Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра хімії та фізики

05-06-47

Методичні вказівки
до виконання практичних і самостійних робіт
із навчальної дисципліни «Фізика»

Розділ «Геометрична і хвильова оптика»

для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки денної, заочної та дистанційної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною радою НУВГП
протокол № 3 від 25.11.2015р

Рівне 2016

Методичні вказівки до виконання практичних і самостійних робіт із навчальної дисципліни «Фізика», розділ «Геометрична і хвильова оптика» для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки денної, заочної та дистанційної форми навчання / В.Р. Гаєвський, М.В. Мороз, В.Ф. Орленко, Б.П. Рудик. Рівне: НУВГП, 2015,- 24 с.

Упорядники:
Гаєвський В.Р., к. т. н., доц. кафедри хімії та фізики НУВГП;
Мороз М.В., к. ф.-м. н., доц. кафедри хімії та фізики НУВГП;
Орленко В.Ф., к. ф.-м. н., доц. кафедри хімії та фізики НУВГП;
Рудик Б.П., зав. лабораторії хімії та фізики.

Відповідальний за випуск:
Гаращенко В.І., к. т. н., доц., кафедри хімії та фізики НУВГП.

Зміст

ПЕРЕДМОВА

Метою практичних занять з фізики є закріплення вивчення теоретичного матеріалу шляхом вироблення вмінь та навичок його застосування до розв’язування задач. Історично сформувався певний алгоритм цього процесу:

1. Перш за все потрібно уяснити до якого розділу і теми відноситься розглядувана задача і ознайомитись з теорією цього розділу, бо без знання базових понять науки і зв’язків між ними неможливе правильне оперування цими поняттями.
2. Умову задачі слід записати словесно і скорочено у загальноприйнятих символічних позначеннях (див. **Приклади розв’язування задач**).
3. Дані задачі та необхідні константи перевести до однієї системи одиниць (загальноприйнятою є міжнародна система одиниць СІ).
4. Зробити малюнок до задачі (за винятком окремих очевидних випадків); малюнок допомагає збагнути зміст задачі і часто підказує ідею її розв’язання.
5. Розв’язати задачу у загальному вигляді одержавши робочу формулу шуканої величини. Розв’язання супроводжувати короткими поясненнями, які розкривають логіку міркувань.
6. Підставити у робочу формулу дані задачі та константи і обрахувати числове значення шуканої величини вказавши її одиницю. Точність обчислень не повинна перевищувати точність заданих величин.
7. Переконатись у «розумності» одержаного результату як з точки зору його розмірності, так і з точки зору відповідності до загальних законів природи. Повчально прояснити для себе алгоритм розв’язання даного типу задач.

1. Основні закони і співвідношення

- **Формула тонкої лінзи**

$$\frac{1}{a_1}-\frac{1}{a_2}=(n_{21}-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right),$$

де відносний показник заломлення $n_{21}=\frac{n_2}{n_1}$, n_2 і n_1 – абсолютні показники заломлення для лінзи та середовища; R_1, R_2 – радіуси кривизни лінзи; a_1, a_2 – віддалі від лінзи до предмета та його зображення. Формула передбачає використання правила знаків.

- **Швидкість світла в середовищі**

$$\upsilon=\frac{c}{n},$$

де c – швидкість світла у вакуумі; n – абсолютний показник заломлення середовища.

- **Закон заломлення**

$$\frac{\sin i}{\sin r}=n_{21},$$

де i – кут падіння, r – кут заломлення, n_{21} – відносний показник заломлення.

- **Оптична сила лінзи**

$$D=\frac{1}{f},$$

де $f=\dfrac{1}{(n_{21}-1)\left(\dfrac{1}{R_1}-\dfrac{1}{R_2}\right)}$ – фокусна відстань лінзи.

- **Оптичний шлях світлової хвилі**

$$L=n\cdot l,$$

де l – геометричний шлях світлової хвилі в середовищі з абсолютним показником заломлення n.

- **Оптична різниця ходу двох світлових хвиль**

$$\Delta=L_2-L_1.$$

- **Умова максимумів при інтерференції світла**

$$\Delta=\pm k\lambda_0 \quad (k=0,1,2,\ldots).$$

- **Умова мінімумів при інтерференції світла**

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda_0}{2}.$$

- **Оптична різниця ходу світлових хвиль, що виникає при відбиванні монохроматичного світла від тонкої плівки**

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2},$$

де d – товщина плівки, n – абсолютний показник заломлення плівки.

- **Радіуси світлих кілець Ньютона у відбитому світлі**

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda_0}{2}} \quad (k = 1,2,3,...),$$

де k – номер кільця; R – радіус кривизни лінзи.

- **Радіуси темних кілець Ньютона у відбитому світлі**

$$r_k = \sqrt{kR\lambda_0} \quad (k = 0,1,2,3,...)$$

- **Умова максимумів для дифракції на щілині шириною** a

$$a\sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k = 1,2,3,...).$$

- **Умова мінімумів для дифракції на щілині шириною** a

$$a\sin\varphi = 2k\frac{\lambda}{2} \quad (k = 1,2,3,...).$$

- **Умова головних максимумів для дифракції на дифракційній решітці з періодом** d

$$d\sin\varphi = \pm k\lambda \quad (k = 0,1,2,3,...).$$

- **Роздільна здатність дифракційної решітки:**

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = k \cdot N,$$

де $\Delta\lambda$ – найменша різниця довжин хвиль двох сусідніх спектральних ліній, при якій ці лінії розділені в спектрі; N – число щілин решітки.

- **Формула Вульфа-Брегів**

$$2d\sin\theta = k\lambda, \quad (k = 1,2,3,...),$$

де θ – кут між напрямком рентгенівського випромінювання, що падає на кристал і атомною площиною в кристалі; d – відстань між атомними площинами у кристалі.

- **Закон Брюстера**

$$\mathrm{tg} i_Б = n_{21},$$

де $i_Б$ – кут падіння, при якому відбитий від діелектрика промінь повністю поляризований; n_{21} – відносний показник заломлення.

- **Закон Малюса**

$$I = I_0 \cos^2 \alpha ,$$

де I_0 – інтенсивність плоскополяризованого світла, що падає на аналізатор; I – інтенсивність світла після аналізатора; α – кут між площинами пропускань поляризатора і аналізатора.

- **Кут повороту площини поляризації монохроматичного світла при його проходженні через оптично активне середовище:**

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

де α – постійна обертання; l – довжина пройденого світлом шляху;

б) $\varphi = \alpha' Cl$ (в рідинах)

де α' – питома постійна обертання; C – масова концентрація (густина) оптично активного середовища в розчині.

- **Закон Стефана-Больцмана**

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

де E_T – енергетична світність (інтегральна випромінювальна здатність) абсолютно чорного тіла; σ – постійна Стефана-Больцмана; T – абсолютна температура.

- **Закон зміщення Віна**

$$\lambda_m = \frac{b}{T} ,$$

де λ_m – довжина хвилі, на яку припадає максимум енергії випромінювання; b – постійна Віна.

- **Енергія фотона**

$$\varepsilon = h\nu ,$$

де h – постійна Планка; ν – частота фотона.

- **Імпульс фотона**

$$P = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda_0} ,$$

де λ_0 – довжина хвилі фотона, c – швидкість світла у вакуумі.

- **Формула Ейнштейна для фотоефекту:**

$$h\nu = A + T_{\max} ,$$

де A – робота виходу електрона; $T_{\max}$ – максимальна кінетична енергія фотоелектрона.

- **Червона межа фотоефекту**

$$\nu_0 = \frac{A}{h},$$

де ν_0 – мінімальна частота світла, при якій фотоефект ще можливий.

- **Формула Комптона**

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 2\lambda_c \sin^2\frac{\theta}{2},$$

де λ_0 – довжина хвилі падаючого рентгенівського кванта на слабо зв'язаний електрон; λ – довжина хвилі розсіяного на кут θ кванта; λ_c – комптонівська довжина хвилі для електрона ($\lambda_c = 2{,}43 \text{нм}$).

- **Тиск світла при нормальному падінні на поверхню:**

$$P = \frac{I}{c}(1 + \rho),$$

де I – інтенсивність світла; ρ – коефіцієнт відбивання.

- **Короткохвильова межа рентгенівського випромінювання:**

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU},$$

де e – елементарний заряд; U – прискорюючи напруга в рентгенівській трубці.

2. Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Визначте оптичну силу збиральної лінзи, у якій отримано зменшене в 4 рази дійсне зображення предмета, розташованого на відстані 25см від лінзи.

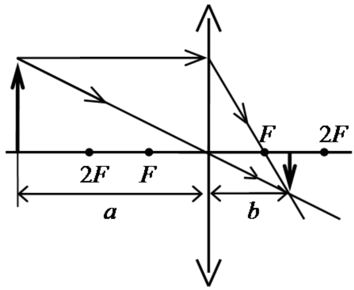
Розв'язання

Дано:
$a = 25$ см
$\dfrac{a}{b} = 4$

D?

Для визначення оптичної сили лінзи, скористаємося формулою лінзи:

$$D = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}.$$



З формули збільшення тонкої лінзи

$$f = \Gamma a.$$

Тут збільшення Г визначається відношенням величини зображення до величини предмета. Остаточно:

$$D = \frac{1}{a} + \frac{1}{\Gamma a} = \frac{1}{a}\left(1 + \frac{1}{\Gamma}\right) = \frac{1}{0{,}25}\left(1 + \frac{1}{0{,}25}\right) = 20\,(\text{дптр}).$$

Відповідь: 20 дптр.

Приклад 2. Визначити дійсну глибину водоймища, якщо при розгляді дна у вертикальному напрямку уявна глибина виявляється рівною 1м. Показник заломлення води 1,33.

Розв'язання

Дано:
$h_0 = 1$ м
$n_1 = 1{,}33$

---

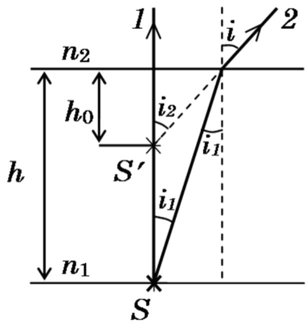
h?

Із геометрії малюнка видно, що

$$h = \frac{BC}{\operatorname{tg} i}$$

і відповідно

$$h_0 = \frac{BC}{\operatorname{tg} i_2}.$$



Тоді $\dfrac{h}{h_0} = \dfrac{\operatorname{tg} i_2}{\operatorname{tg} i_1}$, звідки $h = h_0 \dfrac{\operatorname{tg} i_2}{\operatorname{tg} i_1}$.

Враховуючи властивість малих кутів і закон заломлення, маємо:

$$h = h_0 \frac{\sin i_2}{\sin i_1} = h_0 \frac{n_1}{n_2},$$

Врахувавши, що показники заломлення для води – $n_1 = 1{,}33$, а для повітря $n_2 = 1$, отримаємо:

$$h = 1 \cdot \frac{1{,}33}{1} = 1{,}33\,(\text{м})$$

Відповідь: 1м.

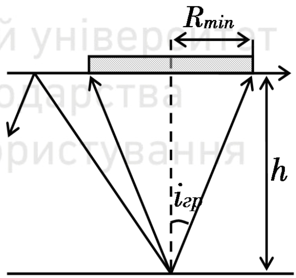
Приклад 3. На дні водоймища глибиною 1,5 м знаходиться точкове джерело світла. На поверхні води плавав диск таким чином, що його центр знаходиться над джерелом світла. При якому найменшому радіусі диска ні один промінь не вийде через поверхню води. Показник заломлення води 1,33.

Розв'язання

Дано:
$h = 1{,}5$ м
$n = 1{,}33$

$R_{\min}$?

Кут падіння променя на край диска повинен бути граничним, тоді виконуватиметься явище повного внутрішнього відбивання, тобто жоден промінь не вийде через поверхню води. Із малюнка видно, що $R_{\min} = h \cdot \operatorname{tg} i_{гр}$.



Виконуючи математичні перетворення, маємо:

$$R_{\min} = h \cdot \frac{\sin i_{гр}}{\cos i_{гр}} = h \cdot \frac{\sin i_{гр}}{\sqrt{1 - \sin^2 i_{гр}}}.$$

Оскільки $\sin i_{гр} = \dfrac{n_2}{n_1} = \dfrac{1}{n}$, де $n_2 = 1$ (повітря); $n_1 = n$ (вода), то отримаємо:

$$R_{\min} = h \cdot \frac{1}{n\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}} = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$

Підставимо числові значення:

$$R_{\min} = \frac{1{,}5}{\sqrt{1{,}33^2 - 1}} = 1{,}71\ (\text{м}).$$

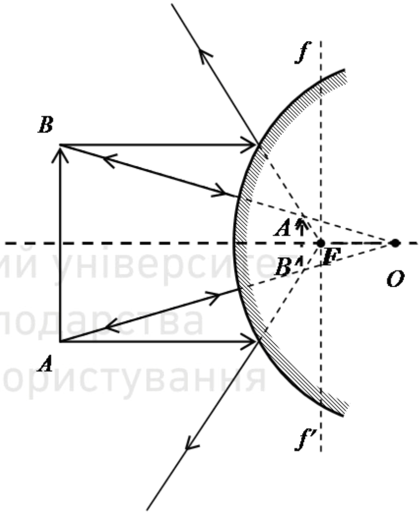
Відповідь: 1,71м.

Приклад 4. Чому дорівнює величина зображення Сонця в підшипниковій кульці діаметром 4мм? Діаметр Сонця $1{,}4\cdot10^6$км, а відстань до нього $150\cdot10^6$км.

Розв'язання

Дано:
$a = 4$ мм
D=$1{,}4\cdot10^6$км
R=$150\cdot10^6$км

d?



Підшипникову кульку діаметром a можна розглядати як опукле дзеркало з фокусною віддалю $F = a/4$. На рисунку представлено хід променів від предмета AB (Сонце) в опуклому дзеркалі (кулька). Пряме, зменшене, уявне зображення Сонця в дзеркалі $A'B'$ внаслідок великої відстані R від кульки до Сонця, практично знаходиться у фокальній площині ff'. З побудови видно, що

$$\frac{D}{R + \frac{a}{2}} = \frac{d}{F},$$

тут d – величина зображення. Враховуючи, що $a \ll R$, отримаємо:

$$\frac{D}{R} = \frac{d}{F}.$$

Звідси, величина зображення Сонця при $F = a/4$:

$$d = \frac{DF}{R} = \frac{1{,}4\cdot10^9\cdot1\cdot10^{-3}}{1{,}5\cdot10^{11}} = 9{,}3\cdot10^{-6}\ \text{м}.$$

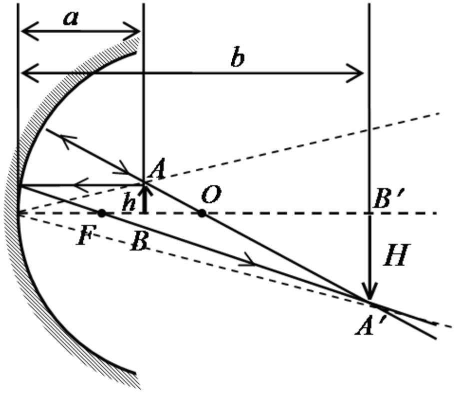
Відповідь: 9,3мкм.

Приклад 5. Угнуте сферичне дзеркало дає дійсне зображення, яке у три рази більше від предмета. Визначити фокусну віддаль дзеркала, якщо віддаль між предметом і його зображенням l = 20см.

Розв’язання

Дано:
$l = 20$ см
$\dfrac{H}{h} = 3$

F ?



Використавши позначення, застосовані на рисунку, запишемо рівняння сферичного дзеркала:

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{F}. \qquad (1)$$

Збільшення дзеркала:

$$\frac{H}{h}=\frac{b-2F}{2F-a}=3.$$

Якщо, падаючий промінь з точки А (вершина предмета) падає у центр дзеркала, то відбитий пройде через точку А′ (вершина зображення). З побудови видно, що останнє рівняння можна замінити виразом

$$\frac{b}{a}=3. \qquad (2)$$

Враховуючи, що $b-a=l$, з рівнянь (1-2) знайдемо:

$$F=\frac{ab}{a+b}=7{,}5\,\text{см}.$$

Відповідь: 7,5см.

Приклад 6. Поверхні скляного клина утворюють між собою кут $\alpha = 0{,}1'$. На клин падає нормально до його поверхні пучок монохроматичних променів із довжиною хвилі $\lambda = 0{,}5 мкм$. Знайти лінійну віддаль між сусідніми інтерференційними смугами. Показних заломлення світла $n = 1{,}5$.

Розв’язання

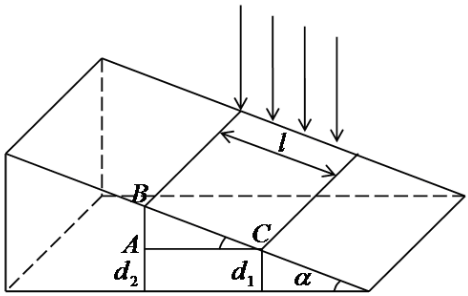
Дано:

$\alpha = 0{,}1' = \dfrac{3{,}14}{600\cdot 180} =$

$= 2{,}907\cdot 10^{-5}\, радіан$

$i = 0°$

$\lambda = 0{,}5 мкм = 5\cdot 10^{-7}\, м$



$n = 1{,}5$
$l?$

Розглянемо дві інтерференційні смуги на поверхні клина, які відповідають товщинам d_1 і d_2 та інтерференційним максимумам порядку k_1 і k_2. Оскільки за умовою смуги сусідні, то $k_2 - k_1 = 1$. Умови максимумів для інтерференції на клині (смуги рівної товщини) записані для d_1 і d_2, дають

$$2d_1\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} = (2k_1 + 1)\frac{\lambda}{2},$$

$$2d_2\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} = (2k_2 + 1)\frac{\lambda}{2},$$

де $n_1 = 1$ (повітря), $n_2 = n$ (скло клина).

Оскільки промені падають по нормалі, то $i = 0°$, $\sin i = 0$. Враховуючи це і віднімаючи від другого рівняння перше, одержимо:

$$2(d_2 - d_1)n = (k_2 - k_1)\lambda .$$

Звідси

$$d_2 - d_1 = \frac{(k_2 - k_1)\lambda}{2n}.$$

З іншого боку, із ΔABC знаходимо:

$d_2 - d_1 = l\sin\alpha \approx l\alpha$, оскільки для малих кутів $tg\alpha \approx \sin\alpha \approx \alpha$ (радіан). З урахуванням цього запишемо

$$l\alpha = \frac{(k_2 - k_1)\lambda}{2n},$$

звідки

$$l = \frac{(k_2 - k_1)\lambda}{2n\alpha}.$$

Підставляючи числові дані, одержимо:

$$l = \frac{1 \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 1{,}5 \cdot 2{,}907 \cdot 10^{-5}} \approx 5{,}7 \cdot 10^{-3}(м).$$

Відповідь: 5,7мм.

Приклад 7. Визначити зміщення дзеркала в інтерферометрі Майкельсона, якщо інтерференційна картина змістилась на $m = 100$ смуг. Дослід проводиться з світлом довжиною хвилі $\lambda_0 = 5450\,\mathring{A}$.

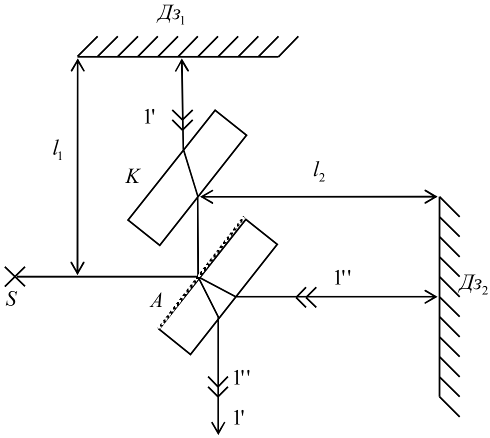
Розв’язання

Дано:

$\lambda_0 = 5450\,\overset{\circ}{\mathrm{A}} = 5{,}450 \cdot 10^{-7}\, м$

$m = 100$ смуг

Δl?



На малюнку S – джерело світла, A – плоскопаралельна пластинка, задня поверхня якої покрита тонким напівпрозорим шаром срібла; K – така ж, але не посріблена, паралельно розміщена пластинка (компенсатор), $Дз_1$ і $Дз_2$ – взаємно перпендикулярно розміщені дзеркала, l_1 і l_2 – плечі (віддалі до дзеркал) інтерферометра.

Хід, одержання і накладання когерентних променів показано на рисунку.

Оптична різниця ходу променів I' і I''

$$\Delta_1 = 2l_2 - 2l_1 = k\lambda_0 .$$

Змістивши, наприклад, дзеркало $Дз_1$ на Δl, одержимо: $l'_2 = l_2 + \Delta l$, тому у другому випадку

$$\Delta_2 = 2l'_2 - 2l_1 = 2\left(l_2 + \Delta l - l_1\right) = \left(k + m\right)\lambda_0 .$$

Тому з одного боку

$$\Delta_2 - \Delta_1 = 2\left(l'_2 - l_1\right) - 2\left(l_2 - l_1\right) = 2\left(l_2 + \Delta l - l_1 - l_2 + l_1\right) = 2\Delta l .$$

З іншого боку,

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \left(k + m\right)\lambda_0 - k\lambda_0 = m\lambda_0 .$$

Отже,

$$2\Delta l = m\lambda_0 , \quad \Delta l = \frac{m\lambda_0}{2} .$$

Підставляючи числові значення, одержимо

$$\Delta l = \frac{5{,}460 \cdot 10^{-7} \cdot 100}{2} = 2{,}73 \cdot 10^{-5} \left(м\right).$$

Відповідь: 27,3мкм.

Приклад 8. На дифракційну решітку по нормалі падає монохроматичне світло. Період решітки 2мкм. Який найбільший порядок дифракційного максимуму дає ця решітка у випадку червоного $(\lambda_ч = 0{,}7 мкм)$ і фіолетового $(\lambda_ф = 0{,}45 мкм)$ світла. Скільки дифракційних максимумів спостерігається в обох випадках?

Розв'язання

Дано:
$d = 2 мкм$
$\lambda_ч = 0{,}7 мкм$
$\lambda_ф = 0{,}45 мкм$

$k_{\max}^ч$? $k_{\max}^ф$?
$n_г$? $n_ф$?

Використаємо умову максимумів для дифракції на решітці

$$d \sin\varphi = k\lambda ,$$

з якої знаходимо порядок спектру

$$k = \frac{d \sin\varphi}{\lambda} .$$

Враховуючи, що $0 \le \varphi \le 90°$, одержимо:

$$k \le \frac{d}{\lambda} .$$

Підставляючи числові значення, знаходимо

$$k_{\max}^ч \le \frac{2}{0{,}7}; \quad k_{\max}^ч \le 2{,}8;$$

$$k_{\max}^ф \le \frac{2}{0{,}45}; \quad k_{\max}^ф \le 4{,}4 .$$

Оскільки порядок спектру повинен бути цілим числом, то $k_{\max}^ч = 2$; $k_{\max}^ф = 4$. Число дифракційних максимумів при додатних і від'ємних значеннях k (з врахуванням $k = 0$) дорівнює:

$$n = 2k + 1 ,$$

тобто $n_ч = 5, n_ф = 9$.

Відповідь: $k_{\max}^ч = 2$, $k_{\max}^ф = 4$ $n_ч = 5, n_ф = 9$.

Приклад 9. Період дифракційної решітки $d = 0{,}01 мм$. Яку найменшу кількість штрихів N повинна мати решітка, щоб дві сусідні жовті лінії натрію ($\lambda_1 = 5890\,\mathring{A}$ і $\lambda_2 = 5896\,\mathring{A}$) можна було бачити роздільно у спектрі першого порядку? Визначити найменшу довжину l решітки.

Розв'язання

Дано:
$d = 0{,}01 мм = 1 \cdot 10^{-5} м$

$\lambda_1 = 5890\,\mathring{A} = 5{,}890 \cdot 10^{-7}\,м$

$\lambda_2 = 5896\,\mathring{A} = 5896 \cdot 10^{-7}\,м$

$k = 1$

$N\,?\,l\,?$

Роздільна здатність дифракційної решітки визначається співвідношенням

$$R = \frac{\lambda_{ср}}{\Delta\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)}$$

або $R = kN$, де k – порядок спектру, N – число щілин всієї решітки. Тоді

$$kN = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)},$$

звідки

$$N = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)k}.$$

Підставляючи числові значення одержимо:

$$N = \frac{5{,}896 \cdot 10^{-7} + 5{,}890 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \left(5{,}896 \cdot 10^{-7} - 5{,}890 \cdot 10^{-7}\right) \cdot 1} = 982$$

Довжина решітки

$$l = d \cdot N.$$

Числове значення

$$l = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 982 = 9{,}8 \cdot 10^{-3}(м).$$

Відповідь: $N = 982$, $l = 9{,}8\,мм$.

Приклад 10. Два ніколі розташовані так, що кут між площинами коливань складає 60°. 1. У скільки разів зменшиться інтенсивність світла при проходженні через перший ніколь? 2. У скільки разів вменшиться інтенсивність світла при проходженні через обидва ніколі? При проходженні через кожний ніколь на поглинання втрачається по 5% інтенсивності світла.

Розв'язання

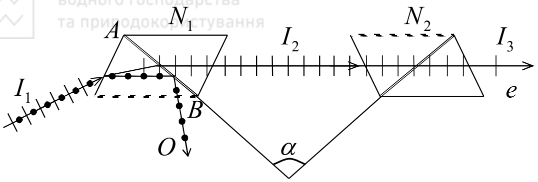
Дано:

$\lambda = 60°$

$k = 0{,}05$

$\frac{I_1}{I_2}\,?\ \frac{I_1}{I_3}\,?$

1. Природне світло, падаючи на грань ніколя, внаслідок подвійного променезаломлення розщеплюється на два рівноправні за інтенсивністю промені: звичайний (o) і незвичайний (e). Площина коливань для незвичайного променя лежить у площині рисунка (площина головного перерізу). Площина коливань для звичайного променя перпендикулярна до площини рисунка. Звичайний промінь (o) внаслідок повного внутрішнього відбивання від межі АВ відбивається на затемнену поверхню призми і гаситься нею. Незвичайний промінь (e)



проходить, крізь призму, зменшуючи свою інтенсивність на 5% внаслідок поглинання в товщі призми. Тому

$$I_2 = \frac{1}{2} I_1 (1 - k),$$

де I_1 – інтенсивність природного променя, I_2 – інтенсивність променя, який пройшов через перший ніколь N_1 (поляризатор). Тоді

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_1}{\frac{1}{2} I_1 (1 - k)} = \frac{2}{1 - k}.$$

2. Плоскополяризований промінь інтенсивністю I_2 падає на другий ніколь N_2 (аналізатор) і також розщеплюється на звичайний і незвичайний. Звичайний промінь повністю поглинається призмою, а інтенсивність незвичайного променя I_3, котрий виходить із ніколя N_2, визначається законом Малюса (без урахування поглинання світла в N_2)

$$I_3 = I_2 \cos^2 \alpha,$$

де α – кут між площинами коливань у променях з інтенсивностями I_2 та I_3.

Враховуючи втрати інтенсивності внаслідок поглинання в N_2, одержимо

$$I_3 = I_2 (1 - k) \cos^2 \alpha.$$

Тоді

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{I_1}{I_2 (1 - k) \cos^2 \alpha} = \frac{I_1}{0{,}5 I_1 (1 - k)^2 \cos^2 \alpha} = \frac{2}{(1 - k)^2 \cos^2 \alpha}.$$

Підставляючи числові значення, одержимо:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{2}{1 - 0{,}05} = 2{,}1;$$

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{2}{(1 - 0{,}05)^2 \cos^2 60^\circ} = 8{,}9.$$

Відповідь: $I_1 / I_2 = 2{,}1$; $I_1 / I_3 = 8{,}9$.

Приклад 11. Трубка довжиною $l = 10 см$ з водним розчином цукру розміщена між паралельними ніколями. Для одержання повного затемнення поля зору аналізатора довелось повернути його на кут 60°. Дослід проводиться з жовтим світлом, для якого питома постійна обертання $\alpha' = 66{,}7 \frac{град \cdot см^3}{г \cdot дм}$. Визначити концентрацію цукру в розчині.

Розв'язання

Дано:
$l = 10 см$
$\varphi_1 = 60°$
$\alpha' = 66{,}7 \frac{град \cdot см^3}{г \cdot дм}$

C?

Спочатку пропускні напрямки поляризатора і аналізатора співпадали і поле зору аналізатора було максимально світлим. Розчин цукру повернув площину поляризації на кут φ і поле зору стало темнішим. Для повного затемнення довелось аналізатор повернути ще на кут $\varphi_1 = 60°$. Це згідно закону Малюса може бути при умові

$$\varphi_1 + \varphi = 90°.$$

Отже, кут повороту площини поляризації розчином

$$\varphi = 90° - \varphi_1.$$

З другого боку,

$$\varphi = \alpha' l \cdot C.$$

Звідси

$$C = \frac{\varphi}{\alpha' l} = \frac{90° - \varphi_1}{\alpha' l}.$$

Підставляючи числові значення, в СІ одержимо:

Відповідь: 450кг/м^3.

3. Задачі для самостійного розв'язування

3.1. Геометрична і хвильова оптика

1. Радіус кривизни угнутого сферичного дзеркала 20см. На віддалі 30см від дзеркала поставили предмет висотою 1см. Знайти положення і висоту зображення. Побудувати зображення предмета.
2. Опукле сферичне дзеркало має радіус кривизни 60см. На відстані 10см від дзеркала поставили предмет висотою 2см. Знайти положення і висоту зображення. Побудувати зображення.
3. Промінь світла падає під кутом 30° на плоскопаралельну скляну пластинку і виходить з неї паралельно до падаючого промененя. Показник заломлення скла 1,5. Яка товщина пластинки, якщо віддаль між променями рівна 1,94см?
4. На плоскопаралельну скляну $(n = 1{,}5)$ пластинку товщиною 5см падає під кутом 20° промінь світла. Визначите величину зміщення променя, що пройшов крізь цю пластинку.
5. Промінь світла падає під кутом i на тіло з показником заломлення n. Який має бути зв'язок між i і n, щоб відбитий промінь був перпендикулярний до заломленого?
6. Показник заломлення, скла рівний 1,52. Знайти граничні кути повного внутрішнього відбивання для поверхонь розділу: 1) скло-повітря, 2) вода-повітря, 3) скло-вода.
7. Промінь світла виходить зі скипидару в повітря. Граничний кут повного внутрішнього відбивання для цього променя 42°23′. Яка швидкість світла у скипидарі?
8. На склянку з водою поклали скляну пластинку. Під яким кутом мусить падати на пластинку промінь світла, щоб від поверхні розділу води зі склом відбулося повне внутрішнє відбивання? Показник заломлення скла 1,5, а води 1,32.
9. На дно посудини, заповненої водою до висоти 10см, помістили точкове джерело світла. На поверхні води плаває кругла непрозора пластинка так, що її центр знаходиться над джерелом світла. Який найменшій радіус мусить мати ця пластинка, щоб жоден промінь не зміг вийти через поверхню води?
10. Показники заломлення певного сорту скла для червоного і фіолетового променів рівні, відповідно, 1,51 і 1,53. Знайти граничні кути повного внутрішнього відбивання, якщо ці промені падають на межу скло-повітря.
11. Монохроматичний промінь падає нормально на бічну поверхню

призми і виходить з неї відхиленим на 25°. Показник заломлення матеріалу призми для цього променя 1,7. Знайти заломний кут призми.

12. Знайти головну фокусну відстань кварцової лінзи для ультрафіолетової лінії спектру ртуті $(\lambda_1 = 259нм)$, якщо головна фокусна віддаль для жовтої лінії натрію $(\lambda_2 = 589нм)$ дорівнює 16см і показники заломлення кварцу для цих довжин хвиль, відповідно, 1,504 і 1,458.

13. Радіуси кривизни поверхонь двоопуклої лінзи $R_1 = R_2 = 50см$. Показник заломлення матеріалу лінзи 1,5. Знайти оптичну силу лінзи.

14. За 15см від двоопуклої лінзи, оптична сила якої 10дптр, поставлено перпендикулярно до оптичної осі предмет висотою 2см. Знайти положення і висоту зображення.

15. Лінза з фокусною віддаю 16см дає різке зображення предмета при двох положеннях, відстань між якими 60см. Знайти віддаль від предмета до екрана.

16. Знайти фокусну віддаль лінзи, зануреної у воду, якщо її фокусна віддаль у повітрі дорівнює 20см. Показник заломлення скла, з якого виготовлена лінза, дорівнює 1,6.

17. Плоско-опукла лінза з радіусом кривизни 30см і показником заломлення 1,5 дає зображення предмета зі збільшенням, рівним 2. Знайти віддаль предмета і зображення від лінзи.

18. Знайти збільшення, що дає лупа з фокусною віддаллю 2см: 1) для нормального ока з віддаллю найкращого зору 25см; 2)для короткозорого ока з віддаллю найкращого зору 15см.

19. Чому повинні бути рівні радіуси кривизни поверхонь, що обмежують лупу, щоб вона давала збільшення для нормального ока Г=10? Показник заломлення скла, з якого виготовлено лупу, дорівнює 1,5.

20. У досліді Юнга отвори освітлювалися монохроматичним світлом з довжиною хвилі $\lambda = 600нм$, віддаль між отворами 1мм і віддаль від отворів до екрана 3м. Знайти положення трьох перших світлих смуг.

21. На мильну плівку $(n = 1{,}33)$ падає біле світло під кутом 45°. При якій найменшій товщині плівки відбиті промені будуть забарвлені у жовтий колір $(\lambda = 600нм)$?

22. На скляний клин падає нормально пучок світла $(\lambda = 582нм)$. Кут клина дорівнює 20″. Яке число темних інтерференційних смуг припадає на одиницю довжини клина? Показник заломлення скла 1,5.

23. Кільця Ньютона утворюються між плоским склом і лінзою з радіусом

кривизни 8,6м. Монохроматичне світло падає нормально. Вимірюваннями встановлено, що діаметр четвертого темного кільця (вважаючи центральну темну пляму за нульову) дорівнює 9мм. Знайти довжину хвилі падаючого світла.

24. Віддаль між п'ятим і двадцять п'ятим світлими кільцями Ньютона дорівнює 9мм. Радіус кривизни лінзи 15мм. Знайти довжину хвилі монохроматичного світла, що падає нормально на установку. Спостереження проводиться у відбитому світлі.

25. В установці для спостереження кілець Ньютона простір між лінзою і скляною пластинкою заповнений рідиною. Визначити показник заломлення рідини , якщо радіус третього світлого кільця дорівнює 3,65мм. Спостереження ведеться у прохідному світлі. Радіус кривизни лінзи 10 м. Довжина хвилі світла 589 нм.

26. Для вимірювання показника заломлення аміаку в одне із плечей інтерферометра Майкельсона помістили відкачану трубку довжиною $l = 14 см$. Кінці трубки закриті плоскопаралельними стеклами. Після заповнення трубки аміаком інтерференційна картина для довжини хвилі $\lambda = 590 нм$ змістилась на 180 смуг. Знайти показник заломлення аміаку.

27. На поверхню скляного об'єктива $(n = 1{,}5)$ нанесена тонка плівка, показник заломлення якої $n_2 = 1{,}2$ (просвітлююча плівка). При якій найменшій товщині цієї плівки відбудеться максимальне послаблення відбитого світла в середній частині видимого спектру.

28. Вирахувати радіуси перших п'яти зон Френеля, якщо віддаль від джерела до хвильової поверхні дорівнює 1м, віддаль від хвильової поверхні до точки спостереження також дорівнює 1м.

29. Дифракційна картина спостерігається на відстані 4м від точкового джерела монохроматичного світла $(\lambda = 500 нм)$. На середині мій екраном і джерелом світла розміщена діафрагма з круглим отвором. При якому радіусі отвору центр дифракційних кілець, що спостерігаються на екрані, буде найтемнішим?

30. На діафрагму а круглим отвором падає нормально паралельний пучок монохроматичного світла $(\lambda = 600 нм)$. На екрані спостерігається дифракційна картина. При якій найбільшій відстані між діафрагмою і екраном у центрі дифракційної картини ще буде спостерігатися темна пляма? Діаметр отвору 1,96мм.

31. На щілину шириною 20мм падає нормально паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 500 нм$. Знайти ширину зображення щілини на екрані, що віддалений від щілини на $l = 1 м$.

Шириною зображення вважати відстань між першими дифракційними мінімумами, які розміщені по обидва боки від головного максимуму освітленості.

32. На щілину падає нормально паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі λ. Ширина щілини рівна 6λ. Під яким кутом буде спостерігатись третій дифракційний мінімум світла?

33. Чому рівна стала дифракційної решітки, якщо для того, щоб побачити червону лінію $(\lambda = 700нм)$ у спектрі другого порядку, зорову трубу потрібно встановити під кутом 30° до осі коліматора? Скільки штрихів нанесено на 1см довжини цієї решітки? Світло падає на решітку нормально.

34. Скільки штрихів на 1мм довжини має дифракційна решітка, якщо зелена лінія ртуті $(\lambda = 546{,}1нм)$ у спектрі першого порядку спостерігається під кутом I9°8'?

35. На дифракційну решітку нормально падає пучок світла від розрядної трубки, яка заповнена гелієм. На яку лінію у спектрі третього порядку накладається червона лінія гелію $(\lambda = 670нм)$ спектра другого порядку?

36. Знайти найбільший порядок спектру для жовтої лінії натрію $(\lambda = 589нм)$, якщо стала дифракційної решітки дорівнює 2мкм.

37. На дифракційну решітку нормально падає пучок монохроматичного світла. Максимум третього порядку спостерігаються під кутом 35°43′ до нормалі. Знайти сталу решітки, виражену в довжинах хвиль падаючого світла.

38. Скільки максимумів дає дифракційна решітка попередньої задачі.

39. Чому рівна стала дифракційної решітки, якщо ця решітка може розділити у першому порядку лінії спектра калію $(\lambda_1 = 404{,}4нм)$ і $(\lambda_2 = 404{,}7нм)$? Ширина решітки 3см.

40. Чому рівна стала дифракційної решітки шириною 2,5см, щоб у першому порядку був розділений дублет натрію $(\lambda_1 = 589нм)$ і $(\lambda_2 = 598{,}6нм)$?

41. Стала дифракційної решітки шириною 2,5см дорівнює 2мкм. Яку різницю довжин хвиль може розділити ця решітка в області жовтих променів $(\lambda = 600нм)$ у спектрі другого порядку?

42. Визначити кут повної поляризації при відбиванні світла від скла, показник заломлення якого дорівнює 1,57.

43. Граничний кут повного відбивання для деякої речовини дорівнює

45°. Чому дорівнює для цієї речовини кут повної поляризації?
44. Під яким кутом до горизонту мусить знаходитися Сонце, щоб його промені, відбиті від поверхні озера, були максимально поляризовані?
45. Чому дорівнює показник заломлення скла, якщо при відбиванні від нього світла відбитий промінь буде максимально поляризований при куті заломлення 30°?
46. Чому дорівнює кут між головними площинами поляризатора і аналізатора, якщо інтенсивність природного світла, що пройшло через поляризатор і аналізатор, зменшується у чотири рази? Поглинанням світла знехтувати.
47. Природне світло проходить через поляризатор і аналізатор, поставлені так, що кут між їх головними площинами рівний α. Як поляризатор, так і аналізатор поглинають і відбивають 8% світла, що падає на них. Виявилося, що інтенсивність променя, котрий вийшов з аналізатора, дорівнює 9% інтенсивності природного променя, падаючого на поляризатор. Знайти кут α.
48. Визначити товщину кварцової пластинки, для якої кут повертання площини поляризації монохроматичного світла певної довжини хвилі $\varphi = 180°$. Постійна обертання у кварці для даної довжини хвилі $\alpha = 0{,}52\ рад/мм$.
49. Визначити масову концентрацію C цукрового розчину, якщо при проходженні світла через трубку довжиною $l = 20см$ з цим розчином площина поляризації світла повертається на кут $\varphi = 180°$. Питома постійна обертання α' цукру рівна $1{,}17 \cdot 10^{-2}\ рад \cdot м^2/кг$.
50. Розчин глюкози з масовою концентрацією $C_1 = 0{,}21 г/см^3$, що знаходиться у скляній трубці, повертає площину поляризації монохроматичного світла, котре проходить через розчин, на кут $\varphi_1 = 24°$. Визначити масову концентрацію C глюкози у другому розчині у трубці такої ж довжини, якщо він обертає площину поляризації на кут $\varphi_1 = 18°$.
51. Кут φ повертання площини поляризації жовтого світла натрію при проходженні через трубку з розчином цукру рівний 40°. Довжина трубки $l = 20см$. Питома постійна обертання α' цукру рівна $1{,}17 \cdot 10^{-2}\ рад \cdot м^2/кг$. Визначити густину ρ розчину.

Довідкові дані

1. Префікси для утворення кратних одиниць

Префікс	Позначення		Числове значення
екза	*Е*	*E*	10^{15}
тера	*Т*	*T*	10^{12}
гіга	*Г*	*G*	10^{9}
мега	*М*	*M*	10^{6}
кіло	*к*	*k*	10^{3}
мілі	*м*	*m*	10^{-3}
мікро	*мк*	μ	10^{-6}
нано	*н*	*n*	10^{-9}
піко	*п*	*p*	10^{-12}
фемто	*ф*	*f*	10^{-15}

2. Показник заломлення

Вода	1,33	Скло	1,5–1,9
Гліцерин	1,47	Скипидар	1,48