9. Загальна фізика: Лабораторний практикум / За ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища шк. 1992. – 509 с.

Загальні вказівки

Заздалегідь до виконання лабораторної роботи студент повинен:

- ознайомитись з методичними вказівками до роботи;
- самостійно засвоїти конкретний теоретичний матеріал за запропонованою літературою (підручник, лекції, практикуми);
- скласти конспект у спеціально для цього відведеному зошиті (короткий виклад теоретичного матеріалу, виведення розрахункових формул і формул для обчислення похибок, порядок виконання роботи, таблиці для запису результатів вимірів та обчислень);
- скласти бланк звіту про виконання лабораторної роботи.

Вимоги до лабораторних занять з оптики

Тільки у разі одержання допуску студент може приступити до виконання роботи (проводить вимірювання на певній лабораторній установці, записує результати в таблицях, виконує обчислення та показує їх викладачеві).

Дотримання правил техніки безпеки, уважність і зосередженість в процесі вимірювань, акуратне ставлення до приладів, свідоме проведення експерименту – необхідні умови успішного виконання роботи. Роботу з оптичними приладами слід починати лише після ознайомлення з інструкцією, виявивши необхідні перестороги. В оптичній лабораторії потрібно ознайомитись з режимами роботи джерел світла, фотоелементів і фотопомножувачів. Не слід торкатись пальцями оптичних поверхонь. Обчислення слід виконувати у міжнародній системі одиниць (СИ).

У процесі виконання роботи й опрацювання результатів необхідно звертати увагу на метод дослідження, умови виконання експерименту, точність вимірювальних приладів.

Робота № 407. Визначення показника заломлення рідини за допомогою рефрактометра Аббе

Мета роботи: дослідження залежності показника заломлення розчину від його концентрації та визначення концентрації невідомого розчину.

Теоретичний матеріал: закони геометричної оптики, абсолютний та відносний показник заломлення, повне внутрішнє відбивання.

Література: [8] п.114,115; [2] п.2.2; [2] п.114,115; [1] п.10-12; [5] п.165; [9] п.87.
Прилади і матеріали: рефрактометр Аббе, набір пробірок з розчинами відомих концентрацій, розчин невідомої концентрації.

У роботі проводиться визначення показника заломлення рідини – параметра настільки важливого, що на підставі вивчення його значень можна визначати структуру складних молекул і тип хімічного зв'язку між атомами, досліджувати з великою точністю процентний склад рідких і газоподібних сумішей, їхні густини, дифузю та інші явища, що відбуваються у рідких середовищах.

Рефрактометр Аббе використовується для швидкого визначення показника заломлення рідин, які беруться в невеликій кількості. Найважливішою частиною рефрактометра є дві призми ABC і DEF (див. рисунок), виготовлені із скла з великим показником заломлення ($n = 1,72$). Між ними вводиться крапля досліджуваної рідини, яка розпливається тонким шаром під час опускання верхньої призми. Грань DF призми DEF – матова. Показник заломлення рідини за допомогою рефрактометра можна визначати двома способами. Першим способом пучок світла з допомогою спеціального дзеркала спрямовується на освітлювальну призму DEF на матову грань DF . Грань DF розсіює світло, тому промені в рідині попадають на грань AC вимірювальної призми під різними кутами. Найбільш можливий кут падіння променів на грань AC , зрозуміло, дорівнює 90° . У цьому випадку вхідний промінь піде вздовж поверхні DF . Ці ковзні промені після заломлення визначають межу поширення світла – межу заломлення. Положення цієї межі відповідає величині граничного кута.

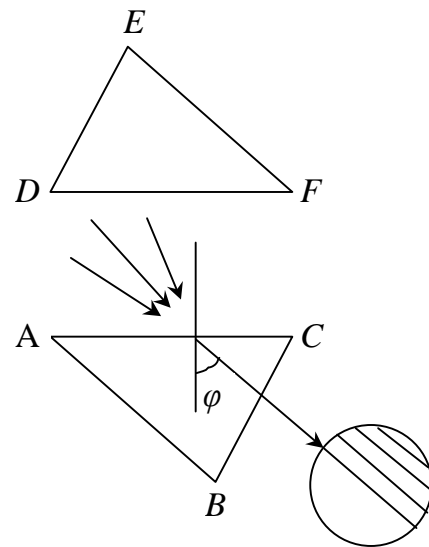


Рис.1. Схема ходу променів через рефрактометр Аббе

За другим способом пучок світла спрямовується на грань AB вимірювальної призми ABC . У цьому випадку світлові промені переходять з більш густого середовища в менш густе (з призми в рідину). У цьому разі простежується явище повного внутрішнього відбивання, коли кут падіння більший від граничного. Промені, що падають на поверхню AC під кутом, меншим від граничного, пройдуть в рідину і призму DEF , а промені, які падають на рідину під кутом, більшим від граничного, зазнають повного внутрішнього відбивання. Промені, поширення яких відповідає величині граничного кута, і в цьому випадку визначають межу поширення світла.

В обох способах у полі зору труби, розташованої на шляху поширення променів, що пройшли через грань BC , спостерігаються дві області: одна – яскраво освітлена, а інша – темна; положення межі залежить від величини граничного кута, тобто від показника заломлення рідини.

Для слабопрозорих і непрозорих рідин застосовується лише другий спосіб – спостереження межі повного внутрішнього відбивання. Для прозорих рідин можна застосовувати обидва способи, однак ліпше застосовувати перший, тому що межа заломлення у цьому випадку більш чітка. Зокрема у

цукровій промисловості застосовується рефрактометр з окулярною шкалою, проградуєваною у процентному вмісті цукру (права шкала).

Теорія рефрактометра Аббе справедлива лише для монохроматичного світла. У процесі використання білого світла межа між освітленою і темною областями поля зору буде забарвлена. Щоб отримати і в цьому випадку чітке зображення, перед об'єктивом зорової труби розташовують компенсатор зі змінною дисперсією. Компенсатор складається з двох призм. Його можна встановити так, щоб дисперсія його призм компенсувала дисперсію рідини і призми рефрактометра. Межа заломлення тоді буде чіткою навіть у випадку використання білого світла.

Призми розраховані так, щоб монохроматичний промінь з довжиною хвилі $\lambda = 589,3$ нм не зазнавав відхилення. Поворотом компенсатора добиваються, щоб межа була незабарвлена і чітка. Це відповідає довжині хвилі, для якої наводять значення показників заломлення.

Вимірювання

1. Спрямують світло на освітлювальну призму. Відкривши камеру, наносять обережно, не торкаючись призми, одну-дві краплі досліджуваної рідини на поверхню вимірювальної призми. Закривають камеру і встановлюють окуляр на чітке зображення поля зору. Поворотом ручки компенсатора добиваються зникнення забарвлення межі поділу.
2. Переміщенням окуляра добиваються збігу трьох рисок або горизонтальної лінії перехрестя з межею темного і світлого поля зору (за лівою шкалою ведуть відлік показника заломлення для певного розчину, поділлка – 0,001).
3. Обережно витирають призми фільтрувальним папером і аналогічно визначають показники заломлення розчинів заданих і невідомих концентрацій.
4. Відкладаючи по осі абсцис концентрації розчинів і по осі ординат показники заломлення, будують на міліметровому папері графік залежності показника заломлення від концентрації розчину. За графіком визначають концентрації невідомих розчинів.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під абсолютним і відносним показником заломлення речовини?
2. Сформулюйте основні закони геометричної оптики.
3. Від чого залежить показник заломлення речовин?
4. У чому полягає суть явища повного внутрішнього відбивання?
5. Який зв'язок між граничним кутом і відносним показником заломлення?
6. Поясніть принцип роботи рефрактометра Аббе.
7. Чому нижня грань освітлювальної призми зроблена матовою?

Робота № 411. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля

Мета роботи: застосовуючи інтерференційний метод, визначити довжину світлової хвилі.

Теоретичний матеріал: когерентність, інтерференція світлових хвиль, принцип суперпозиції світлових хвиль, оптична різниця ходу, різниця фаз, умови максимуму і мінімуму у процесі інтерференції, методи одержання інтерференції світла, біпризма Френеля, формула лінзи.

Література: [3] п. 119–121, с. 338-352; [4] п. 17–19, с. 58-75; [7] п. 3.1-3.7; [2] п. 121, 122, с. 425-431; [1] п. 4-7, с. 14-24, [5] с. 252-265; [9] п.84

Прилади і матеріали: біпризма Френеля, джерело світла, щілина, світлофільтри, лінза, відліковий мікроскоп, лінійка.

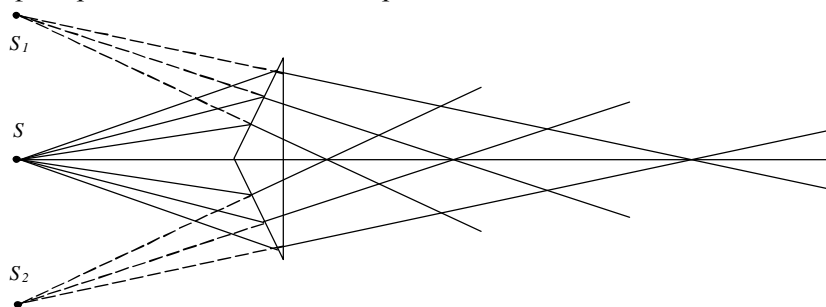


Рис. 2. Схема ходу світлових променів через біпризму Френеля

Інтерференційну картину можна отримати за допомогою біпризми Френеля, що складається з двох призм з малими кутами заломлення α , складеними основами. Пучок світла, що падає від щілини після заломлення в біпризмі, розділяється на два пучки, які перекриваються так, ніби виходять з двох уявних джерел S_1 і S_2 (рис. 2). Джерела S_1 і S_2 когерентні і в просторі за біпризмою спостерігається інтерференційна картина, зосереджена у всій області перетину пучків. Якщо на деякій відстані встановити екран або розглядати інтерференційну картину в мікроскоп, то залежно від різниці ходу променів простежується максимум або мінімум інтенсивності світла.

Встановивши між біпризмою і мікроскопом лінзу, можна за її допомогою джерела S_1 і S_2 спроектувати на площину окулярного мікрометра мікроскопа.

Виведення розрахункової формули. Довжину хвилі світла можна визначити, вимірюючи параметри інтерференційної картини. Положення світлих або темних смуг, які спостерігають в окулярі мікроскопа, залежить від різниці ходу променів Δ , що йдуть від джерел S_1 і S_2 у точку M ($\Delta = S_2M - S_1M$, рис. 3).

У точці O перебуває центральна світла смуга (різниця фаз дорівнює нулю).

Відстань k -ї світлої смуги від центральної

$$x_k = \frac{L}{a} k \lambda,$$

де $a = S_1S_2$ – відстань між уявними джерелами; L – відстань від площини, яка має джерела S_1 і S_2 , до площини спостереження інтерференційної картини.

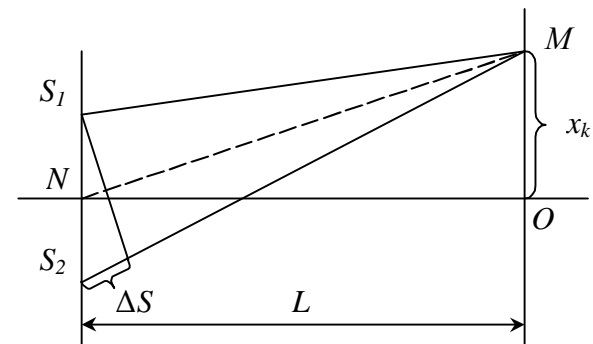


Рис. 3. Визначення різниці ходу інтерферуючих променів

Положення темних смуг визначається з умови:

$$x_k = \frac{L}{a} (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

де x_k – відстань від центральної смуги до k -ї темної.

Відстань між двома світлими або темними смугами Δx :

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{L}{a} \lambda (k + 1) - \frac{L}{a} \lambda k = \frac{L}{a} \lambda.$$

$$\text{Отже, } \lambda = \frac{a}{L} \Delta x.$$

Підготовка до вимірювання. На оптичній лаві розміщують біпризму на відстані 70–80 см від щілини. З іншого боку біпризми, на відстані 30–50 см, знаходиться відліковий мікроскоп. Вікно освітлювача, середина щілини, біпризма і мікроскоп повинні бути встановлені на одній висоті. Щілина має бути паралельною до ребра біпризми. Світлофільтр закріплений на вікні освітлювача.

Порядок виконання роботи

1. Змінюючи ширину щілини і пересуваючи мікроскоп вздовж оптичної лави, добиваються чітких інтерференційних смуг.
2. За допомогою відлікового мікроскопа визначають Δx – відстань між двома сусідніми темними або світлими інтерференційними смугами. Для цього необхідно виміряти відстань між достатньо віддаленими темними (світлими) смугами і розділити її на кількість світлих (темних) смуг.

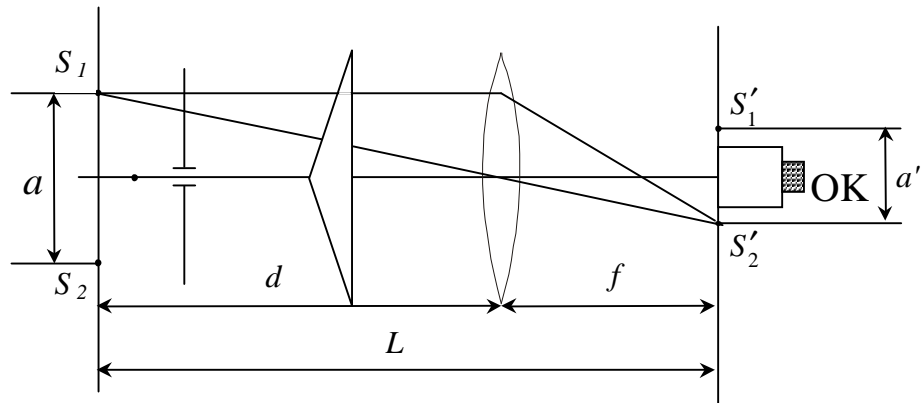


Рис. 4. Схема проведення вимірювань

3. Відстань між уявними джерелами S_1 і S_2 вимірюють за допомогою збірної лінзи. Для цього між щілиною і мікроскопом на оптичну лаву встановлюють лінзу (рис. 4) та, переміщуючи її, добиваються чіткого зображення двох щілин у фокальній площині окуляра мікроскопа. Зображення лежить у цій же площині, в якій спостерігалась інтерференційна картина. За шкалою окулярного мікрометра мікроскопа вимірюють відстань a' між зображеннями щілин S_1 і S_2 . Тоді відстань між джерелами дорівнює

$$a = a' \frac{d}{f},$$

де d – відстань між лінзою і площиною в якій розміщені джерела, а f – між лінзою і площиною зображення джерел. Вимірюють відстань L від щілини S до фокальної площини мікроскопа.

4. За робочою формулою визначають довжину хвилі світла λ , яке пропускає світлофільтр F .

Таблиця результатів вимірювань та обчислень

№ за/п	Δx , м	a' , м	d , м	f , м	a , м	L , м	λ , нм	$\Delta\lambda$, нм	$\frac{\Delta I}{I} \cdot 100$, %

Формула для обчислення похибки величини, яка не підлягає прямому вимірюванню:

$$\Delta I = I_{\text{ср.}} \sqrt{\left(\frac{\Delta a'}{a'}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2},$$

$$I = I_{\text{ср.}} \pm \Delta I.$$

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище інтерференції світла?
2. Поясніть принцип суперпозиції хвиль.
3. За яких умов спостерігається інтерференція світла?
4. Які ви знаєте способи одержання когерентних хвиль?
5. Який вигляд має інтерференційна картина? Від чого залежить положення максимумів і мінімумів при інтерференції?
6. Для чого в роботі використовують біпризму Френеля?
7. Чи залежить положення темних і світлих смуг від довжини хвилі світла, яке падає на біпризму?

Робота № 412. Визначення радіуса кривизни лінзи і довжини світлової хвилі за допомогою кілець Ньютона

Мета роботи: застосовуючи інтерференційний метод, визначити довжину світлової хвилі, ознайомитись з явищем інтерференції в тонких прозорих пластинках, зокрема, коли інтерференційна картина локалізована на поверхні клина (смуги однакової товщини).

Теоретичний матеріал: когерентність світлових хвиль, інтерференція світла, принцип суперпозиції світлових хвиль, оптична різниця ходу, різниця фаз, умови максимуму і мінімуму у процесі інтерференції, методи одержання інтерференції світла, смуги однакової товщини і нахилу.

Література: [3] п. 119–121, с. 338–352; [4] п. 17–19, с. 58–75; [2] п.3.1–3.7; [5] п. 121, 122, с. 425–431; [1] п. 4–7, с. 14–24, [6] с. 170–175; [9] п. 8.4.

Прилади і матеріали: мікроскоп, освітлювач, світлофільтри, плоско-опукла лінза і плоскопаралельна скляна пластинка, вправлені в оправу на столику мікроскопа.

Кільця Ньютона спостерігаються, коли опукла поверхня лінзи малої

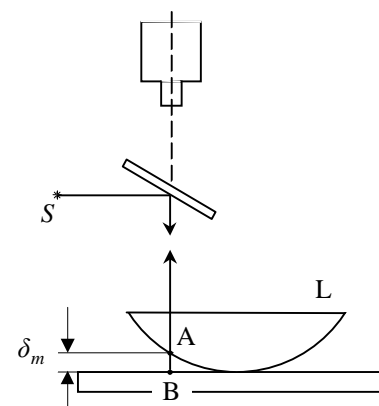


Рис. 5. Схема вимірної установки

кривизни стикається з поверхнею плоскопаралельної відполірованої пластинки. Товщина повітряного проміжку між ними поступово збільшується від центра до країв лінзи. Кільця Ньютона можна спостерігати як у відбитому, так і в заломленому світлі. В роботі для спостереження кілець Ньютона у відбитому світлі застосовують відліковий мікроскоп зразка МІ-1, на якому встановлена пластинка під кутом 45° до осі мікроскопа. На столику мікроскопа розміщена полірована пластинка з чорного

скла, на якій закріплена досліджувана лінза. Світло від освітлювача S (рис.5) падає на скляну пластинку, яка розміщена під кутом 45° . Відбиваючись, світло падає на лінзу L . Промінь у точці A (на нижній поверхні лінзи) розділяється на два: один відбитий, що йде від точки A вгору у мікроскоп, інший – заломлений, який двічі проходить повітряний прошарок δ_m . Цей промінь, відбиваючись від точки B , повертається в точку A , а потім – у мікроскоп (див. рис.5).

Відбиті від верхньої та нижньої межі повітряного прошарку промені інтерферують між собою. Якщо на лінзу падає пучок монохроматичного світла, то в центрі спостерігається темна пляма, оточена світлими і темними кільцями.

Під час спостереження в прохідному світлі центральна пляма буде світлою, світлі кільця змінюватимуться на темні і навпаки. У процесі освітлення білим світлом спостерігаються забарвлені в різні кольори кільця.

Виведення розрахункової формули. У процесі падіння хвиль перпендикулярно до поверхні скла різниця ходу променів Δ дорівнює подвоєній товщині прошарку δ_m (рис. 6) і додатковій різниці ходу $\lambda/2$, зумовленій зміною фази вектора електричної напруженості \vec{E} на π унаслідок відбивання на межі поділу повітря-скло.

$$\Delta = 2d_m + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

З геометричних міркувань

$$d_m = \frac{r_m^2}{2R},$$

де r_m – радіус m -го кільця, R – радіус кривизни лінзи. Враховуючи умови інтерференційного максимуму, з формули (1) одержимо для світлого кільця

$$2d_m + \frac{\lambda}{2} = m\lambda.$$

Підставивши значення d_m , отримаємо:

$$r_{m \text{ світл.}} = \sqrt{(2m-1)R \frac{\lambda}{2}}. \quad (2)$$

Враховуючи умови мінімуму у процесі інтерференції (коливання протилежні за фазою), умова темного кільця буде такою:

$$2d_m + \frac{\lambda}{2} = (2m+1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{або} \quad r_{m \text{ темн.}} = \sqrt{mR\lambda}. \quad (3)$$

За формулами (2) або (3) можна обчислити R . Точніший результат можна одержати, обчислюючи R за різницею радіусів темних кілець r_m і r_n ($m > n$). Тоді вираз для обчислення R має такий вигляд:

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} \quad \text{або} \quad R = \frac{(r_m + r_n)(r_m - r_n)}{(m-n)\lambda}. \quad (4)$$

Довжину хвилі визначають за формулою:

$$\lambda = \frac{(r_m + r_n)(r_m - r_n)}{(m-n)R}. \quad (5)$$

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення радіуса кривизни лінзи

- Спрямовують пучок світла від освітлювача з червоним світлофільтром на скляну пластинку, встановлену під кутом 45° до осі тубуса мікроскопа. Переміщенням тубуса фокусують мікроскоп на кільця. У цьому випадку вертикальну лінію перехрестя в окулярі встановлюють по дотичній до кілець.
- Повертаючи ручку відлікового барабана, встановлюють вертикальну лінію на крайнє кільце ліворуч. Роблять відлік цього положення по шкалі і барабану (на барабані 100 поділок, поділка – 0,01 мм). Положення покажчика позначають на шкалі, а покази барабана додають як соті частини.
- Вертикальну лінію перехрестя послідовно наводять на кільця меншого діаметра і роблять такі ж відліки в цьому ж напрямку. Пройшовши через центральну пляму, відмічають положення цих кілець справа. Різниця відліків для цього кільця становить діаметр кільця. Вертикальну лінію перехрестя необхідно переміщати весь час в одному напрямі – зліва направо.

Таблиця 1. Результати вимірювань радіусів кілець

Номер кільця	Відлік зліва L , мм	Відлік справа M , мм	Діаметр кільця $d=M-L$, мм	Радіус $r = d/2$, мм

Для обчислень беруть радіуси шести найдальших кілець. Комбінуючи радіуси кілець попарно, за формулою (1) обчислюють радіус кривизни лінзи R . Для підвищення точності рекомендується комбінувати кільця через три номери, наприклад r_{12} і r_9 , r_{11} і r_8 , r_{10} і r_7 .

Таблиця 2. Результати вимірювань і обчислень у процесі визначення R

№ за/п	m	r_m , мм	n	r_n , мм	R , мм	ΔR , мм	$\frac{\Delta R}{R} \cdot 100$, %
Середнє значення							

Вихідні дані: $\lambda = (635 \pm 10)$ нм (1 нм = 10^{-9} м)

Завдання 2. Визначення довжини світлової хвилі.

1. Повторюють вимірювання, зазначені у завданні 1, у процесі освітлення кілець світлом від освітлювача із зеленим світлофільтром.
2. Для визначення радіусів кілець у процесі використання світла невідомої довжини хвилі результати записують у табл. 3.

Таблиця 3. Результати вимірювань радіусів кілець

Номер кільця	Відлік зліва K' , мм	Відлік справа M' , мм	Діаметр кільця $d' = M' - K'$, мм	Радіус $r' = d'/2$, мм

Підставляючи в формулу (5) радіуси кілець з табл. 3 і значення радіуса кривизни R (завдання 1), визначають довжину хвилі, яку пропускає зелений світлофільтр.

Таблиця 4. Результати вимірювань і розрахунків при визначенні невідомої довжини хвилі.

№ за/п	m	r_m , мм	n	r_n , мм	λ , мм	$\Delta \lambda$, мм	$\frac{\Delta I}{I} \cdot 100$, %
Середнє значення							

Кінцевий результат подають у такому вигляді:

$$\lambda = \lambda_{\text{сер.}} \pm \Delta \lambda_{\text{сер.}}$$

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище інтерференції світла?
2. Поясніть принцип суперпозиції хвиль.
3. За яких умов спостерігається інтерференція світла?
4. Які ви знаєте способи одержання когерентних хвиль?
5. Який вигляд має інтерференційна картина? Від чого залежить положення максимумів і мінімумів у процесі інтерференції?
6. Поясніть, як можна спостерігати кільця Ньютона. Чому інтерференційна картина складається з ряду темних і світлих кілець?
7. Чому під час спостереження у відбитому світлі в центрі знаходиться темне кільце? Що буде, якщо спостереження проводити у прохідному світлі?
8. Чи зміниться положення кілець у випадку заповнення повітряного прошарку між лінзою і плоскою пластинкою рідиною?
9. Кільця Ньютона є прикладом смуг однакової товщини чи смуг однакового нахилу?

Робота № 413. Вивчення дифракційної ґратки

Мета роботи: визначити сталу дифракційної ґратки, невідомі довжини хвиль спектральних ліній, кутову дисперсію і роздільну здатність ґратки.

Теоретичний матеріал: хвильова поверхня, фронт хвилі, когерентні джерела світла, оптична різниця ходу, інтерференція, дифракція, принцип Гюйгенса-Френеля, метод зон Френеля, дифракція Фраунгофера і дифракція Френеля, дифракція на щілині, дифракційна ґратка, дисперсія і роздільна здатність ґратки.

Література: [3] п.118, 125, 127-130; [6] п.5.1, 6.1, 6.3, [2] п. 4.1-4.4; [9] п.85.

Прилади і пристрої: гоніометр, дифракційна ґратка, джерело лінійчастого спектра (ртутна лампа).

Гоніометр складається з коліматора, зорової труби і столика з круговим лімбом. Коліматор використовується для одержання паралельного пучка світла. Для цього регульована вхідна щілина коліматора, що розташована на одному кінці труби коліматора, повинна бути встановлена в фокальній площині об'єктива коліматора. Зорова труба повинна бути встановлена на безмежність. Цього досягають переміщенням окуляра зорової труби. Якщо правильна установка приладу, то повинно спостерігатись чітке зображення щілини коліматора. Плавне переміщення зорової труби здійснюється від руки або мікрометричним гвинтом, розташованим у нижній частині корпусу. Лімб з поділками розташований на корпусі гоніометра. Зорова труба переміщується відносно нерухомого лімба, на якому нанесена шкала (поділка – $0,5^\circ$). Отже безпосередньо за лімбом можна зняти відлік з точністю 30 минут. Поділки ноніуса – 1 мінута. Знімаючи покази приладу, необхідно провести відлік за лімбом у тому місці, де перебуває нульова поділка ноніуса. Якщо нуль ноніуса не збігається з поділками лімба, тоді знаходять поділку ноніуса, яка збігається і додають її до відліку, зробленому за лімбом. У цьому разі необхідно враховувати можливість відліку за лімбом, окрім градусів, ще й поділок у пів градуса.

Дифракційна ґратка встановлюється на столику гоніометра так, щоб її штрихи були вертикальні, а площина ґратки – перпендикулярною до осі коліматора. Перед щілиною коліматора розміщують ртутну лампу.

Формула дифракційної ґратки:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (\text{де } m = 1, 2, 3 \dots)$$

Роздільна здатність ґратки R визначається за формулою:

$$R = m N,$$

де N – загальна кількість щілин, а кутова дисперсія $D = m / d$.

Вимірювання.

Завдання 1. Визначення сталої дифракційної ґратки.

1. Ртутну лампу вмикає лаборант. Пересуваючи окуляр зорової труби, одержують чітке зображення дифракційного спектра. Повертаючи

зорову трубу, встановлюють вертикальну нитку окуляра на фіолетову лінію в спектрі другого порядку (ліворуч від центрального максимуму) і проводять відлік.

2. Повертаючи зорову трубу до центрального максимуму, проводять відлік положення нитки на лінії першого порядку. Такі ж відліки виконують і праворуч від центрального максимуму. Різниця відліків ліворуч і праворуч для спектральних ліній певного порядку дає значення подвоєного кута для цього порядку $2\varphi_m$.

3. Підставивши в формулу (1) визначений з досліду кут для фіолетового променя ($\lambda = 406$ нм), визначають сталу дифракційної ґратки.

Результати вимірювань та обчислень записують у таблицю:

№ за/п	φ' зліва	φ'' справа	$\varphi_{\text{ср.}} = \frac{1}{2}(\varphi'' - \varphi')$	$\sin \varphi_m$	d , нм	Δd , нм	$\frac{\Delta d}{d} 100\%$
1							
2							

Завдання 2. Визначення невідомих довжин хвиль спектральних ліній

1. Повертаючи зорову трубу гоніометра, встановлюють вертикальну нитку окуляра на жовту, а потім на зелену лінії другого порядку ліворуч від центрального максимуму. Проводять відлік. Після цього встановлюють вертикальну нитку на максимум відповідних ліній першого порядку, а також проводять вимірювання з другого боку від центрального максимуму.

2. Визначають кут відхилення для першого і другого порядків жовтої і зеленої ліній спектра ртуті.

3. Користуючись визначеним значенням сталої ґратки d і вимірними значеннями кутів відхилення φ_m для ліній відповідних порядків, обчислюють довжини хвиль досліджуваних ліній за формулою:

$$l = \frac{d \sin \varphi_m}{m}$$

Результати вимірювань та обчислень записують у таблицю:

№ за/п	φ' зліва	φ'' справа	$\varphi_{\text{ср.}} = \frac{1}{2}(\varphi'' - \varphi')$	$\sin \varphi_m$	λ , нм	$\Delta \lambda$, нм	$\frac{\Delta l}{l} 100\%$
1							
2							
1							
2							

Кінцевий результат $l = l_{\text{ср.}} \pm \Delta l_{\text{ср.}}$

Завдання 3. Визначення кутової дисперсії і роздільної здатності ґратки.

(Тільки для студентів хімічного факультету)

1. Визначаючи вказаним вище способом кути φ_1 і φ_2 для двох жовтих ліній ртуті, взявши довжини хвиль цих ліній з таблиць, обчислюють кутову

$$D = \frac{\Delta j}{\Delta l}$$

дисперсію ґратки за формулою $D = m/d$.

2. Знаючи сталу ґратки d і порядок спектра m , обчислюють кутову дисперсію за формулою $D = m/d$.

3. Знаючи сталу ґратки d та її довжину l , визначають загальне число штрихів N у ній.

Порядок спектра m визначають у цьому випадку як найвищий порядок дифракційних спектрів (у цій роботі). Тоді за формулою $R = m N$, обчислюють роздільну здатність ґратки.

Контрольні запитання

1. Що називається фронтом хвилі?
2. У чому полягає явище дифракції?
3. Сформулюйте принцип Гюйгенса-Френеля.
4. У чому полягає метод зон Френеля?
5. Чим відрізняється дифракція Фраунгофера від дифракції Френеля?
6. Якою умовою визначаються максимуми інтенсивності у процесі дифракції на одній щілині та на дифракційній ґратці?
7. Що називається періодом дифракційної ґратки?
8. Як визначити роздільну здатність і кутову дисперсію ґратки?
9. Як отримати дифракційний спектр? Чим відрізняється дифракційний спектр від спектра, отриманого з допомогою призми?
10. Поясніть дифракцію рентгенівських променів на кристалах.

Робота № 415. Дослідження лінійчастого спектра випромінювання

Мета роботи: градування шкали спектроскопа і визначення довжин хвиль у спектрі випромінювання ртуті.

Теоретичний матеріал: спонтанне випромінювання, енергетичний спектр атома, процеси випромінювання і поглинання світла атомом, постулати Бора, види спектрів, принципова схема спектрографа, явище дисперсії світла.

Література: [3] п.12, 15, 17, 21, 28; [4] п.59, 62, 63, 65, 69; [6] п.12.5, 13.3–13.5, 14.1, 14.2; [2] п. 116, 132-134; [1] п.52-54, 56, 59, 63; [5] п. 209, 210, 212, 231, 232; [2] п. 6.1-6.4.

Прилади і матеріали: монохроматор УМ-2, джерела світла (неонова лампа, ртутна лампа).

Вимірювання довжин хвиль спектральних ліній проводиться з допомогою різноманітних спектральних приладів, основною частиною яких є або призма, або дифракційна ґратка.

Спектроскоп – прилад для просторового розділення променів різних довжин хвиль, на якому спостереження отриманого спектра проводиться візуально. Спектрографом називається прилад для одержання спектрограм, тобто фотографічного зображення спектра. Монохроматор – прилад для виділення монохроматичного пучка світла різних довжин хвиль.

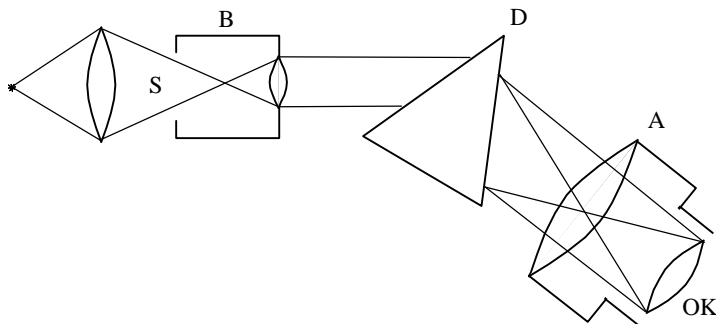


Рис. 7. Схема ходу світлових променів через монохроматор

У цій роботі застосовується монохроматор УМ-2. Він складається із зорової труби А, коліматора В зі щілиною S і призми D, яка розміщена на столику між трубами (див. рис.7). Щілина коліматора розміщена у фокусі його об'єктива так, що промені, які виходять з коліматора, паралельним пучком падають на передню грань призми D. З допомогою призми D пучок паралельних променів монохроматичного світла розкладається у спектр.

Це відбувається тому, що за рахунок явища дисперсії промені різної довжини хвилі мають різні кути заломлення і відхиляються призмою на різні кути. Об'єктив дає в своїй фокальній площині зображення спектра, який розглядається в окуляр ОК.

Праворуч від зорової труби розташований відліковий барабан. Під час повороту барабана повертається призма і спектр зміщується в поле зору. Положення окремої лінії спектра визначається за поділками барабана, коли спектральна лінія суміщена з вершиною трикутника в нижній частині поля зору.

Для запобігання холостого ходу гвинта потрібно барабан у процесі проведення вимірювань потрібно весь час плавно повертати в один бік.

Вимірювання

1. Вмикають неонову лампу і ставлять її перед щілиною коліматора так, щоб через щілину проходив найбільш інтенсивний світловий пучок.
2. Переміщуючи окуляр і змінюючи ширину щілини, проводять фокусування

спектра.

3. Повертаючи барабан монохроматора, підводять по чергово спектральні лінії неону (з відомими довжинами хвиль) до трикутної відмітки і записують їх положення за показами барабана.
4. Будують градувальну криву монохроматора, відкладаючи по осі "X" покази шкали барабана, а по осі "Y" – довжини хвиль ліній неону.
5. Перед щілиною монохроматора встановлюють ртутну лампу, яку вмикає лаборант. Знаходять положення спектральних ліній ртуті, наносять відповідні покази барабана на градувальний графік і визначають їхні довжини хвиль. Результати вимірювань записують у таблицю.

Контрольні запитання

1. За яких умов речовини випромінюють лінійчасті, смугасті та неперервні спектри? Поясніть явище дисперсії світла.
2. Який процес називають спонтанним випромінюванням?
3. Поясніть спектр атома водню. Сформулюйте постулати Бора.
4. Чому електрон не випромінює, знаходячись на стаціонарних орбітах?
5. Де найбільш імовірне місце перебування електрона в атомі?
6. Поясніть принципову схему монохроматора.
7. Як градуують монохроматор?
8. На чому базується спектральний аналіз речовин?

Робота № 419. Вивчення явища природного повертання площини поляризації світла

Мета роботи: визначити питомий кут повертання площини поляризації в розчині цукру та концентрацію цукру в досліджуваному розчині.

Теоретичний матеріал: явище поляризації світла, методи одержання поляризованого світла, закон Малюса, подвійне променезаломлення, поляризаційні пристрої, оптична активність речовин.

Література: [3] п. 100, 134-136, 141, с. 309-312, 419-430, 440-442; [4] п. 16, 28-30, 34, с. 58, 122-135, 145-150; [5] п. 127-129, с. 446-456; [5] с. 284-292; [2] п. 5.1.-5.4, 5.9; [9] п. 86.

Прилади і матеріали: напівтіньовий цукрометр, набір трубок з розчином цукру різної концентрації.

Прилади, призначені для визначення кута повороту площини поляризації, називаються поляриметрами (якщо досліджують розчин цукру, то – то цукрометрами). Поляриметр складається з поляризатора (P) й аналізатора (A). Інтенсивність поляризованого світла після проходження через аналізатор залежить від взаємної орієнтації площини коливань вектора електричної напруженості поляризованого світла і площини, в якій пропускає світлові коливання аналізатор. Інтенсивність максимальна, якщо кут між ними $\varphi = 0^\circ$ і дорівнює нулю при $\varphi = 90^\circ$ ("схрещені" поляризатор та аналізатор).

Найчастіше як поляризатор і аналізатор застосовують призми Ніколя (Ніколі). Якщо в простір між "схрещеними" ніколями помістити оптично активну речовину, то в монохроматичному світлі простежуватиметься просвітлення поля зору. Зважаючи на те що людське око не може точно визначити повне затемнення поля зору, у процесі вимірювань застосовується напівтіньовий поляриметр, який встановлюється на однакову освітленість двох половин поля зору.

У напівтіньовому поляриметрі поляризатор складається з двох поляризаційних призм P і p (рис. 8), площини поляризації яких утворюють між собою невеликий кут. Світло від джерела після проходження через призму P

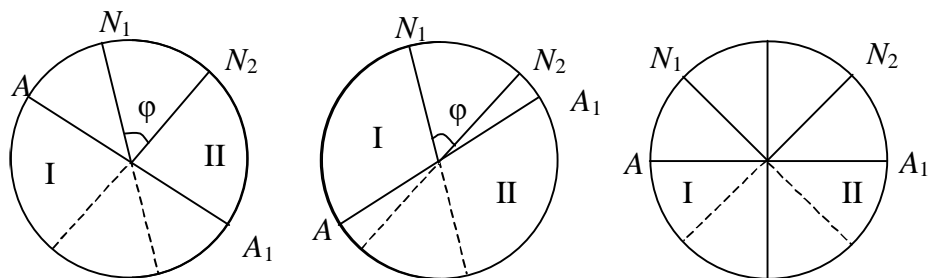


Рис. 8. Схема утворення зображень в окулярі напівтіньового поляриметра

повністю поляризоване в площині I. Світловий пучок, який проходить через поляризатор p поляризований в площині II, яка утворює з площиною I кут φ . Якщо обидва ці світлові пучки пропустити через аналізатор A , в якого площина коливань перпендикулярна до площини коливань II, то світловий пучок цієї половини поля зору гаситься, і поле зору в цій половині буде темним.

Частину пучка з площиною коливань I у цьому випадку пропускати аналізатор, про що свідчить світле поле зору цієї половини. Якщо площина коливань аналізатора буде перпендикулярною до площини коливань I, то буде простежуватиметься зворотний розподіл інтенсивності. Однакова освітленість обидвох половин поля зору спостерігається, коли площина коливань A перпендикулярна до бісектриси кута φ . Встановивши положення аналізатора на однакову освітленість поля зору в пучку світла, що йде через повітря, а потім через оптично активну речовину, можна за кутом повороту аналізатора визначити кут повертання площини поляризації α в досліджуваному розчині.

Схематично напівтіньовий поляриметр зображений на рис. 9, де S – джерело світла, F – світлофільтр, D – лінза, P і p – поляризатори, H – цукрометрична трубка, A – аналізатор, J – зорова труба, K – лімба.

На шляху світла вміщують світлофільтр, що пропускає світло у вузькому інтервалі довжин хвиль. Лінза D збирає промені в паралельний пучок, який падає на поляризатор P . Потім частина його проходить через цукрометричну трубку H з розчином оптично активної речовини (наприклад цукру), а звідти – в

аналізатор A . Друга частина перед тим, як потрапити в трубку H проходить через призму p , змінюючи у цьому випадку площину поляризації на кут φ .

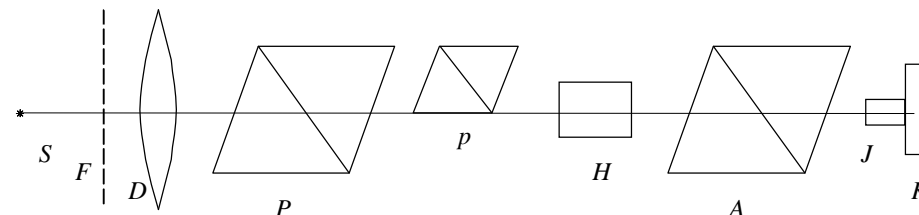


Рис. 9. Схема напівтіньового поляриметра

Цукрометрична трубка розміщується в особливій камері між поляризатором та аналізатором.

Повертання аналізатора виконується за допомогою спеціального пристрою. Відлік кутів проводиться за шкалою та ноніусом, який забезпечує точність до десятих частин градуса Венцке ($1^\circ V = 0,346^\circ$). Кут повертання вимірюється безпосередньо як кут, на який необхідно повернути аналізатор, щоб відновити однорідність поля зору, порушену розміщенням трубки з розчином цукру.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення питомого кута повертання площини поляризації

1. Встановлюють окуляр зорової труби на чітке зображення лінії поділу поля зору. Потім встановлюють аналізатор у положення, при якому обидві половини поля зору будуть однаково затемнені. Відмічають покази α_0 за лімба. Повторюючи встановлення декілька разів, знаходять середнє значення нульового відліку α_0 . *Примітка.* У процесі зміщення положення аналізатора вправо або вліво від нульової освітленості обидвох частин поля зору стрибкоподібно змінюється.
2. Вміщують трубку з розчином цукру відомої концентрації в цукрометр. Повертаючи аналізатор, добиваються однакового затемнення обидвох половин поля зору. Відлік кута α' виконують за показами лімба. Вимірювання теж повторюють декілька разів. За середнім значенням визначають кут повороту $\alpha_{n1} = \alpha'_{n1} - \alpha_0$.
3. Так само визначають кут повороту площини поляризації для розчину цукру іншої відомої концентрації $\alpha_{n2} = \alpha'_{n2} - \alpha_0$.
4. За формулою $[a] = \frac{a_n}{lC}$ обчислюють питомий кут повернення для кожної відомої концентрації, а потім беруть середнє арифметичне значення $[a]$. Довжина трубки $l = (2,00 \pm 0,01)$ дм.

Таблиця 1. Результати вимірювань та обчислень для визначення кута повернення площини поляризації

№ за/п	α_0	α'_n	$\alpha_n = \alpha'_n - \alpha_0$	$\Delta\alpha_n$	C_n	$[\alpha]$	$\Delta[\alpha]$	$\frac{\Delta[\alpha]}{[\alpha]} 100\%$
1								
2								
3								

Завдання 2. Визначення невідомої концентрації розчину цукру

- Вимірюють кут α'_x для розчину цукру невідомої концентрації. Визначають кут повороту площини поляризації $\alpha_x = \alpha'_x - \alpha_0$.
- Використавши значення $[\alpha]$ з попереднього завдання, визначають невідому концентрацію розчину цукру за формулою $C_x = \frac{a_x}{[\alpha] \cdot l}$.

Таблиця 2. Результати вимірювань та обчислень для визначення концентрації цукру в розчині невідомої концентрації

№ за/п	α_0	α'_x	$\alpha_x = \alpha'_x - \alpha_0$	$\Delta\alpha_x$	C_x	ΔC_x	$\frac{\Delta C_x}{C_x} 100\%$
1							
2							
3							
Середнє значення							

Кінцевий результат $C = C_x \pm \Delta C_x$ кг/дм³.

Контрольні запитання

- Яка природа світлової хвилі?
- У чому полягає явище поляризації світла? Чим відрізняються між собою природне і поляризоване світло?
- Якими методами можна одержати поляризоване світло?
- У чому полягає явище подвійного променезаломлення?
- Яка інтенсивність світла після проходження через "паралельні" і "схрещені" поляризатор та аналізатор?
- Як перевірити, чи світло поляризоване?
- Поясніть призначення і будову призми Ніколя.
- Що розуміють під оптичною активністю речовини? Дайте визначення питомого кута повернення площини поляризації.

- Який принцип дії цукрометра? Поясніть його будову.
- Від чого залежить кут повернення площини поляризації, питомий кут повернення площини поляризації?
- Як визначають концентрацію розчину цукру?

Робота № 421. Вивчення законів зовнішнього фотоелектру

Мета роботи: вивчити залежність фотоструму від освітленості фотокатода та від прикладеної напруги.

Теоретичний матеріал: явище фотоелектричного ефекту, закони зовнішнього фотоелектру, формула Ейнштейна, робота виходу, червона межа фотоелектру, фотоелементи (принцип дії, вольтамперна характеристика).

Література: [3] п. 9; [4] п. 56; [6] п. 11.1; [2] п.136,137; [1] п. 45-47; [5] п. 165; [2] п. 9.1-9.3; [9] п. 89.

Прилади і матеріали: сурм'яно-цезієвий вакуумний фотоелемент типу СЦВ-3, освітлювач, мікроамперметр (0–100 мкА), вольтметр, джерело постійного струму типу ВУП, оптична лава.

Установка складається з фотоелемента і освітлювача, розташованих на оптичній лаві. Від попадання розсіяного світла фотоелемент захищений металевим кожухом. Різниця потенціалів до клем фотоелемента подається від джерела постійного струму з регульованою напругою виходу. Сила струму вимірюється мікроамперметром.

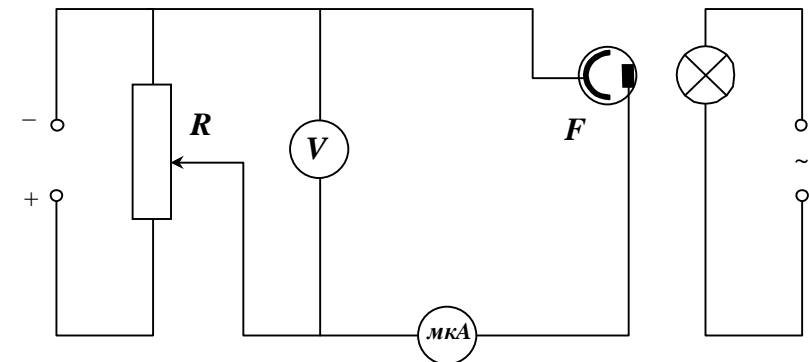


Рис. 10. Електрична схема ввімкнення фотоелемента

Схема ввімкнення фотоелемента (ФЕ рис.10): F – фотоелемент, V – вольтметр, R – потенціометр, $мкА$ – мікроамперметр. Фотоелемент являє собою сферичний балон, тиск у якому становить 10^{-4} – 10^{-5} Па. Шляхом конденсації парів металів у вакуумі на внутрішню поверхню півсфери нанесено тонкий шар сполуки Cs_3Sb , який використовується як катод. У центрі балона розташований металевий анод у вигляді сфери або кільця.

Завдання 1. Визначення залежності сили фотоструму від освітленості

фотокатода.

Вимірювання

1. Вмикають освітлювач, розташувачи його на відстані 15 см від фотоелемента.
2. Вмикають блок живлення. Подають на ФЕ напругу 40 В і фіксують покази мікроамперметра I .
3. Збільшуючи відстань між фотоелементом і освітлювачем через кожні 3 см, вимірюють силу фотоструму. Вимірювання повторюють, наближаючи освітлювач до ФЕ. Знаходять середнє значення I для кожної відстані R . Результати записують у таблицю.
4. Повторюють вимірювання $I = f(R_n)$, подаючи напругу 50 В.
5. Вважаючи лампочку точковим джерелом світла, для якого справедливий закон освітленості, для освітленості фотокатода E отримують співвідношення

$$E_n = E_0 \frac{R_{\max}^2}{R_n^2},$$

де R – максимальна відстань від ФЕ до джерела світла, R_n – відстань від n -го положення лампочки до ФЕ, E – освітленість фотокатода у випадку максимальної відстані від ФЕ до джерела світла (в роботі приймаємо за 1).

6. Відкладаючи по осі абсцис прямокутної системи координат величини $\frac{R_{\max}^2}{R_n^2}$, а по осі ординат – величину фотоструму I , будують графік залежності сили фотоструму від відносної освітленості фотокатода. Отримані залежності $I = f\left(\frac{R_{\max}^2}{R_n^2}\right)$ для двох значень напруг подають на одному графіку.

Завдання 2. Визначення залежності сили фотоструму від напруги

Залежність сили фотоструму від прикладеної напруги (під час постійної освітленості фотокатода) називається вольт-амперною характеристикою ФЕ.

Вимірювання

1. Встановлюють освітлювач на відстані 15 см від ФЕ, змінюючи напругу від 0 до 50 В через кожні 2 В, фіксують відносні значення сили струму I , а результати записують у таблицю.
2. Будують графік залежності сили фотоструму від прикладеної до ФЕ напруги, відкладаючи значення U по осі абсцис, а відповідні значення I – по осі ординат.

3. Повторюють вимірювання залежності $I = f(U)$, встановивши освітлювач на відстані 20 см від ФЕ. Результати подають на цьому ж графіку.

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище фотоелектричного ефекту?
2. Які властивості світла виявляються в явищі фотоелектричного ефекту?
3. Запишіть і поясніть формулу Ейнштейна.
4. Сформулюйте закони фотоелектричного ефекту.
5. Коли простежується зовнішній фотоелектричний ефект? Чим визначається червона межа фотоелектричного ефекту?
6. Від чого залежить максимальна швидкість вивірваних фотоелектронів?
7. Поясніть, коли виникає струм насичення у вакуумному ФЕ.
8. Від чого залежить затримуюча різниця потенціалів?
9. Поясніть принцип дії ФЕ та його застосування.

Робота № 422. Визначення червоної межі фотоелектричного ефекту

Мета роботи: визначення червоної межі фотоелектричного ефекту і роботи виходу електронів.

Теоретичний матеріал: явище фотоелектричного ефекту, закони зовнішнього фотоелектричного ефекту, формула Ейнштейна, робота виходу, червона межа фотоелектричного ефекту, фотоелементи і фотопомножувачі.

Література: [3] п.9; [4] п.56; [6] п.11.1; [2] п.136,137; [1] п.45-47; [5] п.202-204; [2] п.9.1-9.3; [9] п. 8.9.

Прилади і матеріали: спектроскоп-монохроматор УМ-2, фотопомножувач ФЭУ-19, високовольтний блок живлення, джерело світла ОУ-19, мікроамперметр (0-100 мА).

Установка складається із спектроскопа-монохроматора, фотопомножувача і джерела світла. Фотоелектронний помножувач (ФЕП) – електровакуумний прилад, що складається з фотокатода, системи вторинних емітерів електродів (діодів) та анода (колектора). Кванти електромагнітного випромінювання вибивають з фотокатода електрони, які під дією електричного поля між катодом і першим електродом системи прискорюються і направляються до першого електроду, який емітує. Внаслідок вторинної електронної емісії з першого діода вибиваються електрони, кількість яких значно перевищує кількість падаючих електронів.

Рух електронів здійснюється під дією напруги, прикладеної до емітерів. Унаслідок утворення лавиноподібного процесу анод досягає такої кількості електронів, що на декілька порядків перевищує кількість вибитих із катода, тобто простежується підсилення фотоструму.

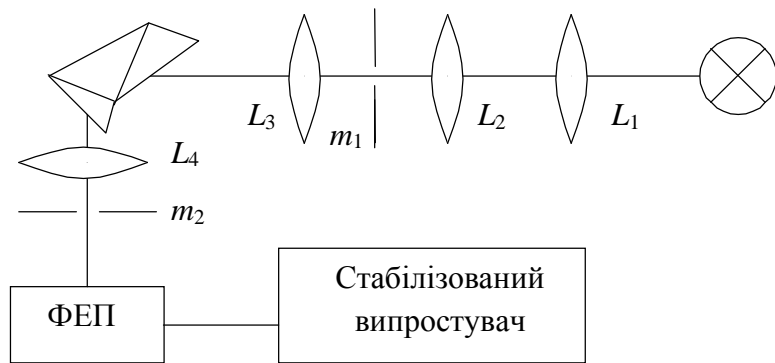


Рис. 11. Схема установки для визначення червоної межі фотоелектру

У роботі необхідно на фотокатод ФЭП подати пучок світла різних довжин хвиль. За допомогою монохроматора можна виділити достатньо вузьку частину спектра. Світло від джерела спрямовують на вхідну щілину монохроматора m_1 (див. рис.11). Довжину хвилі відповідної частини спектра визначають за градуовальною кривою монохроматора, знаючи покази барабана монохроматора. Перед вхідною щілиною монохроматора m_2 (див. рис. 11) розташовують ФЭУ-19 у захисному футлярі (для запобігання попадання зовнішнього світла).

Вимірювання

1. Перевіряють ширину вхідної і вихідної щілини монохроматора: "вх" – 0,3 мм, "вих" – 0,4 мм (поворот головки гвинта на одну поділку відкриває щілину на 4,6 мкм).
2. Вмикають джерело світла через трансформатор у мережу змінного струму.
3. Вмикають високовольтний випростувач у мережу змінного струму (напруга на виході блока не повинна перевищувати 900 В).
4. Повертаючи барабан монохроматора до довжин хвиль червоної області спектра (від 35 і далі), через кожну поділку вимірюють значення фотоструму за показами мікроамперметра (мкА). Результати записують у таблицю.
5. Будують графік залежності $I = f(\lambda)$. За графіком визначають λ_0 , при якій фотострум припиняється.
6. За формулою $I_0 = \frac{hc}{A}$ обчислюють роботу виходу A . Кінцевий результат

$$A = A_{\text{обч.}} \pm \Delta A,$$

$$\text{де } \Delta A = A \cdot \Delta I / I.$$

УВАГА! Блок живлення вмикає лаборант!

Контрольні запитання

1. В чому полягає явище зовнішнього фотоелектру?
2. Які властивості світла виявляються в явищі фотоелектру?
3. Поясніть на основі формули Ейнштейна закони фотоелектру.
4. За якої умови простежується зовнішній фотоелектр?
5. Чим визначається червона межа фотоелектру?
6. У чому полягає метод визначення роботи виходу, що застосовується у роботі?
7. Виведіть формулу для визначення роботи виходу фотоелектрона.
8. Від чого залежить максимальна швидкість вирваних фотоелектронів?

Робота № 427. Визначення сталої в законі Стефана-Больцмана

Мета роботи: визначити сталу в законі Стефана-Больцмана, ознайомитись із методом вимірювання температур, заснованим на законі теплового випромінювання (метод оптичної пірометрії).

Теоретичний матеріал: теплове випромінювання та його характеристики, абсолютно чорне тіло, закони теплового випромінювання (закони Кірхгофа, Стефана-Больцмана, Віна), формула Планка.

Література: [3] п.1-4, 6, 7; [4] п.49-54; [6] п.10.1-10.3; [2] п.130,131; [1] п.42-44; [5] п.197-201. [2] п.11.1-11.4; [9] п. 88.

Прилади і матеріали: оптичний пірометр типу ОППІР-09, лампа з розжарювальною вольфрамовою пластинкою, амперметр (0–10 А), вольтметр (0–3 В), реостат, джерело живлення – випростувач типу ВС.

Установка складається з лампи, блока живлення і пірометра. Лампа приєднується до джерела постійного струму з регульованою напругою. Електрична схема зображена на рис. 12.

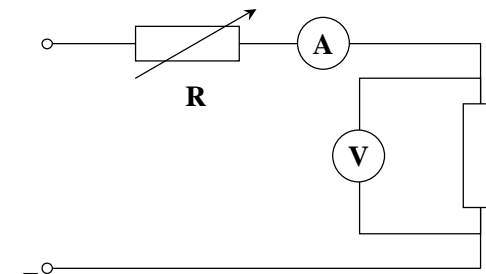


Рис. 12. Електрична схема ввімкнення нитки розжарення

Температуру розжареної нитки лампи вимірюють оптичним пірометром, принцип дії якого заснований на безпосередньому порівнянні яскравості випромінювання тіла в певній області спектра з яскравістю еталонного джерела у цій самій області. Еталонне джерело (нитка пірометра) проградуйоване за випромінюванням абсолютно чорного тіла.

Якщо випромінюване тіло не є чорним, то пірометр показує температуру T такого чорного тіла, яскравість якого однакова з яскравістю цього тіла. Температура, визначена таким чином, називається *яскравісною* температурою певного тіла.

Схема пірометра зображена на рис. 13. З допомогою лінзи L_1 , що розташована в фокусі труби, зображення нитки лампи, температуру якої потрібно виміряти, проектується в площину нитки еталонної лампочки пірометра.

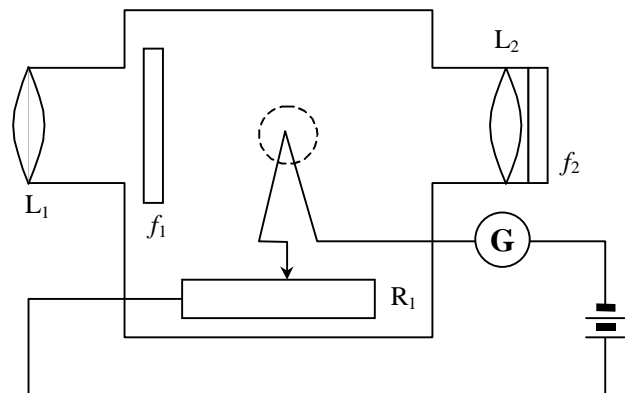


Рис. 13. Електрична схема пірометра

Лінза L_2 дає збільшене зображення ниток. Для отримання монохроматичного світла застосовуються світлофільтри (в інтервалі $800\text{--}1400^\circ\text{C}$ – червоний світлофільтр f_1 ; $\lambda = 660\text{ нм}$; в інтервалі $1200\text{--}2000^\circ\text{C}$ – димчастий світлофільтр f_2). Джерелом струму розжарення нитки пірометра служить акумулятор, е.р.с. якого $2,4\text{ В}$. Струм розжарення регулюється реостатом R_1 , виготовленим у вигляді кільця, яке розташоване під трубою пірометра. Розжарення нитки пірометра змінюють таким чином, щоб вона зникла на фоні досліджуваної випромінюючої поверхні. Тому такі прилади називають *пірометрами зі зникаючою ниткою*. Гальванометр G проградуєований у градусах Цельсія. У процесі використання світлофільтра f_1 температуру визначають за першою шкалою (перемножуючи покази шкали на 100°C). Покази зі шкали температур знімають, коли яскравість нитки пірометра та розжареної вольфрамової пластини однакова.

Виведення робочої формули. У роботі застосовується метод порівняння потужності електричного струму, яка витрачається на нагрівання нитки лампи, і потужності випромінювання її поверхні. Енергія (J), яка підводиться за одиницю часу до одиниці площі випромінюваної поверхні

$$J = \frac{IU}{2S}, \quad (1)$$

де I – сила струму в колі, U – спад напруги на пластинці, $2S$ – загальна поверхня розжареної пластинки (пластинка випромінює у два боки).

Із закону Стефана-Больцмана випливає, що повна енергія J , яка випромінюється за одиницю часу одиницею поверхні чорного тіла, що знаходиться при температурі T_1 , у навколишній простір, температура якого T_0 (якщо середовище розглядати як абсолютно чорне тіло),

$$J = \sigma (T_1^4 - T_0^4), \quad (2)$$

де σ – стала Стефана-Больцмана.

Випромінювання нечорних тіл в a разів менше, ніж для абсолютно чорного тіла. Враховуючи співвідношення (1) і (2) для розрахункової формули, отримуємо вираз

$$S = \frac{IU}{2a\sigma(T_1^4 - T_0^4)},$$

де a – поглинальна здатність нечорного тіла.

Вимірювання

1. Вмикають випрямляч для нагрівання нитки лампи. Напруга не повинна перевищувати 3 В . З допомогою реостата R встановлюють силу струму в колі $9,0\text{ А}$. Вимірюють спад напруги на нитці лампи.
2. Вимірюють температуру досліджуваної поверхні за допомогою пірометра (слід враховувати теплову інерцію нитки пірометра, і регулювання її розжарення треба виконувати повільно).
3. Змінюють силу струму в колі розжарення нитки лампи від $9,0$ до $9,8\text{ А}$, фіксуючи покази пірометра і вольтметра. Результати записують у таблицю.
4. Для кожної серії вимірів визначають значення σ . Обчислюють середнє значення σ .

Таблиця вимірів та обчислень

№ за/п	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$T_1, \text{ К}$	$\sigma \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$	$\Delta\sigma \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$	$\frac{\Delta\sigma}{S} 100\%$
1							
2							
3							
4							
5							

Контрольні запитання

1. Що називається тепловим випромінюванням? Дайте визначення поглинальної, випромінювальної, відбивної здатності тіл.
2. Сформулюйте закон Кірхгофа для теплового випромінювання.
3. Що називається абсолютним чорним тілом, сірим тілом? Нарисуйте графік залежності випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла від довжини хвилі.
4. Сформулюйте і поясніть закон Віна.
5. Як отримати вираз закону Стефана-Больцмана з формули Планка?
6. Поясніть фізичний зміст сталої Стефана-Больцмана.
7. Поясніть принцип дії пірометра зі зникаючою ниткою.
8. У чому полягає метод оптичної пірометрії?

Робота № 430. Перевірка закону Малюса.

Мета роботи: вивчити залежність інтенсивності світла, що пройшло через аналізатор, від кута між головними напрямками поляризатора й аналізатора.

Теоретичний матеріал: явище поляризації світла, методи одержання поляризованого світла, закон Малюса, подвійне променезаломлення, поляризаційні пристрої.

Література: [3] п. 110, 134–136, с. 309–312, 419–430; [4] п. 16, 28–30, с. 58, 122, 135; [2] п. 127, 128, с. 446–454; [5] с. 284–292; [2] п.5.1–5.4; [9] п. 86.

Прилади і матеріали: поляроїди, джерело світла, люксометр.

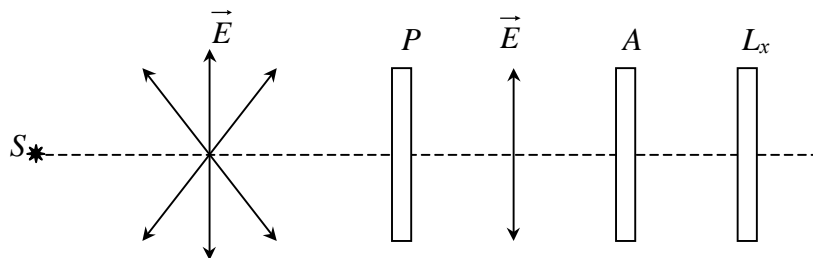


Рис. 14. Схема поляризаційного приладу

Для одержання і дослідження лінійно-поляризованого світла в цій роботі застосовується прилад, який складається з поляризатора, аналізатора та люксометра. Головна властивість поляризаційних пристроїв (у нашому випадку поляроїдів) полягає в тому, що вони можуть пропускати світлові хвилі, вектор електричної напруженості яких коливається в одному напрямі, що називають головним напрямом. За допомогою першого поляроїда (поляризатора P) природне світло від джерела S перетворюється в лінійно поляризоване (див. рис. 14). Другий поляроїд (аналізатор A) може пропустити лише коливання, які збігаються з його головним напрямом.

Якщо головні напрями поляризатора й аналізатора збігаються, то інтенсивність світла, яке пройшло через поляризатор, буде максимальною I_0 . Повертаючи аналізатор, можна добитись, щоб кут між головними напрямками поляроїдів становив 90° . У цьому випадку інтенсивність світла після аналізатора дорівнюватиме нулю ("схрещені" поляроїди). Якщо головні напрямки поляризатора й аналізатора розміщені під кутом φ , то інтенсивність світла I , що пройшло через аналізатор, набуває проміжних значень.

Для реєстрації інтенсивності світла, що пройшло через аналізатор, застосовують люксометр, який складається з фотоелемента і гальванометра, проградуєваного в люксах. Цей прилад може бути використаний для вимірювання інтенсивності в потрібному діапазоні (0–100 лк).

Розрахункова формула:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

виражає закон Малюса, де I_0 – інтенсивність світла, яке падає на аналізатор, I – інтенсивність світла, що пройшло через аналізатор, φ – кут між головними напрямками P і A .

Порядок виконання роботи

1. Вмикають освітлювач. Повертаючи аналізатор, добиваються максимального відхилення стрілки приладу I , але щоб покази не перевищували межі шкали. Записують покази кута на лімбі та покази інтенсивності світла I на люксометрі.
2. Повертають аналізатор на 15° і записують покази I . Вимірювання проводять до 180° .
3. Будують графік залежності інтенсивності світла I , що пройшло через аналізатор, від квадрата косинуса кута повороту $I = f(\cos^2 \varphi)$.
4. Вимірявши I_0 (при $\varphi = 0$, коли головні напрями поляроїдів збігаються), за формулою $I = I_0 \cos^2 \varphi$ проводять обчислення I для різних кутів від 0 до 180° .
5. Розрахункові значення I відкладають на цьому ж графіку і порівнюють з експериментально одержаною залежністю для I .
6. Враховуючи точність вимірювань, перевіряють, чи виконується закон Малюса.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень для визначення інтенсивності світла, що пройшло через аналізатор

№ за/п	φ	$\cos^2 \varphi$	I_0 , лк	$I_{об}$, лк	$I_{екс}$, лк	ΔI , лк
1						
2						
3						

Контрольні запитання

1. Яка природа світлової хвилі?
2. У чому полягає явище поляризації світла? Чим відрізняються між собою природне і поляризоване світло?
3. Якими методами можна отримати поляризоване світло?
4. В чому полягає явище подвійного променезаломлення?
5. Поясніть призначення і будову поляризаційних пристроїв (призма Ніколя, поляроїди).
6. Як перевірити, чи світло поляризоване?
7. Яка інтенсивність світла після проходження через "паралельні" і "схрещені" поляризатор та аналізатор?
8. Від чого залежить інтенсивність поляризованого світла після проходження через аналізатор?
9. Де використовується поляризоване світло?
10. На чому ґрунтується застосований у роботі метод перевірки закону Малюса?
11. У чому полягає явище повертання площини поляризації?

ДОДАТОК

Таблиця 1

Фундаментальні фізичні константи

Константа	Позначення	Числове значення
Швидкість світла у вакуумі	c	$299792458 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$
Магнітна стала	μ_0	$12,566371\cdot 10^{-7} \text{ Гн}\cdot\text{м}^{-1}$
Електрична стала	$\epsilon_0 = (m_0c^2)^{-1}$	$8,854187\cdot 10^{-12} \text{ Ф}\cdot\text{м}^{-1}$
Стала Планка	h	$6,62676\cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$
Стала Дірака	$\hbar = h/2\pi$	$1,05498\cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$
Заряд електрона	e	$1,6021892\cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Маса спокою електрона	m_e	$9,109534\cdot 10^{-31} \text{ Кг}$
Число Авогадро	N_A	$6,022045\cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Стала Больцмана	$k = R/N_A$	$1,380662\cdot 10^{-23} \text{ Дж}\cdot\text{К}^{-1}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	λ_e	$2,4263089\cdot 10^{-12} \text{ м}$
Стала Стефана-Больцмана	$\sigma = 2\pi^5 R^4/15c^2h^3$	$5,67032\cdot 10^{-8} \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-4}$
Перша стала випромінювання	$c_1 = 2phc^2$	$3,741832\cdot 10^{-16} \text{ Вт}\cdot\text{м}^2$
Друга стала випромінювання	$c_2 = hc/k$	$0,01438786 \text{ м}\cdot\text{К}$
Стала в законі зміщення Віна	$b = hc/(4,965 k)$	$2,899080\cdot 10^{-4} \text{ м}\cdot\text{К}$

Таблиця 2

Абсолютні показники заломлення n дистильованої води при 293 К для різних довжин хвиль

$\lambda, \text{ м}$	n
$4,311\cdot 10^{-7}$	1,3403
$4,861\cdot 10^{-7}$	1,3371
$4,546\cdot 10^{-7}$	1,3345
$5,893\cdot 10^{-7}$	1,3330
$6,562\cdot 10^{-7}$	1,3311
$7,682\cdot 10^{-7}$	1,3289

Таблиця 3

Показники заломлення

Речовина	n
Алмаз	2,42
Сірководень	1,63
Скіпідар	1,48
Скло	1,5 – 1,9
Вода	1,33
Лід	1,31

Довжини спектральних ліній ртутної дуги, нм:

253,7 365,0 365,5 404,7 435,8 523,5 546,1 577,0 579,1 612,8 690,8 708,2

Таблиця 4

Червона межа фотоелектру для деяких речовин

Речовина	Довжина хвилі, 10^{-7} м
Барій	4,84
Вольфрам	2,72
Калій	5,50
Мідь	2,70
Ртуть	2,60
Рубідій	5,73
Срібло	2,60
Сурма	3,10
Сурмяноцезієвий катод	6,70
Цезій	6,20
Цинк	2,20

Таблиця 5

Енергія одного кванта (фотона) видимого випромінювання різної частоти

Довжина хвилі, 10^{-7} м	Частота, ТГц	Колір променів	Енергія одного кванта, 10^{18} Дж	Енергія одного кванта, eV
7,60	383	Темно-червоний	0,26	1,6
6,20	395	Червоний	0,32	2,0
5,90	508	Оранжевий	0,34	2,1
5,60	536	Жовтий	0,26	2,2
5,00	600	Зелений	0,40	2,5
4,80	625	Голубий	0,41	2,6
4,50	667	Синій	0,44	2,7
3,80	789	Фіолетовий	0,52	3,3

Таблиця 6

Робота виходу електрона з різних речовин

Речовина	Робота виходу електрона, 10^{-19} Дж	Робота виходу електрона, eV
Барій	3,8	2,4
Барій на вольфрамі	1,8	1,1
Вольфрам	7,2	4,5
Германій	7,7	4,8
Закис міді	8,3	5,2
Золото	6,9	4,3
Кальцій	4,5	2,8
Молибден	6,9	4,3
Нікель	7,2	4,5
Оксид барію	1,6	1,0
Платина	8,5	5,3
Рубідій	3,5	2,2
Срібло	6,9	4,3
Горій	5,4	3,4
Горій на вольфрамі	4,2	2,6
Цезій	2,9	1,8
Цезій на вольфрамі	2,2	1,4
Цезій на платині	2,1	1,3

Таблиця 7

Множники і префікси для утворення десяткових кратних
одиниць та їхнього найменування

Множник	<i>Префікс</i>	Українське позначення префікса	Міжнародне позначення префікса
10^{18}	екса	<i>Е</i>	<i>E</i>
10^{15}	пета	<i>П</i>	<i>P</i>
10^{12}	тера	<i>Т</i>	<i>T</i>
10^9	гіга	<i>Г</i>	<i>G</i>
10^6	мега	<i>М</i>	<i>M</i>
10^3	кіло	<i>к</i>	<i>k</i>
10^2	гекто	<i>г</i>	<i>h</i>
10^1	дека	<i>да</i>	<i>da</i>
10^{-1}	деци	<i>д</i>	<i>d</i>
10^{-2}	санти	<i>с</i>	<i>c</i>
10^{-3}	мілі	<i>м</i>	<i>m</i>
10^{-6}	мікро	<i>мк</i>	μ
10^{-9}	нано	<i>н</i>	<i>n</i>
10^{-12}	піко	<i>п</i>	<i>p</i>
10^{-15}	фемто	<i>ф</i>	<i>f</i>
10^{-18}	атто	<i>а</i>	<i>a</i>