

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до самостійної роботи з курсу «ФІЗИКА»  
за розділом  
«ХВИЛІ Й ХВИЛЬОВА ОПТИКА»  
для студентів денної та заочної форм навчання  
технічних спеціальностей

Покровськ, 2017



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до самостійної роботи з курсу «ФІЗИКА»  
за розділом  
«ХВИЛІ Й ХВИЛЬОВА ОПТИКА»  
для студентів денної та заочної форм навчання  
технічних спеціальностей

Покровськ, 2017

УДК 53

М 54

Методичні вказівки до самостійної роботи курсу «Фізика» за розділом «Хвилі та хвильова оптика» для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей/[ укл. Ю.А. Артеменко, О.М. Любименко]. –Покровськ : ДонНТУ, 2017. – 35 с.

У методичних вказівках наведені визначення основних фізичних понять і величин, досліджуваних у межах курсу загальної фізики, сформульовані фізичні закони, коротко роз'яснена сутність описуваних ними явищ. Наведені приклади розв'язування основних типів задач і завдань, які розраховуються на практичних заняттях. Наведені довідкові дані.

Методичні вказівки можуть бути використані студентами денної та заочної форми навчання технічних спеціальностей .

Укладачі:     Артеменко Ю.А., доц., к.т.н., доц. каф. ЕлІн  
                  Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц.каф.ЕлІн

Рецензент: Тіхонов М.О. доц., к.ф.-м.н., доц.

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри Колларов О.Ю., доц., к.т.н., доц.. каф. ЕлІн

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ, протокол №7 від 10.01.2017 р.

Розглянуто на засіданні кафедри електричної інженерії, протокол № 8 від 16.12.2016 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1.ОСНОВНІ ФОРМУЛИ.....	5
1.1 ХВИЛІ.....	5
1.2 ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА .....	7
1.3 ДИФРАКЦІЯ СВІТЛА .....	8
1.4 ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА.....	9
2.ПРИКЛАДИ РОЗВ’ЯЗКИ ЗАДАЧ.....	10
3. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ .....	17
4. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ .....	18
СПИСОКРЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	26
Додаток А. Деякі числа, що часто зустрічаються.....	27
Додаток Б. Формули для наближених обчислень.....	27
Додаток В. Основні тригонометричні формули .....	28
Додаток Г. Таблиця похідних .....	29
Додаток Д. Деякі відомості про вектори .....	31
Додаток Е. Приставки до позначень одиниць.....	32
Додаток Ж. Основні фізичні константи.....	32
Додаток З. Періодична система елементів Д.І. Менделєєва.....	35

## ВСТУП

Фізика – це наука, що вивчає найпростіші і найзагальніші закономірності явищ природи, властивості і будову матерії, закони її руху. В даний час відомі два види неживої матерії: речовина і поле. До першого виду матерії – речовини – відносяться атоми, молекули і всі тіла, що складаються з них. Другий вид матерії утворюють гравітаційні, електромагнітні та інші поля.

Матерія знаходиться в безперервному русі, під яким розуміється будь-яка зміна взагалі. Рух є невід’ємною властивістю матерії, яка є нествореною і незнищеною, як і сама матерія. Матерія існує і рухається в просторі і часі.

Основним методом дослідження у фізиці є експеримент (дослід), тобто спостереження досліджуваного явища в точно контрольованих умовах, що дозволяють стежити за ходом дослідження і відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов.

Для пояснення фізичних явищ використовують гіпотези. Гіпотеза – це наукове припущення, що висувається для пояснення певного факту або явища і вимагає перевірки і доказу. Правильність гіпотези перевіряється постановкою відповідних дослідів, через з’ясування узгодження наслідків, що випливають з гіпотези, з результатами дослідів і спостережень. Доведена гіпотеза перетворюється на наукову теорію або закон.

Фізична теорія – це система основних ідей, що узагальнюють дослідні дані і відображають об’єктивні закономірності природи. Фізична теорія дає пояснення всій сфері явищ природи з єдиної точки зору.

Фізика формує науковий світогляд людини та є науковим фундаментом розвитку нових галузей техніки. Розвиваючись, вона видозмінює, доповнює, поглиблює уявлення про природу речей і причинні зв’язки навколишнього світу. З часом її теоретичні концепції набувають загально філософського значення. Таким чином, інженер будь-якого профілю повинен володіти фізикою в такій мірі, щоб бути в змозі застосовувати її досягнення у своїй роботі.

## 1.ОСНОВНІ ФОРМУЛИ

### 1.1 ХВИЛІ

Рівняння плоскої хвилі

$$\xi(x,t) = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right), \quad (1.1)$$

або

$$\xi(x,t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0), \quad (1.2)$$

де  $\xi(x,t)$  – зсув точок середовища з координатою  $x$  у момент часу  $t$  ;

$A$  - амплітуда хвилі ;

$\omega$  - циклічна (кругова) частота ;

$v$  - швидкість поширення коливань у середовищі (фазова швидкість  $v = \frac{\omega}{k}$ );

$k$  - хвильове число ( $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  - довжина хвилі);

$\varphi_0$  - початкова фаза коливань ;

Довжина хвилі

$$\lambda = v \cdot T, \quad \lambda = \frac{v}{\nu}, \quad (1.3)$$

де  $T$  - період коливань ;

$\nu$  - частота

Різниця фаз коливань двох точок середовища, відстань між якими (різниця ходу) дорівнює  $\Delta x$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta x, \quad (1.4)$$

Умови максимуму й мінімуму амплітуди при інтерференції хвиль

$$\Delta_{\max} = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (1.5)$$

$$\Delta_{\min} = \pm (2m+1) \frac{\lambda}{2}, \quad (1.6)$$

де  $m=0, 1, 2, \dots$ ;

$\lambda$  - довжина хвилі

Рівняння стоячої хвилі

$$\xi(x,t) = 2A \cos \omega \frac{x}{v} \cdot \cos \omega t, \quad (1.7)$$

або

$$\xi(x,t) = 2A \cos kx \cdot \cos \omega t, \quad (1.8)$$

Координати пучностей і вузлів стоячої хвилі

$$x_n = \pm m \frac{\lambda}{2}, \quad (1.9)$$

$$x_y = \pm \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}, \quad (1.10)$$

де  $m=0, 1, 2, \dots$

Фазова швидкість поздовжніх хвиль у пружному середовищі:

а) у твердих тілах

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1.11)$$

б) у газах

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}} \text{ или } v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}}, \quad (1.12)$$

де  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  - відношення молярних теплоємностей при постійних тиску й об'ємі (показник адіабати);

$E$  - модуль Юнга;

$\rho$  - густина речовини;

$R$  - універсальна газова постійна;

$T$  - термодинамічна температура;

$M$  - молярна маса;

$P$  - тиск;

Формула Томсона. Період  $T$  власних коливань у контурі без активного опору

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (1.13)$$

де  $L$  - індуктивність контуру;

$C$  - ємність контуру;

Довжина хвилі

$$\lambda = cT \text{ или } \lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (1.14)$$

де  $\nu$  - частота коливань;

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  - швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі,

Фазова швидкість поширення електромагнітних хвиль у середовищі з діелектричною проникністю  $\varepsilon$  й магнітною проникністю  $\mu$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}, \quad (1.15)$$

де  $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$  - швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі,



$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$  - електрична постійна,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{\text{м}}$  - магнітна постійна.

Зв'язок між миттєвими значеннями напруженостей електричного (E) і магнітного (H) полів електромагнітної хвилі:

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H, \quad (1.16)$$

Рівняння плоскої електромагнітної хвилі

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi), \quad (1.17)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi), \quad (1.18)$$

де  $\vec{E}_0$  й  $\vec{H}_0$  - відповідно амплітуди напруженостей електричного й магнітного полів хвилі ;

$\omega$  - кругова частота ;

$k = \frac{\omega}{v}$  - хвильове число ;

$\varphi$  - початкова фаза коливань у точці з координатою  $x = 0$  .

Об'ємна щільність енергії електромагнітного поля

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}, \quad (1.19)$$

Щільність потоку електромагнітної енергії - вектор Умова - Пойнтінга

$$\vec{S} = [\vec{E} \vec{H}], \quad (1.20)$$

де  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  - вектори напруженості електричного й магнітного полів електромагнітної хвилі.

## 1.2 ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА

Швидкість світла в середовищі

$$v = \frac{c}{n}, \quad (1.21)$$

де  $c$  - швидкість поширення світла у вакуумі,

$n$  - абсолютний показник преломлення середовища.

Оптична довжина шляху

$$L = n \cdot l, \quad (1.22)$$

де  $l$  - геометрична довжина шляху світлової хвилі в середовищі з показником преломлення середовища  $n$ .

Оптична різниця ходу світлових хвиль

$$\Delta = n_1 \cdot l_1 - n_2 \cdot l_2, \quad (1.23)$$

Різниця фаз коливань  $\Delta\varphi$  пов'язана з оптичною різницею ходу  $\Delta$  інтерферуючих хвиль співвідношенням

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta, \quad (1.24)$$

де  $\lambda$  - довжина світлової хвилі у вакуумі.

Умова інтерференційних максимумів

$$\Delta = \pm k \cdot \lambda, (k = 0, 1, 2...), \quad (1.25)$$

Умова інтерференційних мінімумів

$$\Delta = \pm (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, (k = 0, 1, 2...), \quad (1.26)$$

де  $k$  - порядок спектра,

$\lambda$  - довжина світлової хвилі у вакуумі.

Умова максимумів і мінімумів при інтерференції світла, відбитого від верхньої й нижньої поверхонь тонкої плоскопаралельної плівки, що перебуває в повітрі ( $n=1$ ),

$$2dn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2} = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad (1.27)$$

$$2dn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2} = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (1.28)$$

де  $d$  - товщина плівки ;

$n$  - показник преломлення плівки ;

$\alpha$  - кут падіння ;

$\beta$  - кут преломлення ;

$k$  - 0, 1, 2, ...

У загальному випадку доданок  $\pm \lambda/2$  обумовлений втратою півхвилі при відбитті світла від границі розділу.

Радіуси світлих кілець Ньютона у відбитому світлі (або темних у світлі, що проходить)

$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2}}, \quad (1.29)$$

де  $k=1,2,3,...$  - номер кільця Ньютона,

$R$  - радіус кривизни лінзи.

Радіуси темних кілець у відбитому світлі (або світлих у світлі, що проходить)

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}, \quad k = 0, 1, 2, ... \quad (1.30)$$

### 1.3 ДИФРАКЦІЯ СВІТЛА

Умова дифракційних максимумів мінімумів від однієї вузької щілини, на яку світло падає нормально

$$a \sin \varphi = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}; \quad (1.31)$$

$$a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, ... , \quad (1.32)$$

де  $a$  - ширина щілини,

$\varphi$  - кут дифракції,

$k$  - порядок спектра,  
 $\lambda$  - довжина хвилі;  
 Постійна (період) дифракційної решітки

$$d = a + b, \quad (1.33)$$

$$d = \frac{1}{N_0}, \quad (1.34)$$

де  $a$  - ширина кожної щілини решітки ;  
 $b$  - ширина непрозорих ділянок між щілинами ;  
 $N_0$  - число щілин, що доводяться на одиницю довжини дифракційної решітки.

Умова головних максимумів і додаткових мінімумів дифракційної решітки, на яку світло падає нормально

$$d \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (1.35)$$

$$d \sin \varphi = \pm k' \frac{\lambda}{N} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, \text{криме } 0, N, 2N, \dots), \quad (1.36)$$

де  $d$  - період решітки  
 $N$  - число штрихів решітки.

Умова дифракційних максимумів від просторової решітки(формула Вульфа-Бреггов)

$$2d \sin \theta = k\lambda, \quad (1.37)$$

де  $d$  - відстань між атомними площинами кристала,  
 $\theta$  - кут ковзання.  
 $k = 1, 2, 3, \dots$

Роздільна здатність дифракційної решітки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN, \quad (1.38)$$

де  $\Delta\lambda$  - найменша різниця довжин хвиль двох сусідніх спектральних ліній ( $\lambda$  і  $\lambda + \Delta\lambda$ );  
 $N$  - загальне число штрихів решітки ;  
 $k$  - порядок спектра.

## 1.4 ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА

Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} i_B = n_{21}, \quad (1.39)$$

де  $i_B$  - кут падіння, при якому відбитий від діелектрика промінь є плоскополяризованим ;  
 $n_{21}$  - відносний показник преломлення середовища.

Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (1.40)$$

де  $I$  - інтенсивність плоскополяризованого світла, що пройшло крізь аналізатор  
 $I_0$  - інтенсивність світла, що падає на аналізатор  
 $\alpha$  - кут між площинами поляризатора й аналізатора.

## 2. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ

### Задача № 1

Поперечна хвиля поширюється уздовж пружного шнура зі швидкістю  $v=15$  м/с. Період коливань точок шнура  $T=1,2$  с, амплітуда  $A=2$  см.

Визначити: 1) довжину хвилі  $\lambda$ ; 2) фазу  $\varphi$  коливань, зсув  $y$ , швидкість  $U$  і прискорення  $a$  точки, що відстоїть на відстані  $x=45$  м від джерела хвиль у момент часу  $t=4$  с; 3) різниця фаз коливань двох точок, що лежать на промені та віддалених від джерела хвиль на відстанях  $x_1=20$  м і  $x_2=30$  м.

Дано:  $v=15$  м/с;  $T=1,2$  с;  $A=2$  см.

---

Знайти:  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $y$ ,  $a$ ,  $\Delta\varphi$

Розв'язок

Довжиною хвилі називається найменша відстань між точками хвилі, коливання яких відрізняються по фазі на  $2\pi$ . Довжина хвилі дорівнює відстані, яку хвиля проходить за один період, і може бути знайдена зі співвідношення

$$\lambda = v \cdot T,$$

$$\lambda = 15 \cdot 1,2 = 18 \text{ (м)}$$

Фаза коливань, зсув, швидкість і прискорення точки можуть бути знайдені за допомогою рівняння хвилі

$$y = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right).$$

де  $y$  - зсув коливної точки,

$x$  - відстань точки від джерела хвиль,

$v$  - швидкість поширення хвиль.

Фаза коливань дорівнює

$$\varphi = \omega \left( t - \frac{x}{v} \right), \text{ або } \omega = \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right), \text{ тоді } \varphi = \frac{2\pi}{1,2} \left( 4 - \frac{45}{15} \right) = \frac{\pi}{0,6} = 1,67\pi$$

Зсув точки визначимо, підставивши в рівняння  $y = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$ ,

числові значення амплітуди й фази:

$$y = 2 \sin 1,67\pi = 2 \sin 300^\circ = -1,73 \text{ (см)}.$$

Швидкість точки дорівнює перший похідній від зсуву за часом, тому

$$v = \frac{dy}{dt} = A \omega \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \quad \text{або} \quad v = \frac{2\pi A}{T} \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right).$$

Підставивши числові значення, одержимо

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2}{1,2} \cos 300^\circ = 5,2 \text{ (см/с)}$$

Прискорення є перша похідна від швидкості за часом, тому

$$a = \frac{dv}{dt} = -A \omega^2 \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right).$$

Після підстановки

$$a = -\left(\frac{2 \cdot 3.24 \cdot 2}{1.2}\right)^2 \sin 300^\circ = 47,5 \text{ (см/с}^2\text{)}$$

Різниця фаз коливань  $\Delta\varphi$  двох точок хвилі пов'язана з відстанню  $\Delta x$  між цими точками співвідношенням

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1).$$

Підставивши числові значення, одержимо

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{18} (30 - 20) = 1,1\pi.$$

Відповідь:  $\lambda = 18 \text{ м}$ ,  $\varphi = 1,67\pi$ ,  $v = 5,2 \text{ см/с}$ ,  $y = -1,73 \text{ см}$ ,  $a = 47,5 \text{ см/с}^2$ ,  $\Delta\varphi = 1,1\pi$

### Задача № 2

Зсув з положення рівноваги точки, що перебуває на відстані 4 см від джерела коливань, через проміжок часу  $T/6$  дорівнює половині амплітуди. Знайти довжину хвилі.

Дано:  $r = 4 \text{ см}$ ;  $t = T/6$ ;  $x = A/2$ ;

---

Знайти:  $\lambda$

Розв'язок

Перетворимо рівняння хвилі

$$x = A \sin \omega(t - r/v),$$

враховуючи, що  $\omega = 2\pi/t$  й  $\lambda = vT$ :

$$x = A \sin \left( \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi r}{vT} \right) = A \sin \left( \frac{2\pi}{T} - \frac{2\pi r}{\lambda} \right).$$

Тоді  $\frac{A}{2} = A \sin \left( \frac{2\pi T}{6T} - \frac{2\pi \cdot 0,04}{\lambda} \right)$ , або після перетворень

$$\frac{1}{2} = \sin \left( \frac{\pi}{3} - \frac{\pi \cdot 0,08}{\lambda} \right) = \left( \frac{\pi}{3} - \frac{0,08\pi}{\lambda} \right) = \frac{\pi}{6}.$$

Відповідь:  $\lambda = 0,48 \text{ м}$ .

### Задача № 3

Уздовж деякої прямої поширюються коливання з періодом 0,25 с і швидкістю 48 м/с. Через 10 с після виникнення коливань у вихідній точці, на відстані 43 м від неї, зсув точки виявився рівним 3 см. Визначити в цей же момент часу зсув і фазу коливання в точці, що відстоїть на 45 м від джерела коливань.

Дано:  $T = 0,25 \text{ с}$ ;  $v = 48 \text{ м/с}$ ;  $t = 10 \text{ с}$ ;  $r_1 = 43 \text{ м}$ ;  $r_2 = 45 \text{ м}$ ;  $x = 3 \text{ см}$ ;

---

Знайти:  $\varphi_2 - ?$ ;  $x_2 - ?$

Розв'язок

Рівняння коливань точок, що відстоять від джерела коливань на відстанях  $r_1$  і  $r_2$ , мають вигляд

$$x_1 = A \sin \omega \left( t - \frac{r_1}{v} \right), \quad x_2 = A \sin \omega \left( t - \frac{r_2}{v} \right),$$

враховуючи, що  $\omega = 2\pi / T$ ,

$$x_1 = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{r_1}{v} \right),$$

$$x_2 = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{r_2}{v} \right).$$

Амплітуду коливань знайдемо з рівняння для  $x_1$ :

$$A = \frac{x_1}{\sin(2\pi / T)(t - r_1 / v)};$$

$$A = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{\sin(2\pi / 0,25)(10 - 43 / 48)} \approx 6 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

З рівняння для  $x_2$  знайдемо фазу коливання  $\varphi_2$  в точці, що відстоїть на відстані  $r_2$  від джерела коливань:

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{r_2}{v} \right);$$

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{0,25} \left( 10 - \frac{45}{48} \right) = 145 \frac{\pi}{2}.$$

Зсув у точці в момент часу  $t$  дорівнює

$$x_2 = A \sin \varphi_2 ;$$

$$x_2 = 6 \cdot 10^{-2} \sin \left( 145 \frac{\pi}{2} \right) = 6 \cdot 10^{-2} \sin \frac{\pi}{2} = 6 \cdot 10^{-2} (\text{м.})$$

Відповідь:  $\varphi_2 = 145 \frac{\pi}{2}$ , ;  $x_2 = 6 \cdot 10^{-2}$

#### Задача № 4

Відстань між другою і шостою пучностями стоячої хвилі 20 см. Визначити довжину хвилі стоячої хвилі.

$$\text{Дано: } r_{6,2} = 20$$

---

Знайти:  $\lambda$  -?.

Розв'язок

За умовою завдання:  $r_{6,2} = r_6 - r_2$ ,

де  $r_6$  - відстань від джерела коливань до шостої пучності стоячої хвилі;  $r_2$  - відстань від джерела коливань до другої пучності. Відстань від джерела до відповідної пучності пов'язане з довжиною хвилі співвідношенням  $r_n = 2n\lambda / 4$ , де  $n$  - номер пучності. Тоді

$$r_6 = 2 \cdot 6\lambda / 4 = 3\lambda; \quad r_2 = 2 \cdot 2 \cdot \lambda / 4 = \lambda; \quad r_{6,2} = 3\lambda - \lambda = 2\lambda,$$

звідки

$$\lambda = r_{6,2} / 2; \quad \lambda = 0,2 / 2m = 0,1(\mu).$$

Відповідь:  $\lambda = 0,1(\mu)$

### Задача №5

На товсту скляну пластинку, покриту дуже тонкою плівкою, коефіцієнт преломлення речовини якої дорівнює 1,4, падає нормально паралельний пучок променів монохроматичного світла ( $\lambda = 0,6 \mu\text{м}$ ). Відбите світло максимально ослаблене внаслідок інтерференції. Визначити товщину плівки.

$$\text{Дано: } \lambda = 0,6 \mu\text{м}; \quad n_1 = 1,00029; \quad n_2 = 1,4; \quad n_3 = 1,5$$

---

Знайти:  $d - ?$

Розв'язок

Тому що показник преломлення повітря ( $n_1 = 1,00029$ ) менше показника преломлення речовини плівки ( $n_2 = 1,4$ ), який у свою чергу менше показника преломлення скла ( $n_3 = 1,5$ ), то в обох випадках відбиття походить від середовища оптично більш щільного, чим середовище, у якому йде падаючий промінь. Результат інтерференції цих променів такий, як якби ніякої зміни фази коливань ні в того, ні в іншого променя не було.

Умова максимального ослаблення світла при інтерференції в тонких плівках полягає в тому, що оптична різниця ходу  $\Delta$  інтерферуючих променів повинна буде дорівнювати непарному числу півхвиль:

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

З іншої сторони:

$$\Delta = 2d \sqrt{n_2^2 - \sin^2 \alpha}.$$

Тому що світло падає нормально, то  $\alpha = 0$ , тоді

$$\Delta = 2dn_2 = (2k + 1)\lambda / 2$$

звідки шукана товщина плівки

$$d = \frac{(2k + 1)\lambda}{4n_2}.$$

Вважаючи  $k=0,1,2,3,\dots$ , одержимо ряд можливих значень товщини плівки:

$$d_0 = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{0,6}{4 \cdot 1,4} = 0,11(\mu\text{м});$$

$$d_1 = \frac{3\lambda}{4n_2} = 3d_0 = 0,33(\mu\text{м}); \quad \text{і т.д.}$$

Відповідь:  $d_0 = 0,11 \mu\text{м}; \quad d_1 = 0,33 \mu\text{м}.$

### Задача № 6

На дифракційну решітку нормально до її поверхні падає паралельний пучок променів з довжиною хвилі  $\lambda = 0,5$  мкм. Поміщена поблизу решітки лінза проєктує дифракційну картину на плоский екран, розташованої від лінзи на  $L = 1$  м. Відстань між двома максимумами першого порядку, спостережуваними на екрані,  $l = 20,2$  см.

*Знайти:* а) постійну дифракційної решітки; б) число штрихів на 1 см; в) скільки максимумів дає при цьому дифракційна решітка; г) максимальний кут відхилення променів, що відповідають останньому дифракційному максимуму.

*Дано:*  $\lambda = 0,5$  мкм;  $L = 1$  м;  $l = 20,2$  см.

---

*Знайти:*  $d, n, N, \sin \varphi_{\text{макс}}$  - ?

*Розв'язок*

а) Постійна дифракційної решітки  $d$ , довжина хвилі  $\lambda$  й кут відхилення променів  $\varphi$ , що відповідає  $k$ -му дифракційному максимуму, зв'язані співвідношенням

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

де  $k$  - порядок спектра, у цьому випадку  $k=1$ .

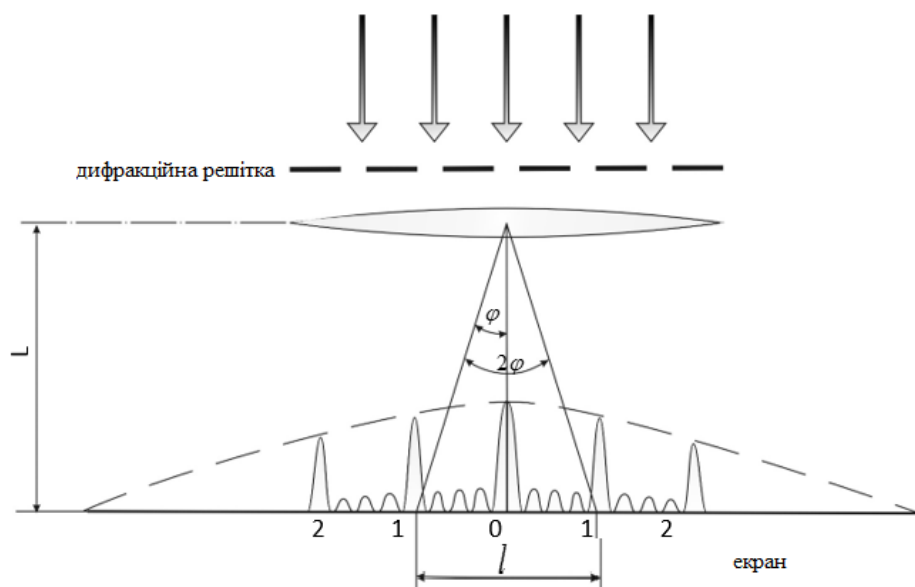


Рисунок 2.1 – Дифракційна решітка

$$\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi \quad \left( \text{через те, що } \frac{l}{2} \ll L \right), \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{2L} \quad (\text{впливає з рисунку 2.1})$$

$$\frac{l}{2L} d = \lambda,$$

звідки постійна решітки

$$d = \frac{2L\lambda}{l}.$$

Підставляючи дані, одержимо



$$d = \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{0,202} = 4,95 \cdot 10^{-6} (\text{м}).$$

б) Число штрихів на 1 см знайдемо з формули

$$n = \frac{1}{d}.$$

Після підстановки числових значень одержимо

$$n = \frac{1}{4,95 \cdot 10^{-4}} = 2,02 \cdot 10^3 (\text{см}^{-1}).$$

в) Для визначення числа максимумів, що дає дифракційна решітка, обчислимо спочатку максимальне значення  $k_{\text{макс}}$ , виходячи з того, що максимальний кут відхилення променів дифракційною решіткою не може перевищувати  $90^\circ$ .

$$k_{\text{макс}} = \frac{d \sin \varphi_{\text{макс}}}{\lambda}$$

Підставляючи сюди значення величин, одержимо

$$k_{\text{макс}} = \frac{4,95}{0,5} = 9,9.$$

$$k_{\text{макс}} = 9.$$

Загальне число максимумів

$$N = 2k_{\text{макс}} + 1$$

$$N = 2 \cdot 9 + 1 = 19.$$

г) Максимальний кут відхилення променів, що відповідають останньому дифракційному максимуму, знайдемо по формулі

$$\sin \varphi_{\text{макс}} = \frac{k_{\text{макс}} \lambda}{d}$$

Підставляючи дані, одержимо

$$\sin \varphi_{\text{макс}} = \frac{9 \cdot 0,5}{4,95} = 0,91.$$

Звідси  $\varphi_{\text{макс}} = 65,5^\circ$ .

Відповідь:  $d = 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}, n = 2,02 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}, N=19, \varphi_{\text{макс}} = 65,5^\circ$

### Задача № 7

Природній промінь світла падає на поліровану поверхню скляної пластини, зануреної в рідину. Відбитий від пластини промінь становить кут  $\varphi = 97^\circ$  з падаючим променем. Визначити показник преломлення рідини, якщо відбите світло максимально поляризоване.

Дано:  $\varphi = 97^\circ$ ;  $n_2 = 1,5$ ;

---

Знайти:  $n_1 - ?$ .

Розв'язок

Згідно із законом Брюстера тангенс кута падіння чисельно дорівнює відносному коефіцієнту преломлення ( див. рис. 2.1) :

$$\operatorname{tg} i_1 = n_{21}$$

де  $n_{21}$  - показник преломлення другого середовища (скла) щодо першого (рідини).

Відносний показник преломлення дорівнює відношенню абсолютних показників преломлення.  $\operatorname{tg} i_1 = \frac{n_2}{n_1}$

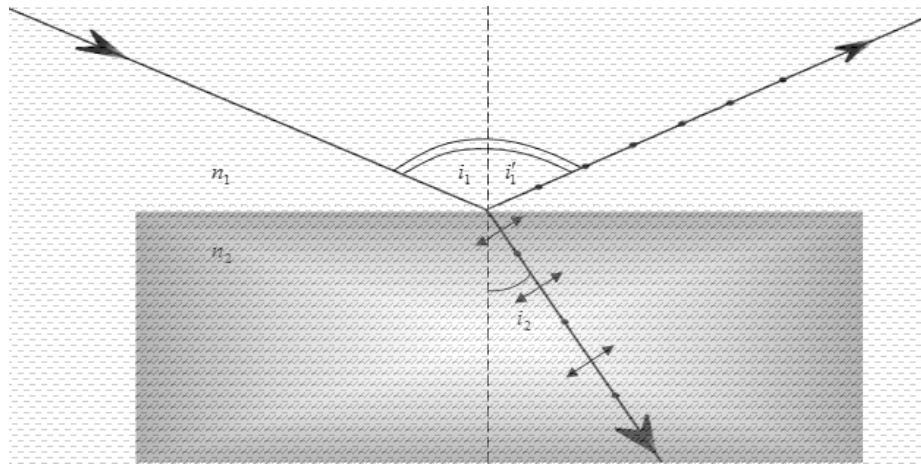


Рисунок 2.2.– Проходження світла крізь середовище.

Тому що кут падіння дорівнює куту відбиття, те  $i_1 = \varphi/2$  й, отже,  $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{n_2}{n_1}$ .

Звідки 
$$n_1 = \frac{n_2}{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}.$$

Зробивши підстановку числових значень, одержимо

$$n_1 = \frac{1,5}{\operatorname{tg} \frac{97^\circ}{2}} = \frac{1,5}{1,13} = 1,33$$

Відповідь:

$$n_1 = 1,33$$

### 3. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Номер студента за журналом	Номери задач						
1	1	30	60	41	64	91	100
2	2	29	59	42	65	92	52
3	3	28	58	43	66	93	50
4	3	27	57	44	67	94	41
5	5	26	56	45	68	95	88
6	6	25	55	46	69	96	42
7	7	24	54	47	70	97	36
8	8	23	53	48	61	98	31
9	9	22	52	49	62	99	32
10	10	21	51	31	63	100	41
11	11	20	50	32	71	89	100
12	12	19	49	33	72	24	85
13	13	18	48	34	73	25	90
14	14	17	47	35	74	21	89
15	15	16	46	36	75	22	88
16	16	15	45	37	76	32	87
17	17	14	44	38	77	34	86
18	18	13	43	39	78	35	85
19	19	12	42	50	79	36	84
20	20	11	41	51	80	37	90
21	21	10	40	52	81	27	91
22	22	9	39	53	82	28	92
23	23	8	38	54	83	29	93
24	24	7	37	55	84	30	94
25	25	6	36	56	85	19	95
26	26	5	35	57	86	62	96
27	27	4	34	58	87	61	97
28	28	3	33	59	88	63	98
29	29	2	32	60	89	24	99
30	30	1	31	40	90	27	100

#### 4. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Хвиля поширюється від джерела коливань уздовж прямої. Зсув точки для моменту часу  $0,5T$ , становить 5 см. Точка знаходиться від джерела коливань на відстані  $\lambda/3$ . Визначити амплітуду коливань, написати рівняння плоскої хвилі.
2. Джерело робить незатухаючі коливання за законом  $x = 0,05 \sin 500\pi t$ . Визначите зсув точки, що перебуває на відстані 60 см від джерела коливань, через 0,01 с після початку коливань. Швидкість поширення 300 м/с.
3. Визначите різницю фаз двох точок, що відстоять друг від друга на відстані 20 см, якщо хвиля поширюється зі швидкістю 2,4 м/с, при частоті 3 Гц.
4. Визначити відстань між найближчими точками хвилі, що біжить. Точки лежать на одному промені, та коливаються в одній фазі, якщо швидкість поширення хвиль 500 м/с, а частота 100 Гц.
5. Період коливання точок 0,01с, а швидкість поширення хвиль 340 м/с. Визначити різниця фаз двох точок, що лежать на одному промені, якщо відстань між точками відповідно рівно: 1) 3,4м; 2) 1,7м; 3) 0,85 м.
6. Точки, що перебувають на одному промені та розташовані від джерела на відстані 12 м і 14,7 м, коливаються з різницею фаз  $3\pi/2$  рад. Визначити швидкість поширення коливань у даному середовищі, якщо період коливання джерела  $T = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ .
7. Рівняння коливання джерела  $x = 3 \sin 20\pi t$  см. Визначити: 1) період коливання; 2) зсув точки, розташованої на відстані 0,5 м від джерела коливань при швидкості поширення хвилі 200 м/с. Написати рівняння плоскої хвилі.
8. Два когерентні джерела поперечних хвиль коливаються в однакових фазах. Визначити, при якій різниці хвильових шляхів (у випадку накладення хвиль) буде спостерігатися: 1) посилення коливань; 2) ослаблення коливань. Коливання відбуваються уздовж однієї прямої. Період коливання джерел 1,0 с; швидкість поширення коливань у середовищі 1000 м/с.
9. Рівняння плоскої хвилі, що поширюється в пружному середовищі, має вигляд  $\xi = 10^{-8} \sin(6280t - 1,256x)$ . Визначити довжину хвилі, швидкість її поширення й частоту коливань.
10. Точки, що коливаються розташовані від джерела коливань на відстані 0,5 м і 1,77 м у напрямку поширення хвиль. Різниця фаз їх коливань дорівнює  $3\pi/4$ . Частота коливань джерела  $100 \cdot \text{с}^{-1}$ . Визначити довжину хвилі, швидкість її поширення. Написати рівняння плоскої хвилі для обох точок, якщо амплітуда коливань дорівнює 5 см.
11. Чомудорівнює різниця фаз коливань двох точок, якщо вони розташовані друг від друга на відстані 3 м і лежать на прямій, перпендикулярної фронту хвилі. Швидкість поширення хвилі 600 м/с, а період коливань 0,02 с.
12. Плоска синусоїдальна хвиля поширюється уздовж прямої, що збігається з позитивним напрямком осі  $x$  у середовищі, що не поглинає енергію, зі швидкістю  $v = 10$  м/с. Дві точки, що перебувають на цій прямій на відстані  $x_1 = 7$  м и  $x_2 = 10$  м від

джерела коливань, коливаються з різницею фаз  $\Delta\varphi = 3\pi/5$ . Амплітуда хвилі  $A=5$  см. Визначите: 1) довжину хвилі  $\lambda$ ; 2) рівняння хвилі; 3) зсув  $\xi_2$  другої точки в момент часу  $t_2 = 2c$ .

13. Поперечна хвиля поширюється уздовж пружного шнура зі швидкістю  $v = 10$  м/с. Амплітуда коливань точок шнура  $A=5$  см, а період коливань  $T=1$  с. Запишіть рівняння хвилі й визначте: 1) довжину хвилі; 2) фазу коливань, зсув, швидкість і прискорення точки, розташованої на відстані  $x_1 = 9$  м від джерела коливань у момент часу  $t_1 = 2,5$  с.
14. На якій відстані перебуває коливна точка від джерела коливань, якщо зсув точки від положення рівноваги дорівнює половині амплітуди для моменту часу  $t=T/3$ ? Довжина хвилі дорівнює 4 м.
15. Для якого першого моменту часу зсув точки від положення рівноваги дорівнює  $\sqrt{2}/2$  її амплітуди? Відстань коливної точки від джерела  $3\lambda/8$ , а період коливань 2 с.
16. Чому дорівнює різниця фаз коливань двох точок, якщо вони розташовані друг від друга на відстані 6 м і лежать на прямій, перпендикулярній фронту хвилі, а період коливань 0,2 с. Швидкість поширення 500 м/с.
17. Точки, що коливаються та перебувають на одному промені, розташовані від джерела коливань на 6 м і 8,7 м, коливаються з різницею фаз  $3\pi/4$ . Період коливань джерела  $10^{-2}$  с. Чому дорівнює довжина хвилі й швидкість поширення коливань у даному середовищі? Скласти рівняння хвилі для першої й другої точок, уважаючи амплітуди коливань точок рівною 0,5 м.
18. Джерело звуку робить коливання за законом:  $x = \sin 2000\pi t$ . Швидкість поширення звуку дорівнює 340 м/с. Записати рівняння коливань для точки, що перебуває на відстані 102 м від джерела. Втратами енергії зневажити, хвилю вважати плоскою.
19. Знайти різницю фаз коливань двох точок, що лежать на промені та віддалені на відстані 1,75 м друг від друга, якщо довжина хвилі  $\lambda = 1$  м.
20. Яка частота коливань двох точок, якщо найменша відстань між точками, що коливаються в однакових фазах, рівно 1 м? Швидкість поширення хвиль  $v=300$  м/с.
21. Точка, що перебуває на відстані 0,5 м від джерела коливань, має в момент  $t=T/3$  зсув, дорівнює половині амплітуди. Знайти довжину хвилі, якщо при  $t=0$  зсув від джерела дорівнює нулю.
22. Джерело робить коливання за законом:  $x = 5 \cdot \sin 3140 \cdot t$  м. Визначити зсув від положення рівноваги, швидкість і прискорення точки, що перебуває на відстані 340 м від джерела, через  $\Delta t = 1$  с від початку коливання. Швидкість поширення хвилі  $v = 340$  м/с.
23. Дві точки, перебувають на прямій, уздовж якої поширюється хвиля зі швидкістю  $v = 50$  м/с. Період коливань дорівнює  $T=0,05$  с, відстань між точками дорівнює 50 см. Знайти різницю фаз коливань у цих точках.
24. Відомо, що людське вухо сприймає пружні хвилі в інтервалі частот від  $\nu_1 = 20$  Гц до  $\nu_2 = 20$  кГц. Яким довжинам хвиль відповідає цей інтервал у повітрі? у воді?

Швидкості звуку в повітрі й у воді дорівнює відповідно  $v_1 = 340$  м/с і  $v_2 = 1400$  м/с.

25. Середня квадратична швидкість  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$  молекул двоатомного газу при деяких умовах становить 480 м/с. Визначте швидкість поширення звуку в газі за тих самих умов.
26. Визначити довжину звукової хвилі в повітрі при температурі  $20^\circ\text{C}$ , якщо частота коливань 700 Гц.
27. Знайти швидкість поширення звуку у двоатомному газі, якщо відомо, що щільність цього газу при тиску  $10^5$  Па дорівнює  $1,29$  кг/м<sup>3</sup>.
28. У вакуумі уздовж осі  $x$  поширюється плоска електромагнітна хвиля. Амплітуда напруженості електричного поля хвилі становить 50 мВ/м. Визначити інтенсивність хвилі  $I$ , тобто середню енергію, що проходить через одиницю поверхні в одиницю часу.
29. У вакуумі уздовж осі  $x$  поширюється плоска електромагнітна хвиля. Амплітуда напруженості магнітного поля хвилі дорівнює 1 мА/м. Визначити амплітуду напруженості електричного поля хвилі.
30. Довжина  $\lambda$  електромагнітної хвилі у вакуумі, на яку настроєний коливальний контур, дорівнює 12 м. Зневажаючи активним опором контуру, визначите максимальний заряд  $Q_m$  на обкладках конденсатора, якщо максимальна сила струму в контурі  $I_m = 1$  А.
31. У вакуумі уздовж осі  $x$  поширюється плоска електромагнітна хвиля. Амплітуда напруженості електричного поля хвилі дорівнює 10 В/м. Визначите амплітуду магнітного поля хвилі.
32. Після того як між внутрішнім і зовнішнім провідниками кабелю помістили діелектрик, швидкість поширення електромагнітних хвиль у кабелі зменшилася на 63%. Визначите діелектричну сприйнятливість речовини прошарку.
33. Коливальний контур містить конденсатор ємністю  $C = 0,5$  нФ і котушку індуктивністю  $L = 0,4$  мГн. Визначите довжину хвилі випромінювання, що генерує контуром. Зменшилась
34. Визначите довжину електромагнітної хвилі у вакуумі, на яку настроєний коливальний контур, якщо максимальний заряд на обкладках конденсатора  $Q_m = 50$  нКл, а максимальна сила струму в контурі  $I_m = 1,5$  А. Активним опором контуру зневажити.
35. Електромагнітна хвиля із частотою  $\nu = 5$  МГц переходить із немагнітного середовища з діелектричною проникністю  $\epsilon = 2$  у вакуум. Визначите збільшення її довжини хвилі.
36. Електромагнітні хвилі поширюються в однорідному середовищі зі швидкістю  $2 \cdot 10^8$  м/с. Яку довжину хвилі мають електромагнітні коливання в цьому середовищі, якщо їх частота у вакуумі 1 МГц.
37. Коливальний контур радіоприймача складається з котушки з індуктивністю  $L = 1$  мГн і змінного конденсатора, ємність якого може мінятися в межах від 9,7 пФ до 92 пФ. У якому діапазоні довжин хвиль може улавлювати радіостанція цей приймач.

38. Швидкість поширення електромагнітних хвиль у кабелі поменшала на 20% після того, як простір між зовнішнім і внутрішнім провідниками заповнили діелектриком. Визначити відносну електричну сприйнятливість діелектрика.
39. У вакуумі поширюється плоска електромагнітна хвиля. Амплітуда напруженості магнітного поля хвилі  $0,1 \text{ А/м}$ . Визначити амплітуду напруженості електричного поля хвилі та середню за часом щільність енергії хвилі.
40. В однорідному й ізотропному середовищі з  $\varepsilon = 2$  і  $\mu = 1$  поширюється плоска електромагнітна хвиля. Амплітуда напруженості електричного поля хвилі  $50 \text{ В/м}$ . Знайти амплітуду напруженості магнітного поля й фазову швидкість хвилі.
41. Рівняння плоскої електромагнітної хвилі, що поширюється в середовищі з  $\mu = 1$ , має вигляд  $E = 10 \sin(6,28 \cdot 10^8 t - 4,19 x)$ . Визначити діелектричну проникність середовища й довжину хвилі.
42. Два когерентні джерела посиляють поперечні хвилі в однакових фазах. Періоди коливань  $T = 0,2 \text{ с}$ , швидкість поширення хвиль у середовищі  $v = 800 \text{ м/с}$ . Визначите, при якій різниці ходу у випадку накладення хвиль буде спостерігатися: 1) ослаблення коливань; 2) посилення коливань.
43. Два когерентні джерела коливаються в однакових фазах із частотою  $400 \text{ Гц}$ . Швидкість поширення коливань у середовищі  $1 \text{ км/с}$ . Визначите, при якій найменшій різниці ходу, не рівної нулю, буде спостерігатися: 1) максимальне ослаблення коливань; 2) максимальне посилення коливань.
44. Відстань між когерентними джерелами світла  $d = 0,5 \text{ мм}$ , відстань від джерел до екрана  $l = 5 \text{ м}$ . У зеленому світлі вийшли інтерференційні смуги на відстані  $\Delta x = 5 \text{ мм}$  друг від друга. Знайти довжину хвилі зеленого світла.
45. Відстань між двома когерентними джерелами  $0,9 \text{ мм}$ , а відстань від джерел до екрана  $1,5 \text{ м}$ . Джерела випромінюють монохроматичне світло з довжиною хвилі  $0,6 \text{ мкм}$ . Визначити число інтерференційних смуг, що виводяться на  $1 \text{ см}$  екрана.
46. У досвіді Юнга одна із щілин перекривалася прозорою пластинкою товщиною  $11 \text{ мкм}$ , внаслідок чого центральна світла смуга зміщлася в положення, спочатку зайняте десятою світлою смугою. Знайти показник преломлення пластини, якщо довжина хвилі світла дорівнює  $0,55 \text{ мкм}$ .
47. У досвіді Юнга відстань від щілин до екрана дорівнює  $3 \text{ м}$ . Визначити кутову відстань між сусідніми світлими смугами, якщо третя світлова смуга на екрані знаходиться від центру дифракційної картини на  $4,5 \text{ мм}$ .
48. Якщо в досвіді Юнга на шляху одного з інтерферующих променів помістити перпендикулярно пластинку ( $n = 1,5$ ), то центральна світла смуга зміщається в положення, спочатку займане п'ятою світлою смугою. Довжина хвилі  $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ . Визначити товщину пластинки.
49. Визначити довжину відрізка, на якому укладається стільки ж довжин хвиль монохроматичного світла у вакуумі, скільки їх укладається на відрізьку  $5 \text{ мм}$  у склі. Показник преломлення скла  $n = 1,5$ .
50. У досвіді Юнга відстань між щілинами  $1 \text{ мм}$ , а відстань від щілин до екрана  $3 \text{ м}$ . Визначити: 1) положення першої світлої смуги; 2) положення третьої темної смуги,

якщо щілини освітлювати монохроматичним світлом з довжиною хвилі  $\lambda = 0,5$  мкм.

51. Відстань між двома щілинами в досвіді Юнга  $0,5$  мм ( $\lambda = 0,6$  мкм). Визначити відстань від щілини до екрана, якщо ширина  $\Delta x$  інтерференційних смуг дорівнює  $1,2$  м.
52. У досвіді Юнга спочатку береться світло з довжиною хвилі  $\lambda_1 = 600$  нм, а потім  $\lambda_2$ . Яка довжина хвилі в другому випадку, якщо сьома смуга в першому випадку збігається з десятою в другому?
53. На шляху одного з інтерферуючих променів міститься скляна пластинка товщиною  $12$  мкм. Визначити на скільки смуг зміститься інтерференційна картина, якщо показник преломлення скла  $n = 1,5$ ; довжина хвилі світла  $\lambda = 750$  нм і світло падає на пластинку нормально.
54. Якою повинна бути товщина пластинки при  $n = 1,6$  і  $\lambda = 550$  нм, якщо із уведенням пластинки на шляху одного з інтерферуючих променів картина зміщується на чотири смуги?
55. На мильну плівку падає біле світло під кутом  $45^\circ$ . При якій найменшій товщині плівки відбиті промені будуть пофарбовані в зелений колір ( $\lambda = 0,54$  мкм)? Показник преломлення мильної води  $1,33$ .
56. На плівку із гліцерину товщиною  $0,25$  мкм падає біле світло. Яким буде видатися колір плівки у відбитому світлі, якщо кут падіння променів дорівнює  $60^\circ$ ?
57. Для усунення відбиття світла на поверхню скляної лінзи наноситься плівка речовини з показником преломлення  $1,3$  меншим, чиму скла. При якій найменшій товщині цієї плівки відбиття світла з довжиною хвилі  $0,48$  мкм не буде спостерігатися, якщо кут падіння променів дорівнює  $30^\circ$ ?
58. Яка найменша можлива товщина плоскопаралельної пластини з показником преломлення  $n = 1,5$ , якщо при освітленні білим світлом під кутами  $i_1 = 45^\circ$  й  $i_2 = 60^\circ$  вона видається червоною ( $\lambda = 0,74$  мкм)?
59. У яких межах може змінюватися товщина пластинки, щоб можна було спостерігати максимум 12-го порядку для  $\lambda = 600$  нм? Показник преломлення пластинки  $n = 1,6$ .
60. Для спостереження кілець Ньютона використовують плосковипуклу лінзу з радіусом кривизни  $R = 160$  см. Визначити радіуси 4-го та 9-го темних кілець ( $\lambda = 625$  нм).
61. Радіус кривизни плосковипуклої лінзи  $4$  м. Чому дорівнює довжина хвилі  $\lambda$  падаючого світла, якщо радіус 5-го світлого кільця у відбитому світлі дорівнює  $3,6$  мм?
62. Кільця Ньютона утворюються між плоским склом і лінзою з радіусом кривизни  $10$  м. Монохроматичне світло падає нормально. Діаметр третього світлого кільця у відбитому світлі дорівнює  $8$  мм. Знайти довжину хвилі падаючого світла.
63. Установка для спостереження кілець Ньютона висвітлюється монохроматичним світлом, що падає нормально. Довжина хвилі світла  $0,5$  мкм. Знайти радіус кривизни лінзи, якщо діаметр четвертого темного кільця у відбитому світлі дорівнює  $8$  мм.



64. На щілину шириною 0,3 мм падає нормально паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі 0,45 мкм. Знайти ширину центрального максимуму на екрані, вилученому від щілини на відстані 1 м.
65. На щілину шириною 0,1 мм падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі  $\lambda = 0,5$  мкм. Дифракційна картина спостерігається на екрані, розташованому паралельно щілини. Визначити відстань від щілини до екрана, якщо ширина центрального дифракційного максимуму дорівнює 1 см.
66. На вузьку щілину нормально падає плоска монохроматична світлова хвиля ( $\lambda = 0,7$  мкм). Чому дорівнює ширина щілини, якщо перший дифракційний максимум спостерігається під кутом, рівним  $1^\circ$ ?
67. Постійна дифракційної решітки дорівнює 5 мкм. Визначити найбільший порядок спектра, загальне число головних максимумів у дифракційній картині й кут дифракції в спектрі четвертого порядку при нормальному падінні монохроматичного світла з довжиною хвилі 0,625 мкм.
68. На дифракційну решітку з періодом 6 мкм падає нормально світло. Які спектральні лінії, відповідні до довжин хвиль, що лежать у межах видимого спектра, будуть збігатися в напрямку  $\varphi = 30^\circ$ ?
69. Монохроматичне світло ( $\lambda = 0,6$  мкм) падає нормально надифракційну решітку, що містить 400 штрихів на 1 мм. Визначити кут відхилення, відповідний до максимуму найвищого порядку. Знайти загальне число дифракційних максимумів, які дає ця решітка.
70. На дифракційну решітку нормально до її поверхні падає паралельний пучок променів ( $\lambda = 0,5$  мкм). Поміщена поблизу решітки лінза проектує дифракційну картину на плоский екран, вилучений від лінзи на  $l = 1$  м. Відстань між двома максимумами першого порядку, спостережуваними на екрані, дорівнює 20,2 см. Визначити: а) постійну дифракційної решітки; б) число штрихів на 1 см; в) теоретично можливе число максимумів, які здатна дати решітка; г) кут відхилення променів, що відповідає останньому дифракційному максимуму
71. На дифракційну решітку нормально падає світло. При цьому максимум другого порядку для лінії  $\lambda_1 = 0,65$  мкм відповідає куту  $\alpha_1 = 45^\circ$ . Знайти кут, відповідний до максимуму третього порядку для лінії  $\lambda_2 = 0,50$  мкм.
72. Є дифракційна решітка з 500 штрихами на 1 мм, освітлювана фіолетовим світлом ( $\lambda = 0,4$  мкм). Визначите кутову відстань між максимумами першого порядку.
73. Дифракційна решітка, що має 500 штрихів на 1 мм, дає на екрані, що відстоїть від лінзи на відстані 1 м, спектр. Визначите, на якій відстані друг від друга будуть перебувати фіолетові границі спектрів другого порядку.
74. На решітку з постійної  $d = 0,006$  мм нормально падає монохроматичне світло. Кут між сусідніми спектрами першого й другого порядків  $\Delta\alpha = 4^\circ 36'$ . Визначите довжину світлової хвилі. Вказівка: При розв'язку використовувати наближену рівність  $\sin \alpha \approx \alpha$ .
75. Знайти найбільший порядок дифракційного спектра жовтої лінії натрію ( $\lambda = 5890$  Å) у дифракційній решітці, що містить 200 штрихів на 1 мм.
76. При освітленні дифракційної решітки білим світлом спектри другого й третього порядків спочатку накладаються один на одного. На яку довжину хвилі в спектрі

- другого порядку накладається фіолетова границя ( $\lambda = 0,4$  мкм) спектру третього порядку ?
77. На дифракційну решітку нормально падає пучок світла від газорозрядної трубки, наповненої гелієм. На яку лінію в спектрі четвертого порядку накладається червона лінія гелію ( $\lambda_{кр} = 6,7 \cdot 10^{-5}$  см) спектра третього порядку?
  78. На дифракційну решітку під кутом  $\alpha = 20^\circ$  падає монохроматичне світло ( $\lambda = 500$  нм). Постійна дифракційної решітки  $d = 2$  мкм. Під яким кутом будуть розташовані головні максимуми другого порядку? Обчислити найбільше, теоретично можливе число утворених головних максимумів.
  79. На дифракційну решітку з періодом  $d = 5 \cdot 10^{-3}$  мм під кутом  $\alpha = 30^\circ$  падає світло довжиною хвилі 600 нм. Визначити кути, під якими спостерігаються максимуми 2-го порядку.
  80. Дифракційна решітка складається з непрозорих штрихів шириною  $b = 2,5 \cdot 10^{-3}$  мм, розділених прозорими ділянками шириною  $a = 2,5 \cdot 10^{-3}$  мм. Яку товщину повинна мати плоскопаралельна скляна пластина з показником заломлення  $n = 1,5$ , щоб у ній максимум третього порядку для  $\lambda = 600$  нм спостерігався під тим же кутом, що й у дифракційної решітки?
  81. Дифракційна решітка шириною 12 мм містить 4800 штрихів. Визначити 1) число максимумів, спостерігаємих у спектрі дифракційної решітки для хвилі  $\lambda$ , що є серединою оптичного діапазону; 2) кут, відповідний до останнього максимуму.
  82. Період дифракційної решітки  $d = 0,005$  мм. Визначити число головних максимумів у спектрі дифракційної решітки для: 1)  $\lambda = 760$  нм; 2)  $\lambda = 440$  нм.
  83. Скільки штрихів на 1 мм повинна мати дифракційна решітка, щоб куту  $\varphi = 90^\circ$  відповідав максимум 5-го порядку для світла з довжиною хвилі  $\lambda = 500$  нм?
  84. На дифракційну решітку нормально падає монохроматичне світло з довжиною хвилі  $\lambda = 0,5$  мкм. На екран, що перебуває від решітки на відстані  $L = 1$  м за допомогою лінзи, розташованої поблизу решітки, проектується дифракційна картина, причому перший головний максимум спостерігається на відстані  $l = 15$  см від центрального. Визначити число штрихів на 1 см дифракційної решітки.
  85. На дифракційну решітку нормально падає монохроматичне світло. У спектрі, отриманому за допомогою цієї дифракційної решітки, деяка спектральна лінія спостерігається в першому порядку під кутом  $\varphi = 11^\circ$ . Визначити найвищий порядок спектра, у якому може спостерігатися ця лінія.
  86. Визначити довжину хвилі монохроматичного світла, що нормально падає на дифракційну решітку, та має 300 штрихів на 1 мм, якщо кут між напрямками на максимуми першого й другого порядку становить  $12^\circ$ .
  87. На дифракційну решітку довжиною  $l = 15$  мм, що містить  $N = 3000$  штрихів, падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі  $\lambda = 550$  нм. Визначити: 1) число максимумів, що спостерігаються у спектрі дифракційної решітки; 2) кут, відповідний до останнього максимуму.
  88. Визначити число штрихів на 1 мм дифракційної решітки, якщо куту  $\varphi = 30^\circ$  відповідає максимум четвертого порядку для монохроматичного світла з довжиною хвилі  $\lambda = 0,5$  мкм.

89. Рентгенівське випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda = 1,63 \text{ \AA}$  падає на кристал кам'яної солі. Знайти міжплощинну відстань кристалічної решітки кам'яної солі, якщо дифракційний максимум першого порядку спостерігається при куті ковзання  $\theta = 17^\circ$ .
90. Рентгенівське випромінювання з довжиною хвилі  $2 \cdot 10^{-12} \text{ м}$  падає на монокристал. Чому рівний кут ковзання, якщо в спектрі другого порядку отримано максимум. Міжплощинна відстань дорівнює  $0,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ .
91. Вузький паралельний пучок монохроматичного рентгенівського випромінювання на грань кристала з відстанню між його атомними площинами  $d = 0,5 \text{ нм}$ . Визначити довжину хвилі рентгенівського випромінювання, якщо під кутом  $\alpha = 30^\circ$  до площини грані спостерігається дифракційний максимум першого порядку.
92. Відстань між атомними площинами кристала кальциту дорівнює  $0,3 \text{ нм}$ . Визначити, при якій довжині хвилі рентгенівських променів другий дифракційний максимум буде спостерігатися при відбитті променів під кутом  $45^\circ$  до поверхні кристала.
93. Вузький пучок рентгенівського випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda = 245 \text{ нм}$  падає під деяким кутом ковзання на природню грань монокристала  $\text{NaCl}$  ( $M = 58,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ ), щільність якого  $\rho = 2,16 \text{ г/см}^3$ . Визначити кут ковзання, якщо при дзеркальному відбитті від цієї грані спостерігається максимум другого порядку.
94. На грань кристала кам'яної солі падає вузький пучок рентгенівських променів з довжиною хвилі  $0,095 \text{ нм}$ . Чому повинен дорівнювати кут ковзання променів, щоб спостерігався дифракційний максимум третього порядку? Відстань між атомними площинами кристала дорівнює  $0,285 \text{ нм}$ .
95. Визначити показник преломлення скла, якщо при відбитті від нього світла відбитий промінь повністю поляризований при куті преломлення  $35^\circ$ .
96. Визначити, під яким кутом до горизонту повинне перебувати Сонце, щоб промені, відбиті від поверхні озера ( $n = 1,33$ ), були максимально поляризовані.
97. Граничний кут повного відбиття для пучка світла на границі кристала кам'яної солі з повітрям дорівнює  $40,5^\circ$ . Визначити кут Брюстера при падінні світла з повітря на поверхню цього кристала.
98. Природнє світло падає на кристал алмаза під кутом повної поляризації. Знайти кут преломлення світла.
99. Кут Брюстера при падінні світла з повітря на кристал кам'яної солі дорівнює  $57^\circ$ . Визначити швидкість світла в цьому кристалі.
100. Промінь світла виходить зі скипидару в повітря. Граничний кут падіння для цього променя  $42^\circ 23'$ . Визначити швидкість поширення світла в скипидарі.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волькенштейн, В.С. Збірник завдань за загальним курсом фізики / В.С.Волькенштейн. – М. : Наука, 1985. – 381с.
2. Фізика: Методичні вказівки й контрольні завдання для студентів-заочників інженерно-технічних спеціальностей вузів (включаючи сільськогосподарські вузи) / А.А. Воробйов, В.П. Іванов, В.Г. Кондакова, А.Г. Чортовий. – М. : Вышш. шк., 1987. – 208с.
3. Методичні вказівки й завдання для самостійної роботи з курсу загальної фізики. Розділи «Механіка» і «Молекулярна фізика» ( для студентів усіх спеціальностей) / В.А. Гольців, В.А. Кирилов, О.І. Карнаух та ін. – Донецьк : ДПИ, 1988. – 44с.
4. Гофман, Ю.В. Закони, формули, завдання фізики: довід. / Ю.В.Гофман. – К. : Наук. думка, 1977. – 576с.
5. Савельєв, І.В. Курс загальної фізики. Механіка. Молекулярна фізика / І.В.Савельєв. – М. : Наука, 1982. – 432 с.
6. Чолпан, П.Ф. Основи фізики / П.Ф.Чолпан. – К.: Вищ. шк., 1985. – 431 с.
7. Беликов ,Б.С. Розв'язок завдань по фізиці. Загальні методи: учеб. посіб. для вузів / Б.С.Беликов. – М. : Вышш. шк., 1985 – 255 с.
8. Вовків, О.Ф. Курс фізики: В 2-х т. Т.1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: навч. посіб. для студ. інжен.-техн. спец. вищ. навч. закл. / О.Ф.Вовків,Т.П.Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
9. Вовків, О.Ф.Курс фізики: В 2-х т. Т.2. Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навч. посіб. для студ. інжен.-техн. спец. вищ. навч. закл. / О.Ф.Вовків,Т.П.Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.

## ДОДАТОК А. Деякі числа, що часто зустрічаються

$$\pi = 3,1411593$$

$$4\pi = 12,56637$$

$$2/\pi = 0,63662$$

$$\pi^2 = 9,86960$$

$$\sqrt{\pi} = 1,77245$$

$$e = 2,718282$$

$$\sqrt{2} = 1,41421$$

$$\sqrt{3} = 1,73205$$

$$1^\circ = 0,01745 \text{ рад}$$

$$1' = 0,00029 \text{ рад}$$

$$\lg e = 0,43429$$

$$\ln 2 = 0,69315$$

## ДОДАТОК Б. Формули для наближених обчислень

$\frac{1}{1+x} = 1 - x$	- 0,031 < x < 0,031
$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x$	- 0,085 < x < 0,093
$\frac{1}{\sqrt{1+x}} = 1 - \frac{1}{2}x$	- 0,052 < x < 0,052
$\sin x = x$	- 0,077 < x < 0,077
$e^x = 1 + x$	- 0,045 < x < 0,045
$\ln(1+x) = x$	- 0,066 < x < 0,066

$$\sin \alpha = a/c \quad \cos \alpha = b/c \quad \operatorname{tg} \alpha = a/b \quad \operatorname{ctg} \alpha = b/a$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \sin \beta \cdot \cos \alpha$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \quad \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

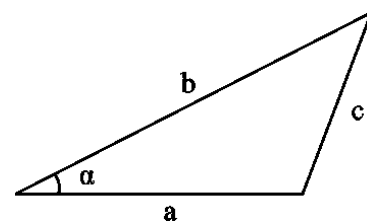
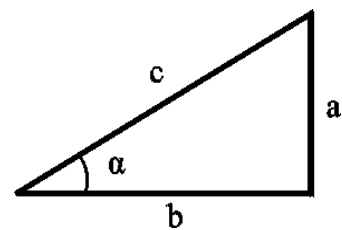
$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \quad \sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \quad \cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$$

Теорема косинусів

$$C = \sqrt{a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \alpha}$$

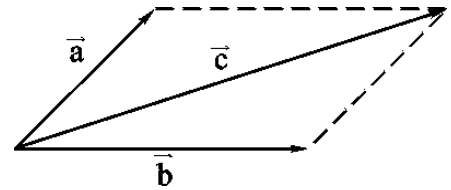


$$\begin{aligned}
(x)' &= 1 \quad (x^n)' = nx^{n-1} \quad (1/x)' = -1/x^2 \quad (1/x^n)' = -n/x^{n+1} \\
(\sqrt{x})' &= 1/2\sqrt{x} \quad (\sqrt[n]{x})' = 1/n\sqrt[n]{x^{n-1}} \quad (e^x)' = e^x \quad (e^{nx})' = ne^{nx} \\
(a^x)' &= a^x \ln a \quad (a^{nx})' = na^{nx} \ln a \quad (\ln x)' = 1/x \quad (\sin x)' = \cos x \\
(\cos x)' &= -\sin x \quad (\operatorname{tg} x)' = 1/\cos^2 x \quad (\operatorname{ctg} x)' = -1/\sin^2 x \quad (\operatorname{sh} x)' = \operatorname{ch} x
\end{aligned}$$



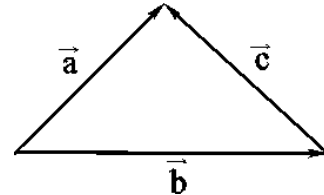
Сума векторів

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$



Різниця векторів

$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$$



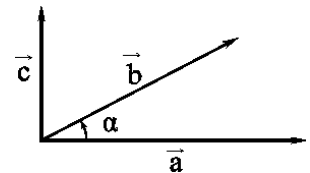
Скалярний добуток векторів

$$c = \vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos \alpha$$

де  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{a}$  і  $\vec{b}$

Векторний добуток векторів

$$\vec{c} = [\vec{a} \vec{b}] = \vec{a} \times \vec{b}$$



Вектор  $\vec{c}$  спрямований перпендикулярно векторам  $\vec{a}$  і  $\vec{b}$  убік,

обумовлену за правилом правого гвинта (буравчика). Так, на малюнку вектор  $\vec{c}$  спрямований нагору, оскільки вектор  $\vec{a}$  множиться на вектор  $\vec{b}$ , а не навпаки. Модуль векторного добутку векторів

$$c = a \cdot b \cdot \sin \alpha$$

Операція розподілу векторів не визначена.

## ДОДАТОК Е. Приставки до позначень одиниць

Піко (п)	$10^{-12}$	Деци (д)	$10^{-1}$
Нано (н)	$10^{-9}$	Кіло (к)	$10^3$
Мікро (мк)	$10^{-6}$	Мега (М)	$10^6$
Мілі (м)	$10^{-3}$	Гіга (Г)	$10^9$
Санті (с)	$10^{-2}$	Тера (Т)	$10^{12}$

\

## ДОДАТОК Ж. Основні фізичні константи

Нормальне прискорення вільного падіння	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Гравітаційна стала	$G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^{-2})$
Універсальна газова стала	$R = 8,314510 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$
Молярний об'єм ідеального газу за нормальних розумів ( $T = 273,15 \text{ ДО}, p = 101325 \text{ Па}$ )	
Число Авогадро	$V_0 = RT/p = 22,414102 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Число Лошмідта	$N_A = 6,0221367 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Стала Больцмана	$n_0 = N_A/V_0 = 2,686763 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$
Число Фарадея	$\kappa = R/N_A = 1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Швидкість світла у вакуумі	$F = 96485,309 \text{ Кл/моль}$
Магнітна стала (абсолютна магнітна проникність)	$c = 299792458 \text{ м/с}$
Електрична стала(абсолютна діелектрична проникність)	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 12,566370 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$
Атомна одиниця маси	$\epsilon_0 = (\mu_0 c^2)^{-1} = 8,854188 \cdot 10^{-12} \text{ Н/А}^2$
Елементарний заряд	$1 \text{ а.о.м.} = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою електрона	$e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
з атомних одиницях маси	$m_e = 9,109389 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Енергія спокою електрона	$m_e = 5,485799 \cdot 10^{-4} \text{ а.о.м.}$
Питомий заряд електрона	$m_e c^2 = 0,510999 \text{ МеВ}$
Класичний радіус електрона	$-e/m_e = -1,758819 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Маса спокою протона	$r_e = 2,817941 \cdot 10^{-15} \text{ м}$
в атомних одиницях маси	$m_p = 1,672623 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Енергія спокою протона	$m_p = 1,007726 \text{ а.о.м.}$
Питомий заряд протона	$m_p c^2 = 938,27231 \text{ МеВ}$
Відношення маси протона до маси електрона	$e/m_p = 9,578831 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг}$
Маса спокою нейтрона	
в атомних одиницях маси	$m_p/m_e = 1836,152701$
Енергія спокою нейтрона	$m_n = 1,674929 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Відношення маси нейтрона до маси електрона	$m_n = 1,008665 \text{ а.о.м.}$
Відношення маси нейтрона до маси протона	$m_n c^2 = 939,56563 \text{ МеВ}$
Стала Планка	
	$m_n/m_e = 1838,683662$
Стала Стефана-Больцмана	
Стала в законі зміщення Віна	$m_n/m_p = 1,001378$
Стала Рідберга	$h = 6,626075 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Комптонівська довжина хвилі:електрона	$\hbar = h/2\pi = 1,054572 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
протона	$\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
нейтрона	$b = 2,897756 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Радіус першої борівської орбіти	$R_\infty = 10973731,534 \text{ м}^{-1}$
Магнетон Бору	$\lambda_0 = h/m_e c = 2,426310 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Ядерний магнетон	$\lambda_0 = h/m_p c = 11,321410 \cdot 10^{-15} \text{ м}$
	$\lambda_0 = h/m_n c = 1,319591 \cdot 10^{-15} \text{ м}$

$$r_1 = 0,529177 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$$\mu_B = e\hbar / 2m_e = 9,274015 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$$

$$\mu_N = e\hbar / 2m_p = 5,050787 \cdot 10^{-27} \text{ Дж/Тл}$$

ДОДАТОК 3. Періодична система елементів Д.І. Менделєєва

8. ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ЕЛЕМЕНТІВ Д.І.МЕНДЕЛЄЄВА

		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
	H 1 1,0079 Водород																He 2 4,0026 Гелий
1	Li 3 6,941 Литий	Be 4 9,012 Бериллий	B 5 10,811 Бор	C 6 12,011 Углерод	N 7 14,0067 Азот	O 8 15,999 Кислород	F 9 18,998 Фтор										Ne 10 20,179 Неон
2	Na 11 22,990 Натрий	Mg 12 24,305 Магний	Al 13 26,982 Алюминий	Si 14 28,086 Кремний	P 15 30,974 Фосфор	S 16 32,066 Сера	Cl 17 35,453 Хлор										Ar 18 39,948 Аргон
3	K 19 39,098 Калий	Ca 20 40,078 Кальций	Sc 21 44,956 Скандий	Ti 22 47,88 Титан	V 23 50,942 Ванадий	Cr 24 51,996 Хром	Mn 25 54,938 Марганец	Fe 26 55,847 Железо	Co 27 58,933 Кобальт	Ni 28 58,69 Никель							
4	Cu 29 63,546 Медь	Zn 30 65,39 Цинк	Ga 31 69,723 Галлий	Ge 32 72,59 Германий	As 33 74,922 Мышьяк	Se 34 78,96 Селен	Br 35 79,904 Бром										Kr 36 83,80 Криптон
5	Rb 37 85,468 Рубидий	Sr 38 87,62 Стронций	Y 39 88,906 Иттрий	Zr 40 91,224 Цирконий	Nb 41 92,906 Ниобий	Mo 42 95,94 Молибден	Tc 43 [99] Технеций	Ru 44 101,07 Рутений	Rh 45 102,905 Родий	Pd 46 106,42 Палладий							
	Ag 47 107,868 Серебро	Cd 48 112,41 Кадмий	In 49 114,82 Индий	Sn 50 118,71 Олово	Sb 51 121,75 Сурьма	Te 52 127,60 Теллур	I 53 126,904 Йод										Xe 54 131,29 Ксенон
6	Cs 55 132,91 Цезий	Ba 56 137,33 Барий	La* 57 138,905 Лантан	Hf 72 178,49 Гафний	Ta 73 180,948 Тантал	W 74 183,85 Вольфрам	Re 75 186,207 Рений	Os 76 190,20 Осмий	Ir 77 192,22 Иридий	Pt 78 195,08 Платина							Rn 86 [222] Радон
	Au 79 196,967 Золото	Hg 80 200,59 Ртуть	Tl 81 204,38 Таллий	Pb 82 207,20 Свинец	Bi 83 208,98 Висмут	Po 84 [209] Полоний	At 85 [210] Астат										
7	Fr [223] Франций	Ra 88 226,025 Радий	Ac** 89 [227] Актиний	Rf 104 [261] Резерфордий	Db 105 [262] Дубний	Sg 106 [263] Сиборгий	Bh 107 [262] Борий	Hs 108 [265] Хассий	Mt 109 [266] Мейтнерий	Uun 110 [272] Унуниллий							

*Лантаноиды	58 Ce 140,12 Церий	59 Pr 140,908 Прометий	60 Nd 144,24 Неоим	61 Pm [147] Прометий	62 Sm 150,36 Самарий	63 Eu 151,96 Европий	64 Gd 157,25 Гадолиний	65 Tb 158,925 Тербий	66 Dy 162,50 Диспрозий	67 Ho 164,93 Гольмий	68 Er 167,26 Эрбий	69 Tm 168,934 Тулий	70 Yb 173,04 Иттербий	71 Lu 174,967 Лютеций
**Актиноиды	90 Th 232,04 Торий	91 Pa 231,036 Протактиний	92 U 238,029 Уран	93 Np 237,048 Нептуний	94 Pu [244] Плутоний	95 Am [243] Америций	96 Cm [247] Кюрий	97 Bk [247] Берклий	98 Cf [251] Калифорний	99 Es [252] Эйнштейний	100 Fm [257] Фермий	101 Md [258] Менделеев	102 No [259] Нобелий	103 Lr [260] Лоренций

## НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки  
до самостійної роботи з курсу «Фізика»  
за розділом «Хвилі та хвильова оптика»  
для студентів денної та заочної форми навчання  
технічних спеціальностей

Комп'ютерний набір і верстка: Любименко Олена Миколаївна

Укладачі: Артеменко Ю.А., доц., к.т.н., доц каф. ЕлІн  
Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц каф. ЕлІн

Донецький національний технічний університет  
85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2.