МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ, САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«ФІЗИКА»

(РОЗДІЛИ: «ФІЗИКА КОЛИВАНЬ І ХВИЛЬ»,
«ХВИЛЬОВА ОПТИКА»)

ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

КРЕМЕНЧУК 2016

Методичні вказівки до виконання практичних робіт, самостійної роботи та контрольних робіт з навчальної дисципліни «Фізика» (розділи «Фізика коливань і хвиль», «Хвильова оптика») для студентів усіх спеціальностей

Укладачі: доц. О. В. Сукачов,
асист. В. В. Журав,
асист. Г. В. Єременко
Рецензент доц. М. О. Єлізаров

Кафедра біотехнології та здоров'я людини

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського
Протокол №____ від__________
Голова методичної ради______________ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

ВСТУП

Фізика є фундаментальною базою для підготовки інженера, без опанування якою неможлива його успішна діяльність.

У зв'язку з тією увагою, що приділяється самостійній роботі студентів у їх навчанні у ВНЗ, в останній час виникли потреби в допоміжній літературі, яка використовується для самостійного опрацювання студентами відповідних курсів. Мета методичних вказівок – допомогти студентам вищих навчальних закладів, насамперед, у самостійному вивченні курсу фізики.

Важливим компонентом при вивченні курсу фізики є розв'язування задач. Це допомагає студенту глибше зрозуміти суть фізичних законів, які викладені в теоретичній частині фізики, оцінити їх практичну цінність, знайти зв'язок між теорією та практичними результатами. Крім того, розв'язання задач навчає студента, аналізуючи вихідні дані, правильно вибрати фізичні закони, засвоїти їхнє використання при розв'язуванні конкретної задачі, що і є підґрунтям інженерної діяльності.

Методичні вказівки містять широке коло задач і прикладів їх розв'язання з фізики коливань та хвильової оптики, призначені для спеціальностей з обмеженою кількістю аудиторних годин з фізики.

У прикладах типових задач матеріал викладено достатньо змістовно, просто, зрозуміло, за необхідності з рисунками.

Після вивчення дисципліни студент повинен

знати: основні закони сучасної та класичної фізики, класичні та сучасні теорії, взаємозв'язок фізичних законів із законами діалектики;

уміти: аналізувати фізичні явища і встановлювати причинні зв'язки між ними, формулювати інженерно-фізичні задачі, уміти їх розв'язувати, давати розумну оцінку отриманих результатів.

Номери задач контрольної роботи

Варіант	Номери задач				
1	1	11	36	46	56
2	2	12	37	47	57
3	3	13	38	48	58
4	4	14	39	49	59
5	5	15	40	50	60
6	6	26	41	51	61
7	7	27	42	52	62
8	8	28	43	53	63
9	9	29	44	54	64
0	10	30	45	55	65

Номер варіанта визначає остання цифра номера залікової книжки студента.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ

Фізика коливань і хвиль

№ 1. Матеріальна точка масою m = 50 г виконує гармонічні коливання з частотою ν = 2 Гц. Амплітуда коливань A = 10 см. Визначити швидкість точки на момент часу, коли x = 0,5 с, максимальну силу, яка діє на точку, та повну енергію її коливань.

Дано:

$m = 50\ г = 5\cdot10^{-2}\ кг$

$\nu = 2\ Гц$

$A = 10\ см = 0{,}1\ м$

$x = 6\ см = 0{,}06\ м$

$V,\ F_{max},\ W$ – ?

Рівняння гармонічного коливання має вигляд:

$x = ACos(\omega t+\varphi_0)$. Звідки: $Cos(\omega t+\varphi_0) = x/A$.

Формулу швидкості отримаємо, узявши першу похідну від зміщення: $V = dx/dt = -A\omega Sin(\omega t+\varphi_0)$.

Оскільки $\omega = 2\pi\nu t$, $Sin(\omega t + \varphi_0) = -\dfrac{V}{2\pi\nu A}$

Урахувавши, що $Cos^2(\omega t+\varphi_0)+Sin^2(\omega t+\varphi_0) = 1$, отримуємо:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{V^2}{4\pi^2\nu^2 A^2} = 1.$$

Звідси: $V = \pm 2\pi\nu\sqrt{A^2 - x^2}$, $V = \pm 2\pi 2\sqrt{0{,}1^2 - 0{,}06^2} \approx 1{,}0\ (м/с)$.

Силу, яка діє на точку, знайдемо з 2-го закону Ньютона: $F=ma$, де a – прискорення, яке отримаємо з другої похідної:

$$a = dV/dt = d^2x/dt^2 = -A\omega^2 Cos(\omega t+\varphi_0),\ \text{або}\ a = -A\,4\pi^2\nu^2 Cos(\omega t+\varphi_0).$$

Звідси: $a_{max} = 4\pi^2\nu^2 A$, $F_{max} = 4\pi^2\nu^2 A m$, $F_{max} = 4\pi^2 2^2\, 0{,}1\cdot5\cdot10^{-2} \approx 0{,}8\ (Н)$.

Повна енергія точки дорівнює максимальній потенціальній або кінетичній енергії.

Звідси: $W = W^{к}_{max} = \dfrac{mV^2_{max}}{2}$, де $V_{max} = \omega A = 2\pi\nu A$, тобто: $W = 2\pi^2\nu^2 A^2 m$.

$W = 2\pi^2 2^2\cdot 0{,}1^2\cdot5\cdot10^{-2} \approx 0{,}04\ (Дж)$.

№ 2. На кінцях невагомого стрижня завдовжки l = 1,0 м закріплено два вантажі, масою m і $2m$. Визначити зведену довжину L і період коливань T даного фізичного маятника біля горизонтальної осі, що проходить через середину стрижня.

Дано:

$l=1{,}0$ *м*

$m_1=m$

$m_2=2m$

$g=9{,}8$ *м/с*^{2}

$L,\ T-?$

Період коливань фізичного маятника визначається з формули: $T=2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$, де L – зведена довжина фізичного маятника:

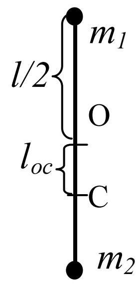


Рис.1

$$L=\frac{J_o}{M\,l_{oc}}.$$

де J_o – момент інерції маятника відносно осі коливань т. О, $M=m_1+m_2=3m$ – його маса,

l_{oc} – відстань від центра мас т. С маятника до осі коливань т. О.

Момент інерції маятника:

$$J_o=J_1+J_2=m_1(l/2)^2+m_2(l/2)^2=m(l/2)^2+2m(l/2)^2=\frac{3ml^2}{4}.$$

Відстань l_{oc} від осі коливань т.О до центра мас т.С дорівнює:

$$l_{oc}=\frac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}=\frac{-ml/2+2ml/2}{m+2m}=\frac{l}{6}.$$

Підставляючи до відповідної формули, отримуємо:

$$L=\frac{3ml^2\,6}{4\cdot 3ml}=\underline{\frac{3l}{2}},\qquad T=2\pi\sqrt{\frac{3l}{2g}}.$$

Обчислюємо: $L=\dfrac{3\cdot 1}{2}=1{,}5(м)$, $T=2\pi\sqrt{\dfrac{3\cdot 1}{2\cdot 9{,}8}}\approx 2{,}46(с).$

№ 3. Додаються два коливання одного напрямку $x_1=A_1Cos\,\omega(t+\tau_1)$ і $x_2=A_2Cos(\omega(t+\tau_2))$, де A_1 = 1 см, A_2 = 2 см, $\omega=\pi$ рад/с, τ_1 = 1 с, τ_2 = 0,5 с. Виконати рисунок і методом векторних діаграм знайти рівняння результуючих коливань.

Дано:

$x_1=A_1Cos(\omega(t+\tau_1))$

$x_2=A_2Cos(\omega(t+\tau_2))$

$A_1=1$ *см* $=1\cdot 10^{-2}$ *м*

$A_2=2$ *см* $=2\cdot 10^{-2}$ *м*

$\omega=\pi$ *рад/с*

$\tau_1=0,5$ *с*

$\tau_2=1$ *с*

$x(t)$ – ?

Рівняння гармонічних коливань має вигляд: $x=A\ Cos(\omega t+\varphi_0)$.

Перетворимо рівняння, які задані в умові задачі, до такого самого вигляду:

$x_1 = A_1Cos(\omega\ t+\omega\tau_1) = A_1Cos(\pi\ t+0,5\pi) = A_1Cos(\omega\ t+\varphi_1)$, де $\varphi_1 = 0,5\pi$,

$x_2 = A_2Cos(\omega\, t+\omega\tau_2) = A_2Cos(\pi\, t+\pi) = A_2Cos(\omega\, t+\varphi_2)$,

де $\varphi_2 = \pi$.

За цими даними будуємо векторну діаграму (рис. 2). Оскільки вектори $\boldsymbol{A_1}$ і $\boldsymbol{A_2}$ перпендикулярні один до одного, звідси за теоремою Піфагора знаходимо:

$$A=\sqrt{A_1^2+A_2^2}=$$

$$\sqrt{(1\cdot 10^{-2})^2+(2\cdot 10^{-2})^2}=\sqrt{5}\cdot 10^{-2}\approx 2,4\cdot 10^{-2}(м).$$

Початкову фазу знаходимо з рис.2:

$$tg\varphi_0=-\frac{A_2}{A_1}=-\frac{2\cdot 10^{-2}}{1\cdot 10^{-2}}=-2\,.$$

Звідси: $\varphi_0=\pi - arctg2\approx\pi - 1,1\approx 2,0$ *рад*.

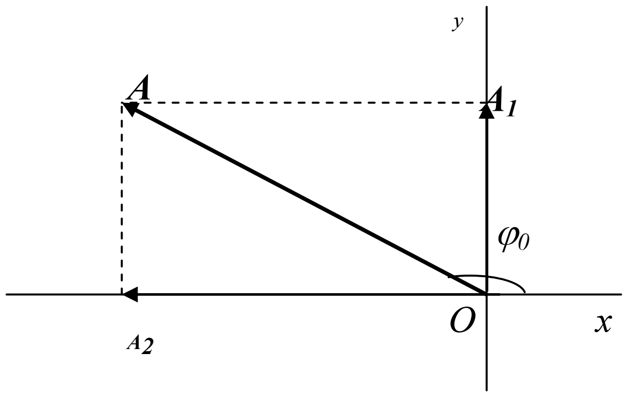


Рис. 2

Рівняння результуючих коливань: $x=2,4\ Cos(\pi\, t+2)$.

№ 4. Точка бере участь у двох коливаннях поперечного напрямку $x = ACos\omega t$ і $y = BSin\omega t$, де A = 3 см, B = 2 см. Знайти рівняння траєкторії $y(x)$ результуючого коливання і побудувати його, указавши напрямок руху точки вздовж траєкторії.

Дано:

$x=A\ Cos\omega\, t$

$y=B\ Sin\omega\, t$

$A=3$ *см*$=3\cdot 10^{-2}$ *м*

$B=2$ *см*$=2\cdot 10^{-2}$ *м*

$y(x)$ – ?

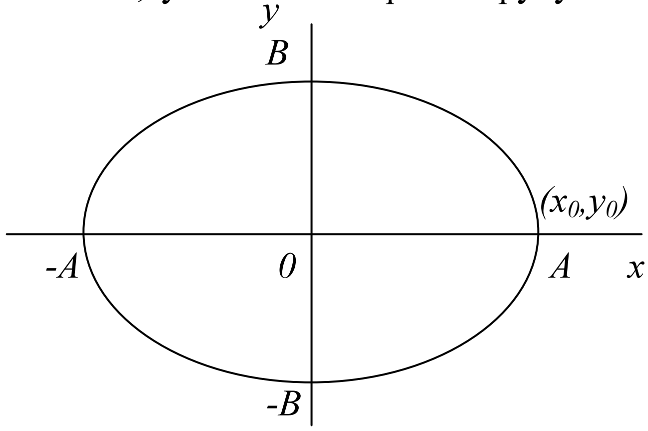


Рис. 3

Запишемо рівняння коливань у вигляді: $\begin{cases} \dfrac{x}{A} = Cos\omega t \\ \dfrac{y}{B} = Sin\omega t \end{cases}$ і далі: $\begin{cases} \left(\dfrac{x}{A}\right)^2 = Cos^2\omega t \\ \left(\dfrac{y}{B}\right)^2 = Sin^2\omega t \end{cases}$

Звідки, додавши ці рівняння і врахувавши, що $Cos^2\omega t + Sin^2\omega t = 1$, маємо:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 = 1 \text{ або } \left(\frac{x}{0{,}03}\right)^2 + \left(\frac{y}{0{,}02}\right)^2 = 1.$$

Це рівняння еліпса, з напівосями *A* і *B* (рис. 3). Щоб визначити напрямок руху точки по траєкторії, визначимо спочатку положення точки у момент часу $t = 0$: $x_0 = A\,Cos0 = A$, $y_0 = B\,Sin0 = 0$. Якщо $t \geq 0$, тоді $x > 0$, $y > 0$, тобто точка починає рухатися проти годинникової стрілки, як і показано на рисунку.

№ 5. Визначити частоту, на яку настроєний коливальний контур, якщо він складається з котушки з індуктивністю $L = 5\cdot10^{-2}$ Гн і плоского повітряного конденсатора. Площа кожної пластини $S = 100$ см^2, відстань між ними $d = 1$ мм.

Дано:

$L=5\cdot10^{-2}$ *Гн*

$S=100$ *см*$^2=10^{-2}$ *м*^{2}

$d=1$ *мм*$=10^{-3}$ *м*

$\varepsilon_0 \approx 8{,}85\cdot10^{-12}$ *Гн/м*

ν–?

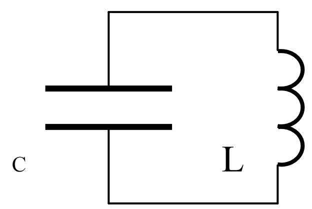


Рис. 4

Частоту визначимо із формули Томсона: $\nu = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$,

де $C = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ – ємність плоского конденсатора. Підставляємо її до формули Томсона і отримуємо: $\nu = \dfrac{1}{2\pi}\cdot\sqrt{\dfrac{d}{L\varepsilon_0\,\varepsilon S}}$

Підставляємо числові дані та обчислюємо:

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{10^{-3}}{5\cdot10^{-2}\cdot 8{,}85\cdot10^{-12}\cdot10^{-2}}} \approx 7{,}6\cdot10^{4}\ (Гц).$$

Хвильова оптика

№ 6. Промінь світла падає на плоскопаралельну скляну пластинку ($n = 1{,}6$) товщиною d = 5 см під кутом i_1 = 45°. Визначити відстань h, на яку зміститься промінь, який виходить з пластинки, відносно продовження променя, що падає на пластинку.

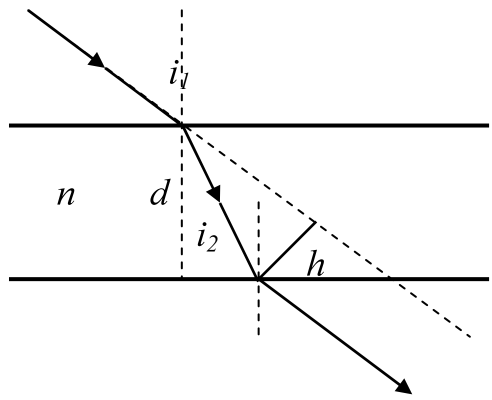


Рис. 5

Дано:
$n = 1{,}6$
d = 5 см = $5\cdot10^{-2}$ м
$i_1 = 45°$
h - ?

Промінь, який виходить з пластинки, буде паралельний променю, який падає на неї (рис. 5). З рисунку бачимо, що

$$\frac{d}{Cosi_2} = \frac{h}{Sin(i_1 - i_2)},$$

звідки

$$h = \frac{d \cdot Sin(i_1 - i_2)}{Cosi_2} = \frac{d(Sini_1Cosi_2 - Cosi_1Sini_2)}{Cosi_2}.$$

Згідно із законом заломлення $Sin\,i_1 / Sin\,i_2 = n,$ звідки $Sini_2 = Sini_1 / n.$

Урахувавши також, що $Cos\,i = \sqrt{1 - Sin^2 i}$, знайдемо шукане зміщення променя:

$$h = \frac{d(Sin\,i_1\sqrt{1 - Sin^2 i_2} - \sqrt{1 - Sin^2 i_1}\,Sini_2)}{\sqrt{1 - Sin^2 i_2}} = \frac{d\,Sini_1(\sqrt{n^2 - Sin^2 i_1} - Cos\,i_1)}{\sqrt{n^2 - Sin^2 i_1}}.$$

Обчислюючи, отримаємо: $h = 1{,}8\cdot10^{-2}$ м.

№ 7. На тонку плівку ($n_{пл}$ = 1,4), яка нанесена на поверхню скла ($n_{скл}$ = 1,5), падає з повітря нормально червоне світло (λ = 780 нм). Визначити мінімальну товщину d плівки, за якої відбите світло має мінімальну інтенсивність.

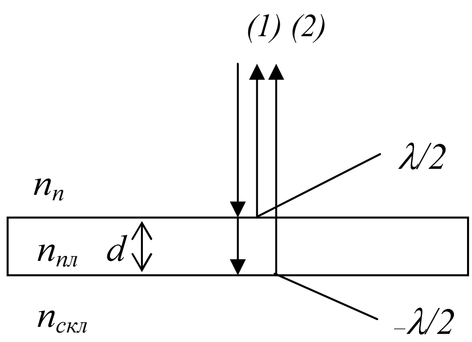


Рис. 6

Дано:

$\lambda = 7{,}80 \cdot 10^{-7}$ *м*

$n_{пл} = 1{,}4$

$n_п = 1$

$n_{пл} = 1{,}4$

---

d_{min}-?

Паралельний пучок світла відбивається від верхньої та від нижньої поверхонь плівки. Ці відбиті промені (1) і (2) когерентні. Умова інтерференційного мінімуму: $\Delta = (2m+1)\lambda/2$, $(m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots)$.

За цієї умови відбите проміння має мінімальну інтенсивність, тобто це умова просвітлення оптики. Різниця ходу двох когерентних хвиль Δ складається з різниці довжин оптичних шляхів цих хвиль $(s_2 - s_1 = 2dn_{пл})$, половини довжини хвилі $(\lambda/2)$, що виникає для першого променя за відбиття від верхньої поверхні – від середовища з більшою оптичною густиною $(n_{пл} > n_п)$ і половини довжини хвилі $(\lambda/2)$, що виникає для другого променя за відбиття від нижньої поверхні – також від середовища з більшою оптичною густиною $(n_{скл} > n_{пл})$, тобто, обчислюючи різницю ходу, отримуємо:

$$\Delta = 2dn_{пл} + \lambda/2 - \lambda/2 = 2dn_{пл}.$$

Звідси:
$$2dn_{пл} = (2m+1)\lambda/2.$$

$$d = \frac{(2m+1)\lambda}{4n_{пл}}.$$

Мінімальна товщина плівки відповідає $m = 0$: $d_{min} = \dfrac{\lambda}{4n_{пл}}$

Обчислюємо: $d_{\min} = \dfrac{7{,}80 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 1{,}4} \approx 2{,}8 \cdot 10^{-7}$ *(м)*.

№ 8. На скляний клин ($n_{скл} = 1{,}5$) із кутом заломлення $\alpha = 40''$ нормально падає монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 600$ нм. Визначити в інтерференційній картині відстань між двома сусідніми мінімумами на поверхні клина.

Дано:

$\lambda = 600$ *нм* $= 6 \cdot 10^{-7}$*м*

$n_{скл} = 1{,}5$

$\alpha = 40''$

---

b-?

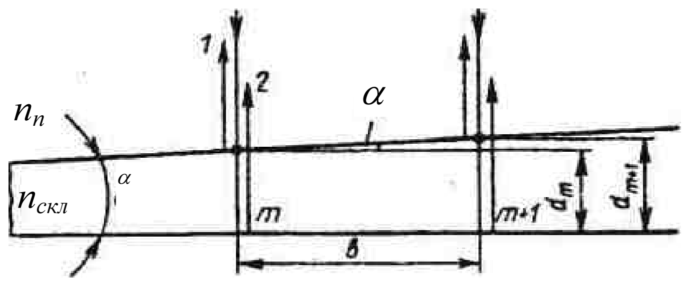


Рис. 7

Пучок світла, який падає нормально до грані клина, відбивається від його верхньої та нижньої грані. Оскільки кут клина α малий, то відбиті промені 1 і 2 практично паралельні. Відбиті промені когерентні та на поверхні клина будуть спостерігатися інтерференційні смуги. Темні смуги виникають на тих місцях клина, де виконуються умови інтерференційного мінімуму:

$$\Delta=(2m+1)\lambda/2,\ (m=0,\ \pm 1,\ \pm 2,\ldots).$$

Різниця ходу двох когерентних хвиль Δ складається з різниці довжин оптичних шляхів цих хвиль $(2dn_{скл})$ і половини довжини хвилі $(\lambda/2)$, що виникає для першого променя за відбиття від верхньої поверхні – від середовища з більшою оптичною густиною, тобто: $\Delta = 2d_m n_{скл}+\lambda/2$.

Для темних смуг з номерами $m+1$ і m отримуємо:

$$2d_{m+1}\, n_{скл}+\lambda/2=(2(m+1)+1)\lambda/2,$$

$$2d_m\, n_{скл}+\lambda/2=(2m+1)\lambda/2.$$

Звідси: $d_{m+1} - d_m=\lambda/2n_{скл}$. З рис. 7 видно, що $b=\dfrac{d_{m+1}-d_m}{Sin\alpha}\approx\dfrac{d_{m+1}-d_m}{\alpha}=\dfrac{\lambda}{2n_{скл}\alpha}$, оскільки Sin$\alpha$ $\approx \alpha$ *(рад),* якщо $\alpha<<1$. Ураховуючи, що $\alpha(\,рад\,)=\dfrac{\alpha''\cdot\pi}{60\cdot 60\cdot 180}$, обчислюємо:

$$b=\frac{6\cdot 10^{-7}\cdot 60\cdot 60\cdot 180}{2\cdot 1{,}5\cdot\alpha''\cdot\pi}\approx 1{,}5\cdot 10^{3}\ (м).$$

№ 9. На діафрагму з круглим отвором радіусом r = 0,5 мм падає нормально паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі λ = 0,5 мкм. Визначити максимальну відстань $b_{\max}$ від отвору до екрана, за якої в центрі екрана буде спостерігатися темна пляма.

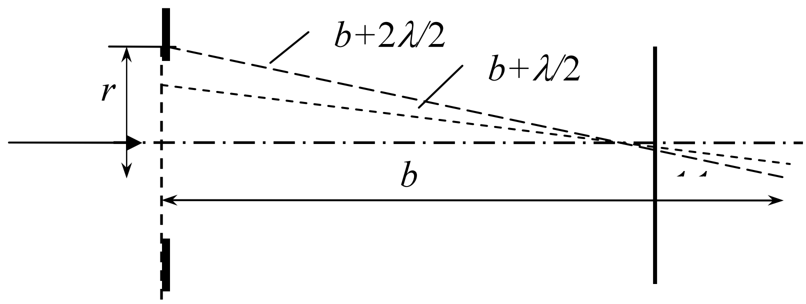


Рис. 8

Дано:

r = 0,5 мм = $5 \cdot 10^{-4}$м

λ = 0,5 мкм = $5 \cdot 10^{-7}$м.

$b_{\max}$ -?

Темна пляма в центрі екрана в т. О буде спостерігатися, якщо число зон Френеля, яке вміщується в отворі,

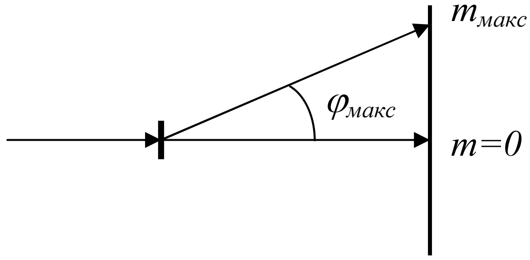


Рис. 9

дорівнює парному числу. Тоді найменше число зон Френеля, яке відповідає максимально можливій відстані $b_{\max}$, дорівнює двом. З рис. 8 виходить:

$$r^2 = \left(b_{max} + 2\frac{\lambda}{2}\right)^2 - b_{max}^2 = 2\lambda b_{max} + \lambda^2 .$$

Ураховуючи, що $\lambda << b$, можна записати: $r^2 = 2\lambda b_{max}$, звідки: $b_{max} = \dfrac{r^2}{2\lambda}$.

Виконавши обчислення, отримуємо: b_{max}= 0,25 м.

№ 10. Період дифракційної решітки d = 4 мкм. На решітку падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі λ = 0,58 мкм. Максимум, якого найбільшого порядку, дає ця решітка?

Дано:

$\lambda = 0,58$ *мкм* $= 5,8 \cdot 10^{-7}$ *м*

$d = 4$ *мкм* $= 4 \cdot 10^{-6}$ *м*

m_{max} -?

Умова дифракційних максимумів для дифракційної решітки:

$$dSin\varphi = m\lambda, \ (m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots).$$

Найбільший порядок спектра визначимо з умови, що максимальний кут відхилення: $\varphi_{max} \leq 90°$, тобто $Sin\varphi_{max} \leq 1$.

Звідси: $m_{max} \leq \dfrac{dSin\varphi_{max}}{\lambda} = \dfrac{d}{\lambda}$.

Обчислюємо: $m_{max} \leq \dfrac{4 \cdot 10^{-6}}{5,8 \cdot 10^{-7}} = 6,9$, тобто $m_{max} = 6$.

№ 11. Пучок природного світла падає з повітря на скло з показником заломлення $n_{скл}$ = 1,73. Визначити кут заломлення β, якщо відбитий від скла пучок світла повністю поляризований.

Дано:	
$n_{скл}=1,73$	
$n_п=1$	
β–?	

Пучок світла, відбитий від діелектрика, цілком поляризований, якщо він падає на діелектрик під кутом Брюстера i_B. Відповідно до закону Брюстера:

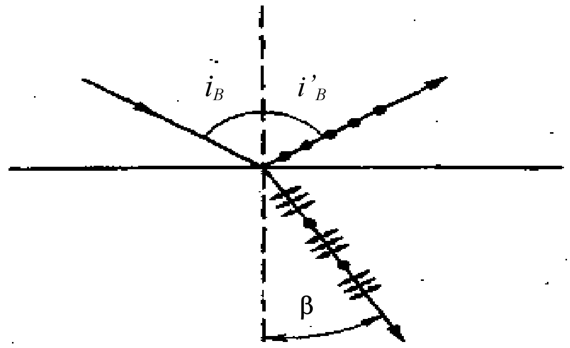


Рис. 10

$$tg\, i_B = n_{21},$$

де n_{21} – відносний показник заломлення другого середовища (скла) щодо першого (повітря): $n_{21} = n_{скл}/n_п = n_{скл}$ (оскільки $n_п = 1$). Тоді

$$i_B = arctg\, n_{скл} = arctg(1,73) = 60°.$$

Якщо світло падає на межу поділу середовищ під кутом Брюстера, то відбитий і заломлений промені взаємно перпендикулярні, оскільки

$$tg\, i_B = Sin\, i_B/Cos\, i_B = n_{21} \text{ (закон Брюстера)},$$

$$Sin\, i_B\, /Sin\, \beta = n_{21} \text{ (закон заломлення)},$$

звідки $Cos\, i_B = Sin\, \beta$. Отже, $i_B + \beta = 90°$, але $i_B = i'_B$ (закон відбиття), тому $i'_B + \beta = 90°$. Тоді кут заломлення, за якого відбитий промінь цілком поляризований:

$$\beta = 90° - i_B = 30°.$$

№ 12. Пластинка кварцу завтовшки d = 2 мм (питоме обертання кварцу α = 15 град/мм), яка вирізана перпендикулярно до оптичної осі, уміщена між двома схрещеними ніколями. Нехтуючи втратами світла в ніколях, визначити, у скільки разів зменшиться інтенсивність світла, що пройшло цю систему.

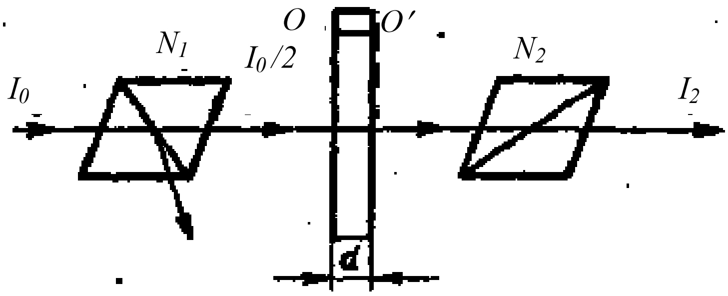


Рис.11

Дано:
$d = 2\ мм = 2\cdot 10^{-3}\ м$
$\alpha = 15\ град/мм = 15\cdot 10^{3}\ град/м.$
I/I_0 –?

Природне світло, яке пройшло через перший ніколь N_1, внаслідок подвійного променезаломлення розщеплюється на два пучки: звичайний (о) і незвичайний (е). Обидва пучки однакові за інтенсивністю і повністю поляризовані, але у взаємно перпендикулярних площинах. З першого ніколя виходить незвичайний (е) промінь світла з інтенсивністю $I_0/2$ (звичайний (о) промінь зазнає повного внутрішнього відбиття, рис. 11).

У кварцовій пластинці спостерігається обертання площини поляризації незвичайного променя на кут $\varphi = \alpha d = 15\cdot 10^3 \cdot 2\cdot 10^{-3} = 30°$.

Електричний вектор $\boldsymbol{E}$ променя, що падає на ніколь N_2, після проходження пластинки (рис. 12) складає з його напрямком пропускання кут

$$\beta = 90° - \varphi = 60°.$$

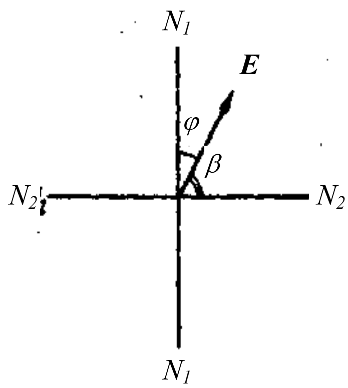


Рис.12

Відповідно до закону Малюса, інтенсивність світла, яке пройшло через ніколь N_2:

$$I = \frac{1}{2} I_o \cos^2 \beta .$$

Отже:

$$\frac{I_o}{I} = \frac{2}{\cos^2 \beta}.$$

Обчислюючи, одержимо: $I_0/I = 2/Cos^2 60° = 8$.

ЗАДАЧІ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ, КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ І САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

Фізика коливань і хвиль

Механічні коливання

1. Матеріальна точка виконує гармонічні коливання за законом $x = ACos(\omega t+\varphi_0)$, де A = 2 см. Початкове зміщення $x_0 = x(0) = 1$ см, а початкова швидкість $V_0 = \dot{x}(0) < 0$. Визначити початкову фазу коливань φ_0 і побудувати векторну діаграму коливань для моменту часу $t = 0$.

2. Матеріальна точка виконує гармонічні коливання таким чином, що початкове зміщення $x_0 = 5$ см, а початкова швидкість $V_0 = 10$ см/с. Період коливань складає T = 3,14 с. Визначити амплітуду A, початкову фазу коливань φ_0 і побудувати векторну діаграму коливань для моменту часу $t = 0$.

3. Максимальна швидкість точки, що виконує гармонічні коливання, $V_{\max}$ = 10 см/с, максимальне прискорення $a_{\max}$ = 100 см/с^2. Визначити період T і амплітуду A цих коливань.

4. Точка виконує гармонічні коливання. Максимальне зміщення точки $x_{макс}$= 10 см, максимальна швидкість $V_{макс}$ = 20 см/с. Визначити частоту коливань ν і максимальне прискорення $a_{\max}$ точки.

5. Знайти зворотну силу F на момент часу t = 1 с для матеріальної точки масою m=100 г, що коливається за законом $x = ACos\,\omega t$, де A = 10 см, $\omega = 2\pi/3$ рад/с.

6. Коливання матеріальної точки масою m = 0,2 г виконуються за законом $x = ACos\,\omega t$, де A = 5 см, а період коливань T = 2 с. Визначити максимальне значення зворотної сили $F_{макс}$ і кінетичної енергії $W^{к}_{макс}$.

7. Стрижень масою m і завдовжки l = 0,5 м виконує коливання біля горизонтальної осі, що проходить через вільний кінець стрижня. Визначити зведену довжину L і період коливань T даного фізичного маятника.

8. На невагомому стрижні завдовжки l = 0,5 м закріплені два однакові вантажів, один посередині стрижня, другий на його кінці. Визначити зведену довжину L і період коливань T даного фізичного маятника біля горизонтальної осі, що проходить через вільний кінець стрижня.

9. На кінці стрижня масою m і завдовжки l = 1 м закріплений вантаж такої самої маси. Визначити зведену довжину L і частоту коливань ν даного фізичного маятника біля горизонтальної осі, що проходить через вільний кінець стрижня.

10. Диск радіусом R = 0,5 м коливається біля горизонтальної осі, що проходить через середину радіуса перпендикулярно до площини диска. Знайти період коливань T і зведену довжину L цього маятника.

11. Визначити зведену довжину L і частоту коливань ν диска радіусом R = 1 м навколо горизонтальної осі, що проходить через утворюючу його циліндричної поверхні перпендикулярно до його площини.

12. Обруч підвішений на горизонтальному стрижні. Визначити зведену довжину L і період коливань T цього фізичного маятника.

13. Математичний маятник завдовжки 1 м підвішений в ліфті. Який буде період коливань маятника, якщо ліфт піднімається з прискоренням 1,8 м/с^2; опускається з таким же прискоренням?

14. Тягарець масою 100 г здійснює певну кількість коливань протягом 4 с. На скільки треба змінити масу тягарця, щоб ця ж кількість коливань була виконана протягом 6 с ?

15. Кулька масою 50 г підвішена до двох послідовно з'єднаних пружин, жорсткість яких 10 Н/м і 40 Н/м. Знайти частоту коливань такого маятника.

16. Катер рухається у морі зі швидкістю 54 км/год. Відстань між гребнями хвиль 10 м, період коливань частинок води хвилі 2 с. З якою частотою вдаряються хвилі в корпус катера при його русі в напрямку розповсюдження хвиль? Назустріч хвилям?

17. Через який проміжок часу після початку коливань зміщення точки від положення рівноваги дорівнюватиме половині амплітуди, якщо період коливань 24 с, а початкова фаза дорівнює нулю.

18. Математичний маятник завдовжки 2,5 м здійснює гармонічні коливання. Найбільша швидкість коливань дорівнює 5 м/с. На який найбільший кут відхиляється маятник.

19. Точка бере участь у двох коливаннях одного напрямку $x_1 = A_1 Cos\omega t$ і $x_2 = A_2 Cos(\omega(t+\tau))$, де $A_1 = 4$см, $A_2 = 3$см, $\omega = \pi$ рад/с, $\tau = 0{,}5$ с. Виконати рисунок і методом векторних діаграм знайти рівняння результуючих коливань.

20. Додаються два коливання одного напрямку $x_1 = A_1 Cos\omega t$ і $x_2 = A_2 Sin\omega t$, де $A_1 = 3$ см, $A_2 = 5$ см, $\omega = 2$ рад/с. Визначити амплітуду A і початкову фазу φ_0 результуючого коливання, записати його рівняння і побудувати векторну діаграму для моменту часу $t = 0$.

21. Два однаково спрямованих коливання з амплітудами $A_1 = 10$ см і $A_2 = 6$ см додаються в одне коливання з амплітудою $A = 14$ см. Застосувавши метод векторних діаграм, визначити різницю фаз $\Delta\varphi$ між цими коливаннями.

22. Точка виконує одночасно два гармонічних коливання поперечних напрямків однакової частоти: $x = ACos\omega t$ і $y = BCos(\omega t+\varphi_0)$, де $A = 3$ см, $B = 4$ см, $\varphi_0 = \pi$. Знайти рівняння траєкторії y(x), побудувати її та визначити напрямок руху точки вздовж траєкторії.

23. Точка бере участь у двох коливаннях поперечного напрямку $x = ACos\omega t$ і $y = BSin(\omega(t+\tau))$, де $A = 5$ см, $B = 3$ см, $\tau = 1$ с, $\omega = \pi$ рад/с. Знайти рівняння траєкторії $y(x)$ результуючого коливання і побудувати його, указавши напрямок руху точки вздовж траєкторії.

24. Точка бере участь у двох коливаннях поперечного напрямку $x = ACos\omega t$ і $y = BCos(\omega(t+\tau))$, де A = 4 см, B = 6 см, τ = 0,5 с, ω = 2π рад/с. Знайти рівняння траєкторії $y(x)$ результуючого коливання і побудувати його, указавши напрямок руху точки вздовж траєкторії.

Електромагнітні коливання

25. Визначити період коливань коливального контуру, який складається з плоского повітряного конденсатора ємністю C = 1500 пФ і котушки завдовжки l = 5 см, площею перерізу S = 4 см^2 і кількістю витків N = 1000.

26. Визначити довжину хвилі λ, на яку настроєний коливальний контур, якщо він складається з котушки з індуктивністю L = 2 мГн і плоского слюдяного конденсатора ($\varepsilon_{сл}$ = 7). Відстань між пластинами конденсатора d = 0,5 мм, площа кожної пластини S = 5 см^2.

27. Коливальний контур радіоприймача настроєний на довжину хвилі λ = 300 м. Визначити ємність контуру, якщо індуктивність контуру L = 0,5 мГн.

28. Коливальний контур складається з котушки з індуктивністю L = 1 мкГн і плоского слюдяного конденсатора. Площа кожної пластини S = 50 см^2. Коливальний контур резонує на довжину хвилі λ = 10 м. Визначити відстань d між пластинами конденсатора. ($\varepsilon_{сл}$=7).

29. Коливальний контур радіоприймача складається з котушки з індуктивністю L = 0,2 мГн і змінного конденсатора, ємність якого може змінюватися від C_1 = 50 пФ до C_2 = 450 пФ. У якому діапазоні частот працює цей радіоприймач?

30. У коливальному контурі виникли вільні незгасаючі електромагнітні коливання. Максимальний заряд конденсатора q_m = 1 мкКл, а максимальна сила струму I_m = 1 А. Визначити, на яку довжину хвилі λ настроєний цей контур.

31. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю C = 10 нФ та індуктивності L = 0,1 мГн. Визначити максимальний струм I_{max} в індуктивності, якщо максимальна напруга на конденсаторі складає U_{max}=10 В.

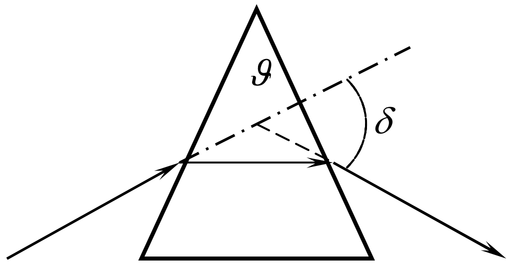
Хвильова оптика

Геометрична оптика

32. На скляну призму ($n = 1{,}5$) із заломлюючим кутом $\vartheta = 30°$ падає промінь світла нормально до її поверхні. Визначити кут δ відхилення променя призмою.

33. На грань скляної призми ($n = 1{,}6$) падає промінь світла нормально до її поверхні. Визначити заломлюючий кут призми, якщо кут δ відхилення променя призмою склав 37°.

34. У середині рівнобічної скляної призми промінь розповсюджується паралельно основі. Визначити кут відхилення δ променя призмою, якщо показник заломлення скла $n = 1{,}45$, а заломлюючий кут призми $\vartheta = 40°$.



35. Оптична сила плоскоопуклої лінзи $D = 4$ дптр. Визначити радіус кривизни R опуклої поверхні, якщо показник заломлення матеріалу лінзи дорівнює $n = 1{,}6$.

36. Двоопукла лінза ($n = 1{,}5$) має однакові радіуси опуклих поверхонь. Визначити радіус кривизни поверхонь R, за якого фокусна відстань лінзи $F = 20$ см.

37. Знайти радіус кривизни опуклої поверхні опуклоувігнутої лінзи ($n = 1{,}5$), якщо її оптична сила $D = 5$ дптр, а відношення радіусів кривизни $k = 2$.

Інтерференція світла

38. На мильну плівку ($n_{пл} = 1{,}3$) падає з повітря нормально біле світло. Визначити мінімальну товщину d_{min} плівки, якщо в результаті інтерференції відбитого світла плівка виявилася пофарбованою в червоний колір ($\lambda = 780$ нм).

39. На поверхні води ($n_в = 1,3$), знаходиться плівка бензину ($n_б = 1,4$). Визначити її мінімальну товщину, якщо вона пофарбована у зелений колір ($\lambda = 0,56$ мкм).

40. На скляну пластину нанесений тонкий шар прозорої речовини ($n_{пл} = 1,4 < n_{скл}$). Пластина освітлена паралельним пучком світла з довжиною хвилі λ=0,64 мкм, який падає перпендикулярно до неї. Визначити мінімальну товщину шару, за якої відбите світло має максимальну інтенсивність.

41. На тонкий скляний клин ($n_{скл} = 1,5$), падає нормально пучок монохроматичного світла. Кут між поверхнями клина $\alpha = 2'$. Визначити довжину світової хвилі λ, якщо відстань між інтерференційними максимумами у відбитому світлі $b = 0,2$ мм.

42. На тонкий скляний клин падає нормально пучок монохроматичного світла з $\lambda = 500$ нм. Визначити кут α між поверхнями клина, якщо відстань між інтерференційними темними смугами у відбитому світлі $b = 0,5$ мм. Показник заломлення скла $n_{скл} = 1,5$.

43. Плівка гасу ($n_г = 1,6$) утворює на поверхні води ($n_в = 1,33$) тонкий клин з кутом $\alpha = 10''$, на який падає нормально монохроматичне світло з $\lambda = 0,6$ мкм. Визначити кількість N світлих інтерференційних смуг на $l = 1$ см довжини клина.

44. На скляну пластину покладена опуклою стороною плоскоопукла лінза. Зверху лінза освітлена монохроматичним світлом з довжиною хвилі $\lambda = 500$ нм. Знайти радіус R лінзи, якщо радіус четвертого темного кільця Ньютона у відбитому світлі $r_4 = 2$ мм.

45. Лінза для спостереження кілець Ньютона освітлюється нормально падаючим монохроматичним світлом ($\lambda = 590$ нм). Радіус кривизни R лінзи дорівнює 5 м. Визначити товщину d_3 повітряного проміжку в тому місці, де у відбитому світлі спостерігається третє світле кільце.

Дифракція світла

46. На вузьку щілину a = 0,2 мм падає нормально пучок монохроматичного світла з λ = 500 нм. Визначити кут відхилення пучка, який відповідає третій дифракційній смузі.

47. На непрозору пластину з вузькою щілиною падає нормально монохроматичне світло (λ = 600 нм). Кут відхилення променів, що відповідають другому дифракційному максимуму φ = 20°. Визначити ширину a щілини.

48. На щілину шириною a = 0,1 мм падає нормально монохроматичне світло (λ = 0,6 мкм). Екран, на якому спостерігається дифракційна картина, розташований на відстані l = 1 м від щілини. Визначити відстань b між першими дифракційними мінімумами, розташованими з обох боків центрального максимуму.

49. На дифракційну решітку, яка вміщує N = 100 штрихів на 1 мм, падає нормально пучок білого світла. Визначити довжину спектра першого порядку на екрані, якщо відстань від решітки до екрана становить l = 80 см. Межі видимого спектра: $\lambda_ф$ = 400 нм, $\lambda_ч$ = 780 нм.

50. На дифракційну решітку падає нормально пучок білого світла. Спектри третього і четвертого порядку частково накладаються один на інший. На яку довжину хвилі у спектрі третього порядку накладається фіолетова границя спектру четвертого порядку: $\lambda_ф$ = 0,4 мкм.

51. На дифракційну решітку падає нормально пучок монохроматичного світла. У дифракційній картині на екрані максимум другого порядку відхилений на кут φ_1 = 20°. Визначити кут відхилення максимуму четвертого порядку φ_2.

52. На дифракційну решітку, що містить N = 100 штрихів на 1 мм, нормально падає монохроматичне світло. Зорова труба спектрометра наведена на максимум третього порядку. Щоб навести трубу на інший максимум того самого порядку, її потрібно повернути на кут $\Delta\varphi$ = 24°. Визначити довжину хвилі λ світла, що падає на цю решітку.

53. На грань кристала падає пучок рентгенівського випромінювання з $\lambda = 100$ пм. Дифракційний максимум другого порядку спостерігається при куті ковзання $\theta = 30°$. Визначити відстань між атомними площинами d.

54. На грань кристала кам'яної солі падає пучок рентгенівського випромінювання. Відстань між атомними площинами d = 0,3 нм. Дифракційний максимум другого порядку спостерігається при куті ковзання $\theta = 5°$. Визначити довжину хвилі λ рентгенівського випромінювання.

Поляризація і поглинання світла

55. При падінні світла з повітря на кристал кам'яної солі під кутом $i = 57°$ відбитий промінь повністю поляризований. Визначити швидкість світла в цьому кристалі.

56. У воді знаходиться прозора пластина. Пучок природного світла падає з води ($n_в$ = 1,33) на поверхню цієї пластини. Відбитий промінь світла від межі поділу вода–пластина максимально поляризований і утворює кут $\theta = 120°$ з падаючим променем. Визначити показник заломлення $n_{пл}$ матеріалу пластини.

57. На якій кутовій висоті φ над обрієм повинно знаходитися Сонце, щоб промінь світла, відбитий від поверхні води, був повністю поляризований? ($n_в$=1,33).

58. Кут заломлення променя, що падає з повітря в рідину $\beta = 35°$. Визначити показник заломлення рідини, якщо відомо, що відбитий промінь повністю поляризований.

59. Поляризатор і аналізатор розташовані таким чином, що кут α між їхніми площинами пропускання складає 60°. На поляризатор падає природне світло. Визначити, у скільки разів зменшиться інтенсивність світла при виході з аналізатора. Втратами на поглинання і відбивання знехтувати.

60. Пластинка кварцу завтовшки d = 3 мм, яка вирізана перпендикулярно до оптичної осі, поміщена між двома паралельними ніколями. Після аналізатору площина поляризації поляризованого світла, яке пройшло через цю пластинку, повернулася на 45°. Визначити товщину пластини кварцу, за якої світло не буде проходити через аналізатор.

61. Визначити ступінь поляризації частково поляризованого світла, якщо амплітуда світлового вектора, яка відповідає максимальній інтенсивності світла, у *3* рази більша за амплітуду, яка відповідає його мінімальній інтенсивності.

62. Ступінь поляризації P частково поляризованого світла дорівнює 0,5. У скільки разів відрізняється амплітуда світлового вектора, що відповідає максимальній інтенсивності світла, від амплітуди, що відповідає мінімальній інтенсивності світла.

63. Світло падає нормально на пластинку товщиною x = 10 мм. Визначити коефіцієнт поглинання речовини пластинки, якщо інтенсивність світла, яке пройшло через пластинку складає 67 % від початкової.

64. Джерело монохроматичного світла з довжиною хвилі λ_0 = 0,5 мкм рухається в напрямку від спостерігача зі швидкістю 0,15 c (c – швидкість світла у вакуумі). Визначити довжину хвилі, що зареєструє приймач спостерігача.

65. За якої швидкості джерела червоне світло (λ_0 = 690 нм) буде здаватися спостерігачеві, який знаходиться на одній прямій з джерелом випромінювання, зеленим (λ = 530 нм).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова – М. : Высш.школа, 1996. – 500 с.

2. Детлаф А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с.

3. Дмитриева В. Ф. Основы физики : учеб. пособ. / В. Ф. Дмитриева, В. Л. Прокофьев, П. И. Самойленко. – Москва : Высшая школа, 1997. – 447 с.

4. Савельев И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев – М.: Наука, 1987. – Т.2-3.

5. Чертов А. Г. Сборник задач / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – Москва : Высш. шк., 1981. – 496 с.

ДОДАТОК А

ТАБЛИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Таблиця 1 – Деякі фундаментальні фізичні й астрономічні сталі

Фізична стала	Числове значення
Електрична стала	$\varepsilon_0=(4\pi\cdot 9\cdot 10^9)^{-1}$ Ф/м $\approx 8{,}85\cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнітна стала	$\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}$ Гн/м
Елементарний заряд	$e=1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл
Маса електрона	$m_e=9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг
Маса протона	$m_p=1{,}67\cdot 10^{-27}$ кг
Швидкість світла у вакуумі	$c=3\cdot 10^8$ м/с

Таблиця 2 – Моменти інерції деяких тіл відносно центральної осі

Тіло	Момент інерції
Стрижень Відносно центральної осі Відносно осі, яка проходить через край стрижня	 $ml^2/12$ $ml^2/3$
Колесо (обруч)	mR^2
Циліндр (диск)	$mR^2/2$
Куля (сфера)	$2mR^2/5$

Таблиця 3 – Десяткові множники та префікси до найменувань одиниць

Позначення	Префікс	Множник
Т	тера	10^{12}
Г	гіга	10^{9}
М	мега	10^{6}
к	кіло	10^{3}
г	гекто	10^{2}
да	дека	10^{1}
д	деци	10^{-1}
с	санти	10^{-2}
м	мілі	10^{-3}
мк	мікро	10^{-6}
н	нано	10^{-9}
п	піко	10^{-12}

Методичні вказівки до виконання практичних робіт, самостійної роботи та контрольних робіт з навчальної дисципліни «Фізика» (розділи «Фізика коливань і хвиль», «Хвильова оптика») для студентів усіх спеціальностей

Укладачі: доц. О. В. Сукачов,
асист. В. В. Журав,
асист. Г. В. Єременко

Відповідальна за випуск доц. О. В. Новохатько

Підп. до др. ______________. Формат 60Х84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. ____. Наклад _______ прим. Зам. №___________. Безкоштовно.

Видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600