МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОБОЧИЙ ЗОШИТ

з дисципліни «ФІЗИКА»
для слухачів довузівської підготовки
частина 3

Одеса - 2009

РОБОЧИЙ ЗОШИТ з дисципліни «ФІЗИКА» для слухачів факультету довузівської підготовки. Частина 3.
/ Расторгуєва Т.Є., Галич Є.А., Шостак Н.А. – Одеса: ОДЕКУ, 2009. - 91 с.

ЗМІСТ

Передмова.....4
1 Механічні коливання і хвилі. Таблиця 1.....5
Заняття 1. Механічні коливання.....9
Заняття 2. Механічні хвилі. Звук.....17
2 Електромагнітні коливання. Таблиця 2.....23
Заняття 3. Вільні електромагнітні коливання.....24
3 Змінний струм. Таблиця 3.....31
Заняття 4. Закони змінного струму.....34
4 Електромагнітні хвилі. Таблиця 4.....40
Заняття 5. Електромагнітні хвилі. Хвильова оптика.....43
5 Оптика. Таблиця 5.....50
Заняття 6. Фотометрія. Геометрична оптика.....54
6 Часткова теорія відносності. Квантова оптика. Таблиця 6.....61
Заняття 7. Елементи теорії відносності. Квантові властивості світла..64
7 Фізика атома. Таблиця 7.....72
Заняття 8. Атом та атомне ядро.....75
Перелік навчальної літератури.....81
Додатки.....82

ПЕРЕДМОВА

Запропонований “Робочий зошит з фізики” є частиною методичного забезпечення, розробленого нами для тих школярів, які готуються до вступу в Одеський державний екологічний університет.

Якісна підготовка слухачів з фізики на підготовчому відділенні за десятимісячний термін можлива лише при ретельному підборі задач для практичних занять, а також при використанні сучасних методик організації занять. У зв’язку з цим весь навчальний матеріал у “Робочому зошиті” (частина 3), що охоплює теми програм другого семестру, розбитий на вісім занять, причому кожній темі, в залежності від її складності, відповідає від одного до двох занять. Кожне заняття містить як аудиторну роботу, так і домашнє завдання. Домашні завдання до більшості занять аналогічні аудиторним, але трохи простіші від них, оскільки зошит розрахований на великий обсяг самостійної роботи учня.

Для виконання цих завдань потрібні теоретичні знання фізики в обсязі середньої школи.

Задачі в завданнях систематизовані з урахуванням методики їхнього рішення і відповідно до рівня складності.

Перед кожною темою, яка вивчається, приведені таблиці основних формул теми, що дозволяє слухачам вільно оперувати з цими формулами і запам’ятовувати їх. У цих же таблицях представлені фізичні константи, та довідкові значення фізичних величин.

Після умови задач залишене поле для оформлення їх рішення. Щоб не вийти за межі цього поля, слухач повинен бути дуже уважним у зображенні рисунків і запису рішень.

“Робочий зошит з фізики” в основному призначений для навчання під керівництвом викладача, але для добре підготовленого учня він буде корисним і при самостійній роботі.

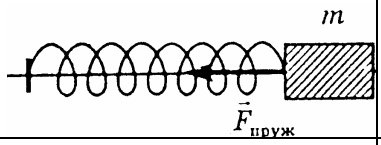
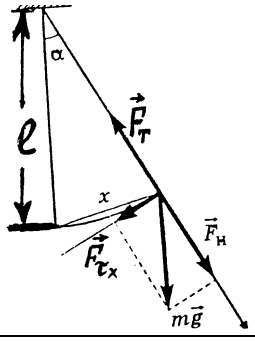
1 МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

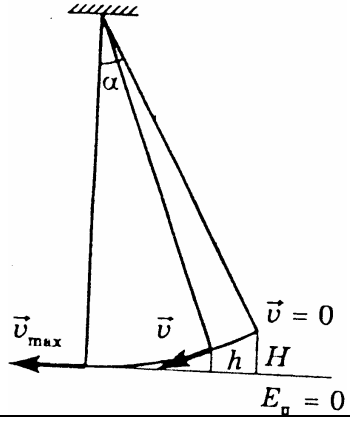
Коливання – це рух або зміна стану, що має той чи інший ступінь повторюваності в часі.

Періодичні коливання – це коливання, при яких значення фізичної величини повторюються через однакові проміжки часу.

Таблиця 1

№	Формула	Назва формули	Назва величин у формулах
1	$T = \frac{t}{n}$	**Період коливання** (T) – це проміжок часу, протягом якого тіло здійснює повне коливання, тобто повторюються значення всіх величин, що характеризують коливальний рух.	n - число повних коливань тіла за час t; $[T] = 1$ с.
2	$\nu = \frac{1}{T}$	**Частота коливання** (ν) – це число повних коливань за одиницю часу.	$[\nu] = 1\ \text{с}^{-1} =$ $= 1$ Гц (герц).
3	$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$	**Циклічна (кругова) частота** (ω) – це число повних коливань за 2π одиниць часу.	$[\omega] = 1\ \text{с}^{-1}$.
4	$\varphi_t = \omega t + \varphi_0$	**Фаза гармонічних коливань** у момент часу t.	φ_0 – початкова фаза коливання.
5	$x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$, $x = A\sin(\omega t + \varphi_1)$, $A = x_{\max}$, $\varphi_1 = \varphi_0 + \frac{\pi}{2}$	**Рівняння гармонічного коливання.**	A – амплітуда коливань; x – зсув коливної величини від положення рівноваги.
6	$\upsilon = x' =$ $= -\omega A\sin(\omega t + \varphi_0)$	**Швидкість гармонічних коливань –** перша похідна координати за часом.	x' – похідна від координати за часом.

7	$a = \upsilon' = x''$, $a = -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi_0)$, $a_x = -\omega^2 x$	**Прискорення гармонічних коливань –** перша похідна швидкості за часом, друга похідна координати за часом.	υ' – похідна від швидкості за часом.
8	$F_x = -ma_x$, $F_x = -m\omega^2 x$, $\text{де } k = m\omega^2$	**Проекція сили,** під дією якої тіло здійснює гармонічні коливання	m – маса коливного тіла.
9	$F_{пруж.x} = -kx$, $a_x = -\frac{k}{m}x$ 	**Пружинний маятник –** коливальна система, в якій коливання відбуваються під впливом сил пружності в межах пружності тіла (пружини).	k – коефіцієнт пружності.
10	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, $\omega^2 = \frac{k}{m}$	**Період вільних коливань пружинного маятника.**	
11	$E_{n\max} = E_{к\max} =$ $= \frac{kx_{\max}^2}{2} = \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} =$ $= \frac{kx^2}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2}$	**Перетворення енергії при коливаннях пружинного маятника:** енергія пружної деформації перетворюється в кінетичну енергію.	
12	$F_{\tau_x} = -\frac{mg}{l}x$, $a_x = -\frac{g}{l}x$, $F_{\tau_x} = ma_x$ 	**Математичний маятник –** це матеріальна точка, підвішена на невагомій нерозтяжній нитці. Коливання математичного маятника відбувається під дією тангенціальної складової сили тяжіння (F_{τ_x}). При малих кутах α коливання гармонічне.	l – довжина нитки маятника; $g = 9{,}81\ \frac{м}{с^2}$ - прискорення вільного падіння.

13	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$	**Період вільних коливань математичного маятника.** 	
14	$mgH = \frac{m\upsilon_{max}^2}{2} =$ $= mgh + \frac{m\upsilon^2}{2}$	**Перетворення енергії при коливаннях математичного маятника:** потенціальна енергія тіла перетворюється в кінетичну енергію.	
	Механічні хвилі – це процес поширення механічних коливань у пружних середовищах. **Промінь** – напрям поширення коливань. **Особливості відбивання хвилі** – при відбиванні хвилі від більш густого середовища в хвилі відбувається зміна фази на протилежну (втрата півхвилі $\lambda/2$). Поперечна хвиля Повздовжня хвиля		
15	$\lambda = \upsilon T = \upsilon / \nu$	**Довжина хвилі (λ)** – це відстань, на яку поширюється хвиля протягом одного періоду коливань. Зв'язок довжини хвилі з періодом, швидкістю і частотою.	υ - швидкість поширення механічної хвилі.
16	$x = A\sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{r}{\upsilon T}),$ $x = A\sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda})$	Якщо вібратор здійснює гармонічні коливання $x = A\sin\omega t$, то рівняння хвилі визначає положення коливальної точки, яка	

		знаходиться на відстані r від вібратора у будь - який момент часу t.	
	Звук – це механічні коливання з частотою від 16 до 20000 Гц, які сприймаються органами слуху людини. Коливання з частотою більшою від 20 кГц – **ультразвук**, меншою від 16 Гц – **інфразвук**. Звукові хвилі в повітрі – хвилі поздовжні. **Гучність звуку** – суб'єктивна характеристика. Вона залежить від інтенсивності звуку, зумовленою амплітудою коливань, а також частотою коливань (слух людини найбільш чутливий до коливань у діапазоні 1000 – 4000 Гц).		
17	$I = \frac{W}{St}$	**Інтенсивність звуку (*I*)** – це енергія (W), яку звукова хвиля переносить за 1 секунду через одиницю площі поверхні, розміщеної нормально відносно напрямку поширення (S).	$[I] = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2\text{с}} = 1\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.
18	$I = \frac{1}{2}\rho\upsilon\omega^2 A^2$	**Інтенсивність звуку** прямо пропорційна квадрату амплітуди звукових коливань A^2.	ρ - густина середовища; υ - швидкість поширення хвилі; ω - циклічна частота хвилі.
19	$\upsilon = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$, де $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$	Швидкість поширення звукової хвилі у повітрі – **формула Ньютона-Лапласа.**	

Методичні рекомендації щодо розв'язання задач

Якщо в задачі задано формулу, яка описує залежність від часу координати тіла, що коливається, то величини, які характеризують коливальний рух (амплітуда, частота, період, фаза, початкова фаза, тощо), можна визначити шляхом зіставлення цієї формули з її загальним виглядом. Варто звернути увагу на те, що формулу можна записати як у вигляді $x = x_m \cos(\omega t + \varphi_{02})$, так і у вигляді $x = x_m \cos(\omega t + \varphi_{01})$ залежно від вибору початкової фази.

Заняття 1

Механічні коливання

Приклад1. Тіло здійснює гармонічні коливання за законом $x = 0{,}1\cos(20\pi t + \frac{\pi}{3})$ м. Визначити амплітуду, період, частоту, зміщення, фазу, швидкість та прискорення в момент часу 0,05 с. В який момент часу прискорення буде максимальне?

Дано:

$x = 0{,}1\cos(20\pi t + \frac{\pi}{3})$ м

$t_1 = 0{,}05$ с

A - ? T - ? ν-? x_1-?

φ_1-? υ_1-? a_1-? t_2-?

Розв'язання:

1) Досліджуючи дане рівняння гармонічних коливань і порівнюючи його з рівнянням гармонічних коливань у загальному вигляді $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ знаходимо значення A, ω, φ_0.

$A = 0{,}1$ м; $\omega = 20\pi \ \frac{1}{\text{с}}$; $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$ рад.

Формула зв'язку циклічної частоти з періодом дозволяє визначити період коливань

$$T = \frac{2\pi}{\omega}; \quad T = \frac{2\pi}{20\pi} = 0{,}1 \text{ с}.$$

З формули $T = \frac{1}{\nu}$ визначимо $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}1c} = 10$ Гц.

2) Для визначення зміщення тіла від положення рівноваги необхідно в дане рівняння підставити значення часу $t_1 = 0{,}05$ с:

$$x_1 = 0{,}1\cos(20\pi \cdot 0{,}05 + \frac{\pi}{3}) \text{ м} = -0{,}05 \text{ м}.$$

Фазу коливань в момент часу $t_1 = 0{,}05$ с знаходимо за формулою:

$$\varphi = \omega t + \varphi_0; \quad \varphi = 20\pi \cdot 0{,}05 + \frac{\pi}{3} = \frac{4}{3}\pi \ .$$

Швидкість в момент часу $t_1 = 0{,}05$ с знаходимо як першу похідну координати за часом

$$\upsilon = x_1' = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_0)$$

Виконавши підстановку значень A, ω, t_1, φ_0, отримаємо

$$\upsilon_1 = -0{,}1 \cdot 20\pi \sin(20\pi \cdot 0{,}05 + \frac{\pi}{3}) = 5{,}44 \text{ м/с}.$$

Прискорення в момент часу $t_1 = 0{,}05$ с знаходимо як першу похідну швидкості за часом:

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t_1 + \varphi_0) = -20^2 \cdot 3{,}14^2 \cdot 0{,}1 \cos(20\pi \cdot 0{,}05 + \frac{\pi}{3}) = 197 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

3) Прискорення тіла буде максимальним, коли $\cos\ (\omega t_2 + \varphi_0) = 1$. Розв'яжемо рівняння відносно t_2:

$$t_2 = \frac{\arccos 1 - \varphi_0}{\omega}, \qquad t_2 = \frac{2\pi - \frac{\pi}{3}}{20\pi} = 0{,}083 \text{ с}.$$

Відповідь: A = 0,1 м; $\omega = 20\pi \ \frac{1}{\text{с}}$; $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$ рад; ν = 10 Гц; x_1 = - 0,05 м; $\varphi = \frac{4}{3}\pi$; $\upsilon_1 = 5{,}44$ м /с; a_1 = 197 м /с^2; t_2 = 0,083 с.

Приклад 2. Матеріальна точка масою 20 г здійснює гармонічні коливання з амплітудою 10 см. Знайти максимальну силу. що діє на точку, якщо коефіцієнт пружності 0,18 Н/м. Знайти прискорення, швидкість та потенціальну енергію точки в момент часу, коли ii зміщення дорівнює 6 см. Силою тертя знехтувати.

Дано:	СІ:	Розв'язання:
A = 10 см	A = 0,1 м	Очевидно, на точку діє найбільша сила в момент часу, коли її зміщення дорівнює амплітуді, тобто при $x = A$.
k = 0,18 Н/ м	k = 0,18 Н/ м	
x = 6 см	x = 0,06 м	
m = 20 г	m = 0,02 кг	Отже, $F_{\max} = kA$; $F_{\max}$ = 0,018 Н.
$F_{\max}$ - ? a_x - ?		Проекція прискорення
υ - ? ω_n - ?		$a_x = -k\frac{x}{m}$; $a_x = -0{,}54$ м/с^2.

Потенціальна енергія дорівнює роботі зовнішніх сил, яку треба виконати, щоб вивести матеріальну точку зі стану спокою та відхилити її на величину зміщення x. Робота пружної сили чисельно дорівнює $\frac{1}{2}\ kx^2$. 0тже, потенціальна енергія

$$E_n = \frac{1}{2}\ kx^2; \ E_n = 3{,}24\ \cdot 10^{-4} \text{ Дж}.$$

Швидкість визначається з формули кінетичної енергії

$$\upsilon\ = \sqrt{\frac{2E_к}{m}}\ .$$

Кінетична енергія дорівнює різниці повної і потенціальної енергії, але оскільки повна енергія для будь-якого моменту часу дорівнює потенціальній у крайньому положенні, то

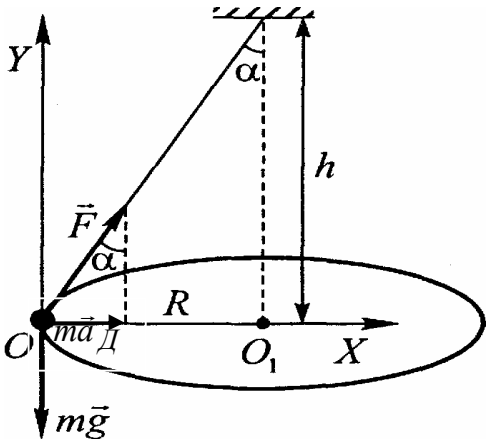
$$E_к = \frac{kA^2}{2} - \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{x}(A^2 - x^2).$$

Отже, $\upsilon = \sqrt{\frac{k(A^2 - x^2)}{m}}$; $\upsilon \approx 0{,}24$ м/с.

Відповідь: $F_{\max} = 0{,}018$ Н; $a_x = -0{,}54$ м/с^2; $E_n = 0{,}32$ мДж; $\upsilon = 0{,}24$ м/с.

Приклад 3. Кулька, прикріплена до невагомої нерозтяжної нитки, рухається в горизонтальній площині по колу з постійною швидкістю (математичний маятник). Відстань від точки підвісу до площини обертання дорівнює *h.* Визначити період обертання кульки.

Дано:	Розв'язання:
h	Нехай α - кут, який утворює нитка з вертикаллю. На кульку
g	діють дві сили: сила натягу нитки $\vec{F}$ і сила тяжіння $\vec{F}_T = m\vec{g}$,
T - ?	де m - маса кульки. Спрямуємо координатну вісь OX від
$m\vec{a}_Д$	кульки вздовж радіуса до центра кола O_1, а вісь OY -



вертикально вгору. За другим законом Ньютона, маємо:

$\vec{F} + m\vec{g} = m\vec{a}_Д$, де $\vec{a}_Д$ - доцентрове прискорення кульки.

Його модуль $a = \frac{\upsilon^2}{R}$, де R - радіус кола. Для проекцій на вісь OX отримаємо:

$$F\sin\alpha = \frac{m\upsilon^2}{R} \qquad (1)$$

Уздовж осі OY прискорення немає, тому сума проекцій сил на цю вісь дорівнює нулю:

$$F\cos\alpha - mg = 0, \text{ або } F\cos\alpha = mg. \qquad (2)$$

Поділивши почленно рівність (1) на рівність (2), одержимо:

$$tg\alpha = \frac{\upsilon^2}{gR} \qquad (3)$$

Лінійна швидкість кульки $\upsilon = \frac{2\pi R}{T}$, де T – період обертання.

Підставивши це значення у формулу (3), матимемо:

$$tg\alpha = \frac{4\pi^2 R}{gT^2} \qquad (4)$$

При цьому, згідно з мал., визначимо, що

$$tg\alpha = \frac{R}{h} \ . \qquad (5)$$

З формул (4) і (5) отримуємо:

$$\frac{R}{h} = \frac{4\pi^2 R}{gT^2}$$

Звідси знаходимо період обертання:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}} \ .$$

Аналіз останньої формули підтверджує, що період обертання математичного маятника залежить лише від відстані h між площиною обертання і точкою підвісу та від прискорення вільного падіння і не залежить від довжини нитки, маси кульки, радіуса кола і лінійної швидкості кульки.

Відповідь: $T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$.

Аудиторне заняття

1. Рівняння руху крапки дано у виді $x = 2\sin(\frac{\pi t}{2} + \frac{\pi}{4})$ см. Знайти: 1) період коливань; 2) максимальну швидкість крапки; 3) її максимальне прискорення.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $T = 4$ с; $\upsilon_m = 3{,}14\cdot10^{-2}$ м/с; $a_m = 4{,}93\cdot10^{-2}$ м/с^2.

2. На гладкому горизонтальному столі лежить куля масою 0,8 кг, прикріплений до пружини твердістю 100 Н/м. У кулю попадає і застряє в ньому куля масою 10 г, що мала в момент удару горизонтальну швидкість 100 м/с. Знайти період і амплітуду коливань кулі.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $T = 0{,}56$ с; $A = 0{,}11$ м.

3. Період коливань математичного маятника в ракеті, що підіймається, став у два рази менше, ніж на Землі. Вважаючи прискорення вільного падіння g незмінним, визначити прискорення ракети.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $a = 3\,g$.

4. До гумового шнура довжиною 40 см і радіусом 1 мм підвішена гиря масою 0,5 кг. Знаючи , що модуль Юнга цієї гуми дорівнює 3 Н/мм^2, знайти період вертикальних коливань гирі.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $T = 0{,}92$ с.

Домашнє завдання

1. Математичний маятник робить коливання з амплітудою 0,03 м. Визначити найбільшу швидкість, який володіє вантаж маятника, якщо період коливань $T = 3{,}9$ с.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $\upsilon_m = 0{,}048$ м/с.

2. Гиря, підвішена на пружині, коливається з амплітудою 3 см. Коефіцієнт пружності пружини дорівнює 980 Н/м. Визначити найбільшу кінетичну енергію гирі.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $E_{к\ max} = 0{,}44$ Дж.

3. Повна енергія тіла, що робить гармонійний коливальний рух, дорівнює $3 \cdot 10^{-5}$ Дж, максимальна сила, що діє на тіло, дорівнює $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Н. Написати рівняння руху цього тіла, якщо період коливань складає 2 с і початкова фаза $\pi / 3$.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $x = 0{,}04 \cdot \sin(\pi t + \pi / 3)$ м.

4. Знайти період коливань маятника довжиною 1 м, що переміщається угору (униз) із прискоренням 1,1 м/с^2.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $T_1 = 0{,}95T_0$; $T_2 = 1{,}05T_0$; $T_0 = 2\pi\sqrt{l/g} = 2$ с.

5. Вантаж масою 400 кг здійснює коливання на пружині з жорсткістю 250 Н/м. Амплітуда коливання 15 см. Знайти повну механічну енергію коливань і найбільшу швидкість руху вантажу. Тертям знехтувати.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $\upsilon_m \approx 3{,}8$ м/с; $E \approx 2{,}8$ Дж.

Заняття 2

Механічні хвилі. Звук

Приклад1. Від джерела коливань поширюється хвиля зі швидкістю 300м/с, амплітудою 5 см, довжиною хвилі 75 см. Через який час після початку коливань точка, що знаходиться на відстані 50 см від джерела, матиме зміщення 2,5 см?

Дано:

υ = 300 м/с

A = 5 см = 0,05 м

λ = 75 см = 0,75 м

r = 50 см = 0,5 м

x = 2,5 см = 0,025 м

t – ?

Розв'язання:

$$T = \frac{\lambda}{\upsilon},\ T = \frac{0{,}75}{300} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\text{с}.$$

Підставляємо значення в рівняння хвилі:

$$0{,}025 = 0{,}05 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda}\right),$$

$$0{,}05 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda}\right) = \sin\frac{1}{6}\pi, \qquad \frac{1}{6}\pi = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda}\right),$$

$$1 = 12\left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda}\right),\ 1 = 12\left(\frac{t}{2{,}5\cdot 10^{-3}} - \frac{0{,}5}{0{,}75}\right),\ t = 1{,}9\cdot 10^{-3}.$$

Відповідь: $t = 1{,}9\cdot 10^{-3}$ с = 1,9 мс.

Приклад 2. Визначити частоту звукових коливань у сталі, якщо відстань між двома найближчими точками звукової хвилі, в яких коливання відрізняються за фазою на $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$, дорівнює l = 1,54 м. Швидкість звукових хвиль у сталі υ = 5000 м/с.

Дано:

$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$

l = 1,54 м

υ = 5000 м/с

ν – ?

Розв'язання:

Частоту звукових коливань виразимо формулою:

$$\nu = \frac{\upsilon}{\lambda}, \qquad (1)$$

де υ – швидкість поширення хвиль; λ – довжина хвилі.

Коливання двох точок пружного середовища, відстань між якими вздовж напрямку поширення хвилі дорівнює l, відрізняються за фазою на $\Delta\varphi = \frac{\pi l}{\lambda}$. Звідси:

$$\lambda=\frac{2\pi l}{\Delta\varphi}=\frac{2\pi l}{\frac{\pi}{2}}=4l\,.$$

Підставивши це значення у вираз (1), отримаємо:

$$\nu = \frac{\upsilon}{4l}.$$

Обчислення

$$[\nu]=\frac{\text{м/с}}{\text{м}}=\text{с}^{-1}\,\text{Гц};$$

$$\{\nu\}=\frac{5000}{4\cdot 1{,}54}=812\,.$$

Відповідь: ν = 812 Гц.

Приклад 3. Точкове джерело звуку з частотою 680 Гц перебуває в точці *A* (рис.) над відбиваючою поверхнею. Амплітуда звукової хвилі поблизу джерела дорівнює *a.* Чому дорівнює вона в точці В, якщо швидкість звуку в повітрі 340 м/с?

Дано:

ν = 680 Гц

υ = 340 м/с

$A_\text{A} = a$

A_B – ?

Розв'язання:

Довжина хвилі:

$$\lambda=\frac{\upsilon}{\nu}\,,\quad \lambda=\frac{340}{680}=0{,}5\ \text{м}.$$

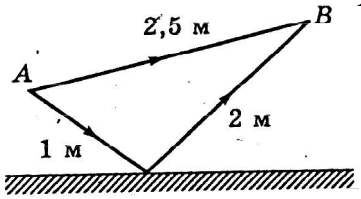
Геометрична різниця ходу

Δl = (1 м + 2 м) - 2,5 м = 0,5 м.

Хвильова різниця ходу

$$\frac{\Delta l}{\lambda}-\frac{1}{2}=\frac{0{,}5}{0{,}5}-0{,}5=0{,}5$$

(втрата півхвилі при відбиванні).



Відповідь: хвильова різниця ходу ½, отже, A_B наближається до нуля.

Аудиторне заняття

1. Поперечна хвиля поширюється уздовж натягнутого шнура. Відстань між найближчими крапками, що мають однакові зсуви, – 0,25 м. Визначити довжину хвилі, якщо фази коливань крапок у цей момент часу відносяться між собою, як 1 : 2.

Дано: Розв’язання:

Відповідь: λ = 1,5 м.

2. Швидкість поширення хвилі вздовж гумового шнура υ = 3 м/с при частоті ν = 2 Гц. Яка різниця фаз коливань двох точок шнура, віддалених одна від одної на відстань l = 75 см?

Дано: СІ: Розв’язання:

Відповідь: $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi l \nu}{\upsilon} = \pi.$

3. Довжина хвилі λ = 60 см. На якій відстані одна від одної перебувають дві точки середовища, в якому поширюється плоска хвиля, якщо ці точки коливаються в протилежних фазах? На якій відстані розташовані точки з різницею фаз $\Delta\varphi = \dfrac{\pi}{4}$?

Дано: СІ: Розв’язання:

Відповідь: $l_1 = \frac{\lambda}{2} = 0{,}3$ м; $l_2 = \frac{\lambda \Delta\varphi}{2\pi} = 0{,}75$ м.

4. Звукова хвиля поширюється з повітря у воду. Довжина цієї хвилі в повітрі λ_1 = 1 м. Яка довжина звукової хвилі у воді? Швидкість звуку в повітрі $\upsilon_1 = 0{,}34 \cdot 10^3$ м/с, швидкість звуку у воді $\upsilon_2 = 1{,}36 \cdot 10^3$ м/с.

Дано: Розв’язання:

Відповідь: $\lambda_2 = \frac{\lambda_1 \upsilon_2}{\upsilon_1} = 4$ м.

Домашнє завдання

1. Хвиля поширюється зі швидкістю 2,4 м/с і має частоту, рівну 3 Гц. Визначити різницю фаз коливань двох крапок, що відстоять друг від друга на 20 см.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $\Delta\varphi = 90°$.

2. Хвиля поширюється в певному середовищі. Коли частинка середовища здійснить N = 140 коливань, хвиля поширюється на відстань l = 112 м. Визначити довжину хвилі.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $\lambda = \frac{l}{N} = 8 \cdot 10^{-1}$ м.

3. Шляховик, приклавши вухо до рейки, почув звук потяга, що почав рух, а через t = 2 с він почув гудок тепловоза, який сигналізував про відправлення потяга. На якій відстані від станції перебував шляховик? Вважати, що швидкості звуку в повітрі та сталі відповідно дорівнюють υ_1 = 330 м/с і υ_2 = 5000 м/с.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $l = \dfrac{\upsilon_1 \upsilon_2 t}{\upsilon_2 - \upsilon_1} = 7 \cdot 10^{-2}$ м.

4. З пункту A в пункт B двічі послали звукові сигнали, частота яких ν = 50 Гц, причому першого разу швидкість звуку була υ_1 = 330 м/с. Другого разу температура повітря підвищилася і швидкість звуку збільшилася до υ_2 = 340 м/с. Кількість хвиль, які вклалися на відстані від A до B, становила в другому випадку, як і в першому, ціле число, яке було на дві хвилі меншим. Визначити відстань між пунктами.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $l = \dfrac{2\upsilon_1 \upsilon_2}{\nu(\upsilon_2 - \upsilon_1)} = 4{,}5 \cdot 10^2$ м.

2 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ

Електромагнітні коливання – це коливання електричного заряду (q), сили струму (I), напруги (U), зв'язані з ними коливання напруженості електричного поля ($\vec{E}$) та індукції магнітного поля ($\vec{B}$), а також самостійні коливання $\vec{E}$ і $\vec{B}$ в електромагнітній хвилі.

Електричні коливання – це коливання q, I та U.

Гармонічні електромагнітні коливання виникають у коливальному контурі. **Коливальний контур** – це електричне коло, яке складається з конденсатора, замкненого на котушку індуктивності. Такий контур називається закритим, оскільки майже не випромінює енергії в простір. Контур називають ідеальним, якщо його активний опір $R \to 0$.

Таблиця 2

№	Формула	Назва формули	Назва величин у формулах
1	$T = 2\pi\sqrt{LC}$, при $R = 0$	**Період вільних незатухаючих електромагнітних коливань у** коливальному контурі (встановив У. Томсон).	$[T]$ = 1 с. L - індуктивність; C - ємність.
2	$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2}$	Перетворення енергії в ідеальному коливальному контурі (закон збереження енергії).	
3	$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $q = q_m \cos\omega t$, $i = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$, $u = U_m \cos\omega t$, $e = \xi_m \cos\omega t$, $B_i = B_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$	Коливання в ідеальному контурі є гармонічними з циклічною частотою ω.	$[\omega]$ = 1 $с^{-1}$.
4	$T = \frac{2\pi\sqrt{LC}}{\sqrt{1 - \frac{R^2C}{4L}}}$	При наявності в коливальному контурі активного опору R, період коливань у ньому визначається за **формулою Томсона для повного опору контура**.	

		Коливання в такому контурі затухаючи, негармонічні, оскільки частина енергії електромагнітного поля при кожному коливанні перетворюється у внутрішню (теплову) енергію активного опору R.	
5	$R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, $\frac{R}{2L}$ - коефіцієнт затухання.	При $R = R_{кр}$ **критичний опір**. $T \to \infty$ - коливання неможливі. Для отримання **незатухаючих** електромагнітних коливань у неідеальному контурі необхідно мати **генератор** незатухаючих **електромагнітних коливань**, у якому енергія джерела струму порціями передається контуру.	

Методичні рекомендації щодо розв'язання задач

При розв'язанні задач, пов'язаних з електромагнітними коливаннями, слід застосувати формулу Томсона або формулу, що виражає зв'язок між довжиною хвилі, швидкістю її поширення і періодом. При цьому врахуйте, що формула Томсона справджується лише тоді, коли активним опором коливального контуру можна знехтувати. В процесах, які відбуваються в коливальному контурі, виконується закон збереження і перетворення енергії.

Заняття 3

Вільні електромагнітні коливання

Приклад1. Різниця потенціалів на обкладинках конденсатора в коливальному контурі змінюється за законом $u = 80 \cos 10^4 \pi t$ (В). Ємність конденсатора дорівнює 10^{-8} Ф. Визначити період коливань контуру, його індуктивність та максимальний заряд на конденсаторі.

Дано:	Розв’язання:
$C = 10^{-8}$ Ф $u = 80 \cos 10^4 \pi t$ В T - ? L - ? q_{max} - ?	За поданим законом зміни напруги на конденсаторі $u = 80 \cos 10^4 \pi t$ можна визначити циклічну частоту і амплітудне значення напруги: $U_{max} = 80$ В , $\omega = 10^4 \pi$. По відомій циклічній частоті знаходимо період коливань $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

З періоду вільних коливань контура $T = 2\pi\sqrt{LC}$ визначимо індуктивність котушки

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C}.$$

За відомими максимальною напругою на конденсаторі і його ємністю визначимо заряд на конденсаторі $q_{max.}$

$$q_{max} = CU_{max}.$$

Обчислення:

$$[T] = \frac{1}{\text{с}^{-1}} = \text{с};$$

$$\{T\} = \frac{2 \cdot 3{,}14}{10^4 \cdot 3{,}14} = 2 \cdot 10^{-4} = 0{,}2;$$

$[L] = $ Гн;

$$\{\text{L}\} = \frac{2^2 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 10^{-8}} = 0{,}1;$$

$$[q] = \text{Ф} \cdot \text{В} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \text{В} = \text{Кл};$$

$\{q_м\} = 10^{-8} \cdot 80 = 8 \cdot 10^{-7}$.

Відповідь: $T = 0{,}2$ мс; L = 0,1 Гн; $q_m = 0{,}8$ мкКл.

Приклад2. Заряджений конденсатор ємністю $C = 0{,}2$ мкФ під’єднали до котушки, що має індуктивність $L = 8$ мГц. Через який інтервал часу від моменту під’єднання енергія електричного поля конденсатора дорівнюватиме енергії магнітного поля котушки?

Дано:	СІ	Розв’язання:
$C = 0{,}2$ мкФ $L = 8$ мГн t - ?	с = $0{,}2 \cdot 10^{-6}$ Ф $L = 8 \cdot 10^{-3}$ Гн	З плином часу t заряд конденсатора змінюється за законом: $q = q_m \cos \omega t$,

де q_m – амплітудне значення заряду, ω – циклічна частота.

Енергію електричного поля конденсатора визначимо за формулою:

$$W_e = \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C}\cos^2 \omega t. \qquad (1)$$

Енергія магнітного поля котушки становить:

$$W_м = \frac{LI^2}{2},$$

де I – сила струму. Сила струму дорівнює похідній від заряду за часом:

$$I = q' = -q_m \omega \sin \omega t,$$

а тому маємо:

$$W_м = \frac{L}{2} q_m^2 \omega^2 \sin^2 \omega t. \qquad (2)$$

Якщо від моменту під'єднання минув час t_1, то $W_{e1} = W_{м1}$. На основі цієї рівності та формул (1) і (2) отримаємо:

$$\frac{q_m^2}{2C}\cos^2 \omega t_1 = \frac{L}{2} q_m^2 \omega^2 \sin^2 \omega t_1.$$

Звідси:

$$\cos^2 \omega t_1 = CL\omega^2 \sin^2 \omega t_1.$$

Підставивши у рівняння значення $\omega^2 = \frac{1}{LC}$, одержимо:

$$\cos^2 \omega t_1 = \sin^2 \omega t_1.$$

Звідси знаходимо: $tg\ \omega t_1 = 1$. Отже, $\omega t_1 = \frac{\pi}{4}$, а оскільки $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$,

то $\frac{t_1}{\sqrt{LC}} = \frac{\pi}{4}$. Таким чином, маємо: $t_1 = \frac{\pi\sqrt{LC}}{4}$.

Обчислення:

$$[t_1] = \sqrt{\text{Гн} \cdot \Ф} = \sqrt{\frac{\text{Вб}}{\text{А}} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{В}}} = \sqrt{\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} \cdot \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}}} = \text{с};$$

$$\{t_1\} = \frac{3{,}4\sqrt{8 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-6}}}{4} = 3 \cdot 10^{-5}.$$

Відповідь: $t_1 = 3 \cdot 10^{-5}$ с.

Приклад 3. Конденсатор ємністю 10 мкФ зарядилидо напруги U_1 = 400 В і приєднали до котушки. Після цього в контурі виникли затухаючі коливання. Яка кількість теплоти виділиться в коливальному контурі за час, протягом якого амплітуда напруги зменшиться вдвічі?

Дано:	СІ
C = 10 мкФ	$C = 1\cdot10^{-5}$ Ф
U_1 = 400 В	
U_2 = 200 В	
Q - ?	

Розв'язання:

Оскільки виникають затухаючі коливання в коливальному контурі завдяки перетворенню енергіїелектричного поля у внутрішню (нагрівання провідника), то із закону збереження енергії витікає:

$$W_1 = Q + W_2,\ \frac{CU_1^2}{2} = Q + \frac{CU_2^2}{2},\ Q = \frac{C}{2}\left(U_1^2 - U_2^2\right).$$

Обчислення:

$[Q] = \Phi\cdot В^2 = Дж;$

$$\{Q\} = \frac{1\cdot10^{-5}}{2}\left(400^2 - 200^2\right) = 0{,}6.$$

Відповідь: Q = 0,6 Дж.

Аудиторне заняття

1. Коливальний контур складається з дроселя з індуктивністю 0,2 Гн і конденсатора з ємністю 10^{-5} Ф. У момент, коли напруга на конденсаторі дорівнює 1 В, струм у контурі дорівнює 0,01 А. Який максимальний струм у цьому контурі?

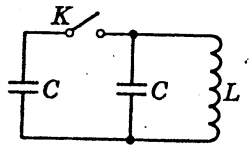
Дано:

Розв'язання:

Відповідь: $I_m \approx 12\cdot10^{-3}$ А.

2. Конденсатор ємністю C, що має заряд q, включений у коло (рис). Визначити максимальну силу струму, що йде через котушку індуктивністю L, після замикання ключа K.

Дано: Розв'язання:



Відповідь: $I_m = \frac{q}{\sqrt{2LC}}$.

3. До джерела постійного струму паралельно під'єднали конденсатор ємністю C = 20 мкФ і котушку, індуктивність якої L = 0,02 Гн. При цьому напруга на конденсаторі U_1 = 100 В, а сила струму в котушці I_1 = 2 А. Джерело відключають. Яким буде заряд на конденсаторі у момент, коли сила струму в котушці I_2 = 1 А? Втратами енергії на нагрівання знехтувати.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $q = 2 \cdot 10^3$ Кл.

Домашнє завдання

1. Котушку, що має індуктивність $L = 3 \cdot 10^{-5}$ Гн, з'єднали з плоским конденсатором, площа кожної пластини якого $S = 100$ см^2. Відстань між пластинами конденсатора $d = 0{,}1$ мм. Визначити діелектричну проникність середовища, що заповнює простір між пластинами конденсатора, якщо контур резонує на хвилю завдовжки $\lambda = 750$ м? Швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $\varepsilon = \dfrac{\lambda^2 d}{4\pi^2 c^2 \varepsilon_0 L S} = 6$.

2. Котушку індуктивності під'єднали до конденсатора, заряд якого $q = 2{,}5 \cdot 10^{10}$ Кл. В утвореному коливальному контурі виникли вільні електромагнітні коливання, частота яких $\nu = 4 \cdot 10^7$ Гц. Визначити максимальну силу струму, що проходить через котушку. Активним опором котушки знехтувати.

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $I_m = 2\pi\nu q = 6 \cdot 10^2$ А.

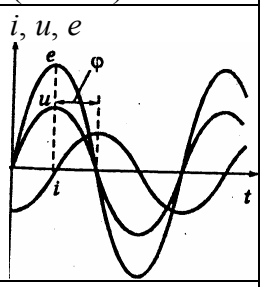
3. Коливальний контур складається з котушки, що має індуктивність L = 1 мГн, і конденсатора, обкладки якого – дві круглі пластини діаметром D = 20 см кожна. Відстань між пластинами d =1 см. Визначити період вільних електромагнітних коливань у цьому контурі, якщо простір між пластинами повністю заповнений плексигласом, діелектрична проникність якого ε = 3. Електрична стала $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

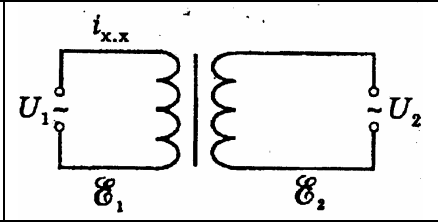
Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $T = \pi D\sqrt{\dfrac{\varepsilon\varepsilon_0\pi L}{d}} = 2 \cdot 10^6$ с.

3 ЗМІННИЙ СТРУМ

Таблиця 3

№	Формула	Назва формули	Назва величин у формулах
1	$e = BS\omega \sin \omega t,$ $e = \xi_m \sin \omega t,$ $\xi_m = BS\omega.$ Якщо N витків, то $\xi_m = BS\omega N$	При обертанні рамки з постійною швидкістю в постійному магнітному полі $\vec{B}$ в рамці виникає **синусоїдальна ЕРС**.	$\vec{B}$ - магнітна індукція; S - площа рамки; $[\xi] = 1$ В; $[B] = 1$ Тл (Тесла).
2	$u = U_m \sin \omega t$	На кінцях рамки (обмотки генератора) виникає **синусоїдальна напруга**, яка збігається за фазою з ЕРС.	
3	$i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$	У зовнішньому колі виникають **вимушені електричні коливання заряду – змінній синусоїдальний струм**, який фазою відрізняється від е.р.с. і напруги на величину φ , яка залежить від властивостей кола.	$[I] = 1$ А.
4	$I = \sqrt{i^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}},$ $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$	**Діюче значення змінного синусоїдального струму –** це величина, яка дорівнює квадратному кореню із середнього квадрата сили струму за період. Це значення такої сили постійного струму, при якому виділялося стільки ж енергії на певній ділянці. Як і при змінному струмі.	$[U] = 1$ В.
5	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2},$ $X_L = \omega L,$ $X_c = \frac{1}{\omega C}$	**Повний опір кола змінному струму** (Z). R - активний опір (опір провідника);	$[R] = 1$ Ом.

		X_L - індуктивний опір; X_c - ємнісний опір; X_L і X_c - реактивні опори.	
6	$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$	**Зсув фаз у колах змінного струму** визначається співвідношенням між активним і повним опором кола. При наявності в колі індуктивності (L) сила струму відстає за фазою від напруги. При наявності в колі ємності (C) сила струму випереджає напругу за фазою.	
7	$I = \frac{U}{Z},$ $I_m = \frac{U_m}{Z},$	**Закон Ома для змінного струму.**	
8	$Q = I^2 R t$	**Закон Джоуля - Ленца:** кількість теплоти Q, що виділяється в провіднику, активний опір якого R, у результаті проходження по ньому змінного струму впродовж часу t.	$[Q] = 1$ Дж.
9	$P = IU\cos\varphi =$ $= \frac{I_m U_m}{2}\cos\varphi$	**Потужність змінного струму.**	
10	$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$	**Коефіцієнт потужності.**	R - активний опір (опір провідника); Z - повний опір кола**.**
	Трансформатор напруги базується на явищі взаємної індукції двох обмоток на одному спільному осерді. Перетворює напругу, збільшуючи чи зменшуючи її до необхідних значень.		
11	$K = \frac{U_1}{U_2}$	**Коефіцієнт трансформації (*K*) –** це число, що визначає,	

		у скільки разів відрізняється напруга, подана на первинну обмотку, від напруги, яку дістають на вторинній обмотці на холостому ході.	
12	$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{eN_1}{eN_2} = \frac{N_1}{N_2},$ $K \approx \frac{N_1}{N_2}$	**Оскільки ЕРС (*e*) –** в кожному витку однакове.	N - кількість витків.
13	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$	При підключенні споживачів (навантаження) виникають навантажувальні струми, обернено пропорційні числу витків обмотки N .	
14	$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{сталі}}$	**ККД трансформатора**. ККД трансформатора дуже високий $\eta \approx 98$ %.	P_{Cu} - втрати в міді на нагрівання обмоток; $P_{сталі}$ - втрати сталі на перемагнічування осердя і струми Фуко; P_2 - потужність споживача.

Методичні рекомендації щодо розв'язання задач

Розв'язуючи задачі на застосування законів змінного струму пам'ятайте, що сила струму, напруга та ЕРС у колах змінного струму можуть здійснювати гармонічні коливання з різними фазами. Тому при послідовному з'єднанні сила струму на всіх ділянках кола в один і той самий момент часу однакова, а напруга в усьому колі, на відміну від кола постійного струму, не дорівнює арифметичній сумі напруг на окремих ділянках. Її визначають за правилом додавання векторних величин, при цьому потрібно врахувати наявність активного, індуктивного та ємнісного опорів.

Заняття 4

Закони змінного струму

Приклад1. Сила струму в колі змінюється з часом за законом $i = 5sin200\,\pi t$ А, де t – час у секундах. Визначити амплітудне значення сили струму, частоту і період. Знайти силу струму для фази $\varphi_1 = \frac{3\pi}{8}$.

Дано:	Розв'язання:
$i = 5sin200\pi t$ А	З рівняння $i = I_m sin\,\omega t$ і $i = 5{,}0\ sin200\pi t$, знайдемо:
$\varphi_1 = \frac{3\pi}{8}$	$I_m = 5{,}0$ А, $\omega t = 200\pi t$ або $\frac{2\pi}{T} = 200\pi$, $T = 0{,}01$ с,
I_m - ?	$v = 100$ Гц.
v - ?	Фазі $\varphi_1 = \frac{3\pi}{8}$ відповідає сила струму, що дорівнює:
T - ?	$i_1 = 5{,}0sin\frac{3\pi}{8}$ А, $i_1 = 4{,}6$ А.
i_1 - ?	

Відповідь: $I_m = 5{,}0$ А; $v = 100$ Гц; $T = 0{,}01$ с; $i = 4{,}6$ А.

Приклад2. Визначити зсув фаз коливань напруги $u = U_m\sin(\omega t+\varphi)$ і сили струму $i = I_m\sin\omega t$ для електричного кола, яке складається з послідовно з'єднаних резистора опором $R = 1$ кОм, котушки індуктивністю $L = 0{,}5$ Гн і конденсатора ємністю $C = 1$ мкФ. Визначити потужність, що виділяється в колі, якщо амплітуда напруги $U_m = 100$ В, частота $v = 50$ Гц.

Дано:	СІ:	Розв'язання:
$u = U_m\sin(\omega t+\varphi)$		Зсув фаз між напругою і силою струму, які змінюються згідно з наведеними вище рівняннями, визначимо за співвідношенням:
$U_m = 100$ В		
$i = I_m\sin\omega t$		
$R = 1$ кОм	$R = 10^3$ Ом	$tg\,\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{C\omega}}{R}$. (1)
$L = 0{,}5$ Гн		Циклічна частота
$C = 1$ мкФ	$C = 10^{-6}$ Ф	. $\omega = 2\pi v$.
φ - ?		Потужність, що виділяється у колі, визначимо за формулою:
P - ?		

$$P = \frac{I_m U_m}{2}\cos\varphi,$$

де I_m , U_m – амплітудні значення відповідно сили струму і напруги. Оскільки $I_m = \frac{U_m}{Z}$, то маємо:

$$P = \frac{U_m^2}{2Z}\cos\varphi,$$

де Z – повний опір кола.

Його знайдемо за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Отже, маємо:

$$P = \frac{U_m^2 \cos\varphi}{2\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \qquad (2)$$

Обчислення:

$[\omega] = c^{-1}$;

$\{\omega\} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 = 314$;

$$[tg\varphi] = \frac{\text{Ом} - \frac{1}{\text{Ом}}}{\text{Ом}} = 1;$$

$$\{tg\varphi\} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5 - \frac{1}{10^{-6} \cdot 314}}{10^3} = -3;$$

φ = -72º (знак «мінус» означає, що напруга відстає за фазою від сили струму).

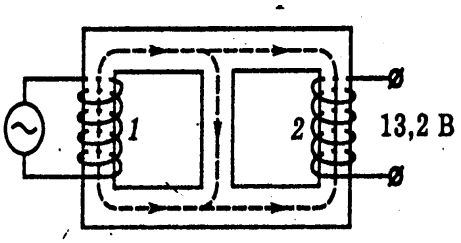
$cos\varphi = 0{,}3$.

$$[\text{P}] = \frac{\text{В}^2}{\sqrt{\text{Ом}^2 + \text{Ом}^2}} = \frac{\text{В}^2}{\text{Ом}} = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт};$$

$$\{\text{P}\} = \frac{100^2 \cdot 0{,}3}{\sqrt{10^6 + \left(3{,}14 \cdot 0{,}5 - \frac{1}{314 \cdot 10^{-6}}\right)^2}} = 0{,}5.$$

Відповідь: φ = -72º; P = 0,5 Вт.

Приклад 3. На симетричне залізне осердя, зображене на рис., намотано дві котушки. При вмиканні котушки 1 у мережу змінного струму напруга на затискачах котушки 2 U_2 = 13,2 В. При вмиканні котушки 2 в ту саму мережу напруга на затискачах котушки 1 U_1 = 120 В. Чому дорівнює відношення чисел витків котушок? Вважати, що магнітний потік, створюваний кожною котушкою, не виходить із осердя.



Дано:
$U_1 = 120$ В
$U_2 = 13{,}2$ В
$\frac{N_1}{N_2}$ - ?

Розв'язання:

Якщо весь потік, створюваний однією з котушок (обмоток) трансформатора, проходить через другу котушку, то виконується співвідношення:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

де N_1 і N_2 – число витків котушок 1 і 2.

Оскільки в нашому осерді лише деяка частина потоку проходить через другу котушку, то ця пропорція трохи змінюється, а саме: напруга, яка збуджується в котушці, не під'єднаній до мережі, буде менша у стільки разів, у скільки разів частина потоку, що пронизує її, менша за весь потік, створюваний другою котушкою. У першому випадку (до мережі під'єднана котушка 1) маємо:

$$\frac{U_2}{U} = n_1 \frac{N_2}{N_1}, \qquad (1)$$

у другому випадку:

$$\frac{U_1}{U} = n_2 \frac{N_1}{N_2}, \qquad (2)$$

але за умовою задачі осердя симетричне, отже, $n_1 = n_2$. Ураховуючи цю умову, з рівнянь (1) і (2) знаходимо

$$\frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2, \text{ і остаточно } \quad \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} = 3.$$

Відповідь: $N_1 = 3N_2$.

Аудиторне заняття

1. У мережу змінного струму з діючим значенням напруги $U = 220$ В і частотою $\nu = 50$ Гц послідовно ввімкнули резистор опором $R = 200$ Ом, котушку, індуктивність якої $L = 40$ мГн, і конденсатор ємністю $C = 80$ мкФ. Визначити індуктивний, ємнісний і повний опір кола, а також діюче та амплітудне значення сили струму.

Дано: | СІ: | Розв’язання:

Відповідь: X_L = 13 Ом; X_c = 40 Ом; Z = 200 Ом; I = 1,1 А; I_m = 1,5 А.

2. До електричного кола підвели змінну напругу u = 180$sin\omega t$ В. Амперметр, увімкнений у це коло, показує силу струму I = 1,4 А. Визначити коефіцієнт потужності кола, якщо воно споживає потужність P = 144 Вт.

Дано: | Розв’язання:

Відповідь: $cos\ \varphi$ = 0,8.

3. Первинна обмотка знижувального трансформатора з коефіцієнтом трансформації K = 10 увімкнена в коло з напругою U_1 = 120 В. Опір вторинної обмотки трансформатора R_2 = 1,2 Ом, струм у вторинному колі трансформатора I_2 = 5 А. Визначити напругу на затискачах вторинної обмотки трансформатора. Втрати в первинному колі трансформатора не враховувати.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: U_2 = 6 В.

Домашнє завдання

1. До джерела змінної напруги з діючим значенням U = 100 В і частотою ν = 500 Гц послідовно під'єднали резистор опором R = 20 Ом, котушку, що має індуктивність L = 40 мГн, і конденсатор ємністю C = 12 мкФ. Визначити силу струму в колі та напругу на кожному елементі кола.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $I = 0{,}99$ А.

2. Електричну піч, опір якої $R = 20$ Ом, увімкнули в мережу змінного струму. Визначити кількість теплоти, яку виділить піч за час $t = 2$ год, якщо амплітуда сили струму $I_m = 10$ А.

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $Q = 7 \cdot 10^6$ Дж.

3. Первинна обмотка понижувального трансформатора з коефіцієнтом трансформації $K = 10$ увімкнута в мережу з напругою $U_1 = 220$ В. Опір вторинної обмотки $r = 0{,}5$ Ом, сила струму в ній $I = 4$ А. Визначити напругу U_2 на затискачах вторинної обмотки. Втратами в первинній обмотці знехтувати.

Дано: Розв’язання:

Відповідь: $U_2 = 20$ В.

4 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

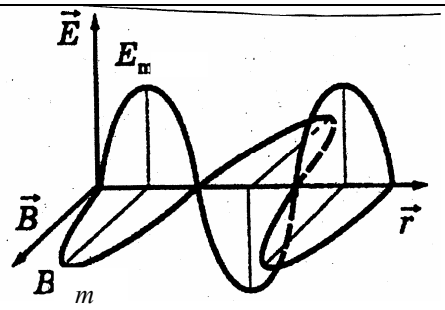
Електромагнітні хвилі – це поширення в просторі вільного електромагнітного поля. Електромагнітні хвилі випромінюються електричними зарядами, що рухаються з прискоренням.

Електромагнітні хвилі – це поперечні хвилі.

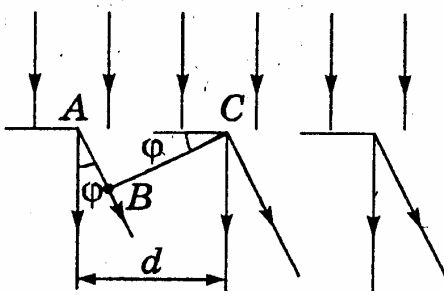
Змінні поля $\vec{E}_1$ і $\vec{B}_1$ індукують відповідно поля $\vec{E}$ і $\vec{B}$. Далі поля $\vec{E}$ і $\vec{B}$, взаємно індукуючи одне одного, утворюють **вільне електромагнітне поле**.

Таблиця 4

№	Формула	Назва формули	Назва величин у формулах
1	$\varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \frac{B^2}{\mu_0 \mu}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$, $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$	В електромагнітній хвилі E і B змінюються у взаємно перпендикулярних площинах, перпендикулярних напрямку поширення, і збігаються у фазі.	ε_0 - електрична стала; ε діелектрична проникність середовища; μ_0 - магнітна стала; μ - магнітна проникність;

			$[B]=1$ Тл (Тесла).
2	$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$	**Швидкість** поширення електромагнітних хвиль у вакуумі.	$c\approx 3\cdot 10^8\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.
3	$\upsilon=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$	У діелектрику швидкість електромагнітної хвилі зменшується (хвиля гальмується).	
4	$n_c=\frac{c}{\upsilon}=\sqrt{\varepsilon\mu}$	**Абсолютний показник заломлення** (n_c) – число, що визначає, у скільки разів швидкість хвилі в середовищі υ менша за c.	
5	У повітрі $c=\lambda_n\nu$, і $\upsilon=\lambda\nu$ у діелектрику	**Довжина електромагнітної хвилі** – це відстань, на яку поширюється хвиля за один період коливань $\vec{E}$ і $\vec{B}$.	λ_n - довжина хвилі у повітрі; λ - довжина хвилі у діелектрику.
6	$\omega=\frac{W}{V}=\frac{EB}{\upsilon\mu_0\mu}$	**Об’ємна густина енергії** електромагнітної хвилі (ω).	$[\omega]=\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$.
7	$I=\overline{\omega}\upsilon=\frac{EB}{\mu_0\mu}$	**Інтенсивність** електромагнітної хвилі (I).	$[I]=\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.
	Світлові хвилі **Світло –** це електромагнітні хвилі, воно має всі властивості хвиль. Одночасно світло – це потік матеріальних частинок (фотонів), тобто світло має квантові властивості. При вивченні світла його розглядають як суму хвилевих і квантових властивостей. У таких явищах, як дисперсія, інтерференція, дифракція, поляризація і інш., світло виявляє властивості електромагнітних хвиль.		

8	$\lambda_c = \frac{\lambda}{n}$	**Довжина світлової хвилі** в середовищі.	λ - довжина світлової хвилі у вакуумі; n – абсолютний показник заломлення середовища.
9	$L = nl$	**Оптична довжина шляху** світлової хвилі.	l - геометрична довжина шляху.
10	$\Delta = L_2 - L_1$	Оптична різниця ходу двох хвиль.	L_1, L_2 - оптичні довжини шляхів цих хвиль.
	Дисперсія світла – це явище залежності показника заломлення речовини від довжини світлової хвилі. В результаті дисперсії можна розкласти білий світ на його складові, отримати спектр. У спектрі розрізняють сім основних кольорів: червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий. **Інтерференція** – це явище складання двох (або декількох) хвиль з однаковими періодами. В результаті в одних точках простору відбувається збільшення, а в інших – зменшення амплітуди результуючої хвилі.		
11	$\Delta = k\lambda,$ $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$	Умова **інтерференційних максимумів.**	
12	$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2},$ $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$	Умова **інтерференційних мінімумів.**	
	Дифракція – це відхилення світла від прямолінійного розповсюдження, явище огинання світловими хвилями перешкод. **Дифракційна решітка** – це скляна тонка пластинка, на яку нанесені паралельні штрихи з проміжками між ними. Ширина щілини і штриха позначається d і називається сталою решітки або періодом решітки.		
13	$\lambda = \frac{d \sin\varphi}{n},$ $AB = d \sin\varphi = k\lambda,$ $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$	Умова **головних максимумів освітленості** при дифракції на дифракційній решітці при нормальному падінні світла на неї.	λ - довжина світлової хвилі; $d = AC$ – стала (період) дифракційної решітки;

			φ - кут відхилення променів, що відповідає цьому максимуму; k - порядок головного максимуму; AB – різниця ходу.

Методичні рекомендації щодо розв'язання задач

При розв'язанні задач, пов'язаних з інтерференцією світла, насамперед з'ясуйте, чому виникає оптична різниця ходу хвиль, що інтерферують, і визначте її. Потім, згідно з умовою максимуму або мінімуму освітленості при інтерференції, складіть рівняння, що дасть змогу визначити шукану величину.

Розв'язуючи задачі щодо дифракції світла на дифракційній решітці, застосуйте умову головних максимумів освітленості в дифракційній картині. При цьому врахуйте симетричність картини відносно центрального максимуму. На основі складеної системи рівнянь визначте невідому величину.

Заняття 5

Електромагнітні хвилі. Хвильова оптика

Приклад1. Радіоприймач можна настроювати на прийом радіохвиль від 25 до 2000 м. Що треба зробити для прийому більш довгих хвиль – зближати чи розсовувати пластини конденсатогра коливального контура?

Дано:

S = const

$\lambda_1 = 25$ м

$\lambda_2 = 2000$ м

$c = 3\cdot10^8$ м/с

$\frac{d_2}{d_1} - ?$

Розв'язання:

Довжина радіохвиль залежить від періоду власних коливань контура:

$$\lambda = c \cdot T ,$$

де c – швидкість поширення електромагнітних хвиль в в середовищі. Період власних коливань контура визначається за формулою:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} ,$$

де C – ємність контуру; L – індуктивність котушки.

Отже $$\lambda = 2c\pi\sqrt{LC} .$$

Ємність плоского конденсатора пропорційна площі пластин S і обернено пропорційна відстані між ними d:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}.$$

Довжина хвилі залежить від індуктивності котушки L та відстані між пластинами d

$$\lambda = c \cdot 2\pi\sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \cdot L}.$$

Виразимо d:

$$\lambda^2 = c^2 \cdot 4\pi^2 \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \cdot L, \quad d = \frac{c^2 \cdot 4\pi^2 \varepsilon\varepsilon_0 S \cdot L}{\lambda^2}.$$

Застосуємо цю формулу для двох випадків:

$$d_1 = \frac{c^2 \cdot 4\pi^2 \varepsilon\varepsilon_0 S \cdot L}{\lambda_1^2}, \quad d_2 = \frac{c^2 \cdot 4\pi^2 \varepsilon\varepsilon_0 S \cdot L}{\lambda_2^2},$$

оскільки індуктивність котушки залишається сталою. Звідси:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2}.$$

Обчислення:

$$\left[\frac{d_2}{d_1}\right] = \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2} = 1;$$

$$\left\{\frac{d_2}{d_1}\right\} = \frac{25^2}{2000^2} = \frac{625}{4 \cdot 10^6} \approx 1{,}56 \cdot 10^{-4}.$$

Відповідь: $d_2 = 1{,}56 \cdot 10^{-4} d_1$, тобто пластини треба зблизити, оскільки $d_2 < d_1$.

Приклад 2. Довжина хвилі світла, яка відповідає червоній лінії у вакуумі, становить 656,3 нм. Визначити довжину хвилі цього світла у склі, якщо показник заломлення світла у склі для цих променів 1,51. Який колір буде мати це світло у склі?

Дано:	Розв'язання:
$c = 3 \cdot 10^8$ м/с $\lambda_0 = 6{,}563 \cdot 10^{-7}$ м $n_{\text{вакууму}} = 1$ $n_{\text{скла}} = 1{,}51$ $\lambda - ?$	При переході світла з одного середовища в інше змінюється довжина світла, а частота лишається без змін. Оскільки колір світла залежить від його частоти, а не від довжини хвилі, то колір світла при заломленні красних променів не змінюється.

Для вакууму $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$, а для скла $\lambda = \frac{\upsilon}{\nu}$,

де ν – частота світла; c і υ – швидкість світла відповідно у вакуумі і склі. Розділивши перше рівняння на друге, одержимо:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{c}{\nu}.$$

Оскільки $\frac{c}{\nu} = \frac{n_{скла}}{n_{вакуума}}$, то $\frac{\lambda_0}{\lambda} = n_{скла}$, оскільки $n_{\text{вакуума}} = 1$.

Звідси $\lambda = \frac{\lambda_0}{n_{скла}}$.

Обчислення:

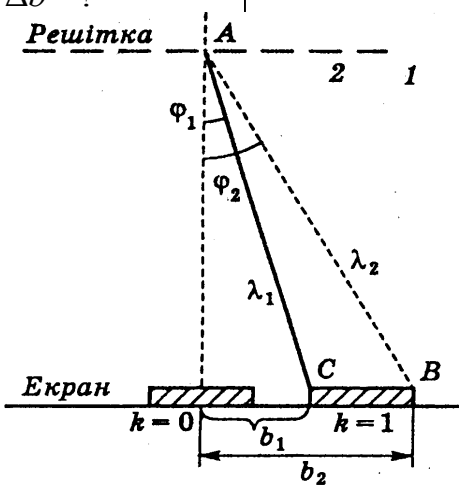
$[\lambda] = \text{м}$;

$\{\lambda\} = \frac{656{,}3 \cdot 10^{-9}}{1{,}51} = 435 \cdot 10^{-9}$.

Відповідь: λ = 435 нм. Колір світла червоний.

Приклад 3. Яка ширина спектра першого порядка (довжини хвиль знаходяться в межах 0,38 … 0,76 мкм), отриманого на екрані, який розташований на відстані 3 м від дифракційної решітки з періодом 0,01 мм?

Дано:	СІ
d = 0,01 мм	$d = 1 \cdot 10^{-5}$ м
k = 1	k = 1
$AO = L$ = 3 м	L = 3 м
λ_1 = 0,38 мкм	$\lambda_1 = 0{,}38 \cdot 10^{-6}$ м
λ_2 = 0,76 мкм	$\lambda_2 = 0{,}76 \cdot 10^{-6}$ м
Δb - ?	



Розв’язання:

Нехай хвиля λ_1 дає максимум першого порядку в точці C, а хвиля λ_2 – в точці В (рис.).

Запишемо для кожної довжини хвилі умову максимума в дифракційній решітці (дифракційний спектр):

$$d \sin\varphi_1 = k\lambda_1,$$

$$d \sin\varphi_2 = k\lambda_2.$$

Ширина спектра першого порядка визначається відстанню $\Delta b = OB\text{-}OC$. Визначимо OB з ΔAOB і OC з ΔAOC: $OB = AO\ tg\varphi_2$, $OC = AO\ tg\varphi_1$.

Тоді $\Delta b = AO(tg\varphi_2 - tg\varphi_1)$.

При малих кутах φ_2 і φ_1 можна вважати, що

$$tg\varphi_2 \approx sin\varphi_2 = \frac{k\lambda_2}{d},\ tg\varphi_1 \approx sin\varphi_1 = \frac{k\lambda_1}{d}.$$

Отже, $\Delta b = AO \cdot \frac{k}{d}(\lambda_2 - \lambda_1) = \frac{Lk}{d}(\lambda_2 - \lambda_1)$.

Обчислення:

$$[\Delta b] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{м};$$

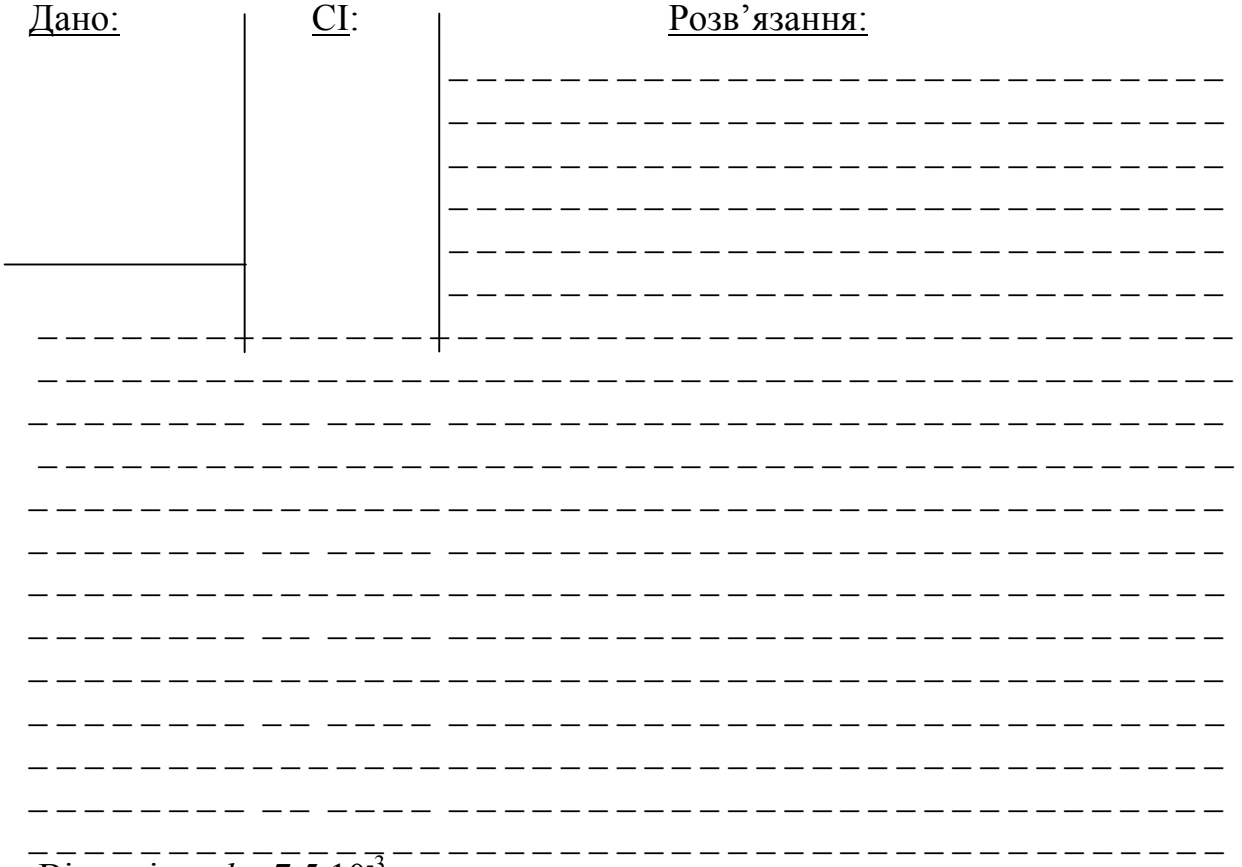
$$\{\Delta b\} = \frac{3 \cdot 1(0{,}76 - 0{,}38) \cdot 10^{-6}}{10^{-5}} \approx 0{,}114.$$

Відповідь: Δb = 11,4 см.

Аудиторне заняття

1. Коливальний контур, що складається з котушки індуктивності і плоского повітряного конденсатора, налаштували на хвилю завдовжки λ_1 = 300 м. При цьому відстань між пластинами конденсатора d_1 = 4,8 мм. Якою має бути ця відстань, щоб налаштувати контур на хвилю завдовжки λ_2 = 240 м?

Дано: СІ: Розв'язання:



Відповідь: $d = 7{,}5 \cdot 10^{-3}$ м.

2. Радіолокатор працює на хвилі завдовжки $\lambda = 20$ см і випромінює за секунду $n = 5000$ імпульсів тривалістю $\tau = 0{,}02$ мкс кожний. Скільки коливань відбувається в одному імпульсі та на якій максимальній відстані за цих умов можна виявити ціль?

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $N = 30$; $S = 3 \cdot 10^4$ м.

3. На дифракційну решітку завширшки $l = 20$ мм, що має $n = 1{,}0 \cdot 10^4$ штрихів, нормально падає монохроматичне світло. Зорову трубу спектрометра навели на головний максимум першого порядку. Щоб навести трубу на другий максимум того самого порядку, її слід повернути на кут $\alpha = 40^o$. Визначити: а) довжину світлової хвилі; б) кількість максимумів, наявних у спектрі дифракційної решітки; в) кут відхилення променів, що відповідає останньому максимуму.

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $\lambda = 6{,}8 \cdot 10^{-7}$ м; $N = 5$; $\varphi_{max} = 43$.

Домашнє завдання

1. На хвилю якої довжини налаштували коливальний контур, що складається з котушки, індуктивність якої $L = 2 \cdot 10^{-3}$ Гн, і плоского конденсатора? Відстань між пластинами конденсатора $d = 1{,}0$ см, діелектрична проникність речовини, яка заповнює простір між пластинами, $\varepsilon = 11$. Площа кожної пластини $S = 800$ см^2.

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $\lambda = 2{,}4 \cdot 10^3$ м.

2. Коливальний контур складається з котушки, що має індуктивність $L = 0{,}2$ мкГн, і конденсатора змінної ємності, електроємність якого можна змінювати від $C_1 = 50$ пФ до $C_2 = 450$ пФ. Який діапазон частот і довжин хвиль можна охопити налаштовуванням цього контуру? Швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано: | СІ: | Розв’язання:

Відповідь: Від $\upsilon_1 = 5 \cdot 10^7$ до $\upsilon_2 = 2 \cdot 10^7$ Гц.

3. Дифракційні грати мають 2000 штрихів на 1 см. На її поверхню нормально падає світло з довжиною хвилі 694 нм. Знайти: 1) напрямок максимумів у спектрі першого порядку; 2) максимальний порядок дифракційної картини.

Дано: | СІ: | Розв’язання:

Відповідь: $\varphi = 8^\circ$; $k = 7$.

5 ОПТИКА

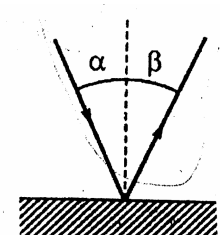
Світло – це електромагнітні хвилі високої частоти, що випромінюються атомами речовини, а також частинками як і мають електричний заряд і рухаються з величезним прискоренням.

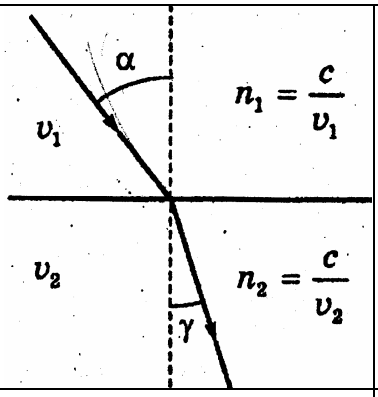
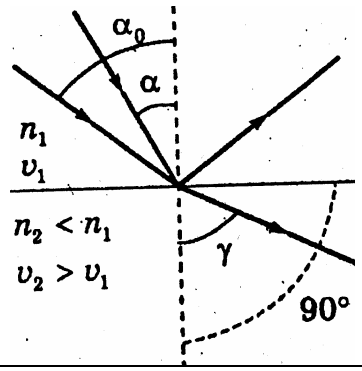
Фотометрія – розділ оптики, в якому розглядається вимірювання енергії, що переноситься електромагнітними світловими хвилями.

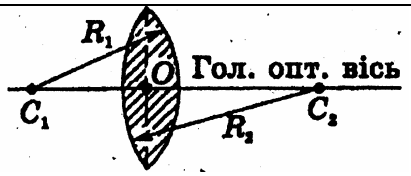
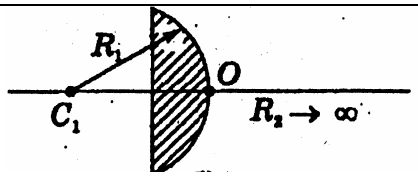
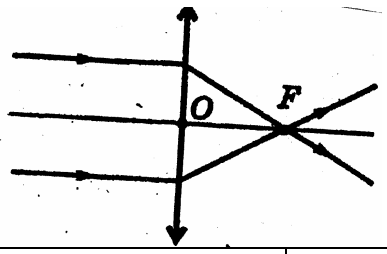
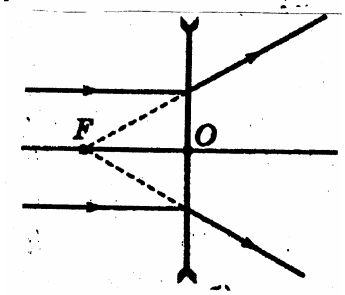
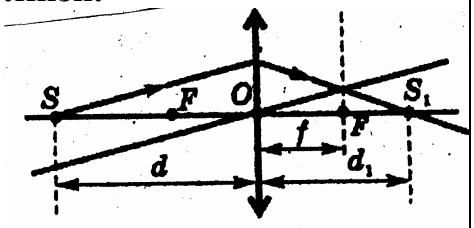
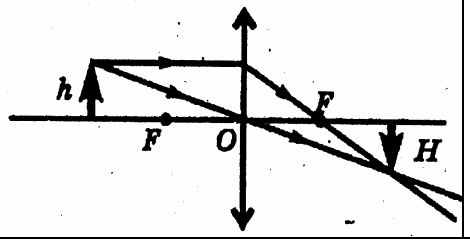
Точковим джерелом світла називають джерело, лінійні розміри якого значно менші, ніж відстань від нього до точки спостереження.

Таблиця 5 а

№	Формула	Назва формули	Назва величин у формулах
1	$\Phi = \frac{W}{t}$	**Світовий потік (*Ф*)** – енергія світових хвиль (W), яка переноситься в одиницю часу (t) через якусь площу поверхні оцінюється за зоровим відчуттям.	$[\Phi]$ = 1 лм (люмен).
2	$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$	**Сила світла (*I*)** точкового джерела є величина, що чисельно дорівнює світловому потоку, який це джерело створює в одиничному тілесному куті.	$\Delta\Omega$ - тілесний кут; $[I]$ = 1 кд (кандела).
3	$\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{r^2}$	**Тілесним кутом ($\Delta\Omega$)** визначається відношення площі ΔS поверхні сегмента кулі до квадрата радіуса сфери (r).	$[\Delta\Omega]$ = 1 ср (стерадіан).
4	$\Delta\Omega = \frac{S_{сфери}}{r^2} = 4\frac{\pi r^2}{r^2} = 4\pi$	**Повний тілесний кут.**	
5	$\Phi_0 = 4\pi I$	**Повний світовий потік.**	
6	$B = \frac{I}{S\cos\varphi}$	**Яскравість джерела світла (*B*) –** величина, яка	$[B] = 1\frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$.

		вимірюється відношенням сили світла джерела в певному напрямку до проекції світної поверхні на площу, перпендикулярну цьому напрямку.	
7	$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S}$	**Освітленість (*E*) –** величина, яка вимірюється світловим потоком, що падає на одиницю площі освітленої поверхні.	$[E] = 1\frac{\text{лм}}{\text{м}^2} = 1\,\text{лк}$ (люкс).
8	$E = \frac{I \cos\alpha}{r^2}$	**Закон освітленості від точкового джерела світла** поверхні, віддаленої на відстань *r* від джерела.	α - кут падіння світла.
	Геометрична оптика розглядає закони поширення світла в прозорих середовищах тільки на підставі уявлень про світло як сукупність світлових променів. **Світловий промінь** – лінія, вздовж якої поширюється енергія світлових електромагнітних хвиль. **Світловий пучок –** це пучок світлових променів. В оптично однорідному середовищі **світло поширюється прямолінійно**. **Закони відбивання світла** 1. Падаючий, відбитий промінь і перпендикуляр, опущений у точку падіння, лежать в одній площині. 2. Кут відбивання дорівнює куту падіння $\angle\alpha = \angle\beta$.  		
9	$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{2-1} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{n_2}{n_1}$	**Закони заломлення світла** **1.** Падаючий, заломлений промінь і перпендикуляр, опущений у точку падіння, лежать в одній площині. **2.** Відношення синуса кута падіння до синуса кута	

		заломлення світла є величина стала, яка дорівнює **відносному показнику заломлення** двох середовищ (середовища, куди світло переходить, до середовища, з якого падає).	
10	$n_1 = \frac{c}{\upsilon_1},$ $n_2 = \frac{c}{\upsilon_2},$	Показник заломлення середовища відносно вакууму називається **абсолютним показником заломлення** середовища.	
11	$\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = n$	**Відносний показник заломлення.**	
12	$\frac{\sin\alpha_0}{\sin\gamma} = n_{2-1},$ $\gamma = 90^0 \Rightarrow \sin\alpha_0 =$ $= n_{2-1} = \frac{1}{n_{1-2}},$ 	**Повне відбивання світла.** Мінімальний кут падіння, при якому відбувається повне відбиття світла , називається граничним кутом повного відбивання (α_0). Повне відбивання світла відбувається, коли кут падіння променя, що падає на межу з оптично менш густим середовищем $\geq \alpha_0$.	
	Лінза – оптично прозоре тіло, обмежене сферичними поверхнями (одна з поверхонь може бути плоскою). **Головна оптична вісь** лінзи – це пряма, проведена через центри кривизни (C_1, C_2), обох поверхонь лінзи. **Оптичний центр лінзи** (O) – це точка на головній оптичній осі лінзи, яка має властивість не заломлювати світлові промені, що проходять через цю точку. F **- головний фокус лінзи**.		

	  збиральні лінзи розсіювальні лінзи  		
13	$D = \frac{1}{f}$	**Оптична сила лінзи (D) –** це величина обернена її фокусній відстані f. Одиниця оптичної сили лінзи – **діоптрія** (дптр) - оптична сила лінзи з фокусною відстанню 1 м.	$[D] = 1\,\text{дптр} = 1\,\text{м}^{-1}$.
14	$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d_1}$	**Рівняння спряжених точок (S і S_1) збиральної лінзи.** 	
15	$\Gamma = \frac{H}{h}$, $\Gamma = \frac{d_1}{d} = \frac{f}{d}$	**Лінійне збільшення (Γ) –** відношення лінійних розмірів зображення (h) до лінійних розмірів предмета (H). 	
	Зображення предмета в розсіювальній лінзі завжди уявне, зменшене, пряме.		

Таблиця 5 б

Зображення в тонких збиральних лінзах:

d	d_1	Г	Вид зображення
$d \to \infty$	$d_1 \approx f$	$\Gamma < 1$	Дійсне обернене
$d > 2f$	$2f > d_1 > f$	$\Gamma < 1$	Те саме
$d = 2f$	$d_1 = 2f$	$\Gamma = 1$	– // –
$2f > d > f$	$d_1 > 2f$	$\Gamma > 1$	– // –
$d \approx f$	$d_1 \to \infty$	$\Gamma \to \infty$	– // –
$d < f$	$d_1 < 0$	$\Gamma > 1$	Уявне пряме

Методичні рекомендації щодо розв'язання задач

При розв'язанні більшості задач з оптики важливе значення має правильно побудований рисунок.

У задачах, пов'язаних із заломленням світла на плоскій поверхні поділу двох середовищ, при побудові ходу променя врахуйте, що при переході світла з оптично менш густого середовища в оптично густіше кут заломлення менший від кута падіння, а при переході з оптично густішого середовища у середовище меншої оптичної густини кут заломлення перевищує кут падіння. Якщо ж у другому випадку кут падіння перевищує граничний кут, то промінь не потрапляє в інше середовище – відбувається повне відбивання світла. Побудувавши рисунок, на основі закону заломлення світла складіть рівняння для кожної межі поділу середовищ і додаткові рівняння, відповідно до геометричних міркувань. Потім із цієї системи рівнянь визначте шукану величину.

Заняття 6

Фотометрія. Геометрична оптика

Приклад1. Над центром круглого столу радіусом R = 0,5 м на висоті h = 1,2 м висить електрична лампа, сила світла якої I = 150 кд. Визначити освітленість у центрі і на краю столу.

Дано:

R = 0,5 м

h = 1,2 м

I = 150 кд

E_0 – ? E_1 – ?

Розв'язання:

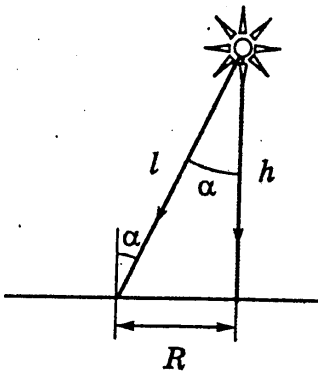
У центрі столу $\alpha = 0° \Rightarrow \cos\alpha = 1$.

Отже,

$$E_0 = \frac{1}{h^2}.$$

На краю стола

$$\cos\alpha = \frac{h}{l}.$$



За теоремою Піфагора:

$$l = \sqrt{h^2 + R^2}\ .$$

Освітленість на краю столу дорівнює:

$$E_1 = \frac{I}{l^2} \cdot \cos\ \alpha \quad \text{(рис.)}$$

Обчислення:

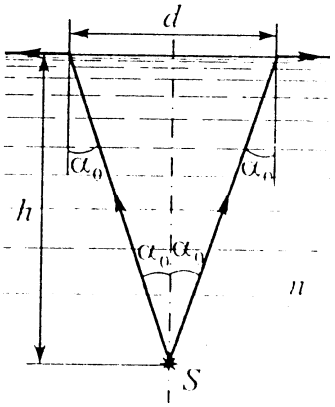
$$[E] = \frac{\text{кд} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \text{лк};$$

$$\{E_0\} = \frac{150}{1{,}44} \approx 104\ ;$$

$$\{E_1\} = \frac{150}{1{,}69} \cdot 0{,}92\ \approx\ 81\ .$$

Відповідь: $E_0 \approx 104$ лк; $E_1 \approx 81$ лк.

Приклад 2. на якій глибині у воді розташували точкове джерело світла *S,* якщо з поверхні води промені виходять у повітря з круга діаметром $d = 20$ м (рис.)? Показник заломлення води $n = 1{,}3$.



Дано:	Розв’язання:
$d = 20$ м $n = 1{,}3$ $h - ?$	Перше середовище (вода) оптично густіше за друге (повітря), тому з води в повітря вийдуть тільки ті промені, кути падіння яких менші від граничного кута α_0. Як видно з рисунка, глибина становить:

$$h = \frac{d}{2\,tg\,\alpha_0} \qquad (1)$$

Для граничного кута справджується співвідношення $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$, де n_1, n_2 – абсолютні показники заломлення відповідно води і повітря. Оскільки $n_1 = n$, $n_2 = 1$, то $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$. Тоді маємо:

$$tg\,\alpha_0 = \frac{\sin \alpha_0}{\sqrt{1-\sin^2 \alpha_0}} = \frac{1}{\sqrt{n^2-1}}.$$

Підставивши це значення у формулу (1), одержимо:

$$h = \frac{d\sqrt{n^2-1}}{2}.$$

Обчислення:

$[h]$ = м;

$$\{h\} = \frac{20\sqrt{1,3^2-1}}{2} = 8,3 .$$

Відповідь: h = 8,3 м.

Приклад 3. За допомогою тонкої лінзи отримують збільшене в $\Gamma = 2$ рази дійсне зображення предмета. Перемістивши лінзу на l = 8 см, отримали уявне зображення такого самого розміру. Визначити фокусну відстань лінзи.

Дано:	СІ	Розв'язання:
$\Gamma = 2$ l = 8 см F – ?	$l = 8 \cdot 10^{-2}$ м	Якщо в першому випадку предмет перебував на відстані d від лінзи, а зображення – на відстані f_1 від неї, то збільшення становило $\Gamma = \frac{f_1}{d}$. Отже, маємо: $f_1 = \Gamma d$. (1)

У другому випадку відстань від предмета до лінзи дорівнює $d - l$, а від зображення до лінзи становить:

$$f_2 = \Gamma (d - l). \quad (2)$$

Застосуємо формулу тонкої лінзи для першого і другого випадків:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_1}, \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{d-l} - \frac{1}{f_2}.$$

Урахувавши вирази (1) і (2), маємо:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\Gamma d}, \quad (3)$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d-l} - \frac{1}{\Gamma (d-l)} \quad (4)$$

З рівняння (3) знайдемо $d = F\left(1+\frac{1}{\Gamma}\right)$. Підставивши це значення у рівняння (4), отримаємо:

$$\frac{1}{F} = \frac{1 - \frac{1}{\Gamma}}{F\left(1 + \frac{1}{\Gamma}\right) - l}.$$

Розв'язавши це рівняння відносно F, знайдемо:

$$F = \frac{l\Gamma}{2}.$$

Обчислення:

$[F] = \text{м}$;

$$\{F\} = \frac{8 \cdot 10^{-2} \cdot 2}{2} = 8 \cdot 10^{-2}.$$

Відповідь: $F = 8 \cdot 10^{-2}$ м.

Аудиторне заняття

1. Для читання нормальним є освітлення в 50 лк. На якій висоті над столом потрібно підвісити лампу в 50 кд, щоб отримати під лампою таке освітлення? Чому дорівнює освітлення на краю стола, якщо ширина стола 1,2 м?

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $h = 1$ м; $E_в = 32$ лк.

2. При переході світлових променів з вакууму в скло кут падіння $\alpha = 50^{\circ}$. Найти кут заломлення γ та швидкість розповсюдження світла в склі. Показник заломлення світла дорівнює 1,6.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $\gamma = 28^{\circ}$; $\upsilon \approx 2 \cdot 10^{8}$ м/с.

3. Фокусна відстань об'єктива проекційного апарата $F = 0{,}25$ м. Яке збільшення діапозитива дає цей апарат, коли екран віддалений від об'єктива на відстань $f = 4$ м.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $\Gamma = 15$.

Домашнє завдання

1. Освітлення вулиці створюють лампи силою світла 110 кд. Лампи висять на стовпах висотою 10 м, відстань між стовпами 40 м. Визначте освітленість поверхні Землі на середині відстані між стовпами.

Дано: Розв'язання:

Відповідь: $E \approx 0{,}2$ лк.

2. Промінь світла, відбитий від плоского дзеркала, падає перпендикулярно на плоский екран, віддалений на $l = 8{,}0$ м від дзеркала. На яку відстань переміститься світловий „зайчик" на екрані, якщо дзеркало повернути на кут $\varphi = 20^{\circ}$ навколо осі, що лежить у площині дзеркала і перпендикулярна до площини, в якій лежать падающий і відбитий промені?

Дано: Розв’язання:

Відповідь: $d = 6{,}7$ м.

3. Фотоапарат має об’єктив (система лінз), оптична сила якого 50 дп. За допомогою цього апарата хочуть зробити фотографію людини висотою 160 см так, щоб зображення вийшло 8 см. На якій відстані від фотоапарата повинна знаходитися людина?

Дано: СІ: Розв’язання:

Відповідь: $d = 4{,}2$ м.

6 ЧАСТКОВА ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ. КВАНТОВА ОПТИКА

Перший постулат спеціальної теорії відносності (принцип відносності Ейнштейна): у будь-яких інерційних системах відліку всі фізичні явища за однакових умов відбуваються однаково.

Другий постулат спеціальної теорії відносності (принцип постійності швидкості світла): швидкість світла у вакуумі однакова в усіх інерційних системах відліку і не залежить від руху джерел і приймачів світла.

Таблиця 6

№	Формула	Назва формули	Назва величин у формулах
1	$l = l_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}$	**Релятивістське скорочення довжини** – зменшення довжини в напрямку руху. l – довжина тіла в системі відліку, відносно якої воно знаходиться в спокої. При $\upsilon \langle\langle c$, маємо $l = l_0$ - класична механіка.	l_0 - власна довжина; $c = 3\cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - швидкість світла у вакуумі (гранична швидкість у Всесвіті).
2	$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}$	**Релятивістське уповільнення часу:** час у рухомій системі відліку. Час, виміряний у системі відліку, де точки системи нерухомі, називається власним часом (t_0). При $\upsilon \langle\langle c$, маємо $t = t_0$ - класична механіка.	
3	$u = \frac{u' + \upsilon}{1+\frac{u'\upsilon}{c^2}}$	**Релятивістський закон додавання швидкостей:** При $u' = c, \upsilon = c, u = c.$ При $u' \langle\langle c, \upsilon \langle\langle c, u = u' + \upsilon$ - класична механіка.	

4	$\vec{p} = m\vec{\upsilon} = \frac{m_0\vec{\upsilon}}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}$	**Залежність імпульсу частинки від швидкості:** імпульс тіла, як і в класичній механіці, пропорційний швидкості.	m_0 - власна маса (маса спокою).
5	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}$	**Релятивістська маса тіла:** При $\upsilon \to c$, $m \to \infty$.	
6	$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$, $\vec{F}\Delta t = \frac{\Delta(m\vec{\upsilon})}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}$	**Другий закон Ньютона** в імпульсній формі такий самий, як у класичній механіці.	
7	$E = mc^2$, $E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}$	**Закон взаємозв'язку маси та енергії (*E*).**	
8	$E_0 = m_0c^2$	**Енергія спокою тіла** (власна енергія тіла) – це його внутрішня енергія.	
9	$\Delta E = \Delta mc^2$, $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$	**Зміні енергії тіла відповідає зміна маси тіла і навпаки.**	
10	$mc^2 = m_0c^2 + E_k$	У релятивістській фізиці **енергія тіла** складається із енергії спокою тіла та його кінетичної енергії. **Масі спокою в 1 а.о.м.** (атомну одиницю маси) відповідає енергія 931 МеВ: 1 а.о.м. – 931 МеВ, 1 а.о.м. = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг, 1 еВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.	

	Світлові кванти **Теорія Планка**: світло випромінюється, поширюється і поглинається окремими порціями, які називаються квантами.		
11	$\varepsilon = h\nu$, $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$с	**Енергія кванта** прямо пропорційна частоті (ν).	h - стала Планка.
12	$p_ф = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$, $p_ф = m_ф c$	**Квант світла** – це частинка світла, яку називають **фотоном**. **Фотон** має певний імпульс ($\overrightarrow{p_ф}$).	$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - швидкість світла у вакуумі; λ - довжина світлової хвилі.
13	$m_ф = \frac{p_ф}{c} = \frac{h\nu}{c^2}$	Фотон не має маси спокою (m_0 =0), а існує, лише рухаючись із швидкістю, яка дорівнює швидкості світла (c). **Маса фотона**.	
	Фотоефект – це явище виривання електронів з металу при освітленні його світлом. Теорія фотоефекту створена А.Ейнштейном.		
14	$h\nu = A_{вих} + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$	**Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:** Енергія фотона витрачається на здійснення роботи виходу електрона з металу ($A_{вих}$) і на надання вилітаючому електрону кінетичної енергії ($\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$).	
15	$h\nu_{\min} = A_{вих}$, $\nu_{\min} = \frac{A_{вих}}{h}$, $\lambda_{\max} = \frac{c}{\nu_{\min}} = \frac{ch}{A_{вих}}$	**Поріг фотоефекту**: **червона межа фотоефекту**. Фотоефект спостерігатиметься, якщо енергія фотона більше роботи виходу. $\nu \geq \nu_{\min}$ ($\lambda \leq \lambda_{\max}$)	

16	$h\nu = E_2 - E_1$	**Формула енергії кванта світла,** випромінюючого або поглинутого атомом.	E_1, E_2 - енергія початкового і кінцевого стану атома.

Заняття 7

Елементи теорії відносності. Квантові властивості світла

Приклад1. Тіло рухається зі сталою швидкістю υ відносно інерціальної системи відліку. При якому значенні υ поздовжні розміри тіла зменшаться в n разів для спостерігача в цій системі? Обчислити υ, якщо n = 1,5. Швидкість світла у вакуумі $c = 3\cdot10^8$ м/с.

Дано:

n = 1,5

$c = 3\cdot10^8$ м/с

υ – ?

Розв'язання:

В інерціальній системі відліку довжина тіла дорівнює:

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}$$

і задано, що $\frac{l_0}{l} = n$, тобто $l_0 = nl$, маємо:

$$l = nl\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}.$$

Звідси:

$$\frac{l}{n^2} = 1-\frac{\upsilon^2}{c^2},\ \upsilon = c\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}.$$

Обчислення:

$[\upsilon] =$ м/с ,

$$\{\upsilon\} = 3\cdot10^8\sqrt{1-\frac{1}{1{,}5^2}} = 2{,}3\cdot10^8.$$

Відповідь: $\upsilon = 2{,}3\cdot10^8$ м/с.

Приклад 2. При якій швидкості кінетична енергія частинки дорівнює її енергії спокою?

Дано: | Розв'язання:

$E_к = E_0$ | $E = E_0 + E_к$, $E = 2\,E_0$.

υ – ? | Отже, $\dfrac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}} = 2 m_0 c^2$, $\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}} = 0{,}5$, $\upsilon = c\sqrt{\dfrac{3}{4}}$.

Відповідь: $\upsilon \approx 0{,}9$ с.

Приклад 3. Який імпульс фотона, енергія якого дорівнює $6\cdot10^{-19}$ Дж?

Дано: | Розв'язання:

$c = 3\cdot10^8$ м/с | Імпульс фотона

$\varepsilon = 6\cdot10^{-19}$ Дж | $$p_ф = m_ф c\,. \qquad (1)$$

F – ? | Масу фотона визначаємо за формулою:

$$m_ф = \frac{h\nu}{c^2}\,. \qquad (2)$$

(випливає з рівнянь: $\varepsilon = h\nu$ і $E = m_ф c^2$).

Підставимо значення маси (2) в (1):

$$p_ф = \frac{h\nu c}{c^2} = \frac{h\nu}{c} = \frac{\varepsilon}{c}\,.$$

Обчислення:

$$[p] = \frac{\text{Дж}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}}{\text{м}} = \text{кг}\frac{\text{м}\cdot\text{с}}{\text{с}^2} = \text{кг}\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{p\} = \frac{6\cdot10^{-19}}{3\cdot10^8} = 2\cdot10^{-27}\,.$$

Відповідь: $p_ф = 2\cdot10^{-27}$ (кг·м)/с.

Приклад 4. З якою найбільшою швидкістю будуть рухатися фотоелектрони при їх звільненні із цезію, якщо він освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі λ = 0,5 мкм? (Роботу виходу із цезію вважати рівною $A_{вих}$ = 1 еВ).

Дано:	СІ:
λ = 0,5 мкм	$\lambda = 0{,}5\cdot10^{-6}$ м
$A_{вих}$ = 1 еВ	$A_{вих} = 1\cdot1{,}6\cdot10^{-19}$ Дж
$m = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг	$m = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг
$h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ Дж·с	$h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ Дж·с
$c = 3\cdot10^8$ м/с	$c = 3\cdot10^8$ м/с
υ_{max} - ?	

Розв’язання:

Спочатку слід установити, відбудеться фотоефект чи ні. Обчислимо енергію кванта і співставимо його з роботою виходу:

$$\varepsilon = \frac{ch}{\lambda},$$

$\varepsilon > A_{вих}$ – фотоефект відбудеться.

Згідно із рівнянням Ейнштейна:

$$h\nu = A_{вих} + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}, \qquad \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = \frac{ch}{\lambda} - A_{вих},$$

звідки

$$\upsilon_{\max} = \sqrt{\frac{2\left(\frac{ch}{\lambda} - A_{вих}\right)}{m}}.$$

Обчислення:

$$[\upsilon_{\max}] = \sqrt{\frac{2\left(\frac{\text{м}\cdot\text{Дж}\cdot\text{с}}{\text{с}\cdot\text{м}} - \text{Дж}\right)}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг}\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot\text{м}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{\upsilon_{\max}\} = \sqrt{\frac{2\left(\frac{3\cdot 10^8 \cdot 6{,}62\cdot 10^{-34}}{0{,}5\cdot 10^{-6}} - 1{,}6\cdot 10^{-19} - \right)}{9{,}1\cdot 10^{-31}}} \approx 7{,}3\cdot 10^5.$$

Відповідь: $\upsilon_{max} \approx 0{,}73$ Мм/с.

Аудиторне заняття

1. Ракета рухається щодо нерухомого спостерігача зі швидкістю $\upsilon = 0{,}99$ м/с (c – швидкість світла у вакуумі). Як зміняться лінійні розміри тіл у ракеті (у напрямку її руху) для нерухомого спостерігача? Як зміниться для цього спостерігача густина речовини в ракеті?

Дано:

Розв’язання:

Відповідь: $l = 0{,}14 l_0$; $\rho = 50{,}2\ \rho_0$.

2. Лазер, що працює в неперервному режимі, випромінює червоне світло з довжиною хвилі λ = 630 нм, розвиваючи потужність P = 40 мВт. Скільки фотонів випромінює лазер за час t = 10 с? Стала Планка $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $N = 1{,}3 \cdot 10^{18}$.

3. Максимальна кінетична енергія електронів, які вилітають з рубідію при опроміненні його ультрафіолетовим випромінюванням, довжина хвилі якого $\lambda = 3{,}17 \cdot 10^{-7}$ м, дорівнює $E_{к\ max} = 2{,}84 \cdot 10^{-19}$ Дж. Визначити роботу виходу електрона і червону межу фотоефекту для рубідію. Стала Планка $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано: Розв’язання:

Відповідь: $A = 3{,}43 \cdot 10^{-19}$ Дж; $\lambda_{max} = 5{,}8 \cdot 10^{-7}$ м.

4. Квант променів енергія якого дорівнює $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-15}$ Дж, при зіткнені з електроном втратив 20% енергії. Визначити частоту й довжину хвилі цих променів після зіткнення.

Дано: Розв’язання:

Відповідь: $\nu = 2{,}4$ ЕГц (1 Ексагерц = 10^{18} Гц); $\lambda = 0{,}125$ нм.

5. До якого виду слід віднести промені, енергія яких дорівнює $4 \cdot 10^{-19}$Дж?

Дано: Розв'язання:

Відповідь: λ = 0,5 мкм. Видиме випромінювання світла.

Домашнє завдання

1. Який час пройде на Землі, якщо в ракеті, що рухається зі швидкістю 0,99·c відносно Землі, пройде 1 рік? $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла у вакуумі.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: 7,1 років.

2. Електрон рухається зі швидкістю 0,8 м/с. Маса спокою електрона $9{,}1\cdot10^{-31}$ кг. Визначити повну і кінетичну енергію електрона.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: E =13,7·10^{-14} Дж; $E_к$ =5,5·10^{-14} Дж.

3. Визначити довжину хвилі променів, кванти яких мають таку ж енергію, що й електрон, що пройшов різницю потенціалів 4,1 В.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $\lambda = 0{,}3\cdot10^{-6}$ м.

4. На платинову пластину падає ультрафіолетове випромінювання. Для припинення фотоефекту потрібно прикласти затримуючу напругу U_1 = 3,7 В. Якщо платинову пластинку замінити пластинкою з іншого металу, то затримуючу напругу треба збільшити до U_2 = 6,0 В. Визначити роботу виходу електрона з цього металу. Робота виходу електрона з платини A_1 = 6,3 еВ (1 еВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $A_2 = 6{,}4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

5. Максимальна кінетична енергія електронів, що вилітають з металу при висвітленні ультрафіолетовим випромінюванням з довжиною хвилі $3{,}17 \cdot 10^{-7}$ м, дорівнює $2{,}84 \cdot 10^{-19}$ Дж. Визначити роботу виходу електронів з металу і червону межу фотоефекту.

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $A_{вих}$ = 2,13 еВ; $\lambda_{max} = 5{,}82 \cdot 10^{-7}$ м.

7 ФІЗИКА АТОМА

Атом складається з ядра, яке займає дуже малий об'єм у порівнянні з об'ємом атома. Навколо нього по певних орбітах рухаються електрони.

Лінійні розміри ядра 10^{-15} – 10^{-14} м, лінійні розміри атома $\approx 10^{-10}$ м.

Маса електронів, які обертаються навколо ядра, значно менша маси ядра, тобто майже вся маса атома зосереджена в ядрі атома.

Ядро кожного атома складається тільки з протонів та нейтронів (нуклонів).

Протон (p) – елементарна частинка з масою спокою трохи більшою 1 а.о.м. ($1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг) і елементарним позитивним зарядом +е ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ кг).

Нейтрон (n) – елементарна частинка з масою спокою трохи більшою маси спокою протона, проте електричний заряд відсутній.

Таблиця 7

№	Формула	Назва формули	Назва величин у формулах
1	$N = A - Z$	**Число нейтронів у ядрі.** A – масове число атома, що дорівнює числу нуклонів у ядрі; Z - число протонів у ядрі (порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва).	
2	${}^{1}_{1}p \to {}^{1}_{0}n + e^{+} + \nu$	При перетворенні **протона** в нейтрон випромінюються **позитрон** (антиелектрон) і **нейтрино**.	ν - нейтрино.
3	${}^{1}_{1}n \to {}^{1}_{0}p + e^{-} + \widetilde{\nu}$	При перетворенні нейтрона в протон випромінюється **електрон** і **антинейтрино** – нейтральна частинка з дуже малою масою спокою.	$\widetilde{\nu}$ - антинейтрино.
4	$m\upsilon r = n\dfrac{h}{2\pi}$, $(m\upsilon r = n\hbar)$, $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$с, $\hbar = 1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$с	**Постулати Бора:** **1.** Електрони в атомах рухаються по орбітах визначеного радіуса, які називаються **стаціонарними** (або дозволеними). **Момент імпульсу** електронів, які рухаються	$n = 1, 2, 3...$ - головне квантове число; h - стала Планка.

		стаціонарними орбітами, кратний величині $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.	
5		**2.** Рух електрона по стаціонарній орбіті не супроводжується випромінюванням або поглинанням енергії.	
6	$h\nu = E_m - E_n$	**3.** При переході з однієї стаціонарної орбіти з енергією E_n на іншу з енергією E_m випромінюється або поглинається квант енергії $h\nu$.	
7	$r_n = \frac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi Z e^2 m}$	**Радіус борівської орбіти** збільшується по мірі віддалення від ядра.	
8	$E = E_n + E_к$, $E_n = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r}$, $E_к = \frac{1}{2}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r}$	**Значення повної енергії електрона** в атомі складається з суми потенціальної енергії притягання електрона до ядра і кінетичної енергії обертання його навколо ядра.	
9	$E = -\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r}$	**Енергійний рівень атома.**	
10	$E = m_{ядра}c^2$	**Енергія ядра.**	
11	$m_{ядра} = = Zm_p + Nm_n - m_{ядра}$	**Дефект маси ядра** дорівнює різниці між сумою мас спокою нуклонів у вільному стані і масою спокою ядра.	
12	$E_{зв'язку} = \Delta m_{ядра}c^2$	**Енергія зв'язку ядра –** це енергія, яка потрібна, щоб розщепити ядро на окремі нуклони, або це енергія, яка виділиться при утворенні ядра з вільних нуклонів.	$[E] = 1$ МеВ = 10^6 еВ.

13	1 МеВ = 10^6 еВ = $=10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж= $= 1{,}6 \cdot 10^{-13}$ Дж	**Енергія зв'язку ядра** вимірюється в МеВ	
14	1 еВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж	**Електрон-вольт (еВ)** – одиниця енергії. 1 еВ дорівнює енергії, яку набуває частинка, що має елементарний електричний заряд (заряд, що дорівнює заряду електрона), при проходженні прискорюючої різниці потенціалів 1 В.	
15	1 а.о.м. = $=1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг	Атомна одиниця маси (а.о.м.) – це маса, що дорівнює 1/12 маси атома ізотопу вуглецю ${}^{12}_{6}C$.	
16	(1 а.о.м.) c^2 = = 931,5 МеВ	Енергетичний еквівалент атомної одиниці маси.	
17	$E_{зв'язку} = 931{,}5\,[Zm_p + + (A-Z)m_n - m_{ядра}]$	Енергія зв'язку атомного ядра в мегаелектронвольтах, де маси протона m_p, нейтрона m_n і ядра $m_{ядра}$ виражені в а.о.м.	
18	$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$, $N = N_0 e^{-\lambda t}$, $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$	**Закон радіоактивного розпаду.** N - кількість наявних радіоактивних ядер у момент часу t; N_0 - кількість ядер у початковий момент часу $t_0 = 0$;	T – період піврозпаду; e – основа натуральних логарифмів; λ - стала радіоактивного розпаду для даного виду ядер.

19	$^{A}_{z}X \to {}^{A-4}_{z-2}Y + {}^{4}_{2}He$, $^{A}_{z}X \to {}^{A}_{z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$	**Правила зміщення при радіоактивних розпадах**: - при α - розпаді; - при β - розпаді. $^{4}_{2}He$ - ядро гелію (α - частинка); $^{0}_{-1}e$ - позначення електрона.	X – символ материнського ядра; Y - символ дочірнього ядра.
20	$Q = c^2[(m_1 + m_2) - -(m_3 + m_4)]$	**Енергія (енергетичний вихід) ядерної реакції.** m_1, m_2 - маси ядра-мішені та бомбардуючої частинки; $m_3 + m_4$ - сума мас продуктів реакції (ядер і частинок); якщо $m_1 + m_2 > m_3 + m_4$ - то енергія Q виділяється; якщо $m_1 + m_2 < m_3 + m_4$ - Q поглинається.	

Заняття 8

Атом та атомне ядро

Приклад 1. Визначити кількість протонів і нейронів, що містяться в ядрах трьох ізотопів магнію: $^{24}_{12}Mg$, $^{25}_{12}Mg$, $^{26}_{12}Mg$

Дано:

$^{24}_{12}Mg$
$^{25}_{12}Mg$
$^{26}_{12}Mg$
Z – ?

Розв'язання:

Нейтральний атом і його ядро позначають одним і тим самим символом:

$$^{A}_{Z}X\ , \qquad (1)$$

де X – позначення елемента; Z – кількість протонів у ядрі (порядковий номер елемента в періодичній системі Д.І. Менделєєва); A – масове число (сума кількості протонів у ядрі, що дорівнює заокругленій до найближчого цілого числа масі атома, вираженій в а.о.м.).

Кількість нейтронів у ядрі визначають за формулою:

$$N = A - Z. \qquad (2)$$

На основі формул (1) і (2) знаходимо, що ядро $^{24}_{12}Mg$ містить 12 протонів і 24 – 12 = 12 нейтронів, ядро $^{25}_{12}Mg$ – 12 протонів і 25 – 12 = 13 нейтронів і ядро $^{26}_{12}Mg$ – 12 протонів і 26 – 12 = 14 нейтронів.

Приклад 2. Знайти енергію зв'язку ядра Дейтерію ($^{2}_{1}H$) в МеВ (Дж).

Дано:

$m_{0\left(\frac{2}{1}H\right)}$ = 2,01410 а.о.м.
m_e = 0,00055 а.о.м.
m_p = 1,00728 а.о.м.
m_n = 1,00866 а.о.м.
Z = 1
N = 1

$E_{зв}$ – ?

Розв'язання:

Кількість протонів в ядрі Z дорівнює порядковому номеру елемента в таблиці Менделєєва. Щоб визначити кількість нейтронів N в ядрі, треба із атомної маси відняти порядковий номер елемента.

В даному випадку Z = 1, N = 2 – 1 = 1. Для визначення енергії зв'язку ядра атома можна скласти таку пропорцію

1 а.о.м. - 931МеВ,
Δm - $E_{зв'\ язку}$,

тобто

$$E_{зв'\ язку} = \Delta m\ 931\ \text{МеВ/а.о.м.}$$

Дефект маси ядра можна розрахувати як різницю сумарної маси всіх протонів і нейтронів, які входять до складу ядра, і маси ядра в а.о.м.

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_я.$$

Масу ядра можна розрахувати як різницю маси атома і маси всіх електронів, що входять до складу атома в а.о.м.

$$M_я = m_{атома} - Zm_e.$$

Тобто

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - (m_{атома} - Zm_e).$$

Обчислення:

$[\Delta m]$ = а.о.м.;
$[E_{зв'\ язку}]$ = МеВ; 1 МеВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{6}$ Дж = $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ Дж;
$\{\Delta m\}$ = 1·1,00728 + 1·1,00866 – (2,01410 - 1·0,00055) = 2,01594 – 2,01355 = = 0,00239;
$\{E_{зв'\ язку}\} = 0{,}00239 \cdot 931 = 2{,}22509$;
$\{E_{зв'\ язку}\} = 2{,}22509 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13} = 3{,}56 \cdot 10^{-13}$.

Відповідь: $E_{зв} = 3{,}56 \cdot 10^{-13}$ Дж.

Приклад 3. Ядро $^{232}_{90}Th$ зазнає 4 α-розпади і 2 β-розпади. Ядро якого атома утворюється?

Дано: Розв'язання:

Після 4 α - розпадів ядро торію покинуть 4 $^{4}_{2}He$, тобто 8 протонів і 8 нейтронів (16 нуклонів).

Після 2 β - розпадів 2 нейтрони перетворюються у 2 протони, тобто число нуклонів не змінюється, а число протонів збільшується на 2.

Таким чином, утворюється ядро із Z = 84 і масовим числом A = 216.

За таблицею Менделєєва визначаємо, що це ядро ізотопу Полонію $^{216}_{84}P_0$.

Відповідь: ядро $^{216}_{84}P_0$.

Приклад 4. Визначити, скільки атомів розпадеться за інтервал часу t = 20 діб у m = 1 мг радіоактивного ізотопу цезію $^{137}_{55}Cs$, період піврозпавду якого T = 30 діб.

Дано:	СІ	Розв'язання:
m = 1 мГ t = 12 діб T = 30 діб $M = 137\cdot10^{-3}$ кг/моль $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$ ΔN - ?	$m = 1\cdot10^{-3}$ кг	За час c розпадеться така кількість атомів: $\Delta N = N_0 - N$, (1) де N_0 – кількість наявних атомів у початковий момент часу t_0 = 0; N – кількість атомів, які не розпалися через інтервал часу t. Згідно із

законом радіоактивного розпаду, маємо:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{1}{T}}. \qquad (2)$$

Початкова кількість атомів становить:

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A, \qquad (3)$$

де m – маса ізотопу; M – його молярна маса ($M = 137 \cdot 10^{-3}$ кг/моль); N_A – стала Авогадро.

Підставивши вирази (2) і (3) в (1), отримаємо:

$$\Delta N = N_0\left(1 - 2^{-\frac{1}{T}}\right) = \frac{m}{M} N_A\left(1 - 2^{-\frac{1}{T}}\right).$$

Обчислення:

$$[\Delta N] = \frac{\text{кг}\cdot\text{моль}}{\text{кг}\cdot\text{моль}} = 1;$$

$$\{\Delta N\} = \frac{10^{-3}}{137 \cdot 10^{-3}} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \left(1 - 2^{\frac{1}{30}} \right) = 2 \cdot 10^{19}$$

Відповідь: $\Delta N = 2 \cdot 10^{19}$.

Аудиторне заняття

1. В перших водневих бомбах здійснювалась термоядерна реакція синтезу легких ядер Гідрогену ${}^{2}_{1}D + {}^{3}_{1}T \to {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$. Яка енергія виділилась при такій реакції?

Дано:

Розв'язання:

Відповідь: ΔE = 18 МеВ.

2. Під час переходу електрона в атомі водню з третьої стаціонарної орбіти на другу атом випромінює фотон, енергія якого відповідає довжині хвилі λ = 652 нм (червона лінія в спектрі). На скільки при цьому зменшилася енергія атома водню?

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $\Delta E = 3 \cdot 10^{19}$ Дж.

3. Визначити ККД двигунів атомного криголама, якщо їхня потужність $P = 3{,}2 \cdot 10^4$ кВт, а ядерний реактор витрачає $m = 200$ г урану-235 упродовж доби. В результаті поділу одного ядра атома урану виділяється енергія $E_0 = 200$ МеВ.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: $\eta = 17\%$.

Домашнє завдання

1. Визначити енергію зв'язку ядра літію $^{7}_{3}Li$. Маса атома $^{7}_{3}Li$ m_a = 7,01601 а.о.м., маси атома водню $^{1}_{1}H$ і нейтрона – відповідно $m_{1}_{\overline{1}H}$ = 1,00783 а.о.м. і $m_n = 1{,}00867$ а.о.м.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: E_m = 32,96 МеВ.

2. Визначити енергію ядерної реакції $^{9}_{4}Be + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n$. Маси ядер $^{9}_{4}B$, $^{2}_{1}H$, $^{10}_{5}B$ відповідно дорівнюють 9,01219 а.о.м., 2,01410 а.о.м. і 10,01294 а.о.м., маса нейтрона m_n = 1,00867 а.о.м.

Дано: СІ: Розв'язання:

Відповідь: Q = 4,359 МеВ. Отже, отримали: $Q > 0$. Це означає, що енергія виділяється.

3. Період піврозпаду одного з ізотопів йоду T = 8,1 доби. Через який інтервал часу кількість атомів цієї речовини зменшиться в n = 100 разів порівняно з їхньою початковою кількістю?

Дано: | СІ: | Розв'язання:

Відповідь: $t = \dfrac{T \ln n}{\ln 2} = 54$ доби.

Перелік навчальної літератури

1. Гончаренко С.У. Фізика, 11 кл.- К.: " Освіта ", 2005.- 319 с.
2. Гончаренко С.У. Збірник задач і запитань з фізики, 9 – 11 кл.: Посібник.- К.: " Освіта ", 2004.- 384 с.
3. Коршак Є.В., Ляшенко О.І., Савченко В.Ф. Фізика, 11 кл.: Підручник.– К.: Ірпень: ВТФ "Перун", 2005. – 200 с.
4. Савченко М.О. Розв'язування задач з фізики: Навчальний посібник / Пер. з рос. ПФ. Пістуна. - Тернопіль: Навчальна книга - Богдан, 2004. - 504 с.
5. Соколович Ю.А., Богданова Г.С. Фізика: Довідник з прикладами розв'язування задач . – Х.: Веста: Видавництво «Ранок», 2006. – 464 с.
6. Римкевич А.П., Збірник задач з фізики для 9-11 кл. середньої школи. 12 - те вид.- Х.: ББК, 2006. - 208 с.

Додатки

Грецький і латинський алфавіти

Буква	Назва букви	Буква	Назва букви
Грецький алфавіт			
Αα	альфа	Νν	ню
Ββ	бета	Ξξ	ксі
Γγ	гамма	Οο	омікрон
Δδ	дельта	Ππ	пі
Εε	епсилон	Ρρ	ро
Ζζ	дзета	Σσ	сиґма
Ηη	ета	Ττ	тау
Θϑ	тета	Υυ	іпсилон
Ιι	йота	Φφ	фі
Κχ	каппа	Χχ	хі
Λλ	ламбда	Ψψ	псі
Μμ	мю	Ωω	омега
Латинський алфавіт			
Aa	а	*Nn*	ен
Bb	бе	*Oo*	о
Cc	це	*Pp*	пе
Dd	де	*Qq*	ку
Ee	е	*Rr*	ер
Ff	еф	*Ss*	ес
Gg	ґе, же	*Tt*	те
Hh	га, аш	*Uu*	у
Ii	і	*Vv*	ве
Jj	йот, жи	*Ww*	дубль-ве
Kk	ка	*Xx*	ікс
Ll	ель	*Yy*	ігрек
Mm	ем	*Zz*	зет (зета)

Позначення фізичних величин

Шлях (довжина)	l
Висота	h
Переміщення	$\vec{S}$
Координата	x, y, z
Площа	S
Об'єм	V
Час	t, τ
Маса	m, M
Вага	$\vec{P}$
Тиск	p
Імпульс	$\vec{p}$
Сила	$\vec{F}, \vec{N}, \vec{T}$
Момент сили	$\vec{M}$
Момент імпульсу	$\vec{L}$
Момент інерції	I
Швидкість	$\vec{v}, \vec{u}$
Швидкість кутова	$\vec{\omega}$
Прискорення	$\vec{a}$
Прискорення вільного падіння	$\vec{g}$
Прискорення кутове	$\vec{\varepsilon}$
Період коливань	T
Частота коливань	ν, f
Частота обертання	n
Частота кутова	ω
Фаза коливань (зсув фаз)	φ
Кількість речовини	ν
Кількість частинок	N
Концентрація частинок	n
Молярна маса	M
Термодинамічна температура	T
Температура за міжнародною шкалою	t, θ
Робота	A
Потужність	N, P
Енергія	E, W
Внутрішня енергія	U
Густина енергії	ω
Кількість теплоти	Q
Питома теплоємність	c
Теплоємність тіла	C
Питома теплота плавлення	λ

Питома теплота пароутворення L
Питома теплота згоряння . . . . . q
Температурний коефіцієнт . . . . . α
Поверхневий натяг . . . . . σ
Механічна напруга . . . . . σ
Жорсткість . . . . . k
Модуль пружності . . . . . E
Коефіцієнт тертя . . . . . μ
В'язкість . . . . . η
Абсолютна вологість . . . . . p, ρ
Відносна вологість . . . . . φ
Валентність . . . . . n
Коефіцієнт корисної дії . . . . . к.к.д., η
Плоский кут . . . . . α, φ
Тілесний кут . . . . . Ω
Електричний заряд . . . . . q, Q
Густина електричного заряду . . . . . σ
Напруженість електричного поля . . . . . $\vec{E}$
Потенціал електричного поля . . . . . φ
Різниця потенціалів . . . . . $\varphi_1 - \varphi_2$
Сила струму I
Густина струму . . . . . $\vec{j}$
Електричний опір . . . . . r, R
Напруга . . . . . U
Питомий опір . . . . . ρ
Питома електропровідність . . . . . γ
Ємнісний опір . . . . . X_C
Індуктивний опір . . . . . X_L
Повний опір змінному струму . . . . . Z
Електрорушійна сила . . . . . $\mathscr{E}$
Електрична ємність C
Індуктивність L
Магнітна індукція . . . . . $\vec{B}$
Магнітний потік . . . . . Φ
Магнітна проникність . . . . . μ
Діелектрична проникність . . . . . ε
Інтенсивність I
Яскравість . . . . . B
Світловий потік . . . . . Φ
Освітленість . . . . . E
Сила світла I
Лінійне збільшення . . . . . Γ
Кутове збільшення . . . . . β

Основні одиниці СІ

Найменування величини	Одиниця		
	Найменування	Позначення	Визначення
1	2	3	4
Довжина	метр	м	Метр дорівнює довжині 1650763,73 хвилі у вакуумі випромінювання, відповідного переходу між рівнями $2p_{10}$ і $5d_5$ атома криптону-86
Маса	кілограм	кг	Кілограм дорівнює масі міжнародного еталону кілограма
Час	секунда	с	Секунда дорівнює 9 192 631 770 періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133
Сила електричного струму	ампер	А	Ампер дорівнює силі незмінного струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і мізерно малої площі перерізу, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликав би на ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, що дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$ Н
Температура	Кельвін	К	Кельвін дорівнює 1/273,16 частини термодинамічної температури тройної точки води
Кількість речовини	Моль	моль	Моль дорівнює кількості речовини системи, яка має стільки ж структурних елементів (атоми, молекули, іони та ін. частинки), скільки є атомів у вуглеці-12 масою 0,012 кг
Сила світла	Кандела	кд	Кандела дорівнює силі світла, яке випускається з поверхні площею 1/600 000 м^2 повного випромінювання в перпендикулярному напрямку при температурі випромінювача, що дорівнює температурі затвердіння платини при тиску 101 325 Па

Додаткові одиниці СІ

Найменування величини	Визначальне рівняння	Одиниця		
		Найменування	Позначення	Визначення
Плоский кут	$\varphi = \frac{l}{R}$	радіан	рад	Радіан дорівнює куту між двома радіусами кола, довжина дуги між якими дорівнює радіусу
Тілесний кут	$\Omega = \frac{S}{R^2}$	стерадіан	ср	Стерадіан дорівнює тілесному куту з вершиною в центрі сфери, який вирізує на поверхні сфери площину, що дорівнює площі квадрата зі стороною, яка дорівнює радіусу сфери

Похідні одиниці

Найменування величини	Визначальне рівняння	Одиниця	
		Найменування	Позначення
1	2	3	4
Густина	$\rho = \frac{m}{V}$	кілограм на кубічний метр	$кг/м^3$
Тиск	$p = \frac{F}{S}$	паскаль	Па
Імпульс тіла (кількість руху)	$p = mv$	кілограм-метр на секунду	кг·м/с
Імпульс сили	$F\Delta t$	ньютон-секунда	Н·с
Робота	$A = F \cdot S\cos\alpha$	джоуль	Дж
Потужність	$N = \frac{A}{t}$	ватт	Вт
Момент сили	$M = Fd$	ньютон-метр	Н·м
Механічна напруга	$\sigma = \frac{F}{S}$	паскаль	Па
Модуль Юнга	$E = \frac{\sigma}{\lvert\varepsilon\rvert}$	паскаль	Па
Жорсткість	$k = \frac{F}{\Delta l}$	ньютон на метр	Н/м
Площа	$S = a^2$	квадратний метр	$м^2$

1	2	3	4
Об'єм	$V = a^3$	кубічний метр	$м^3$
Швидкість	$\upsilon = \frac{S}{t}$	метр за секунду	м/с
Прискорення	$a = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t}$	метр за секунду в квадраті	$м/с^2$
Частота періодичного процесу коливань (випромінювання)	$\nu = \frac{1}{T}$	герц	Гц
Частота обертання	$n = \frac{1}{T}$	секунда в мінус першому ступені	$с^{-1}$
Кутова швидкість	$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$	радіан за секунду	рад/с
Кутове прискорення	$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$	радіан на секунду в квадраті	$рад/с^2$
Сила	$F = ma$	ньютон	Н
Молярна маса	$M = \frac{m}{\nu}$	кілограм на моль	кг/моль
Температурний коефіцієнт лінійного, об'ємного розширення і тиску	$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$ $\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$ $\beta = \frac{\Delta p}{p_0 \Delta T}$	кельвін у мінус першому ступені	$К^{-1}$
Кількість теплоти	$Q = A' + \Delta U$	джоуль	Дж
Питома теплота згоряння палива	$q = \frac{Q}{m}$	джоуль на кілограм	Дж/кг
Теплоємність системи	$C = \frac{Q}{\Delta T}$	джоуль на кельвін	Дж/К
Питома теплоємність	$c = \frac{Q}{m\Delta T}$	джоуль на кілограм-кельвін	$\frac{Дж}{кг \cdot К}$
Поверхневий натяг	$\alpha = \frac{F}{l}$	ньютон на метр	Н/м
Кількість електрики, електричний заряд	$\Delta q = I\Delta t$	кулон	Кл

1	2	3	4
Діелектрична проникність	$\varepsilon = \frac{F_0}{F}$	величина безрозмірна	
Електрична стала	$\varepsilon_0 = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon F r^2}$	фарад на метр	Ф/м
Напруженість електричного поля	$E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta d}$	вольт на метр	В/м
Електричний потенціал	$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q}$	вольт	В
Електрична ємність	$C = \frac{q}{\Delta\varphi}$	фарад	Ф
Електрична напруга	$U = \frac{A}{q}$	вольт	В
Електричний опір	$R = \frac{U}{I}$	ом	Ом
Питомий опір	$\rho = \frac{RS}{l}$	ом-метр	Ом · м
Магнітний потік	$\Phi = B \cdot S\cos\alpha$	вебер	Вб
Індуктивність, взаємна індуктивність	$L = \frac{\Phi}{I}$	генрі	Гн
Температурний коефіцієнт опору	$\alpha = \frac{\Delta\rho}{\rho_0 T}$	кельвін у мінус першому ступені	$К^{-1}$
Електрохімічний еквівалент	$k = \frac{m}{q}$	кілограм на кулон	кг/Кл
Магнітний момент електричного струму	$p_m = IS$	ампер на квадратний метр	$А \cdot м^2$
Магнітна індукція	$B = \frac{M_{\max}}{IS}$	тесла	Тл
Відносна магнітна проникність	$\mu = \frac{B}{B_0}$	величина безрозмірна	
Магнітна стала	$\mu_0 = \mu_a/\mu$	генрі на метр	Гн/м
Період	T	секунда	с
Циклічна частота	$\omega = 2\pi\nu$	секунда в мінус першому ступені	$с^{-1}$

1	2	3	4
Фаза коливання	$\varphi = \omega t + \varphi_0$	радіан	рад
Інтенсивність хвиль	$I = \frac{\Phi}{S}$	ватт на квадратний метр	$Вт/м^2$
Інтенсивність звука	$I = \frac{W}{St}$	ватт на квадратний метр	$Вт/м^2$
Світловий потік	$\Delta\Phi = I\Delta\Omega$	люмен	лм
Освітленість	$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$	люмен на квадратний метр	$лм/м^2$
Яскравість	$B = \frac{I}{S\cos\varphi}$	кандела на квадратний метр	$кд/м^2$

Префікси для утворення десяткових часткових і кратних одиниць

Найменування приставки	Відношення до основної одиниці	Позначення	
		українське	міжнародне
атто	10^{-18}	а	a
фемто	10^{-15}	ф	f
піко	10^{-12}	п	p
нано	10^{-9}	н	n
мікро	10^{-6}	мк	μ
міллі	10^{-3}	м	m
санти	10^{-2}	с	c
деци	10^{-1}	д	d
дека	10	да	da
гекто	10^{2}	г	n
кіло	10^{3}	к	K
мега	10^{6}	М	M
гіга	10^{9}	Г	G
тера	10^{13}	Т	T
пета	10^{15}	П	P
екса	10^{18}	Е	E

Фізичні сталі

Гравітаційна стала	$G = 6,672 \cdot 10^{-11}$ Н $\cdot$ м^2 / кг^2
Стала Авогадро	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Універсальна газова стала	$R = 8,31$ Дж/(моль $\cdot$ К)
Стала Больцмана	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Елементарний електричний заряд	$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Електрична стала	$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнітна стала	$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м
Швидкість світла у вакуумі	$c = 299792458$ м/с $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с
Стала Планка	$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с
Атомна одиниця маси	1 а.о.м. $= 1,6605 \cdot 10^{-27}$ кг
Співвідношення маси і енергії	1 а.о.м. $\cdot c^2 = 931,5$ МеВ
Маса спокою електрона	$m_0 = 9,1095 \cdot 10^{-31}$ кг
Стала Фарадея	$F = 9,648456 \cdot 10^4$ Кл/моль
Молярний об'єм ідеального газу за нормальних умов	$V = 22,41383 \cdot 10^{-3}$ м^3/моль
Маса спокою протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг
Маса спокою нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг
Маса Землі	$M_З \approx 6 \cdot 10^{24}$ кг
Радіус Землі	$R_З \approx 6,4 \cdot 10^6$ м

Деякі астрономічні величини

Радіус Землі	середній	6 371 000 м
	полярний	6 356 912 м
	екваторіальний	6 378 388 м
Маса Землі		$6 \cdot 10^{24}$ кг
Середня густина Землі		$5,5 \cdot 10^3$ кг/м^3
Середня відстань від Землі до Сонця		$1,5 \cdot 10^{11}$ м
Радіус Сонця		$6,95 \cdot 10^8$ м
Маса Сонця		$1,97 \cdot 10^{30}$ кг
Радіус Місяця		$1,735 \cdot 10^6$ м
Маса Місяця		$7,35 \cdot 10^{22}$ кг
Середня відстань від Місяця до Землі		$3,84 \cdot 10^8$ м
Кутова швидкість обертання Землі навколо своєї осі		$7,272 \cdot 10^{-5}$ с$^{-1}$

РОБОЧИЙ ЗОШИТ

з дисципліни «ФІЗИКА»
для слухачів довузівської підготовки
частина 3

Укладачі:
доцент кафедри довузівської підготовки Расторгуєва Т. Є.,
викладач кафедри довузівської підготовки Галич Є. А.,
методист кафедри довузівської підготовки Шостак Н.А.

Підп. по друку Формат Папір
Умовн. друк. арк. Тираж Зам. №

Надруковано з готового оригінал – макета

Одеський державний екологічний університет
65114, Одеса, вул. Львівська, 15