

Міністерство освіти та науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»
Кафедра фізики

Чабак Ю.Г.

ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА РЕЧОВИНОЮ

Методичні вказівки
щодо виконання розрахунково-графічної
лабораторної роботи №83
за курсом «Фізика»
для студентів усіх спеціальностей
всіх форм навчання

Маріуполь
2022

Вивчення явища поглинання світла речовиною: методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної лабораторної роботи № 83 за курсом «Фізика» для студентів усіх спеціальностей усіх форм навчання/уклад. Ю.Г. Чабак. – Маріуполь: ПДТУ, 2022. – 13с.

Містять короткий теоретичний огляд явища поглинання світла прозорими твердими тілами, опис та принцип роботи універсального фотометра ФОУ, а також методику вимірювання коефіцієнта поглинання світла. Включає дослідження залежності поглинання від довжини хвилі світла, тобто вивчення дисперсійних властивостей різних речовин, але одного кольору.

Укладач Ю.Г. Чабак., канд. техн. наук, доцент

Рецензент В. Г. Єфременко, д-р техн. наук, проф.

Затверджено
на засіданні кафедри фізики,
протокол № 6 від 22 грудня 2022 р.

Затверджено
на засіданні методичної комісії
факультету інформаційних технологій,
протокол № 5 від січня 2023 р.

© ДВНЗ «ПДТУ», 2022
©Ю.Г.Чабак, 2022

ВСТУП

Однією з тем розділу "Хвильова оптика" є тема "Взаємодія світла з речовиною", в якій розглядаються такі питання як розсіювання, поглинання та поляризація світла. У лабораторній роботі пропонується дослідити поглинання світла прозорими середовищами та вивчити явище у рамках класичної теорії дисперсії.

1 ЦІЛЬ РОБОТИ

Визначити коефіцієнт поглинання світла напівпрозорим твердим тілом. Вивчити залежність коефіцієнта поглинання світла від довжини хвилі.

Вказівки щодо підготовки до роботи: вивчіть лекційний матеріал на тему «Взаємодія електромагнітних хвиль з речовиною. Класична теорія дисперсії. Поглинання світла»; пропрацюйте цей посібник і дайте відповідь на контрольні питання.

2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

При проходженні світлового пучка (електромагнітних хвиль) через матеріальне середовище інтенсивність пучка світла, що виходить із середовища, виявляється меншою від початкової. Це ослаблення інтенсивності світла називається екстинкцією (гасінням) і пояснюється двома явищами: **розсіюванням та поглинанням** світла.

Розсіювання світла пояснюється виникненням мікроскопічних флуктуацій густини внаслідок статистичної природи теплового руху частинок середовища. Воно полягає в тому, що атоми та молекули середовища, збуджені падаючим світловим пучком, випромінюють вторинне випромінювання в усіх напрямках. Так як відносні різниці фаз цих елементарних хвиль розподілені хаотично через теплові флуктуації

випромінюючих центрів, то когерентність вторинних хвиль порушується і світло розсіюється в сторони. Цей ефект особливо явно видно у рідинах, що містять дрібні частинки (колоїдні розчини). У разі речовин з упорядкованою мікроструктурою і відносно слабо схильних до флуктуацій густини (зокрема, тверде тіло), розсіювання світла сильно ослаблене і ясно видно тільки відбитий і заломлений пучки. Вони відповідають тим напрямкам, вздовж яких вторинні хвилі когерентні та в результаті інтерференції посилюються, тоді як у всіх інших напрямках взаємознищуються.

Світло поглинається в тих випадках, коли хвиля, що проходить, витрачає енергію на різні процеси. У тому числі: перетворення енергії хвилі у внутрішню енергію – при нагріванні речовини; витрати енергії на вторинне випромінювання в іншому діапазоні частот (фотолюмінесценція); витрати енергії на іонізацію – за фотохімічних реакцій тощо. Ослаблення інтенсивності світла, зумовлене власне поглинанням, полягає у перетворенні світлової енергії на тепло і пояснюється тим, що внаслідок зіткнень між електронами, атомами та молекулами їх коливання згасають, тобто коливальна енергія перетворюється на кінетичну енергію безладного руху. Ось тому поглинання світла залежить від природи речовини. Метали добре поглинають світло через наявність у них вільних електронів. Діелектрики слабо поглинають світло, бо всі електрони перебувають у пов'язаному стані.

Внаслідок перерахованих причин амплітуда хвилі зменшується по мірі проникнення в речовину і рівняння хвилі має вигляд:

$$\xi = A(x) \cos(\omega t - kx),$$

де $A(x)$ означає амплітуду, яка зменшується із збільшенням x – глибини проникнення хвилі. У цьому слід нагадати, що інтенсивність хвилі $I \sim A^2$.

Ослаблення інтенсивності монохроматичного світла відбувається за експоненційним законом, бо відносне зменшення інтенсивності пропорційно товщині шару речовини

$$\frac{dI}{I} = -kdx$$

Звідки внаслідок інтегрування отримуємо закон Бугера:

$$I = I_0 e^{-kx}, \quad (2.1)$$

де I та I_0 – інтенсивності плоскої монохроматичної хвилі на вході та виході з шару поглинаючої речовини товщиною x , k – коефіцієнт поглинання, який залежить від довжини хвилі світла, хімічної природи речовини та не залежить від інтенсивності світла. У разі немонохроматичного світла, що проходить через дисперсійне середовище, світло з частотою відповідної смуги поглинання інтенсивно поглинається в тонкому шарі речовини і вже потім, подальша зміна інтенсивності світлового потоку, що проходить, підпорядковується закону Бугера.

Залежність коефіцієнта поглинання від довжини хвилі визначає спектр поглинання матеріалу. У речовині (наприклад, у газі) може бути кілька сортів частинок, які беруть участь у коливаннях під дією електромагнітної хвилі, що поширюється. Якщо ці частинки слабо взаємодіють, то коефіцієнт поглинання малий для широкого спектра частот, і у вузьких областях він різко зростає (рис. 1 а).

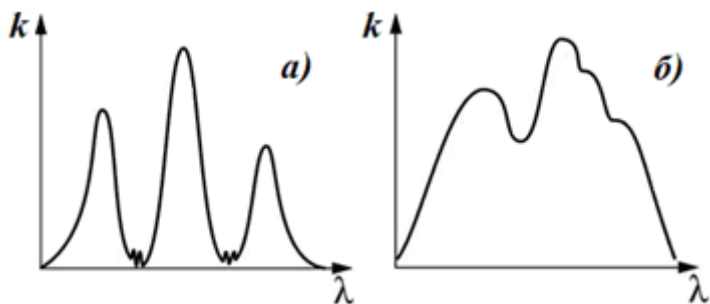


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта поглинання k від довжини хвилі λ

a) смуги поглинання; *б)* суцільний спектр поглинання

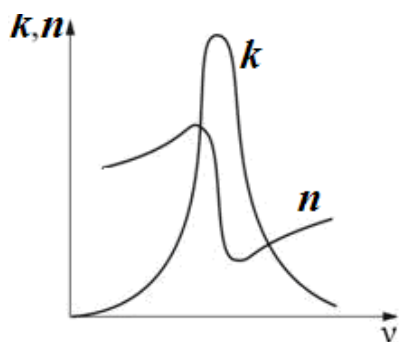
Ці області відповідають частотам коливань власних оптичних електронів в атомах різних видів. Спектр поглинання таких речовин лінійний і має вигляд темних смуг на райдужному забарвленні спектру, якщо це видима область. При збільшенні тиску газу смуги поглинання поширюються. У рідкому стані вони зливаються, і спектр поглинання набуває вигляду, показаного на рис. 1 *б)*. Причиною розширення є посилення зв'язку атомів (молекул) у середовищі.

Коефіцієнт поглинання, що залежить від довжини хвилі (або частоти), для різних речовин різних. Наприклад, одноатомні гази і пари металів (тобто речовини, в яких атоми розташовані на значних відстанях один від одного і їх можна вважати ізольованими) мають близький до нуля коефіцієнт поглинання, і лише для дуже вузьких спектральних областей (приблизно $10^{-12} \div 10^{-11}$ м) спостерігаються різкі максимуми (так званий лінійний спектр поглинання). Ці лінії відповідають частотам власних коливань електронів в атомах.

Коефіцієнт поглинання для діелектриків невеликий (приблизно $10^{-3} \div 10^{-5} \text{ см}^{-1}$), однак у них спостерігається селективне поглинання світла у певних інтервалах довжин хвиль, коли k різко зростає та спостерігаються порівняно широкі смуги поглинання (приблизно $10^{-7} \div 10^{-6}$ м), тобто. діелектрики мають суцільний спектр поглинання. Це тому, що у діелектриках

немає вільних електронів і поглинання світла обумовлено явищем резонансу при вимушених коливаннях електронів в атомах і атомів в молекулах діелектрика.

Коефіцієнт поглинання для металів має великі значення (приблизно $10^3 \div 10^4 \text{ см}^{-1}$) і тому метали практично непрозорі для світла. У металах через наявність вільних електронів, що рухаються під дією електричного поля світлової хвилі, виникають швидкозмінні струми, які супроводжуються виділенням джоулевої теплоти. Тому енергія світлової хвилі швидко зменшується, перетворюючись на внутрішню енергію металу. Чим більше електропровідність металу, то сильніше у ньому поглинання світла.



На рис. 2 представлена характерна залежність коефіцієнта поглинання k від частоти світла ν і залежність показника заломлення n від ν в області смуги поглинання. З рисунка випливає, що всередині смуги поглинання спостерігається аномальна дисперсія (n зменшується зі збільшенням ν). Див. «класичну теорію дисперсії» з літератури [1-3].

Залежністю коефіцієнта поглинання від частоти (довжини хвилі) пояснюється колір речовини, яка поглинає електромагнітні хвилі. Наприклад, скло, що слабо поглинає червоні та помаранчеві промені і сильно поглинає зелені та сині, при освітленні білим світлом здаватиметься червоним. Якщо на таке скло направити зелене та синє світло, то через сильне поглинання світла цих довжин хвиль скло здаватиметься чорним. Це явище використовується для виготовлення

світлофільтрів, які в залежності від хімічного складу (скла з присадками різних солей; плівки із пластмас, що містять барвники; розчини барвників і т. д.) пропускають світло лише певних довжин хвиль, поглинаючи інші. Різноманітність меж селективного (виборчого) поглинання у різних речовин пояснює різноманітність і багатство кольорів і фарб, що спостерігається у навколишньому світі.

Для прозорих тіл вводять коефіцієнт пропускання τ середовища, який визначається відношенням світлового потоку випромінювання довжиною хвилі λ , що вийшли з середовища, до світлового потоку випромінювання тієї ж довжини хвилі, що увійшло в речовину:

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100\%$$

Аналогічний сенс має параметр D – оптична щільність

зразка, яка визначається за формулою $D = \lg \frac{I_0}{I}$. З рівняння (2.1) можна отримати зв'язок коефіцієнта поглинання та оптичної щільності зразка:

$$k = -\frac{1}{x} \ln \frac{I}{I_0} = \frac{2,3}{x} \lg \frac{I_0}{I} = \frac{2,3}{x} D \quad (2.2)$$

3 УЛАШТУВАННЯ І РОБОТА ФОТОМЕТРА

В основу пристрою фотометра покладено принцип врівноваження двох світлових потоків шляхом зміни одного з них за допомогою вимірювальної діафрагми зі змінним за діаметром отвором. Вимір коефіцієнта пропускання τ полягає в тому, що на фотоелементи, включені за диференціальною схемою, направляються по чергову світлові потоки (повний і пропущений через досліджуване середовище) і визначається відношення цих потоків.

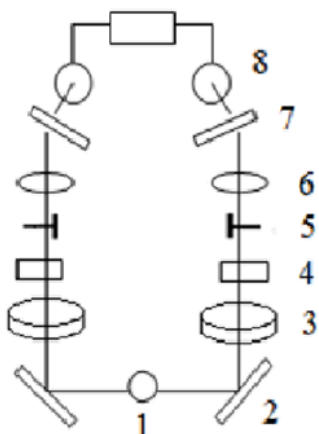


Рисунок 3 – Оптична схема фотометра

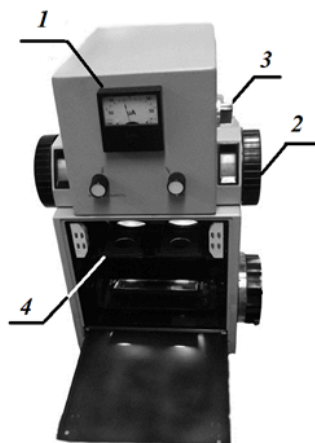


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд фотометра

Оптична система фотометра представлена на рис.3. Світлові пучки від джерела світла 1, відбившись від дзеркал 2, які введені в оптичну систему для розділення світлового потоку на дві частини, виходять із оптичних конденсаторів 3 паралельними.

Далі паралельні пучки йдуть через тверді зразки 4, вимірювальні діафрагми 5, об'єктиви 6, концентруючись на матовому склі 7, розташованих перед фотоелементами 8.

Фотострум, що виникає в результаті різниці освітлення фотоелементів, реєструється мікроамперметром 1 (рис.4). Таким чином, вирівнюючи світлові потоки за допомогою вимірювальної діафрагми зі змінним отвором (мікроамперметр повинен показувати 0), за шкалою на вимірювальних барабанах, пов'язаних з діафрагмами, визначаємо відношення у відсотках площі отвору діафрагми при її розкритті до максимальної площі її розкриття.

На вимірювальних барабанах 2 (рис.4) нанесені дві шкали – чорна та червона. Показання чорної шкали дають коефіцієнт

пропускання зразка у відсотках, як відношення площі отвору діафрагми при вимірюванні до максимальної площі її розкриття.

Червона шкала на барабані 2 відповідає оптичній щільності D .

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ І ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

4.1 Вправа 1. Визначення коефіцієнта поглинання скла для білого світла

Досліджуваний зразок скла має бути поділений не декілька шматків, або треба мати декілька зразків скла однієї якості.

1. Фотометр увімкнений у мережу напругою 220 В.
2. Виміряли мікрометром товщину зразка.
3. Правий барабан 2 фотометри встановили на поділ "100" за чорною шкалою. Поворотом лівого барабана досягли фотометричної рівноваги встановленням стрілки мікроамперметра на "0". Якщо стрілка не встановлювалась на «0», то на правий світловий пучок фотометра поклали еталонний поглинач з $\tau = 0,75$. У цьому випадку встановлення на "0" гарантовано.
4. Поклали зразок над лівим отвором предметного столика. Повертанням правого барабана 2 показання стрілки мікроамперметра 1 повернули в початкове нульове положення. Позначили за червоною шкалою правого барабана оптичну густину зразка. Дані занесли у табл.4.1.

Таблиця 4.1

№	x , мм	D
1	2,5	0,16
2	5,0	0,25
3	7,5	0,44
4	10,0	0,62
5	12,5	0,70

5. Виміряли товщину наступної пластини. До таблиці записали сумарну товщину зразків! Поклали цю пластинку на першу над лівим отвором предметного столика і визначили оптичну щільність так само, як і в попередньому випадку (див.п.4).

6. Так само виміряли оптичну щільність 3-х, 4-х, 5-ти зразків. Заповнили таблицю 4.1.

7. За отриманими даними **побудуйте** графік залежності $D=f(x)$, відкладаючи по осі Ox – товщину пластинок, по осі Oy – оптичну щільність D . За тангенсом кута нахилу графіка **визначте** коефіцієнт поглинання скла для білого світла:

$$k = 2,3 \lg \alpha.$$

8. Зробіть висновки.

4.2 Вправа 2. Дослідження залежності коефіцієнта поглинання світла від довжини хвилі

Маємо 2 скельця схожого кольору.

1. Увімкнули перемикачем 3 (рис.4) світлофільтр №1. Аналогічно пункту 3 вправи 1 встановили фотоелектричну рівновагу приладу.

2. Зразок (кольорове скло) поклали над лівим отвором предметного столика. Визначили оптичну щільність зразка як і в п.4 вправи 1. Дані занесли у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

№ фільтра	λ , нм	Зразок 1	Зразок 2
		D_1	D_2
1	400	0,02	0,52
2	457	0,5	0,15
3	495	0,4	0,12
4	540	0,1	0,15

5	585	0,05	0,23
6	640	0,1	0,47
7	700	0,15	0,15
8	750	0,17	0,12

3. Включаючи перемикачем 3 послідовно світлофільтри від №1 до №8, виміряли оптичну щільність D для кожного світлофільтра, заповнюючи таблицю 4.2.

Увага! Перед включенням кожного світлофільтра необхідно перевірити фотоелектричну рівновагу.

4. Повторили вимірювання за п. 1-3 для іншого зразка.

5. **Побудуйте** за даними таблиці 4.2 графіки залежності $D = \varphi(\lambda)$ і за ними **визначте** смуги поглинання. Зробіть порівняльні висновки.

6. Враховуючи правила змішування кольорів (наприклад, за допомогою <https://products.aspose.app/svg/ru/color-mixer>) та користуючись додатком 1, дайте відповідь: якого кольору були зразки. Поясніть, чому графіки різні, якщо колір однаковий.

Варіант 2 таблиць вимірювання.

Таблиця 4.1

№	x , мм	D
1	3,2	0,25
2	6,4	0,53
3	9,6	0,70
4	12,8	0,96
5	16,0	1,21

Таблиця 4.2

№ фільтра	λ , нм	Зразок 1	Зразок 2
		D_1	D_2
1	400	0,08	0,45

2	457	0,13	0,12
3	495	0,48	0,08
4	540	0,51	0,11
5	585	0,09	0,26
6	640	0,11	0,15
7	700	0,42	0,3
8	750	0,25	0,10

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поясніть механізм поглинання світла.
2. Опишіть процеси взаємодії світла із речовиною.
3. Виведіть формулу для визначення коефіцієнта поглинання та сформулюйте закон Бугера.
4. Який принцип покладено основою даного методу вимірів?
5. Від чого залежить коефіцієнт поглинання? Як визначається коефіцієнт пропускання та оптична щільність зразка?
6. Поясніть механізм резонансного поглинання світла речовиною.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Трофимова Т.Н. Курс фізики. – М.: Высш.шк.-1975.-432с.
2. Бушок Г.Ф. Курс фізики: навчальний посібник: у 2 кн. Кн.2: Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка / Г.Ф.Бушок, Є.Ф.Венгер. -2-ге вид.-К.: Либідь,2001-424с.
3. Фізика / І.Є. Лопатинський, І.Р. Зачек, Г.А. Ільчук, Б.М. Романішин. – Львів: Афіша, 2005. – 349 с.

Додаток 1

колір	довжина хвилі, нм
червоний	~ 635-770
помаранчевий	~ 590-635
жовтий	~ 565-590
зелений	~ 520-565
блакитний	~ 500-520
синій	~ 450-500
фіолетовий	~ 380-450