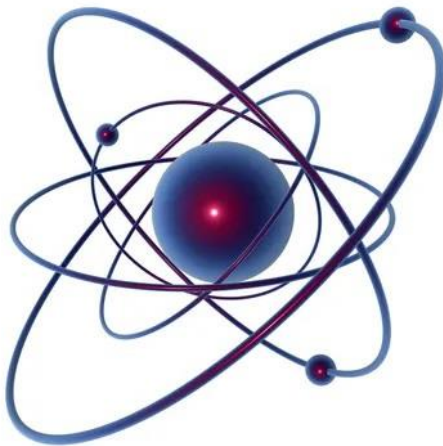


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ

*Методичні рекомендації
щодо організації
практичних занять з фізики,
частина 2. Хвильова оптика та квантова природа
випромінювання для студентів денної та заочної форм
навчання технічних спеціальностей*



Луцьк, 2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ

*Методичні рекомендації
щодо організації
практичних занять з фізики,
частина 2. Хвильова оптика та квантова природа
випромінювання для студентів денної та заочної форм
навчання технічних спеціально*

Протокол НМВ № 11 від 28.06.2022 р.

Луцьк, 2022

УДК 378.147

Методичні рекомендації з курсу загальної фізики для студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання. Фізика. Частина 2. Хвильова оптика та квантова природа випромінювання для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей / Л.Г.Сергієнко – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк 2022 р.– 40 с.

Мета вказівок – надати методичну та організаційну допомогу студентам для організації та реалізації самостійної роботи під час підготовки до практичних занять з курсу фізики.

Вказівки містять технологічні планкарти лекційних та практичних занять із указівкою літератури для самостійної роботи під час підготовки до практичних занять..

Укладач: Сергієнко Л. Г., к.п.н., доцент кафедри ВМФ

Рецензент: Новікова Ю.В., к.ф.-м.н., доц.. кафедри ВМФ

Відповідальний за випуск: Новікова Ю.В., зав. кафедрою ВМФ

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 11 від 28.06. 2022 р.

Розглянуто на засіданні кафедри математики і фізики,
протокол № 6 від 27.05.2022 р.

Протокол НМВ № 11 від 28.06.2022 р.

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Хвильова оптика:	
1.1. Практичне заняття 1. Інтерференція. Розрахунок інтерференційної картини. Застосування інтерференції	6
1.2. Практичне заняття 2. Дифракція. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Фраунгофера та дифракційна ґратка.....	14
1.3. Практичне заняття 3. Дисперсія. Нормальна та аномальна дисперсія. Застосування явища дисперсії.....	19
1.4. Практичне заняття 4. Поляризація світла. Повна та часткова поляризація. Закон Малюса та Брюстера. Використання явища поляризації. Застосування явища поляризації.....	22
2. Квантова природа випромінювання:	
2.1. Практичне заняття 5. Теплове випромінювання та його закони (Кірхгофа, Стефана-Больцмана, Віна, Релея-Джинса, Планка). Абсолютно чорне тіло. Оптична пірометрія.....	26
2.2. Практичне заняття 6. Зовнішній та внутрішній фотоефект та його закони. Рівняння Ейнштейна для фотоефекта. Маса та імпульс фотона. Формула Планка. Застосування явища фотоефекта.....	30
2.3. Практичне заняття 7. Тиск світла. Досліди Лебедева. Теорія тиску світла. Фотосинтез та його використання.....	33
2.4. Практичне заняття 8. Ефект Комптона та його теорія.....	35
3. Питання для самоперевірки.....	38
4. Екзаменаційні питання з фізики	39
5. Список рекомендованої літератури	40

ВСТУП

Вивчення курсу загальної фізики є одним з найважливіших елементів підготовки висококваліфікованого інженера, воно сприяє розвитку логічного мислення, підвищенню загального наукового рівня та виробленню навичок дослідження прикладних питань.

Мета даних методичних рекомендацій – допомогти студентам–першокурсникам у самостійній організації та реалізації їхньої роботи з вивчення курсу загальної фізики. Рекомендації містять технологічні плани-карти лекцій та практичних занять, варіанти карток машинного та безмашинного методу контролю, які проводяться в аудиторії по окремих розділах курсу в якості поточного контролю. Докладний перелік тем кожної лекції супроводжується докладними літературними посиланнями через відсутність фундаментального підручника для студентів технічних спеціальностей різних форм навчання. Особливо виділяються ті питання, що виносяться на самостійне вивчення.

По всіх темах практичних занять приводяться номери задач, які варто вирішити студентам самостійно для успішного засвоєння курсу. Частина цих задач вирішується на практичних заняттях в аудиторії (приклади їхнього рішення приводяться в даних рекомендаціях), а частина - складає завдання студенту для самостійного рішення.

Контрольні та індивідуальні завдання виконуються після вивчення студентами відповідних розділів курсу фізики з урахуванням наступних вимог:

1. Студент виконує завдання тільки відповідно до свого варіанту.
2. Контрольні роботи виконуються в окремих зошитах або на аркушах формату А-4, залишаючи поля для зауважень рецензента.
3. На титульному листі обов'язково вказується предмет (фізика), номер контрольної роботи, прізвище та ім'я по-батькові, номер варіанту, дату виконання роботи.
4. Перш за все, необхідно уважно прочитати умову завдання, записати його в повній і стислій формах.
5. Вказати основні закони та формули, на яких базується рішення цієї задачі, дати пояснення цих законів.
6. Навести креслення, яке пояснює зміст задачі (якщо це необхідно та можливо).
7. Супроводити рішення задачі короткими, але вичерпними поясненнями.
8. Завдання з невеликою кількістю розрахунків слід виконувати в загальному вигляді, а потім у одержані формули підставити чисельні значення величин. Зробити їх перевірку.

9. Для завдань з великою кількістю розрахунків необхідно спочатку показати загальний засіб рішення, скласти відповідні рівняння, які зручніше потім виконувати з підставленими численними значеннями.
10. езульти, які одержані під час виконання завдань, слід перевіряти та обґрунтовувати. Оцінити правдоподібність одержаних численних результатів, зробити висновки.
11. Якщо під час виконання завдань, або при вивченні навчальної літератури з фізики та спеціальних дисциплін виникають труднощі, необхідно звернутися за консультацією до викладача, вказуючи при цьому на особисті міркування щодо рішення цієї задачі.

1. ХВИЛЬОВА ОПТИКА

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Фотометричні величини. Одиниці вимірювання фотометричних величин. Інтерференція. Розрахунок інтерференційної картини. Застосування інтерференції

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з інтерференції. Розрахунок інтерференційної картини. Практичне застосування фізичного явища інтерференції

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з інтерференції. Опанувати розрахунок інтерференційної картини та засвоїти застосування інтерференції.

Сила світла (основна, величина): $I = 1$ свічка (св).

Світловий потік $\Delta\Phi = I\Delta\omega$; якщо $I = 1$ св, тілесний кут $\Delta\omega = 1$ стерadian (стер), то $\Delta\Phi = 1$ люмен (лм.)

Повний світловий потік, випромінюваний джерелом, силою світла $I_{\text{св}}$:

$$\Phi = 4\pi \cdot I_{\text{св}} \text{ лм}$$

Освітленість поверхні E , на яку падає світловий потік:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Якщо $\Phi = 1$ лм, $S = 1 \text{ м}^2$, то $E = 1 \text{ лм/м}^2 = 1$ люкс (лк).

Світність поверхні R , що випромінює світловий потік Φ лм:

$$R = \frac{\Phi}{S}$$

Якщо $\Phi = 1$ лм, $S = 1 \text{ м}^2$, то $R = 1 \text{ лм/м}^2$.

Яскравість B плоскої поверхні, що світиться:

$$B = \frac{1}{S \cos \varphi}.$$

де φ - кут між напрямком спостереження і нормаллю до поверхні.

Якщо $I = 1$ св, $S = 1 \text{ м}^2$, $\varphi = 0$, то $B = 1 \text{ св/м}^2 = 1$ нит (нт).

Деякі формули, що застосовуються для розв'язання задач з оптики (хвильової та квантової),

Оптична сила тонкої двоопуклої сферичної лінзи:

$$D = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де n – відносний показник заломлення, R_1 і R_2 радіуси кривизни поверхні лінзи.

Формула для дзеркала Френеля:

$$\lambda = d \frac{D}{H},$$

де λ - довжина світлової хвилі,

d – відстань між уявними джерелами світла,

H – відстань екрана від джерела світла,

D – відстань між центральною світлою інтерференційною смугою та найближчою до неї світловою смугою на екрані.

При накладанні двох або більше монохроматичних когерентних хвиль однакової частоти спостерігається явище інтерференції, при цьому результуюча інтенсивність визначається за формулою:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$$

де I_1 – інтенсивність однієї хвилі,

I_2 – інтенсивність другої хвилі,

$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$ - різниця фаз хвиль;

$\Delta = n_2 S_2 - n_1 S_1$ - оптична різниця ходу від двох когерентних джерел, які мають однакову фазу коливань;

n_1 і n_2 - показники заломлення;

S_1 і S_2 - шляхи відповідних хвиль;

λ_0 - довжина хвилі у вакуумі.

Умови інтерференційних максимумів:

$$\Delta = \pm m \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

і мінімумів
$$\Delta = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Довжина, час і радіус когерентності пов'язані співвідношеннями:

$$l_{\text{ког}} = ct_{\text{ког}} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}; \quad \rho_{\text{ког}} \approx \frac{\lambda}{\psi}$$

де $\lambda/\Delta\lambda$ - ступінь монохроматичності світла:

ψ - кутовий розмір джерела.

Граничний порядок інтерференції, який спостерігається:

$$m_{\text{ep}} \approx \frac{\lambda}{\Delta\lambda}.$$

При відбитті світла від оптично більш густого середовища фаза хвилі змінюється стрибком на π .

Різниця ходу світлових хвиль, відбитих від верхньої та нижньої поверхонь тонкої пластинки:

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \Theta} - \frac{\lambda_0}{2},$$

де b – товщина пластинки;

Θ - кут падіння хвиль.

Радіуси світлого $r_m^{\text{св}}$ та темного r_m кілець Ньютона з номером m у відбитому світлі (R – радіус кривизни лінзи): ($m = 1, 2, 3, \dots$)

$$r_m^{\text{св}} = \sqrt{\frac{(2m-1)R\lambda}{2}}$$

$$r_m = \sqrt{mR\lambda} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ

Задача 1. Визначити коефіцієнт заломлення n матеріалу лінзи, якщо радіуси кривизни її поверхонь дорівнюють $R_1 = R_2 = 50\text{см}$, а оптична сила $D = 2$ диоптрії.

Розв'язок:

Задача розв'язується за формулою: $D = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ Отже,

$$n = \frac{\frac{D}{2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} + 1$$

Визначимо всі величини в одиницях системи СІ та отримаємо: $R_1 = 50$ см = 0,5 м; $R_2 = 50$ см = 0,5 м; $D = 2$ диоптрії.

Підставляємо числові значення величин у формулу і визначаємо:

$$n = \frac{2}{\frac{1}{0,5} + \frac{1}{0,5}} + 1 = 1,5$$

Задача 2. Визначити відстань між уявними джерелами світла у досліді Френеля, якщо відстань D між симетричними відносно центральної світлової смуги першими темними смугами на екрані дорівнює $D = 3$ мм, а відстань від уявних джерел до екрана $H = 2$ м (див. рис. 1). Довжина світлової хвилі точкового джерела $\lambda = 0,6$ мк.

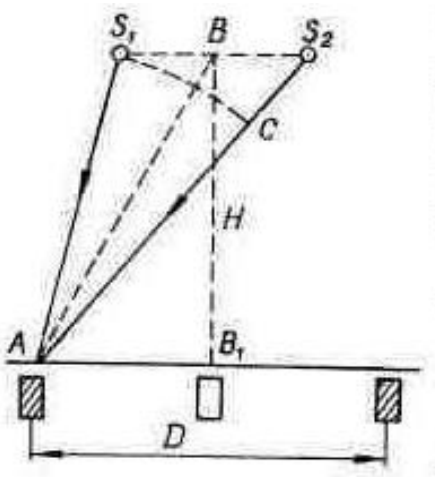


Рис.1

Розв'язок:

Відстань між уявними джерелами світла S_1 та S_2 (рис. 1.3) знайдемо, склавши пропорцію для подібних трикутників ABB_1 та $S_1 S_2 C$. У трикутнику $S_1 S_2 C$ сторона $S_2 C$ дорівнює половині довжини світлової

хвилі, тобто $S_2C = \frac{\lambda}{2}$ (при цій умові у точці А на екрані буде темна інтерференційна смуга).

З подібності трикутників виходить, що $\frac{\lambda}{2} : \frac{D}{2} = \frac{x}{AB}$.

Беручи до уваги те, що $AB \approx B\hat{A}_1 = H$ на основі того, що кут $\hat{A}\hat{A}_1$ дуже

малий, пропорцію можна записати так: $\frac{\lambda}{D} = \frac{x}{H}$,

звідки $x = \frac{\lambda H}{D}$. На рисунку 1 $x = S_1S_2$.

Виражаємо числові значення величин у одиницях системи СІ: $\lambda = 0,6 \text{ мк} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $H = 2 \text{ м}$; $D = 3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Підставивши числові значення у формулу, знайдемо:

$$x = \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{3 \cdot 10^{-3}} \text{ м} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Задача 3. У досліді із дзеркалами Френеля відстань між уявними джерелами монохроматичного світла ($\lambda = 0,6 \text{ мк}$) дорівнює $d = 1 \text{ мм}$. На відстані $H = 5 \text{ м}$ від джерел помістили екран. Визначити відстань між світлими інтерференційними смугами в центрі екрана.

Розв'язок

Задачу розв'язуємо за формулою для інтерференції світла у досліді з дзеркалами Френеля. $\lambda = d \frac{D}{H}$,

де λ - довжина світлової хвилі d - відстань між уявними джерелами світла D - відстань між центральною світлою інтерференційною смугою та найближчою до неї світлою смугою на екрані;
 H - відстань екрана від джерела світла.

З формули знаходимо шукану відстань: $D = \frac{\lambda H}{d}$

Виражаємо всі величини в одиницях системи СІ:

$$\lambda = 0,6 \text{ мк} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$d = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}; H = 5 \text{ м}.$$

Підставивши у формулу числові значення величин, знайдемо:

$$D = \frac{0.6 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{10^{-3}} \text{ м} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Приклад 4. Яка товщина мильної плівки, якщо при спостереганні її у відбитому світлі вона має зелене забарвлення ($\lambda = 0,5 \text{ мк}$) при куті відбиття $i = 35^\circ$? Показник заломлення мильної води $n = 1,33$. Яке забарвлення буде мати ця плівка, якщо спостерігати її у прохідному світлі при попередньому куті падіння?

Розв'язок

Застосовуємо формулу для інтерференції у відбитому світлі для плоско-паралельної плівки:

$$\Delta = 2dn \cos r - \frac{\lambda}{2}$$

де d – товщина плівки;

n – коефіцієнт заломлення речовини плівки;

r – кут заломлення променів;

λ – довжина світлової хвилі;

k – різниця ходу променів (k може дорівнювати 1, 2 і 3);

при $k = 1$ знайдемо найменшу товщину плівки, яка задовольняє умові задачі.

Формулу (1) можна (виразити через кут падіння i , для цього запишемо:

$$\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r}, \text{ але}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \quad \text{отже} \quad \sin r = \frac{\sin i}{n} \text{ і тому}$$

$$\cos r = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}} = \frac{1}{n} \sqrt{n^2 - \sin^2 i}.$$

Підставивши знайдений вираз для $\cos r$ у формулу (1), одержимо:

$$k\lambda = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}$$

Взявши $k = 1$, визначимо товщину плівки:

$$d = \frac{\lambda + \frac{\lambda}{2}}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$$

Це найменша товщина плівки, яка при куті падіння світла 35° здається забарвленою у зелений колір. При $k = 2$ знайдемо нову товщину плівки (більшу ніж у першому випадку), при якій плівка також забарвлена у зелений колір при куті падіння 35° .

Виразимо всі величини в одиницях системи СІ:

$$\lambda = 0,5 \cdot 10^{-6}; n = 1,33; i = 35^\circ; \sin i = 0,57.$$

Після підставлення числових значень знайдемо.

$$d = \frac{3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{4\sqrt{1,33^2 - 0,57^2}} \text{ м} = 0,312 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Якщо $k = 2$, то $d_1 = 0,520 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Для визначення забарвлення плівки у прохідному світлі обчислимо

$$\text{довжину хвилі світла за формулою: } \lambda_1 = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$$

$$\text{Отже } \lambda_1 = 2 \cdot 0,312 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 = 0,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Таку довжину мають хвилі червоних променів світла.

Задача 5. Предмет освітлюється шахтною „коногонкою” і дає тінь на мурі. Під час вертикального положення предмету тінь виразно відтворює форму цього предмету (наприклад, зубців), а під час горизонтального положення предмету тінь розмита (наприклад, зубців не видно). Поясніть, чому? Наведіть приклади.

Чому, коли ми дивимось на ряд ліхтарів, які розташовані вздовж шахтного треку, ми бачимо їх однаково яскраво освітленими, хоча відстань від ока до ліхтарів неоднакова? Відповідь обґрунтувати.

У якому середовищі промені світла можуть бути криволінійними? Відповідь обґрунтувати.

Шахтний ліхтар у вигляді рівномірно освітленого кола в І Кд має діаметр d см. Визначити:

- повний світловий потік Φ , який випромінює ліхтар;
- його світність R ;
- освітленість E_1 , світність R_1 і яскравість B_1 екрану, на який падає k % світового потоку, випроміненого світильником.

Площа складає $S \text{ м}^2$, а коефіцієнт відображення світла його поверхні складає ρ (див. табл.1).

Задача 6. Доказати, що в тих випадках, коли яскравість джерела не залежить від напрямку, світність R і яскравість B пов'язані співвідношенням $R = \pi B$.

Таблиця 1

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I, \text{Кд}$	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
$d, \text{см}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$k, \%$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
$S, \text{м}^2$	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,5	0,55	0,6	0,7	0,75
ρ	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,58

Задача 7. Оптична різниця ходу двох когерентних джерел світла з довжиною хвилі λ дорівнює $k\lambda$. Визначте різницю фаз (див. табл. 2).

Таблиця 2

варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda, \text{мкм}$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7
$k\lambda,$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55

Задача 8. Визначити переміщення дзеркал у шахтному інтерферометрі, якщо інтерференційна картина змістилась на m смуг. Дослід проводився із світлом, який має довжину хвилі (див. табл.3)

Таблиця 3

варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ , мкм	350	450	550	546	650	750	650	550	450	350
m, смуг	50	60	70	80	90	99	95	85	75	65

Задача 9. Пучок природного світла, який йде скрізь шахтну воду, відбивається від межі кристала (алмаз, вугіль, сіль), зануреного у воду. Коли це можливо? Визначити кут падіння відображеного світла, якщо світло повністю поляризоване?

Література [2, §16-19] [4, §110]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Дифракція світла. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракція Фраунгофера від щілини при нормальному падінні світла. Дифракція Френеля від круглого отвору радіуса r .

Оптичні прилади. Голографія та її практичне застосування.

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з дифракції світла. Розрахунок дифракційної картини. Практичне застосування явища дифракції.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з . дифракції. Опанувати розрахунок дифракційної картини та застосування дифракції.

Кількість відкритих зон Френеля визначається:

$$m = \frac{r^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right),$$

де a – відстань від джерела до перепони;

b – відстань від перепони до точки спостереження.

Дифракція Фраунгофера від щілини при нормальному падінні світла.

Розподіл інтенсивності за напрямом:

$$I_{\varphi} = I_0 \left[\frac{\sin(\pi b \sin \varphi / \lambda)}{\pi b \sin \varphi / \lambda} \right]^2$$

де I_0 - інтенсивність у центрі дифракційної картини;

b – ширина щілини;

φ – кут дифракції.

Умова мінімумів інтенсивності:

$$b \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

Умова максимумів інтенсивності:

$$b \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

При нормальному падінні плоскої монохроматичної хвилі на дифракційну ґратку інтенсивність у точці, положення якої визначається кутом дифракції φ ,

$$I = I_1 \left[\frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)} \right]^2,$$

де I_1 - інтенсивність, створювана однією щілиною; $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi$,

N - кількість щілин у ґратці.

Положення головних максимумів:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

де d – період ґратки;

m – порядок головного максимумів.

Положення головних мінімумів:

$$b \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

де b – ширина щілини.

Положення додаткових мінімумів:

$$d \sin \varphi = \pm \frac{k'}{N} \lambda \quad (k' = 1, 2, \dots, N-1, N+1, \dots, 2N-1, 2N+1, \dots)$$

Кількість головних максимумів при нормальному падінні хвилі:

$$m \leq \frac{d}{\lambda}$$

Кутова D_φ та лінійна D_l дисперсії дифракційних ґраток:

$$D_\varphi = \frac{\delta \varphi}{\delta \lambda} = \frac{m}{d \cos \varphi};$$

$$D_l = \frac{\delta l}{\delta \lambda} \approx f D_\varphi,$$

де $\delta \varphi$ – кутова відстань;

δ – лінійна відстань між спектральними лініями, які відрізняються за довжиною хвилі на $\delta\lambda$;

f – фокусна відстань лінзи, яка проектує спектр на екран.

Роздільна здатність дифракційної ґратки:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN$$

Роздільна здатність об'єктива:

$$R = \frac{D}{1,22\lambda}$$

де D – діаметр об'єктива.

Формула Вульфа-Брегга для дифракції рентгенівських променів:

$$2d \sin \Theta = \pm m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

де Θ – кут ковзання;

d – відстань між атомними площинами.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ДИФРАКЦІЇ

Приклад 1. На дифракційну решітку нормально падає світло натрію ($\lambda = 0,59$ мк). Знайти період решітки, якщо кут між двома спектрами першого порядку дорівнює $\alpha = 13^\circ 34'$.

Розв'язок

Розв'язуємо за формулою: $k\lambda = (a + b)\sin \varphi_k$

де k – порядок спектра; $a + b$ – період решітки; φ_k – кут дифракції (відхилення променів від нормалі до решітки).

У задачі дано кут α між двома спектрами першого порядку. Цей кут у два рази більший за кут дифракції φ_k , що видно з рис. 2. Отже,

$$\varphi_k = \frac{\alpha}{2}$$

Підставляючи $\alpha/2$ у формулу для дифракційної решітки, знайдемо:

$$a + b = \frac{\lambda}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

Підставивши числове значення у одиницях системи СІ ($\lambda = 0,59 \cdot 10^{-6}$ м), одержимо:

$$a + b = \frac{0,59 \cdot 10^{-6}}{\sin 6^\circ 47'} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м'}$$

або на одному міліметрі 200 ліній.

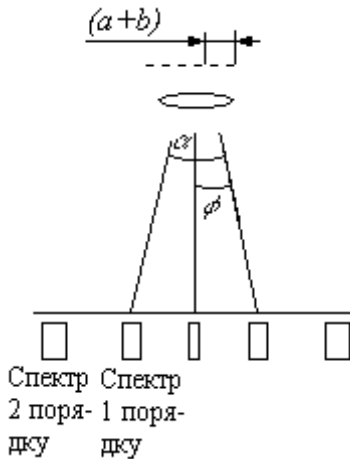


Рисунок 2

Приклад 2. На дифракційну решітку, яка має 430 штрихів на 1 мм, нормально падає пучок світла від натрієвого пальника ($\lambda = 0,589$ мк). Визначити кут відхилення променів світла, при якому спостерігається останній дифракційний максимум. Який порядок цього максимуму?

Розв'язок

Для дифракційної решітки застосовуємо формулу:

$$k\lambda = (a + b) \sin \varphi_k$$

де k – порядок спектра (порядок максимумів у нашому випадку); φ_k – кут відхилення променів світла, що відповідає k -му дифракційному максимуму $a + b$ – стала решітки.

Знаходимо число максимумів, яке утворює решітка по одну сторону від нульового (центрального) максимуму, взявши до уваги, що для останнього максимуму кут (відхилення φ_k променів не може бути більшим за 90° (рис. 3).

Тому взявши, що $\varphi_k = 90^\circ$ (ця умова визначає останній максимум), з формули для дифракційної решітки знайдемо:

$$k = \frac{(a + b) \sin 90^\circ}{\lambda} \quad \text{або} \quad k = \frac{a + b}{\lambda} \quad (1)$$

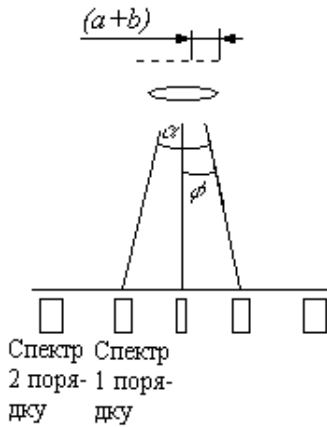


Рисунок 3

Виразимо числові значення в одиницях системи СІ:

$$a + b = \frac{1}{430} \text{ мм} = \frac{10^{-3}}{430} \text{ м}; \quad \lambda = 0,589 \text{ мк} = 0,589 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Підставляючи числові значення величин у формулу (1), знаходимо:

$$k = \frac{10^{-3}}{430 \cdot 0,589 \cdot 10^{-6}} = 3,9$$

Тому що порядок спектра може бути лише цілим числом, треба взяти $k = 3$ (k не може дорівнювати 4, бо у цьому випадку $\sin \varphi_k > 1$).

Для того щоб визначити кут відхилення променів, при якому спостерігається останній максимум, треба застосувати формулу:

$$\sin \varphi_k = \frac{k\lambda}{a + b}$$

Підставивши у формулу (2) $k = 3$ і $\lambda = 0,589 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ визначимо:

$$\sin \varphi_k = \frac{3 \cdot 0,589 \cdot 10^{-6} \cdot 430}{10^{-3}} = 0,76$$

З таблиці визначимо кут $\varphi_k = 49^\circ 30'$.

Задача 3. За допомогою дифракційної ґратки з періодом d потрібно розділити дублет натрію (λ_1 і λ_2) у спектрі n -го порядку. Яка найменша довжина l ґратки для цього потрібна? (див.табл.4).

Таблиця 4.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d, \text{см}$	2,5	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$\lambda_1, \text{нм}$	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589
$\lambda_2, \text{нм}$	580,6	581,1	582,2	583,3	584,4	585,5	586,6	587,7	588,8	589,9
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Література [2, §20-20.1.2,3]; [4, §93-96]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА. НОРМАЛЬНА ТА АНОМАЛЬНА ДИСПЕРСІЯ. ЕФЕКТ ДОПЛЕРА, ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЯВИЩА ДИСПЕРСІЇ

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з дисперсії світла. Практичне застосування явища дисперсії.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з дисперсії світла. Опанувати розрахунок дисперсійної картини та застосування природного явища дисперсії.

Дисперсія світла — залежність показника заломлення (або діелектричної проникності) середовища від частоти світла. Внаслідок зміни показника заломлення змінюється також довжина хвилі.

$$\begin{array}{l} n \sim \frac{1}{v} \\ \lambda \sim v \end{array} \Rightarrow n \sim \frac{1}{\lambda}$$

$$v = \frac{\omega}{k}$$

де n – показник заломлення середовища,

ν – частота світла,

λ – довжина хвилі,

c – швидкість світла у вакуумі,

ω – кутова швидкість світла,

k – хвильове число.

Нормальна й аномальна дисперсії

Здебільшого показник заломлення зростає зі збільшенням частоти. Таке зростання називають **нормальною дисперсією**. При нормальній дисперсії червоне світло заломлюється слабше, ніж блакитне.

Аномальна дисперсія — зменшення показника заломлення зі збільшенням частоти — спостерігається на частотах, що близькі до смуг інтенсивного поглинання.

Середовище реагує на зміну зовнішнього електричного поля зміною наведеної в ньому поляризації. Поляризація виникає завдяки зміщенню зв'язаних зарядів, наприклад, зміщенню електронів відносно ядер атомів. Процеси зміщення не відбуваються миттєво, а вимагають певного часу. Крім того, зміщення можуть бути різними за величиною, й ставати особливо значними тоді, коли частота зміни зовнішнього поля потрапляє в резонанс з коливаннями, характерними для системи.

Коли електричне поле світлової хвилі, яка розповсюджується в середовищі, змінюється повільно, середовище встигає повністю відреагувати на зміну поля. Якщо ж електричне поле змінюється дуже швидко, електрони не встигають відслідковувати його зміни. Цим пояснюються різні значення показника заломлення при різних частотах електромагнітних хвиль.

Властивості та прояви

Одним з наочних проявів дисперсії є розкладання білого світла при проходженні його крізь призму (дослід Ньютона). Різниця фазових швидкостей для променів із різною довжиною хвилі при поширенні в прозорому оптичному середовищі зумовлює дисперсію (у вакуумі швидкість світла завжди однакова, незалежно від довжини хвилі випромінювання) див. рис. 4:

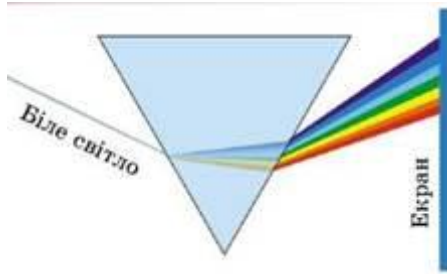


Рис. 4

Дисперсія світла дозволила вперше довести той факт, що біле світло складається з світла інших довжин хвиль.

Явище дисперсії можна спостерігати при заломленні сонячного світла у краплях води, які утворюються в атмосфері. Воно супроводжується розкладом на кольорові промені. Цим пояснюється утворення веселки.

Дисперсією світла пояснюється і хроматична аберация — недолік лінзи, пов'язаний з тим, що зображення предмета має кольорові краї. Це пояснюється тим, що фокусна відстань лінзи для променів різних кольорів є різною.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ДИСПЕРСІЇ

Задача №1. Світлова хвиля довжиною 600 нм розповсюджується в повітрі. Яка довжина хвилі у воді?

Розв'язок

Довжини λ_1 і λ_2 світлових хвиль у повітрі та у воді пов'язані зі швидкостями v_1 та v_2 розповсюдження цих хвиль у повітрі наступними співвідношеннями:

$$\lambda_1 = v_1 / \nu \quad (1)$$

$$\lambda_2 = v_2 / \nu \quad (2)$$

де ν — частота світла, яка не змінюється під час переходу із одного середовища до іншого.

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Звідки визначаємо:

Швидкості розповсюдження світла в повітрі та воді пов'язані з абсолютними показниками заломлення цих середовищ співвідношенням:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

Звідки:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{n_1}{n_2}.$$

Отже:

Після підстановки числових даних, отримаємо $\lambda_2 = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Література [2, §21.4]; [4, §97-98]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Поляризація світла. Закони Малюса та Брюстера.

Електромагнітні хвилі в речовині.

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з поляризації світла. Практичне застосування явища поляризації.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з поляризації світла. Опанувати розрахунок поляризаційної картини та застосування природного явища поляризації.

Площина поляризації — площина, в якій коливається світловий вектор (E). Закон Малюса:

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

де I , I_0 – відповідно інтенсивність плоскополяризованого світла, що пройшло через поляризатор і інтенсивність падаючого плоскополяризованого світла; φ – кут між площиною поляризації падаючого світла і площиною пропускання поляризатора.

Ступінь поляризації плоскополяризованого світла:

$$P = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}),$$

де $I_{\max}$, $I_{\min}$ - відповідно максимальна і мінімальна інтенсивності часткове поляризованого світла, що пройшло через аналізатор.

Закон Брюстера:
$$\operatorname{tg} \Theta_B = \frac{n_2}{n_1},$$

де Θ_B - кут падіння, при якому відбита світлова хвиля максимально поляризована;

n_1, n_2 - відповідно показник заломлення середовища, на яке падає світло, і показник заломлення середовища, з якого падає світло на межу поділу.

Коефіцієнт відбиття при нормальному падінні:

$$\rho = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

Коефіцієнт пропускання при нормальному падінні:

$$\sigma = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

Формули Френеля для інтенсивності світла, відбитого від межі поділу

двох діелектриків:

$$I_{\perp} = 0,5 I_0 \frac{\sin^2(\Theta_1 - \Theta_2)}{\sin^2(\Theta_1 + \Theta_2)}; \quad I_{\parallel} = 0,5 I_0 \frac{\operatorname{tg}^2(\Theta_1 - \Theta_2)}{\operatorname{tg}^2(\Theta_1 + \Theta_2)},$$

де $I_{\perp}$ і $I_{\parallel}$ - інтенсивності відбитого світла, у якого коливання світлового вектора відповідно є перпендикулярними і паралельними площині падіння; I_0 - інтенсивність падаючого природного світла; Θ_1 - кут падіння; Θ_2 - кут заломлення.

Кут φ повороту площини поляризації оптично активними речовинами:

а) у твердих тілах: $\varphi = \alpha l$,

де α - стала обертання;

l - довжина шляху, який пройшло світло в оптично активній речовині;

б) у чистих рідинах: $\varphi = [\alpha] \rho l$,

де $[\alpha]$ - питоме обертання; ρ - густина речовини;

в) у розчинах

$$\varphi = [\alpha] c l$$

де c - концентрація оптично активної речовини у розчині.

Магнітне обертання площини поляризації:

$$\varphi_{\text{магн}} = V H$$

де V - стала Верде; H - напруженість магнітного поля, l - шлях світла.

Діелектрична проникність речовини; (згідно з елементарною теорією

дисперсії):

$$\varepsilon = 1 + \sum \frac{n_k e^2}{m \varepsilon_0 (\omega_{0k}^2 - \omega^2)}$$

де n_k - концентрація електронів з власною частотою ω_{0k} ;

e, m - заряд і маса електрона.

Зв'язок між показником заломлення і діелектричною проникністю для неферомагнітного середовища в оптичній області спектра:

$$n = \sqrt{\varepsilon}$$

При поширенні в речовині монохроматичної хвилі її інтенсивність зменшується згідно з законом:

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

де I_0 - інтенсивність падаючої хвилі; I - інтенсивність хвилі після проникнення в речовину на відстань x ; α - лінійний показник ослаблення

(внаслідок поглинання і розсіювання).

Подвійне променезаломлення в ізотропній речовині, яку поміщено в електричне поле,

$$\Delta\varphi = 2\pi B l E^2$$

де $\Delta\varphi$ - різниця фаз між звичайним і незвичайним променями; B - коефіцієнт Керра; l - довжина шляху променя; E - напруженість електричного поля.

Кут Θ між напрямками поширення випромінювання Вавілова - Черенкова і вектором швидкості V частинки, яка рухається у речовині з

надсвітловою швидкістю $V > v = \frac{c}{n}$:

$$\Theta = \arccos\left[\frac{c}{nV}\right]$$

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ПОЛЯРИЗАЦІЇ

Задача 1. На скляну пластинку ($n = 1,6$) падає природний промінь світла. Визначити кут між падаючим та відбитим променем, якщо відбитий промінь максимально поляризований.

Рішення

Для розв'язання потрібно застосувати закон Брюстера, який визначає

умову максимальної поляризації променів при відбитті: $tgi = n$, де i – кут падіння променя, при якому відбитий, промінь максимально поляризований; n – коефіцієнт заломлення речовин, що відбиває промінь.

Кут між падаючим та відбитим променями у два рази більший за кут падіння, тому знаходимо спочатку кут падіння з умови $tgi = n$, (а потім визначимо шуканий кут $\alpha = 2i$).

Тому що $tgi = 1,6$, то $i = 58^\circ$, а шуканий кут $\alpha = 2i = 116^\circ$.

Задача 2. Пучок природного світла, який проходить крізь воду, відбивається від грані алмазу, зануреного у воду. При якому куті падіння відбите світло повністю є поляризованим?

Рішення

Згідно з законом Брюстера, світло, яке відбивається від діелектрика, є повністю поляризованим, якщо тангенс кута падіння дорівнює:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_B = n_{21},$$

де n_{21} – відносний показник заломлення другого середовища (алмаз) по відношенню до першого середовища (води).

Звідки: $\varepsilon_B = \arctg(n_{21}) = 61^\circ$

Задача 3. Визначити, в скільки разів буде ослаблений промінь природного світла, якщо пропустити його через два ніколи, площини поляризації яких становлять кут $\varphi = 45^\circ$. Вважати, що при проходженні через кожний ніколь інтенсивність світла внаслідок відбивання і поглинання зменшується на 10%.

Рішення

Для розв'язання задачі потрібно застосувати закон Малюса, який становлює залежність інтенсивності поляризованого променя I , що пройшов через аналізатор, від кута між площинами поляризації поляризатора та аналізатора і від інтенсивності I_0 променя, що падає на аналізатор: $I = I_0 \cos^2 \varphi$.

В задачі потрібно знайти відношення інтенсивностей природного променя і променя, що пройшов крізь аналізатор, тобто $I_{\text{пр}}/I$.

Якщо природний промінь пройде крізь поляризатор, то інтенсивність його зменшиться, по-перше, в 2 рази тому що з призми вийде тільки незвичайний промінь I_0 (звичайний зазнає повне внутрішнє відбивання) і, по-друге, інтенсивність I_0 незвичайного променя зменшиться ще на 10%; при проходженні крізь поляризатор, внаслідок відбивання і поглинання.

Отже, $I_0 = \frac{I_{np}}{2} \cdot 0,9$

Потім інтенсивність I променя, що пройшов ще раз крізь аналізатор, виявиться менша від інтенсивності I_0 не тільки у відповідності з законом $I = I_0 \cos^2 \varphi$, але і від втрат при відбиванні та поглинанні аналізатором (10%).

Тому формула Малюса з врахуванням інтенсивності світла в гаслі доки поглинання аналізатором набуде вигляду: $I = I_0 \cos^2 \varphi \cdot 0,9$,

але тому що $I_0 = \frac{I_{np}}{2} \cdot 0,9$

то $I = \frac{I_{np}}{2} \cdot 0,9 \cdot \cos^2 45^\circ \cdot 0,9$

Знаходимо відношення: $\frac{I_{np}}{2} = \frac{2}{0,9 \cdot \cos^2 45^\circ \cdot 0,9} = 5$

Отже, природний промінь світла при пропусканні його крізь два ніколі, відповідно до умов задачі, буде ослаблений в 5 разів.

Література [2, §22,23,24,25]; [4, §99-105]

2. КВАНТОВА ПРИРОДА ВИПРОМІНЮВАННЯ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5 ЗАКОНИ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з теплового випромінювання тіл та його законів. Практичне застосування явища теплового випромінювання.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з явища теплового випромінювання тіл. Опанувати розрахунок законів теплового випромінювання тіл та застосування цього природного явища.

Випромінювання світла відбувається в результаті переходів атомів і молекул із станів з більшою енергією в стани з меншою енергією. Теплове випромінювання відрізняється від інших видів випромінювання (люмінесценції) способом переходу систем, що випромінюють, у збуджені стани. При тепловому випромінюванні такий перехід відбувається за

рахунок теплового руху атомів та молекул. Інтенсивність теплового випромінювання характеризується енергетичною світимістю R_e , яка визначається як кількість променевої енергії, що емітується одиницею поверхні тіла за одиницю часу, тобто:

$$R_e = \frac{Q}{S \cdot \Delta t}.$$

де Q – енергія, що випромінюється тілом з площі S за час Δt .

Теплове випромінювання складається з хвиль різної довжини λ . Доля енергетичної світимості, яка припадає на елементарний інтервал $d\lambda$ має вигляд: $dR_e = r_\lambda d\lambda$, тому енергетична світимість може бути представлена у вигляді:

$$R_e = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda,$$

де r_λ – емісійна здатність тіла, або густина енергетичної світимості, яка визначається як:

$$r_\lambda = \frac{dR_e}{d\lambda}.$$

Нехай на елементарну площину dS в діапазоні хвиль $d\lambda$ падає потік променевої енергії $d\Phi_\lambda$. Частина цього потоку $d\Phi$ поглинається тілом. Тоді величина:

$$\alpha = \frac{d\Phi'_\lambda}{d\Phi_\lambda}$$

називається поглинальною здатністю тіла.

Тіло, що поглинає випромінювання будь-якої довжини хвилі називається абсолютно чорним. Для абсолютно чорного тіла $\alpha = 1$. Якщо для деякого тіла $\alpha < 1$ і для всіх довжин хвиль λ stále, то таке тіло називається сірим.

Відношення емісійної здатності r_λ до поглинальної здатності α не залежить від природи тіла і дорівнює $r_{0\lambda}$ – густині енергетичної світимості абсолютно чорного тіла (закон Кірхгофа):

$$\frac{r_\lambda}{\alpha} = r_{0\lambda}$$

Згідно з законом Стефана-Больцмана енергетична світимість абсолютно чорного тіла:

$$R_e = \sigma T^4,$$

а для сірого тіла:

$$R'_e = \alpha \sigma T^4,$$

де T – абсолютна температура, а σ – стала Стефана-Больцмана, яка

дорівнює:

$$\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Bm}{m^2 \cdot K^4}, \text{ а величина } \alpha < 1, \text{ має назву коефіцієнта чорноти.}$$

Графік залежності густини енергетичної світимості абсолютно чорного тіла r_λ від довжини хвилі λ представлено на рис. 5.

Величини λ_{max} та $r_{\lambda max}$ пов'язані з температурою формулами:

$$\begin{aligned} \lambda_{max} T &= C_1, \\ r_{\lambda max} &= C_2 T^5. \end{aligned}$$

Формули називаються відповідно першим і другим законами Віна. C_1 і C_2 – сталі, які дорівнюють:

$$C_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}; \quad C_2 = 1,29 \cdot 10^{-5} \frac{Bm}{m^3 \cdot K^5}$$

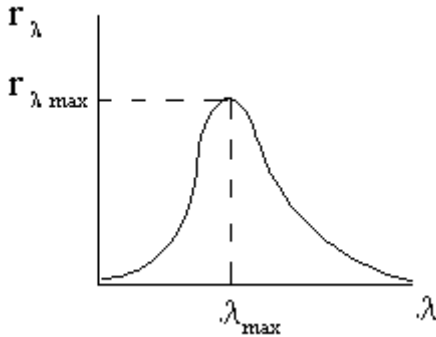


Рисунок 5

Закон розподілу енергії в спектрі абсолютно чорного тіла, тобто залежність густини енергетичної світимості r від частоти ν (λ) і температури T має вигляд:

$$r(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad r(\lambda, T) = \frac{2\pi hc}{\lambda^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

і називається законом випромінювання Планка. При виконанні умови $h\nu \ll kT$, тобто при малих ν (великих λ) формула (46) приймає вигляд:

$$r(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot kT, \quad r(\lambda, T) = \frac{2\pi}{\lambda^2} \cdot kT$$

і називається формулою Релея-Джинса. У формулах (46) і (47) h – стала Планка, а c – швидкість світла.

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}; \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Задача 1. Вважаючи сонячне випромінювання близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла, оцінити температуру поверхні Сонця, враховуючи, що густина енергетичної світимості сягає максимуму при довжині хвилі $\lambda_{\max} = 500 \text{ нм}$. Розрахувати величину сонячної сталої для Землі.

Рішення задачі

Знайдемо температуру Сонця. Згідно першому закону Віна:

$$\lambda_{\max} T = C_1, \quad \text{тобто} \quad T = \frac{C_1}{\lambda_{\max}}.$$

Вважаючи, що випромінювання Сонця близьке до випромінювання абсолютно чорного тіла, знайдемо енергію Q , яку випромінює Сонце за проміжок часу Δt . За визначенням енергетичної світимості та згідно закону Стефана-Больцмана маємо:

$$R_e = \frac{Q}{S_c \cdot \Delta t}; \quad R_e = \sigma T^4,$$

де $S_c = 4\pi R_c^2$ – площа Сонця, а R_c – радіус Сонця. Таким чином енергія, що випромінює Сонце за час Δt дорівнює:

$$Q = 4\pi\sigma R_c^2 T^4 \Delta t.$$

Ця енергія рівномірно розподіляється по поверхні сфери площею:

$$S = 4\pi R^2, \quad \text{де } R \text{ – відстань від Землі до Сонця.}$$

За визначенням сонячної сталої це є кількість променевої енергії, що випромінює Сонце за одиницю часу через одиницю площі перпендикулярно до сонячних променів, яка розташована на такій самій відстані від Сонця, що і Земля. Таким чином для сонячної сталої маємо:

$$\alpha = \frac{Q}{S \cdot \Delta t} = \sigma \cdot \left(\frac{R_c}{R} \right)^2 \cdot T^4.$$

Після розрахунків одержуємо:

$$T = 5800 \text{ K}, \quad \alpha = 1.38 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Задача 2. Визначити кількість теплоти, яку загублює $S \text{ см}^2$ поверхні розплавленої платини за t хвилин, якщо здатність поглинання A_r . Температура плавлення платини дорівнює T^0 , С.(див.табл.5).

Таблиця 5

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S, \text{см}^2$	50	51	52	53	54	55	56	57	58	60
$t, \text{хв.}$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6
A_r	0,8	0,7	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,5
$T^0, \text{С}$	1770	1780	1790	1800	1810	1820	1830	1840	1850	1860

Задача 3. Обґрунтувати, чому відчинені вікна домів з боку вулиць здаються чорними.

Література [2, §26-29]; [4, §106-108].

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6 ЗОВНІШНІЙ ТА ВНУТРІШНІЙ ФОТОЕФЕКТ. ЗАКОНИ СТОЛЕТОВА ДЛЯ ФОТОЕФЕКТУ. РІВНЯННЯ ЕЙНШТЕЙНА ДЛЯ ФОТОЕФЕКТУ

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з зовнішнього та внутрішнього фотоелефекту та його законів Столетова. Практичне застосування явища фотоелефекту.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з явища фотоелефекту. Опанувати розрахунки законів фотоелефекту та застосування цього природного явища.

Фотоелефектом називається процес поглинання фотонів твердими та рідкими тілами, який супроводжується емісією електронів з поверхні тіла. З закону збереження енергії в елементарному акті взаємодії фотона та електрона маємо:

$$h\nu = A + \frac{m_e v_{\max}^2}{2}.$$

Вираз (52) називається формулою Ейнштейна для фотоефекту,

де $h\nu$ – енергія фотона;

A – робота виходу електрона з речовини, що освітлюється, стала величина, яка залежить від природи матеріалу;

$$\frac{m_e v_{\max}^2}{2} - \text{максимальна кінетична енергія електрона.}$$

Зовнішній фотоефект на даному матеріалі буде спостерігатися тільки при виконанні умови: $h\nu \geq A$, тобто тільки в тому випадку, коли енергії фотона достатньо для виконання роботи виходу. Якщо $h\nu < A$, то фотоефект не відбувається. Тому частота, або довжина хвилі, котрі задовольняють рівняння:

$$\nu_{\text{чр}} = \frac{A}{h}; \quad \lambda_{\text{чр}} = \frac{hc}{A}$$

називаються червоною межею фотоефекту.

Фотони

Фотон (квант світла) – це така частинка, маса імпульс та енергія якої визначаються відповідно формулами:

$$m = \frac{h\nu}{c^2}; \quad p = \frac{h\nu}{c}; \quad E = h\nu,$$

або (приймаючи до уваги, що $c = \lambda\nu$) через довжину хвилі λ :

$$m = \frac{h}{c\lambda}; \quad p = \frac{h}{\lambda}; \quad E = \frac{hc}{\lambda}$$

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ФОТОЕФЕКТУ

Задача 1. Визначити червону межу фотоефекту для цезію, якщо при освітлюванні його поверхні ультрафіолетовим випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda = 400$ нм максимальна швидкість фотоелектронів дорівнювала 650 км/с.

Рішення задачі

Умова червоної межі фотоефекту має вигляд: $h\nu_{\text{чр}} = A$, тобто

енергії кванта вистачає тільки на виконання роботи виходу. Згідно з рівнянням Ейнштейна для фотоефекту маємо:

$$h\nu = A + \frac{m_e v_{max}^2}{2}, \text{ або}$$

$$h\nu = h\nu_{cp} + \frac{m_e v_{max}^2}{2}.$$

$$\text{Виразимо } \nu \text{ через } \lambda: \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{cp}} + \frac{m_e v_{max}^2}{2},$$

$$\text{звідки для червоної межі фотоефекту одержуємо: } \lambda_{cp} = \frac{2hc\lambda}{2hc - mv^2\lambda}.$$

Після розрахунків одержуємо: $\lambda_{cp} = 640 \text{ нм}$.

Задача 2. Визначити енергію, масу та кількість руху фотону з довжиною хвилі $\lambda = 500 \text{ нм}$. Скільки таких фотонів випромінює електрична лампа потужністю 75 Вт . Вважати, що на випромінювання втрачається 80% енергії, а випромінювання лампи монохроматичне.

Рішення задачі

Енергія, імпульс та кількість руху фотону через довжину хвилі виражаються

$$\text{як: } m = \frac{h}{c\lambda}; \quad p = \frac{h}{\lambda}; \quad E = \frac{hc}{\lambda}.$$

Знайдемо кількість фотонів, що випромінюються лампою. Енергія, яку випромінює лампа за проміжок часу Δt дорівнює $Q_0 = P \cdot \Delta t$. На випромінювання витрачається: $Q = \eta \cdot P \cdot \Delta t$, а енергія одного фотона:

$$E = \frac{hc}{\lambda}. \text{ Тоді кількість фотонів дорівнюватиме:}$$

$$N = \frac{Q}{E} = \frac{\eta \cdot P \cdot \Delta t \cdot \lambda}{h \cdot c}.$$

$$\text{Після розрахунків маємо: } E = 3,97 \cdot 10^{-19} \text{ Дж. } p = 1,32 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}},$$

$$m = 4,4 \cdot 10^{-34} \text{ кг}, \quad N = 1,5 \cdot 10^{20}.$$

Задача 3. Натрій освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі λ . Визначити мінімальне стримувальне напруження, коли фотострум припиняється. „Червона межа” фотоефекту для натрію дорівнює λ_0 (див.табл.6).

Таблиця 6

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ , нм	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
λ_0 , нм	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589

Література [2, §30,31]; [4, §109]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7 ТИСК СВІТЛА. ДОСЛІДИ ЛЕБЕДЕВА

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з тиску світла та його закону Лебедева. Практичне застосування явища тиску світла. Фотосинтез.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з явища тиску світла. Опанувати розрахунки тиску світла та застосування цього природного явища.

Оскільки фотони мають імпульс, то під час взаємодії з макроскопічними тілами вони повинні створювати тиск на поверхню тіла, подібно тому, як молекули газу завдяки ударам по поверхні створюють на неї тиск. Тиск, що створює світло при нормальному падінні визначається за формулами:

$$p = \frac{E_e}{c}(1 + \rho), \quad \text{або} \quad p = \omega(1 + \rho),$$

де E_e – освітленість поверхні, тобто променева енергія, що падає на одиницю поверхні за одиницю часу; c – швидкість світла; ρ – коефіцієнт відбивання, приймає значення в інтервалі $1 > \rho > 0$, причому $\rho = 1$ для

дзеркальної поверхні та $\rho = 0$ для чорної поверхні, коли все світло, що падає на поверхню поглинається; ω - об'ємна густина енергії випромінювання, тобто кількість променевої енергії в одиниці об'єму.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ТИСКУ СВІТЛА

Приклад 1. Промінь монохроматичного світла з довжиною хвилі 630 нм падає нормально на дзеркальну плоску поверхню, так що потік енергії дорівнює $\Phi = 0,6$ Вт. Визначити силу світлового тиску на цю поверхню, а також кількість фотонів, що падає на неї за 1 секунду.

Рішення задачі

Сила світлового тиску на поверхню площею S дорівнює: $F = P \cdot S$. Світловий тиск знаходиться за формулою:

$$p = \frac{E_e}{c} (1 + \rho).$$

Тоді для сили одержуємо:

$$F = \frac{E_e \cdot S}{c} (1 + \rho).$$

Оскільки світловий потік дорівнює:

$$\Phi = E_e S, \text{ то: } F = \frac{\Phi}{c} (1 + \rho).$$

Кількість фотонів N , що падають на поверхню за час Δt визначається за формулою: $N = \frac{\Delta W}{E}$, де ΔW – енергія випромінювання, що одержує поверхня за час Δt , а E – енергія одного фотона. Оскільки: $\Delta W = \Phi \cdot \Delta t$; $E = \frac{hc}{\lambda}$, то для кількості фотонів одержуємо:

$$N = \frac{\Phi \lambda \Delta t}{hc}.$$

Після підстановки чисельних даних, враховуючи, що для дзеркальної поверхні $\rho = 1$, одержуємо:

$$F = 4 \text{ нН};$$

$$N = 10^{15} \text{ фотонів}.$$

Література [4, §110]; [5, §205]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8 ЕФЕКТ КОМПТОНА ТА ЙОГО ТЕОРІЯ

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з ефекту Комптона та його теорії. Практичне застосування явища Комптона.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з ефекту Комптона та його теорії. Опанувати розрахунки ефекту Комптона та застосування цього явища.

Оскільки фотон має масу та імпульс, то під час елементарного акту взаємодії фотона з електроном повинні виконуватись закони збереження енергії та імпульсу. Згідно закону збереження імпульсу в цьому випадку маємо:

$$\vec{P} = \vec{P}' + \vec{P}_e,$$

де $\vec{P}$ і $\vec{P}'$ - імпульс фотону відповідно до та після розсіювання, а $\vec{P}_e$ - імпульс електрона (рис. 6). Оскільки імпульс пов'язаний з довжиною хвилі, то під час розсіювання фотонів на електронах у фотона повинна змінюватись довжина хвилі.

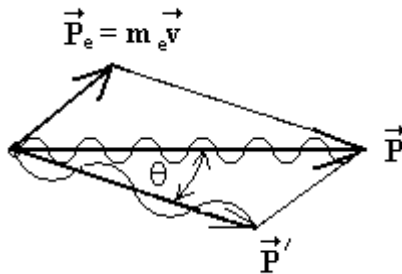


Рис.6

Пружне розсіювання електромагнітного випромінювання на вільних (або слабо пов'язаних) електронах, яке супроводжується зростанням довжини хвилі називається ефектом Комптона. Згідно формули Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_0(1 - \cos\theta),$$

де: λ' - довжина хвилі після розсіювання;

λ - довжина хвилі до розсіювання;

λ_0 - комптонівська довжина хвилі електрона, яка дорівнює:

$$\lambda_0 = \frac{h}{m_e c} \approx 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ м};$$

m_e – маса спокою електрона, c – швидкість світла; θ - кут розсіювання.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ЕФЕКТУ КОМПТОНА

Задача 1. Фотон з енергією $E = 0,75$ МеВ розсіявся на вільному електроні під кутом $\theta = 60^\circ$. Вважаючи, що електрон до взаємодії з фотоном знаходився у стані спокою знайти: 1) енергію розсіяного фотона; 2) кінетичну енергію електрона; 3) напрямок руху електрона.

Розв'язок

1). Для знаходження енергії розсіяного фотону використаємо формулу Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_0(1 - \cos\theta),$$

де λ_0 – комптонівська довжина хвилі електрона, яка дорівнює:

$$\lambda_0 = \frac{h}{m_e c} \approx 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

Виразимо довжини хвиль через відповідні

енергії:

$$\lambda' = \frac{hc}{E'}; \quad \lambda = \frac{hc}{E}.$$

$$\frac{hc}{E'} - \frac{hc}{E} = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta).$$

Після перетворень одержуємо:

$$E' = \frac{E}{\frac{E}{m_e c^2} (1 - \cos\theta) - 1}.$$

2). Кінетичну енергію електрона знайдемо з закону збереження енергії:

$$E_k = E - E'.$$

3). Для знаходження напрямку руху електрона після взаємодії з фотоном застосуємо закон збереження імпульсу:

$$\vec{P} = \vec{P}' + \vec{P}_e.$$

Таким чином, для знаходження напрямку руху електрона необхідно знайти кут φ . З геометрії задачі за теоремою синусів маємо:

$$\frac{\sin\varphi}{p'} = \frac{\sin\theta}{p_e}, \text{ або } \varphi = \arcsin\left(\frac{p'}{p_e} \cdot \sin\theta\right).$$

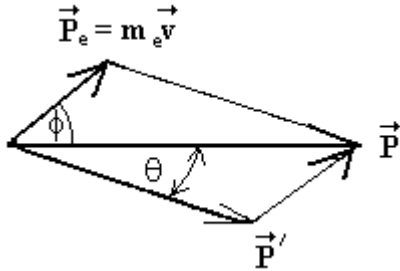


Рисунок 6

Для імпульсів розсіяного фотона p' та електрону p_e після перетворень одержуємо:

$$p' = \frac{h}{\frac{hc}{E} + \lambda_0(1 - \cos \theta)},$$

$$p_e = \sqrt{2Em_e \left(1 - \frac{mc^2}{E(1 - \cos \theta) - mc^2}\right)}.$$

Після розрахунків одержуємо:

$$E' = 0,43 \text{ Мев};$$

$$E_k = 0,32 \text{ Мев};$$

$$\varphi = 35^\circ;$$

Задача 2. Фотон з довжиною хвилі λ випробував комптонівське розсіювання під кутом Θ° на первісно спокійному вільному електроні. Визначити: енергію електрона віддачі; зміну довжини хвилі під час розсіювання; імпульс електронної віддачі (див.табл.8).

Таблиця 7

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda, \text{нм}$	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Θ°	10	20	30	40	50	60	65	70	80	90

Задача 3. Фотон з довжиною хвилі λ випробував комптонівське розсіювання під кутом Θ° на первісно спокійному вільному електроні.

Визначити: енергію електрона віддачі; зміну довжини хвилі під час розсіювання; імпульс електронної віддачі (див.табл.8).

Таблиця 8

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\lambda, \text{нм}$	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Θ°	10	20	30	40	50	60	65	70	80	90

Література [2, §32]; [4, §111]

3. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Основні закони оптики (освітленості, зломленості, відображення).
2. Фотометрія. Основні фотометричні величини.
3. Повне відображення.
4. Тонкі лінзи. Зображення предметів за допомогою лінз.
5. Аберації (похибки) оптичних систем.
6. Елементи електронної оптики.
7. Інтерференція. Розрахунок інтерференційної картини. Інтерференція світла в тонких плівках. Кільця Ньютона.
8. Практичне застосування інтерференції. Обладнання та принцип дії шахтних інтерферометрів різних модифікацій
9. Дифракція світла. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракція Фраунгофера та дифракційна ґратка.
10. Дисперсія. Нормальна та аномальна дисперсія. Ефект Доплера. Практичне застосування явища дисперсії.
11. Поляризація світла. Повна та часткова поляризація. Закон Малюса та Брюстера. Використання явища поляризації. Поляризаційні прилади та поляроїди. Застосування явища поляризації.
12. Теплове випромінювання, його характеристики та закони (Кірхгофа, Стефана-Больцмана, Віна, Релея-Джинса, Планка). Абсолютно чорне тіло. Оптична пірметрія та її застосування.
13. Зовнішній та внутрішній фотоефект і його закони. Рівняння Ейнштейна
14. для фотоефекта. Маса та імпульс фотона. Формула Планка. Застосування явища фотоефекта.
15. Маса та імпульс фотону. Тиск світла. Досліди Лебедева. Теорія тиску
16. світла. Фотосинтез та його використання.

17. Ефект Комптона та його теорія. Єдність корпускулярних та хвильових властивостей електромагнітного випромінювання.
18. Єдність корпускулярних та хвильових властивостей електромагнітного випромінювання..

4. ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ПИТАННЯ З ФІЗИКИ (частина 2)

1. Обґрунтуйте поняття інтерференції.
2. Наведіть описунок інтерференційної картини.
3. Поясніть засоби застосування інтерференції.
4. Обґрунтуйте поняття дифракції.
5. Поясніть принцип Гюйгенса-Френеля.
6. Наведіть дифракцію Фраунгофера та дифракційну ґратку.
7. Обґрунтуйте поняття дисперсії.
8. Поясніть нормальну та аномальну дисперсії.
9. Наведіть застосування явища дисперсії.
10. Обґрунтуйте поняття поляризації світла.
11. Що таке повна та часткова поляризації.
12. Наведіть закони Малюса та Брюстера.
13. Поясніть принципи використання та застосування явища поляризації.
14. Обґрунтуйте поняття теплового випромінювання та наведіть його закони (Кірхгофа, Стефана-Больцмана, Віна, Релея-Джинса, Планка).
15. Поясніть що таке «абсолютно чорне тіло».
16. Поясніть поняття та застосування оптичної пірометрії.
17. Поясніть, що таке зовнішній та внутрішній фотоефект
18. Наведіть та поясніть закони фотоефекту.
19. Наведіть та поясніть рівняння Ейнштейна для фотоефекта.
20. Поясніть, що таке маса та імпульс фотона.
21. Наведіть та поясніть формулу Планка.
22. Обґрунтуйте застосування явища фотоефекта.
23. Поясніть поняття тиску світла.
24. Наведіть досліди Лебедева та теорію тиску світла.
25. Поясніть поняття фотосинтезу та наведіть його використання.
26. Обґрунтуйте поняття ефекту Комптона та наведіть його теорію.

5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.1: Физические основы механики. Молекулярная физика и термодинамика. Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм: Учебное пособие для студентов инженерно-технических специальностей высших учебных заведений .– Донецк: ДонНТУ, 2009. – 232 с.
2. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.2: Колювання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра. Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
3. Лумпієва Т.П. Практикум з фізики. Розв'язання задач. Частина 1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Т.П. Лумпієва, Н.М. Русакова, О.Ф. Волков – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2014. – 248 с.
4. Фізика для інженерів. – Під ред. Лопатинського, - Львів: Либідь, 2000.
5. Трофимова Т.И. Курс физики.– М.: Высшая школа, 1990.
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. – М. : Высшая школа, 1981, 1985.
7. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М. : «Наука», 1987.
8. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М. : Наука, 1985.
9. Загальна фізика. Лабораторний практикум. За загальною редакцією І.Т.Горбачука. – Київ: “Вища школа”, 1992.
10. Сергієнко Л.Г., Гого В.Б., Сергієнко О.І. Завдання та методичні вказівки з фізики для індивідуальної СРС технічних спеціальностей, №250, Красноармійськ: “Видавничий центр КП ДВНЗ ДонНТУ”, 2014 – 50с. Київ: Техніка, 1999.
11. І.Г.Богацька, Д.В. Головка, А.А. Маляренко, Ю.Л. Ментковський. Загальні основи фізики. Київ: Либідь, 1998.