

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**ДИДАКТИЧНІ МАТЕРІАЛИ**  
**ДО ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ З КУРСУ «ФІЗИКА»**  
**ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ПРИСКОРЕНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ**

**Частина 2. Електрика. Магнетизм. Оптика.**

**Запоріжжя**  
**2017**

Дидактичні матеріали до лекційних занять з курсу «Фізика» для студентів денної прискореної форми навчання. Частина 2. Електрика. Магнетизм. Оптика / Укладач: О.А. Лозовенко. — Запоріжжя, ЗНТУ, 2017. — 74 с.

Укладач: О.А. Лозовенко, доцент, к.пед.н.

Рецензент: О.І. Іваницький, професор, д.пед.н.

Відповідальний

за випуск: О.А. Лозовенко, доцент, к.пед.н.

Затверджено на засіданні кафедри фізики  
Протокол № 7 від 20.06.2017

Рекомендовано до видання НМК  
електротехнічного факультету  
Протокол №1 від 31.08.2017

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	5
<b>Лекція 1. Заряди та електричні поля</b> .....	6
Питання, що розглядаються.....	6
Рекомендовані для читання матеріали.....	6
Обов'язкове домашнє завдання №1.....	7
<b>Лекція 2. Енергія електричного поля</b> .....	11
Питання, що розглядаються.....	11
Рекомендовані для читання матеріали.....	11
Обов'язкове домашнє завдання №2.....	12
<b>Лекція 3. Електрична ємність</b> .....	16
Питання, що розглядаються.....	16
Рекомендовані для читання матеріали.....	16
Обов'язкове домашнє завдання №3.....	17
<b>Лекція 4. Електричний струм</b> .....	21
Питання, що розглядаються.....	21
Рекомендовані для читання матеріали.....	21
Обов'язкове домашнє завдання №4.....	22
<b>Лекція 5. Магнітні сили</b> .....	26
Питання, що розглядаються.....	26
Рекомендовані для читання матеріали.....	26
Обов'язкове домашнє завдання №5.....	27
<b>Лекція 6. Магнітне поле</b> .....	31
Питання, що розглядаються.....	31
Рекомендовані для читання матеріали.....	31
Обов'язкове домашнє завдання №6.....	32
<b>Лекція 7. Електромагнітна індукція</b> .....	36
Питання, що розглядаються.....	36
Рекомендовані для читання матеріали.....	36
Обов'язкове домашнє завдання №7.....	37
<b>Лекція 8. Магнітна енергія</b> .....	41
Питання, що розглядаються.....	41
Рекомендовані для читання матеріали.....	41
Слайд із запитаннями для відпрацювання необхідних	
навичок.....	42
Обов'язкове домашнє завдання №8.....	43
<b>Лекція 9. Змінний струм</b> .....	47
Питання, що розглядаються.....	47
Рекомендовані для читання матеріали.....	47

Слайди із запитаннями для відпрацювання необхідних навичок.....	48
Обов'язкове домашнє завдання №9.....	50
<b><i>Лекція 10. Електромагнітні хвилі.....</i></b>	<b>54</b>
Питання, що розглядаються.....	54
Рекомендовані для читання матеріали.....	54
Обов'язкове домашнє завдання №10.....	55
<b><i>Лекція 11. Формування зображень .....</i></b>	<b>59</b>
Питання, що розглядаються.....	59
Рекомендовані для читання матеріали.....	59
Обов'язкове домашнє завдання №11.....	60
<b><i>Лекція 12. Інтерференція світлових хвиль .....</i></b>	<b>64</b>
Питання, що розглядаються.....	64
Рекомендовані для читання матеріали.....	64
Обов'язкове домашнє завдання №12.....	65
<b><i>Лекція 13. Дифракція та поляризація світла.....</i></b>	<b>69</b>
Питання, що розглядаються.....	69
Рекомендовані для читання матеріали.....	69
Обов'язкове домашнє завдання №13.....	70
<b>Список рекомендованої літератури.....</b>	<b>74</b>

## ВСТУП

Головною метою даного навчального посібника є надання студентам максимально докладної інформації щодо організації їхньої самостійної роботи протягом вивчення другої частини курсу фізики, що включає електрику, магнетизм та оптику. Посібник містить декілька типів дидактичних матеріалів, робота з якими є для студентів вкрай необхідною для засвоєння принаймні основного теоретичного матеріалу курсу.

До кожної лекції надається список *рекомендованих для читання матеріалів*: як правило, це параграфи навчальних посібників та підручників, які нескладно отримати в електронному або паперовому варіанті, звернувшись до бібліотеки університету. У деяких випадках після переліку матеріалів наведені так звані *запитання для роздумів* — відповіді на них не такі очевидні, як може зватися на перший погляд. Отже, раджу подумати.

Також до деяких лекцій у посібнику наведені *слайди із запитаннями для відпрацювання необхідних навичок*. Звертаємо увагу на те, що зазвичай у підручниках не виокремлюють ту частину теоретичного матеріалу, яка могла б бути відтворена математично підготовленим студентом власноруч, якщо б ця частина якимсь чином зникла з книги. Оскільки навички самостійного одержання логіко-математичних наслідків з основ теорії мають доволі універсальний характер і можуть застосовуватися у найрізноманітніших випадках, робота з цими слайдами є дуже важливою.

Звертаємо увагу на наявність тринадцяти *обов'язкових домашніх завдань*, тексти яких містяться у посібнику після матеріалів до кожного лекційного заняття. Передбачається, що студент самостійно роздрукує бланк завдання, виконує його та здає викладачу.

Якщо читачі помітять у даному посібнику помилки або інші недоліки, то буде більш ніж доречним повідомити про це електронною поштою ([loks@zntu.edu.ua](mailto:loks@zntu.edu.ua)).

## ЛЕКЦІЯ 1. ЗАРЯДИ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ПОЛЯ

### *Питання, що розглядаються*

- Типи взаємодій у природі.
- Історичні відомості про розвиток електродинаміки.
- Електричний заряд.
- Закон збереження заряду.
- Закон Кулона. Принцип суперпозиції сил.
- Напруженість поля. Силкові лінії поля. Принцип суперпозиції.
- Диполь.
- Потік вектора напруженості. Електростатична теорема Гаусса.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).
  - I.1. Елементарні поняття електростатики.
  - I.2. Закон Кулона.
  - I.3. Електричне поле та його характеристики.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).
  - §1. Електричний заряд.
  - §2. Закон Кулона.
  - §5. Електричне поле. Напруженість поля.
  - §13. Теорема Гаусса.
  - §14. Розрахунок полів за допомогою теореми Гаусса.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).
  - §1.1. Електричний заряд.
  - §1.2. Взаємодія електричних зарядів. Закон Кулона.
  - §1.4. Електричне поле.
  - §1.5. Напруженість електричного поля.
  - §1.6. Електричний диполь.
  - §1.7. Теорема Гаусса для електростатичних полів та її застосування.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №1

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група

1. Якщо вважати, що елементарний заряд дорівнює  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, то який з наведених зарядів може мати частинка? Запишіть усі правильні варіанти.

$-3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $+8,2 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $-8,0 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $-1,2 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $-0,8 \cdot 10^{-19}$  Кл

Відповідь: \_\_\_\_\_

*Запишіть відповідні формули:*

2. Який вираз є математичним записом закону збереження електричного заряду?

Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Який вираз є математичним записом закону Кулона?

Відповідь: \_\_\_\_\_

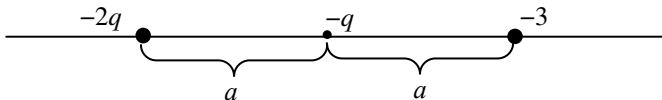
4. Як зміниться сила кулонівської взаємодії двох невеликих заряджених кульок внаслідок збільшення відстані між ними у 2 рази та зменшення заряду однієї з них у 2 рази?

Відповідь: *зменшиться / збільшиться* у \_\_\_\_\_ *рази(ів) / не зміниться* (підкресліть!).

5. Дві однакових металевих кульки мають заряди  $+q$  і  $+3q$ . Як зміниться сила кулонівської взаємодії цих кульок, якщо вони спочатку доторкнуться одна одної, а потім їх розведуть на початкову відстань?

Відповідь: *зменшиться / збільшиться* у \_\_\_\_\_ *рази(ів) / не зміниться*.

6. Який напрям та модуль має результуюча кулонівська сила, що діє на негативний точковий заряд  $-q$  (див. рис.)?

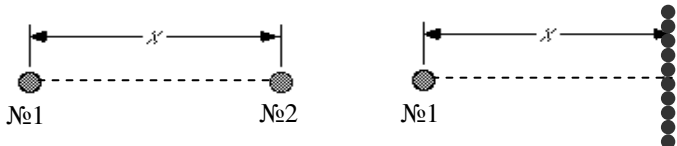


Відповідь: *результуюча кулонівська сила спрямована*

*праворуч / ліворуч, її модуль дорівнює* \_\_\_\_\_.

Оберіть правильну відповідь:

7. Обидві кулі мали заряд  $Q$ . Потім кулю №2 розділили на десять маленьких однакових куль із зарядом  $Q/10$  кожна і розташували їх так, як показано на рисунку (створили “стрижень”). Порівняйте силу дії кулі №2 і силу дії “стрижня” на кулю №1.



А) Сила дії “стрижня” більша.

Б) Сила дії кулі №2 більша.

В) “Стержень” і куля №2 діють однаково.

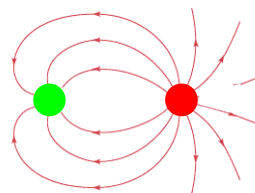
Г) Неможливо визначити.

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Який знак мають показані на рисунку точкові заряди?

А)  $\oplus$  і  $\ominus$ . Б)  $\ominus$  і  $\oplus$ . В)  $\ominus$  і  $\ominus$ . Г)  $\oplus$  і  $\oplus$

Д) Неможливо визначити.



Відповідь: \_\_\_\_\_

9. Який з зарядів (див рис. до попереднього завдання) більший за модулем?

А) Правий.

Б) Лівий.

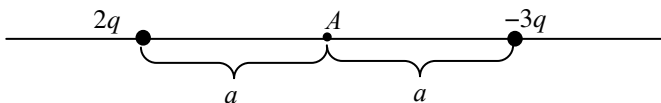
В) Жоден, вони однакові.

Г) Неможливо визначити.

Визначити.

Відповідь: \_\_\_\_\_

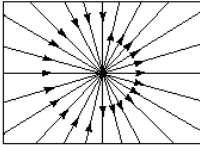
10. Який напрям та величину має напруженість результуючого поля у точці А (див. рис.)?



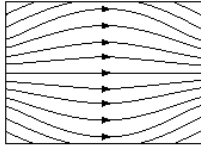
Відповідь: \_\_\_\_\_.



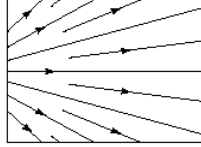
11. Який з рисунків показує фізично можливе електростатичне поле?



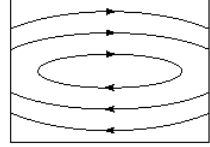
А)



Б)



В)

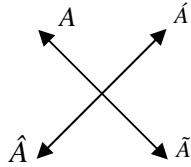
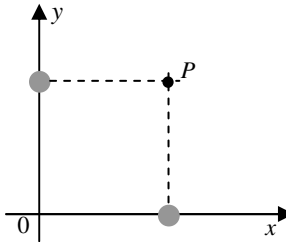


Г)

Д) Жоден з вказаних варіантів.

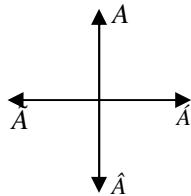
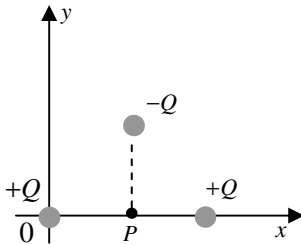
Відповідь: \_\_\_\_\_

12. Два заряди ( $+Q$  кожен) знаходяться на однаковій відстані від початку координат (див. рис.) Як спрямована напруженість електричного поля у точці  $P$ ?



Відповідь: \_\_\_\_\_

13. Три заряди однакової величини, але різних знаків розташовані так, як показано на рисунку. Як спрямована напруженість електричного поля у точці  $P$  у цьому випадку? Відстані між зарядами однакові, точка  $P$  розташована посередині між позитивними зарядами.

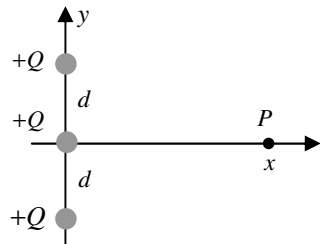


Д) Жоден з вказаних напрямів.

Відповідь: \_\_\_\_\_

Запишіть правильну формулу

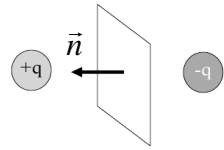
14. Якщо точка  $P$  (див. рис.) буде розміщена далеко від зарядів ( $d \ll x < \infty$ ), то напруженість електричного поля у цій точці буде прямувати до...



Відповідь: \_\_\_\_\_

15. Потік вектора напруженості електричного поля двох точкових зарядів ( $+q$  і  $-q$ ) крізь площину, вектор нормалі якої  $\vec{n}$  (див. рис.), ...

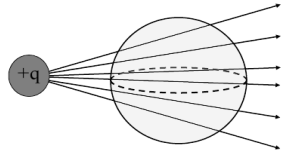
- А) ... є позитивним.                      Б) ... дорівнює нулю.  
В) ... є негативним.  
Г) неможливо визначити.



Відповідь: \_\_\_\_\_.

16. Потік вектора напруженості електричного поля точкового заряду  $+q$  крізь сферичну поверхню (див. рис.) ...

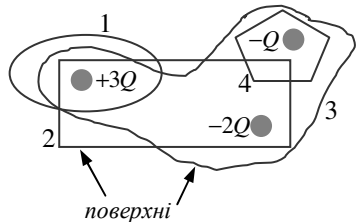
- А) є позитивним.                      Б) є негативним.  
В) дорівнює нулю.                      Г) неможливо визначити.



Відповідь: \_\_\_\_\_.

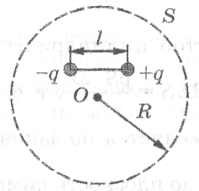
17. Яке з тверджень про потік електричного поля крізь вказані поверхні (див. рис.) є правильним?

- А)  $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = \Phi_4$ .    Б)  $\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3 > \Phi_4$ .  
В)  $\Phi_3 > \Phi_2 > \Phi_1 > \Phi_4$ .    Г)  $\Phi_3 > \Phi_2 > \Phi_1 = \Phi_4$ .  
Д) інша відповідь.

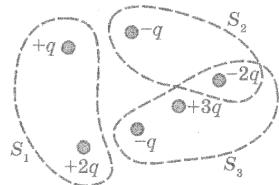


Відповідь: \_\_\_\_\_.

18. В середині сферичної поверхні  $S$  радіусом  $R$  знаходиться диполь (див. рис.). Потік вектора  $\vec{E}$  через поверхню  $S$  дорівнює \_\_\_\_\_.



19. На рисунку зображена система зарядів. Всередині кожної з трьох замкнених поверхонь  $S_1$ ,  $S_2$  та  $S_3$  знаходяться два або три заряди. Яку з поверхонь пронизує потік вектора напруженості електричного поля, що дорівнює  $q/\epsilon_0$  ?



Відповідь: \_\_\_\_\_

## ЛЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

### *Питання, що розглядаються*

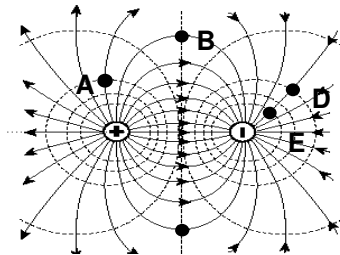
- Робота з переміщення заряду в електростатичному полі.
- Потенціал, різниця потенціалів.
- Зв'язок потенціалу із напруженістю поля.
- Принцип суперпозиція для потенціалів.
- Еквіпотенціальні поверхні.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).
  - I.4. Зв'язок між напруженістю та потенціалом.
  - I.5. Електричні поля, створені різноманітними системами зарядів. Принцип суперпозиції.
  - I.6. Зображення електричних полів.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).
  - §6. Потенціал.
  - §7. Енергія взаємодії системи зарядів.
  - §8. Зв'язок між напруженістю електричного поля та потенціалом.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).
  - §1.10. Робота сил електричного поля. Потенціальний характер електростатичного поля.
  - §1.11. Потенціал та різниця потенціалів. Рівняння Пуассона.



Для кожної з вказаних точок (див. рис.) визначте знак потенціалу. У якій точці потенціал цього електричного поля найбільший?

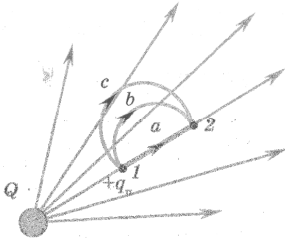


C

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №2

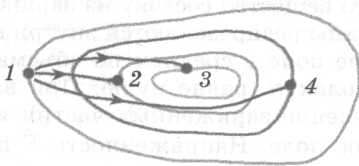
П.І. студента \_\_\_\_\_

група \_\_\_\_\_



1. В електростатичному полі точкового заряду  $Q$  пробний заряд  $+q$  переміщується з точки 1 у точку 2 за різними траєкторіями (див. рис.). У якому випадку електричне поле здійснить максимальну роботу?

Відповідь: \_\_\_\_\_

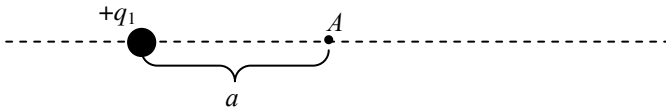


2. На рисунку подана картина екіпотенціальних поверхонь деякого електричного поля. За якого переміщення електричного заряду:

1 → 2, або 1 → 3, або 1 → 4,  
робота буде мінімальною?

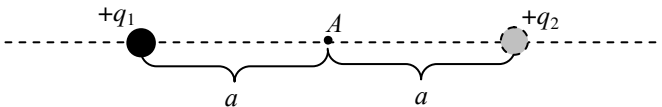
Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Електростатичне поле в точці  $A$  (див. рис.) створюється позитивно зарядженою кулею  $+q_1$ .



Напруженість поля у точці  $A$   $E_A =$  \_\_\_\_\_, потенціал  $\varphi_A =$  \_\_\_\_\_.

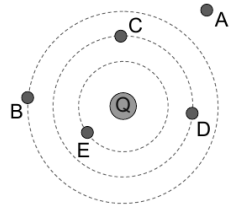
Якщо на такій самій відстані від точки  $A$  розташувати ще одну позитивно заряджену кулю  $+q_2$  ( $q_2 < q_1$ ), то:



модуль напруженості поля в цій точці зменшиться / збільшиться / не зміниться, потенціал поля — зменшиться / збільшиться / не зміниться.

4. У якій з вказаних точок (див. рис.) потенціал електричного поля буде найбільшим, якщо  $Q > 0$ ?

Відповідь: \_\_\_\_\_

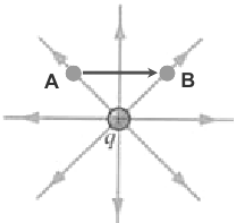
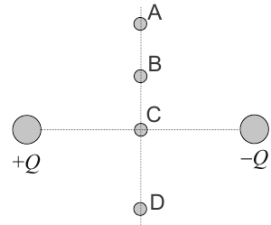


5. Які з двох точок мають однаковий потенціал (див. рис. з попереднього завдання)?

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. У якій або яких із вказаних точок (див. рис.) потенціал поля двох точкових зарядів дорівнює нулю?

Відповідь: \_\_\_\_\_



7. Якщо Ви переміщуєте невеличкий позитивний заряд  $q_0$  ( $q_0 \ll q$ ) з точки А до точки В (див. рис.), то який знак має робота, яку Ви здійснюєте ( $<$ ,  $=$ ,  $>$  0)?

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Знайдіть напруженість та потенціал у центрі квадрата (див. рис.):

А)  $E = 0$ ,  $\varphi = 0$ .

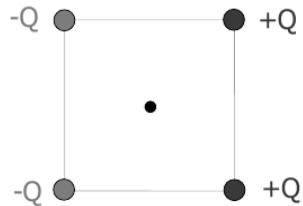
Б)  $E = 0$ ,  $\varphi \neq 0$ .

В)  $E \neq 0$ ,  $\varphi = 0$ .

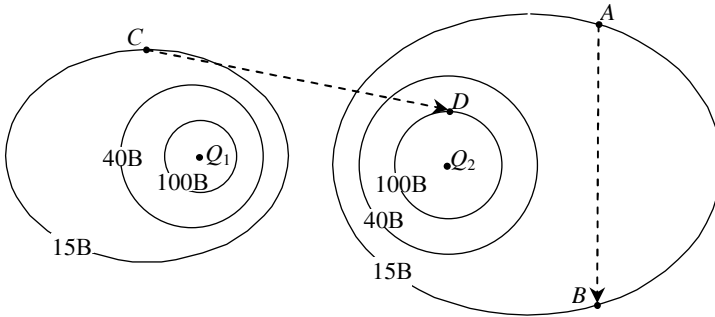
Г)  $E \neq 0$ ,  $\varphi \neq 0$ .

Д)  $E = \varphi$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_



9. На рисунку показані екіпотенціальні поверхні двох позитивних зарядів. Який з них більший?



Відповідь: \_\_\_\_\_

10. Ви переміщуєте пробний заряд  $+q$  з точки  $A$  у точку  $B$  (див. рис.). Яку роботу Ви при цьому виконуєте?

Відповідь: \_\_\_\_\_

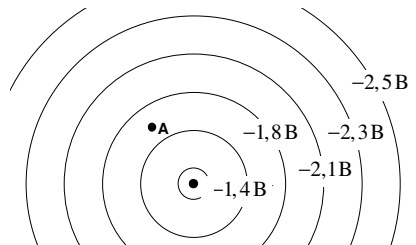
11. Ви переміщуєте *електрон* з точки  $C$  у точку  $D$  (див. рис. до питання 10). Яку роботу Ви при цьому виконуєте?

- А)  $+85\text{eV}$ .      Б) більшу ніж  $+85\text{eV}$ .      В) між 0 і  $+85\text{eV}$ .  
 Г)  $-85\text{eV}$ .      Д) інша відповідь.

Відповідь: \_\_\_\_\_

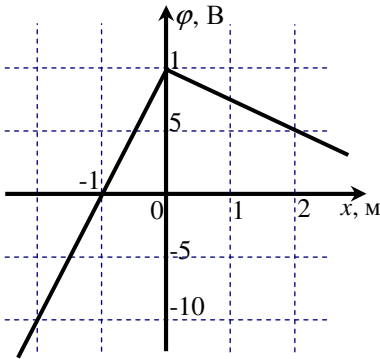
12. На рисунку показані екіпотенціальні поверхні (лінії) навколо точкового заряду. Відстань між будь-якими сусідніми з них дорівнює 2 м.

Якою приблизно є величина напруженості електричного поля у точці  $A$ ? Куди спрямований вектор напруженості поля у точці  $A$ ?



Відповідь: \_\_\_\_\_

13. Визначте за графіком залежності  $\varphi(x)$ :

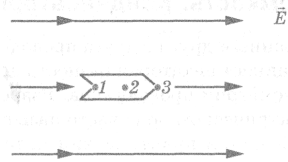


- значення  $\frac{d\varphi}{dx}$  в точці  $x = 2\text{ м}$ : \_\_\_\_\_;
- значення  $\frac{d\varphi}{dx}$  в точці  $x = -1\text{ м}$ : \_\_\_\_\_;
- значення проекції вектора напруженості  $E_x$  в точці  $x = 2\text{ м}$ : \_\_\_\_\_;
- значення  $E_x$  в точці  $x = -1\text{ м}$ : \_\_\_\_\_;
- значення  $E_x$  для  $x \in (-\infty; 0)$ : \_\_\_\_\_;
- значення  $E_x$  для  $x \in (0; \infty)$ : \_\_\_\_\_.

14. Напруженість однорідного електричного поля дорівнює  $100\text{ В/м}$ . Яких значень може набувати модуль різниці потенціалів між двома точками такого поля, якщо відстань між точками дорівнює  $5\text{ см}$ ?

Відповідь: \_\_\_\_\_

15. Незаряджене металеве тіло, переріз якого показаний на рисунку, внесено до однорідного електричного поля  $\vec{E}$ . Порівняйте потенціали точок 1, 2 та 3 тіла.

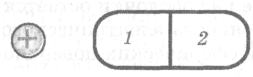


Відповідь: \_\_\_\_\_

16. Незаряджене **металеве** тіло внесено до електричного поля позитивного заряду, а потім розділено на частини 1 і 2 (див рис.). Які електричні заряди будуть мати частини цього тіла після розділення?

1 — *позитивний / негативний / нейтральний*,

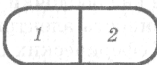
2 — *позитивний / негативний / нейтральний*.



17. Незаряджене тіло з **діелектрика** внесено до електричного поля позитивного заряду, а потім розділено на частини 1 і 2 (див рис.). Які електричні заряди будуть мати частини цього тіла після розділення?

1 — *позитивний/ негативний/нейтральний* (підкресліть!),

2 — *позитивний/ негативний/нейтральний* (підкресліть!).



## ЛЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРИЧНА ЄМНІСТЬ

### *Питання, що розглядаються*

- Властивості провідників.
- Конденсатор. Електрична ємність.
- Плоский конденсатор, його енергія.
- Густина енергії електростатичного поля.
- Діелектрики.
- З'єднання конденсаторів.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).
  - I.7. П'ять властивостей провідників в електричному полі.
  - I.8. Діелектрики в електричному полі.
  - I.9. Електроємність. Конденсатори.
  - I.10. Енергія в електростатиці.
  
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).
  - §24. Рівновага зарядів на провіднику.
  - §25. Провідник у зовнішньому електричному полі.
  - §26. Електроємність.
  - §27. Конденсатори.
  - §28. Енергія зарядженого провідника.
  - §29. Енергія зарядженого конденсатора.
  
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).
  - §1.12. Розподіл зарядів на поверхні провідника.
  - §1.13. Провідники в електричному полі.
  - §1.14. Електрична ємність. Конденсатори.
  - §1.15. Діелектрики. Полярні і неполярні молекули. Вільні і зв'язані заряди.
  - §1.16. Поляризація діелектриків.



## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №3

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група

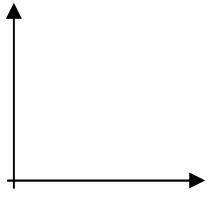
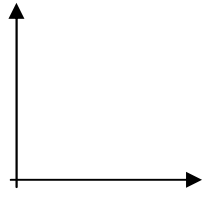
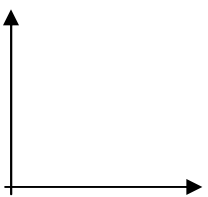
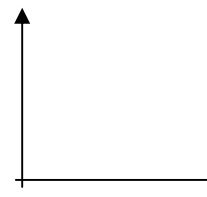
1. Поверхнева густина заряду вимірюється у \_\_\_\_\_.
2. Напруженість електричного поля нескінченної однорідно зарядженої площини залежить від поверхневої густини заряду так:  $E = \underline{\hspace{2cm}}$ .
3. Дві паралельні пластини розташовані на невеличкій, у порівнянні з їхніми розмірами, відстані одна від одній. Поверхнева густина заряду на кожній з пластин є сталою і дорівнює  $-3\sigma$  на першій і  $+2\sigma$  на другій.  
Напруженість електричного поля між пластинами дорівнює \_\_\_\_\_.
4. Вважаючи, що наведені нижче формули стосуються плоского повітряного конденсатора, відновіть пропущений символ та вкажіть, що він означає в даній формулі:

$$C = \frac{\epsilon_0 (-)}{d}, \underline{\hspace{4cm}}$$

$$E = \frac{\sigma}{(-)}, \underline{\hspace{4cm}}$$

$$W_E = \frac{(-)^2}{2C}, \underline{\hspace{4cm}}$$

5. Побудуйте графіки вказаних залежностей:

залежність <b>заряду</b> на обкладках конденсатора від <b>напруги</b> на конденсаторі		залежність <b>ємності</b> плоского повітряного конденсатора від <b>відстані</b> між його пластинами	
залежність <b>енергії</b> електричного поля конденсатора від <b>напруги</b> на ньому за умови сталою заряду на обкладках		залежність <b>енергії</b> електричного поля конденсатора від <b>напруги</b> на ньому за умови сталої ємності	

6. Ємність плоского конденсатора з пластинами у вигляді кола радіуса  $R$ , між якими є повітряний проміжок шириною  $d$ , визначається формулою

$$C = \frac{\pi \epsilon_0 R^2}{d}.$$

Користуючись цією формулою, заповніть пропущені у тексті місця:

Якщо відстань між пластинами зменшити у 2 рази, то ємність конденсатора зменшиться / збільшиться у \_\_\_\_\_ рази(ів).

Якщо цю відстань зменшити тільки на 1%, то ємність конденсатора зменшиться / збільшиться усього лише на \_\_\_\_\_ %.

Якщо потрібний конденсатор з ємністю у 2 рази більшою, ніж той, що є, то можна взяти з такою ж відстанню між пластинами, але з радіусом у \_\_\_\_\_ рази(ів) більшим / меншим, або з тим самим радіусом, але повітряним зазором у \_\_\_\_\_ рази(ів) більшим / меншим.

7. Запишіть, як можна знайти електроємність сферичного конденсатора, що складається з двох концентричних сфер радіусів  $R_1$  та  $R_2$ . Скористайтеся тим фактом, що формула для напруженості поля зовні зарядженої сфери має вигляд  $E(r) = \frac{kQ}{r^2}$ .

*місце для розв'язку*

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Запишіть, як можна знайти електроємність циліндричного конденсатора, що складається з двох співвісних циліндрів радіусів  $R_1$  та  $R_2$ . Довжина циліндрів  $l \gg R_1, R_2$ . Скористайтеся тим фактом, що формула для напруженості поля зарядженого циліндра має вигляд  $E(r) = \frac{2kQ}{l \cdot r}$ .

*місце для розв'язку*

Відповідь: \_\_\_\_\_.

9. Припустимо, що Вам необхідно збільшити електроємність циліндричного повітряного конденсатора (див. попереднє завдання), у якого  $R_2 = 2R_1$ . Який шлях є найбільш ефективним:

№1 — збільшити на 10% довжину конденсатора  $l$ ,

чи

№2 — збільшити на 10% радіус внутрішнього циліндра  $R_1$  (при цьому  $R_2$  не змінюється)?

Відповідь: \_\_\_\_\_ і пояснення: \_\_\_\_\_

---



---

**10.** Конденсатор складається з двох круглих металевих пластин радіусом 10 см, між якими розташовано пластину текстоліту товщиною 6,28 мм такого самого радіуса. Під час вимірювання електроємності фарадометр показав значення  $C = 308$  пФ (див. рис.). Визначте діелектричну проникність текстоліту.

Відповідь: \_\_\_\_\_



**11.** Різниця потенціалів між обкладинками конденсатора підтримується сталою. Як зміниться заряд конденсатора, якщо його заповнити діелектриком з проникністю  $\epsilon = 6$  ?

Відповідь: збільшиться / зменшиться у \_\_\_\_\_ рази(ів) / не зміниться.

**12.** Конденсатор від'єднали від джерела струму. Як зміниться заряд конденсатора, якщо його заповнити діелектриком з проникністю  $\epsilon$  ?

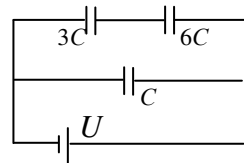
Відповідь: збільшиться / зменшиться у \_\_\_\_\_ рази(ів) / не зміниться.

**13.** Плоский конденсатор зарядили та відключили від джерела струму. Як зміниться об'ємна густина енергії електричного поля всередині конденсатора, якщо збільшити у 2 рази відстань між його обкладинками?

Відповідь: збільшиться / зменшиться у \_\_\_\_\_ рази(ів) / не зміниться.

**14.** Знайдіть:

- заряд на конденсаторі ємності  $3C$  (див. рис.).
- напругу на конденсаторі ємності  $6C$  (див. рис.).



*місце для розв'язку*

Відповідь:  $q_{3C} =$  \_\_\_\_\_,  $U_{6C} =$  \_\_\_\_\_

## ЛЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

### *Питання, що розглядаються*

- Електричний струм. Сила струму.
- Типи провідності. Опір.
- Густина струму, вектор густини струму.
- Закон Ома у різних формах. Закони Кірхгофа.
- Потужність струму. Закон Джоуля-Ленца.
- Послідовне та паралельне з'єднання провідників.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

#### 1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).

- П.1. Основні визначення.
- П.2. Закон Ома для провідників.
- П.3. Робота та потужність електричного струму.
- П.4. Джерела струму. Закон Ома для повного кола.
- П.5. Закони Кірхгофа.

#### 2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).

- §31. Електричний струм.
- §33. Електрорушійна сила.
- §34. Закон Ома. Опір провідників.
- §35. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола.
- §36. Розгалужені кола. Правила Кірхгофа.
- §37. Потужність струму.
- §38. Закон Джоуля – Ленца.

#### 3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).

- §2.1. Електричний струм. Рівняння неперервності.
- §2.2. Закон Ома. Опір провідників.
- §2.3. Сторонні сили. Електрорушійна сила. Закон Ома для неоднорідної ділянки і повного кола.
- §2.4. Робота і потужність електричного струму.
- §2.5. Закон Джоуля – Ленца. Закон збереження енергії електричного поля.
- §2.6. Електричне коло. Правила Кірхгофа.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №4

\_\_\_\_\_  
*П.І. студента*

\_\_\_\_\_  
*група*

1. Математичне співвідношення, що є визначенням сили струму виглядає так:

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Співвідношення, що є математичним записом закону Ома для ділянки кола виглядає так: ...

Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Яка формула виражає зв'язок сили струму  $I$  у провіднику з середньою швидкістю дрейфу  $\bar{v}_0$  електронів та їх концентрацією  $n$ ?

Відповідь: \_\_\_\_\_

4. В якому колі (див. рисунки) протікає постійний електричний струм?



А



Б



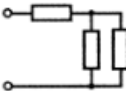
В



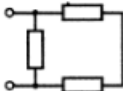
Г

Відповідь: \_\_\_\_\_

5. На якому з рисунків показано послідовне з'єднання трьох провідників?



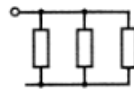
А



Б



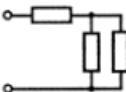
В



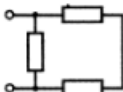
Г

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. На якому з рисунків показано паралельне з'єднання трьох провідників?



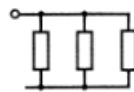
А



Б



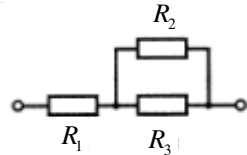
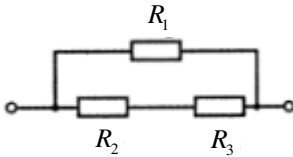
В



Г

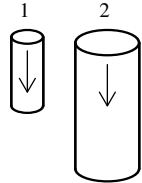
Відповідь: \_\_\_\_\_

7. Опір цього електричного кола (див. рис.) можна обчислити за формулою



8. Опір такого електричного кола (див. рис.) можна обчислити за формулою

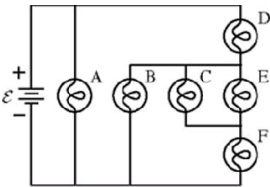
9. Два циліндричні резистори зроблені з одного матеріалу, але другий резистор вдвічі довший та товщий. Чому дорівнює відношення опорів цих резисторів  $R_2/R_1$  ?



Відповідь: \_\_\_\_\_

10. Чому дорівнює електричний опір мідного провідника завдовжки 100 м з площею поперечного перетину  $0,25 \text{ мм}^2$ ? Питомий опір міді вважайте рівним  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_



11. Яка з шести однакових лампочок буде горіти яскравіше (див. рис.)?

Відповідь: \_\_\_\_\_

12. Яка з ламп  $D$ ,  $E$  чи  $F$  горить яскравіше? (див. рис.):

Відповідь: \_\_\_\_\_

13. Електродвигун працює від напруги 200 В, споживаючи при цьому силу струму 10 А. Опір обмотки двигуна 2 Ом.

• ККД цього електромотору дорівнює \_\_\_\_\_

• Якщо відбудеться зупинка (“заклинювання”) двигуна, на електромоторі буде виділятися теплова потужність \_\_\_\_\_ Вт.

14. Резистор з опором  $R$  підключений до джерела струму з ЕРС  $\mathcal{E}$  і внутрішнім опором  $r$ . Для дослідження цієї ситуації виконали такі дії:

- Записали залежність потужності джоулева тепла, що розсіюється на резисторі, від опору цього резистора:

$$P_Q(R) = \underline{\hspace{10cm}}$$

- Для визначення опору резистора, за якого ця потужність буде максимальною,

розрахували похідну  $\frac{dP_Q}{dR} = \underline{\hspace{10cm}}$ .

- Після того, як цю похідну прирівняли до нуля, отримали шукане значення опору резистора:

$$R|_{P_Q=P_{\max}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

- Зробили висновок, що максимальне значення теплової потужності дорівнює

$$P_{\max} = \underline{\hspace{10cm}}$$

- Для побудови графіка залежності  $P_Q(R)$  дослідили, як поводить себе ця функція біля нуля та на нескінченності:

$$P_Q|_{R \rightarrow 0} = \underline{\hspace{10cm}},$$

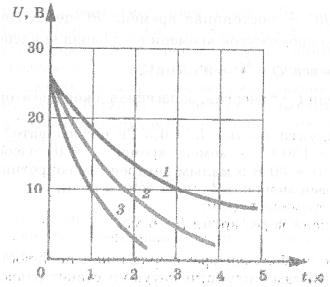
$$P_Q|_{R \rightarrow \infty} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

- Використавши цю інформацію побудували ескіз графіка залежності потужності джоулева тепла, що розсіюється на резисторі, від опору резистора.





15. Три конденсатори різної ємності зарядили до однакової напруги  $U = 27 \text{ В}$ , а потім замкнули на резистори із однаковим опором  $R = 200 \text{ кОм}$ . Користуючись наведеними графіками розрядки цих конденсаторів, визначте їхню ємність з точністю до мікрофарада.



Відповідь:

№1 — \_\_\_ мкФ, №2 — \_\_\_ мкФ, №3 — \_\_\_ мкФ.

16. Напруга на конденсаторі, що заряджається, змінюється за законом

$$U(t) = \frac{q_m}{C} \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right).$$

• На початку процесу зарядки конденсатора ( $t \rightarrow 0$ ) залежність напруги на його обкладинках від часу є лінійною і має вигляд:

$$U|_{t \rightarrow 0} = \underline{\hspace{10em}}.$$

• Через досить великий час ( $t \rightarrow \infty$ ) напруга на конденсаторі буде дорівнювати:

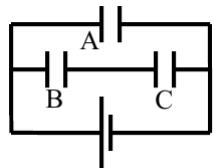
$$U|_{t \rightarrow \infty} = \underline{\hspace{10em}}.$$

• Ескіз графіка  $U(t)$  для  $t \geq 0$  виглядає так:

• Половини від максимального значення напруга на конденсаторі досягне через час \_\_\_\_\_.



17. Три ідентичні конденсатори були приєднані до батареї так, як показано на схемі. Потім батарея була від'єднана. Використовуючи знаки «=», «<» та «>», порівняйте заряди на конденсаторах до від'єднання батареї та після від'єднання батареї.



Відповідь: «до»: \_\_\_\_\_,

«після»: \_\_\_\_\_.

## ЛЕКЦІЯ 5. МАГНІТНІ СИЛИ

### *Питання, що розглядаються*

- Індукція магнітного поля.
- Дія магнітного поля на заряджені частинки
- Робота з переміщення заряду в магнітному полі.
- Сила Ампера.
- Магнітний момент та потенціальна енергія витка зі струмом у магнітному полі.
- Ефект Холла

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).
  - ІІ.1. Елементарні поняття магнітостатики.
  - ІІ.2. Магнітні поля, створені різними струмами.
  - ІІ.3. Сила Ампера.
  - ІІ.4. Сила Лоренца. Рух частинок в магнітному полі.
  
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).
  - §39. Взаємодія струмів.
  - §40. Магнітне поле.
  - §43. Сила Лоренца.
  - §44. Закон Ампера.
  - §72. Рух зарядженої частинки в однорідному магнітному полі.
  - §79. Ефект Холла.
  
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).
  - §8.1. Поняття про магнетизм.
  - §8.2. Магнітне поля електричного струму. Індукція магнітного поля. Закон Ампера.
  - §8.3. Магнітна взаємодія струмів.
  - §8.6. Контур зі струмом у магнітному полі. Магнітний момент струму.
  - §8.7. Дія електричного і магнітного полів на рухомий заряд. Сила Лоренца.
  - §8.9. Ефект Холла та його застосування.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №5

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група

1. Одиницею вимірювання магнітної індукції в СИ є ...

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Негативно та позитивно заряджені частинки влітають з певними швидкостями в однорідні магнітні поля (див. рис.). Визначте у кожному випадку напрям сили, що діє з боку магнітного поля частинку. Зверніть увагу на те, що можливим також є варіант, коли ця сила дорівнює нулю.



Відповідь: \_\_\_\_\_

Відповідь: \_\_\_\_\_

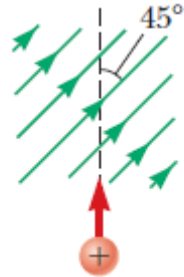
Відповідь: \_\_\_\_\_

3. За якою траєкторією буде рухатися частинка, що влетіла у однорідне магнітне поле так, як показано на рисунку?

Відповідь: \_\_\_\_\_

4. У тому випадку, коли частинка рухається в однорідному магнітному полі по колу, радіус цього кола можна виразити через індукцію поля, масу та заряд частинки таким чином:

Відповідь: \_\_\_\_\_



Період обертання цієї частинки під час руху по колу дорівнює...

Відповідь: \_\_\_\_\_

5. Однозарядні іони двох ізотопів аргону розганяються в електричному полі до однакових швидкостей і потім в однорідному магнітному полі розділяються на два пучки, що рухаються у вакуумі по дугах кола з радіусами 7,63 см і 8,05 см. Знайдіть відношення мас іонів двох ізотопів з точністю до сотих.

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Вираз для сили Ампера, що діє на прямолінійний провідник зі струмом, у векторній формі має вигляд ...

Відповідь: \_\_\_\_\_

7. Вираз для магнітного моменту витка зі струмом має вигляд ...

Відповідь: \_\_\_\_\_

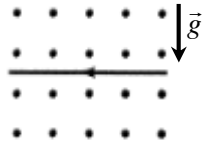
8. На рис. зображено рамку зі струмом, що може обертатися навколо вертикальної осі. Рамка знаходиться в однорідному магнітному полі, напрям якого показаний на рисунку.

На сторону  $AB$  цієї рамки буде діяти сила, яка спрямована \_\_\_\_\_,

на сторону  $BC$  — \_\_\_\_\_, на сторону  $CD$  — \_\_\_\_\_.

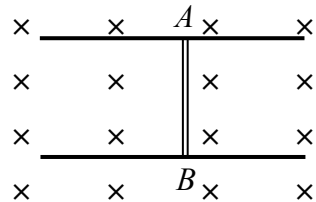
В результаті дії цих сил рамка буде \_\_\_\_\_.

9. Прямий горизонтальний провідник масою  $m = 80$  г і завдовжки  $l = 0,2$  м знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією  $B = 0,4$  Тл (див. рис.). За якої сили струму в провіднику сила Ампера зрівноважить силу тяжіння? Вважайте  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



Відповідь: у загальному вигляді  $I =$  \_\_\_\_\_, числове значення \_\_\_\_\_ А.

10. Стержень лежить на горизонтальних рейках, які знаходяться на відстані  $l = 0,3$  м одна від одної (див. рис.). Знайдіть індукцію магнітного поля (з точністю до сотих), якщо стержень починає рухатися при силі струму в ньому  $I = 50$  А. Маса стержня  $m = 0,5$  кг, коефіцієнт тертя між стержнем та рейками дорівнює  $\mu = 0,2$ .



Відповідь: у загальному вигляді  $B =$  \_\_\_\_\_,  
числове значення \_\_\_\_\_ Тл.

### Тренування практичних вмінь

Для розрахунку теплової потужності, що розсіюється на резисторі опором  $R$  при проходженні крізь нього струму  $I$ , зазвичай використовують формулу  $P = I^2 R$ . Для перевірки цієї формули студент пропускав декілька різних струмів крізь резистор, який був занурений у посудину з водою, і вимірював теплову потужність (використовуючи дані про зміну температури води). Результати цього експерименту показані у таблиці:

Сила струму (А)	Потужність (Вт)
1,5	270
2,0	380
2,5	620
3,0	830
3,5	1280
4,0	1600

**11.** Побудуйте за цими даними графіки залежності потужності від сили струму  $P(I)$  та потужності від квадрата сили струму  $P(I^2)$  (використайте для цього наступну сторінку, але спочатку продумайте, як зручніше розташувати графіки).

**12.** Зробіть висновок щодо того, чи підтверджує експеримент справедливості вказаної формули. Обґрунтуйте свою думку.

---



---

**13.** Чи можливо за цими даними розрахувати середнє значення опору резистора? Якщо так, то яким чином? Опишіть, які дії необхідно для цього виконати і наведіть Ваш результат.

---



---



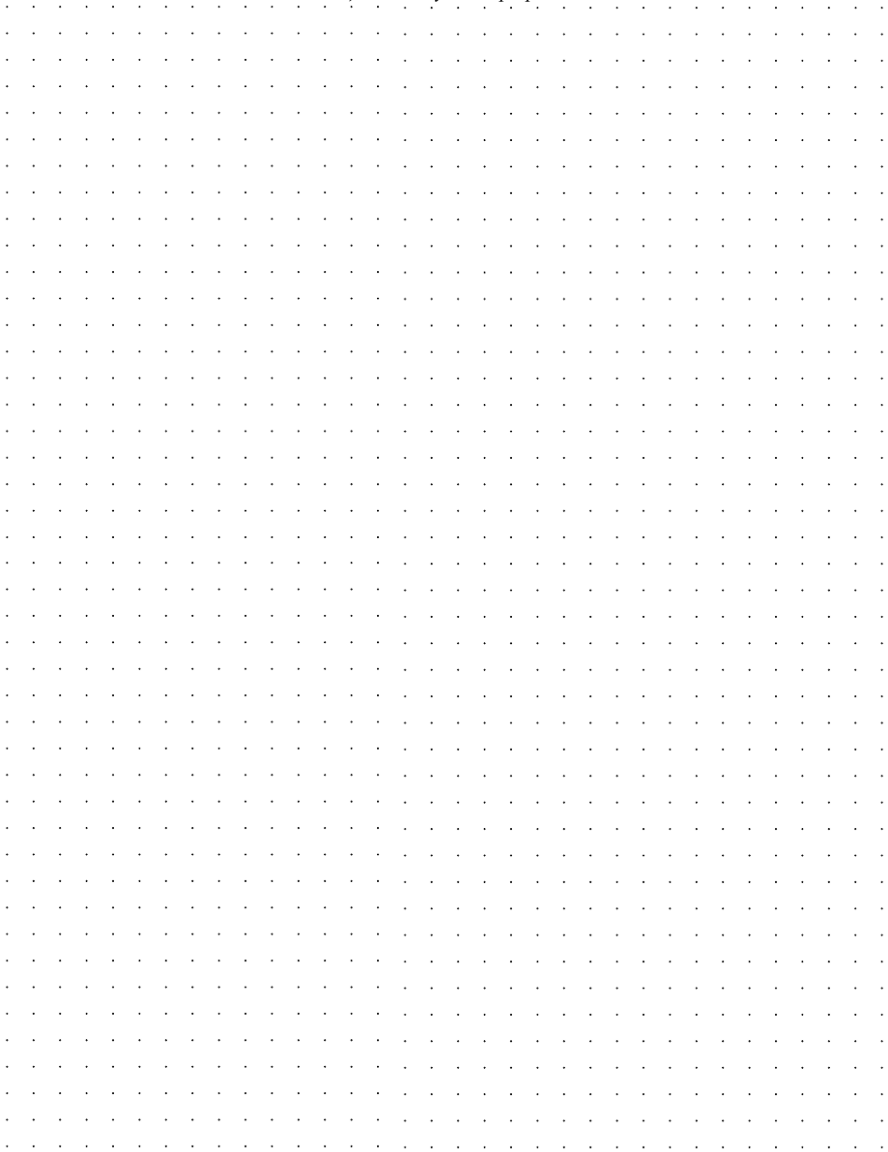
---



---

$\langle R \rangle =$  \_\_\_\_\_ Ом.

*місце для побудови графіка*



## ЛЕКЦІЯ 6. МАГНІТНЕ ПОЛЕ

### *Питання, що розглядаються*

- Закон Біо-Савара-Лапласа.
- Закон (теорема) Ампера.
- Закон Гаусса для магнітних полів.
- Магнітні властивості речовини.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).  
III.5. Магнітні властивості речовини. Гіпотеза Ампера.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).  
§42. Закон Біо – Савара.  
§47. Магнітне поле контуру зі струмом.  
§48. Робота, що здійснюється при переміщенні струму в магнітному полі.  
§50. Поле соленоїда та тороїда.  
§55. Види магнетиків.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).  
§8.4. Закон Біо – Савара – Лапласа. Магнітне поле прямого, колового і соленоїдного струмів.  
§8.5. Циркуляція вектора індукції магнітного поля. Закон повного струму.  
§9.1. Магнетики та їх намагнічування. Вектор намагнічення та його зв'язок з густиною струмів намагнічення.



Студент, записуючи апроксимуючу функцію для індукції магнітного поля на осі соленоїда, отримав такий результат:

якщо  $x \ll R$ , то

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n I \left( 1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right) \approx \mu_0 n I \frac{x^2}{4R^2}.$$

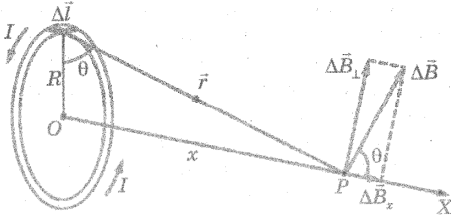
Визначте, чи правильно він наблизив вказану формулу.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №6

П.І. студента \_\_\_\_\_

група \_\_\_\_\_

1. Заповніть пропущені місця у тексті про магнітне поле витка зі струмом:



Розі'ємо виток зі струмом на елементи  $\Delta \vec{l}$ , що орієнтовані за напрямом струму (див. рис.) та розглянемо на осі кільця точку  $P$ , яка знаходиться на довільній відстані  $x$  від нього. Елемент  $\Delta \vec{l}$

створює у точці  $P$  магнітне поле з індукцією  $\Delta \vec{B}$ . За законом Біо-Савара-

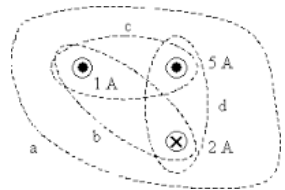
Лапласа:  $\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\Delta l}{r^2}$ .

Модуль результуючого магнітного поля  $\vec{B}$  буде дорівнювати сумі складових  $\Delta B_x$ , де

$$\Delta B_x = \Delta B \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\Delta l}{(x^2 + R^2)} \cdot \frac{R}{(\quad)^{1/2}}.$$

Враховуючи, що  $\Delta l \rightarrow 0$ , отримуємо:  $B = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{R}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dl = \underline{\hspace{2cm}}$ .

2. Для кожного із вказаних замкнених контурів (див. рис.) запишіть значення інтегралу  $\oint \vec{B} d\vec{l}$ . Зверніть увагу, що значення струмів, що течуть у довгих прямолінійних дротах, розташованих перпендикулярно площині рисунку, вказані.



Відповідь:

для контуру «a»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,

для контуру «b»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,

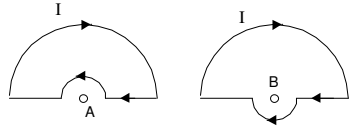
для контуру «c»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,

для контуру «d»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \underline{\hspace{2cm}}$ .



3. Індукцію магнітного поля довгого прямого дроту зі струмом можна визначити за формулою  $B = \underline{\hspace{2cm}}$ , а індукцію магнітного поля в центрі витка зі струмом — за формулою  $B = \underline{\hspace{2cm}}$ , для розрахунку магнітної індукції всередині довгої котушки можна використати формулу  $B = \underline{\hspace{2cm}}$ .

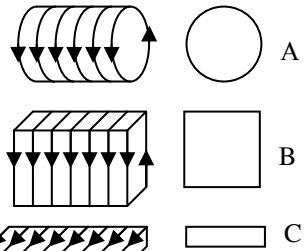
4. В якій точці:  $A$  чи  $B$  величина магнітного поля, що створюється струмом  $I$  є більшою (див. рис.)? Радіуси відповідних кіл та довжина дроту є однаковими.



- А) у точці  $A$ ;                      Б) у точці  $B$ ;                      В) поля в цих точках однакові;  
Г) неможливо визначити.

Відповідь:  $\underline{\hspace{2cm}}$

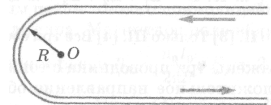
5. Три довгих прямих соленоїди мають однакову довжину та однакову велику кількість витків, але різну форму поперечного перерізу (див. рис.). Який з них буде мати найбільшу величину магнітного поля всередині за однакової сили струму?



- А) соленоїд  $A$ ;    Б) соленоїд  $B$ ;    В) соленоїд  $C$ ;  
Г) усі соленоїди створять однакове поле.

Відповідь:  $\underline{\hspace{2cm}}$

6. Довгий тонкий провідник зігнутий так, як показано на рисунку. Радіус закруглення  $R = 2,0$  см, по провіднику тече струм  $I = 10,0$  А. Визначте модуль індукції магнітного поля в точці  $O$ .



Відповідь: у загальному вигляді:  $B = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  
числове значення:  $\underline{\hspace{2cm}}$  мТл.

### Тренування практичних вмінь

Студентка, досліджуючи залежність напруги на дроті від довжини цього дроту отримала лінійну експериментальну залежність (див. рис. на наступній сторінці). Цей результат узгоджується із теоретичними розрахунками.

7. Знайдіть середнє значення кутового коефіцієнту нахилу наданої прямої. Опишіть, які дії необхідно для цього виконати і наведіть Ваш результат.

---



---



---



---



---

$$\langle k \rangle = \text{_____ (В/м)} \text{ (значення округліть до сотих).}$$

8. Використовуючи **метод «хитань»**, виконайте необхідні побудови на наведеному графіку та оцініть абсолютну похибку у визначенні коефіцієнту нахилу цієї прямої. Також опишіть послідовність дій, що необхідно для цього виконати.

---



---



---



---



---



---

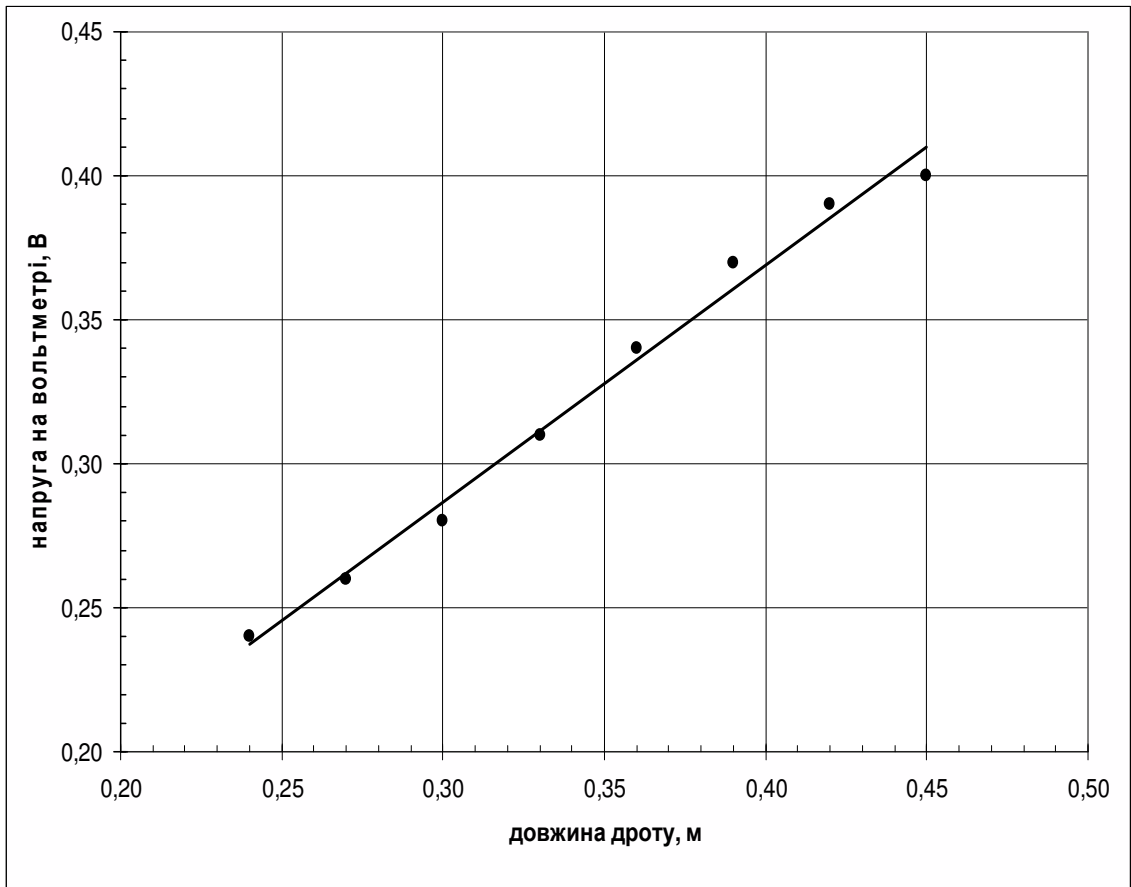


---

$$\Delta k = \text{_____ (В/м)} \text{ (значення округліть до сотих).}$$

9. Виконайте округлення і запишіть остаточний результат для коефіцієнта нахилу прямої:

$$k = \langle k \rangle \pm \Delta k = \text{_____} \pm \text{_____ (В/м)}, \text{ відносна похибка становить } \text{_____} \%$$



## ЛЕКЦІЯ 7. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

### *Питання, що розглядаються*

- Досліди Фарадея. Явище електромагнітної індукції.
- Вихрове електричне поле.
- Закон Фарадея. Правило Ленца.
- Застосування явища електромагнітної індукції.
- Трансформатор.
- Циркуляція електричного поля.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).  
IV.1. Явище електромагнітної індукції.  
IV.2. ЕРС індукції у провідниках, що рухаються.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).  
§60. Явище електромагнітної індукції.  
§61. Електрорушійна сила індукції.  
§63. Струми Фуко.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).  
§8.15. Робота при переміщення провідника зі струмом у магнітному полі. Магнітний потік.  
§10.1. Явище електромагнітної індукції. Досліди Фарадея.  
§10.2. Електрорушійна сила індукції. Закон електромагнітної індукції Фарадея і правило Ленца.  
§10.3. Вихрові струми. Скін-ефект.  
§11.8. Передавання електричної енергії. Трансформатори.



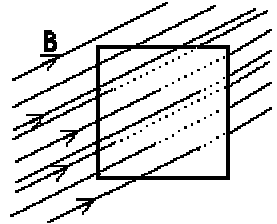
Замкнений контур знаходиться у постійному магнітному полі, площа контуру перпендикулярна до лінії індукції цього поля. Наведіть принаймні два приклади дій з контуром, що **не** призведуть до появи індукційного струму у контурі.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №7

П.І. студента \_\_\_\_\_

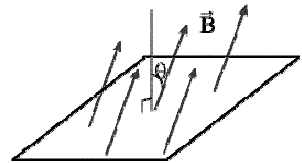
група \_\_\_\_\_

1. На рисунку показаний квадратний замкнений контур у постійному магнітному полі. Як зміниться величина потоку цього поля  $|\Phi_M|$  крізь вказаний контур, якщо посилити поле у два рази та збільшити сторони квадрата у два рази?



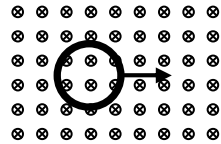
Відповідь: \_\_\_\_\_

2. За якого кута  $\theta$  (див. рис.) значення потоку магнітного поля крізь вказану поверхню буде дорівнювати половині від максимально можливого?



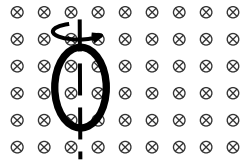
Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Дротяне кільце швидко рухається у постійному магнітному полі (див. рис.). Чи виникає при цьому у кільці ЕРС індукції?



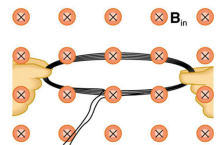
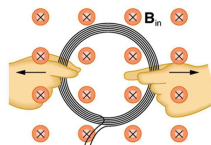
Відповідь: \_\_\_\_\_

4. Дротяне кільце швидко обертається навколо нерухомої осі у однорідному магнітному полі (див. рис.). Чи виникає при цьому в кільці ЕРС індукції?



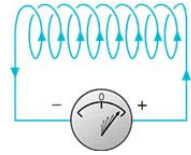
Відповідь: \_\_\_\_\_

5. Дротяне кільце, що знаходиться у постійному магнітному полі (див. рис.), швидко деформують, зменшуючи площу. Протягом процесу деформації струм, що виник у кільці був напрямлений ...



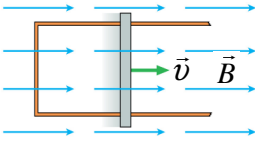
Відповідь: *за годинниковою стрілкою / проти годинникової стрілки.*

6. На рисунку показаний напрям індукційного струму, що виникає в замкнутій дротяній котушці, коли відносно неї переміщують магніт. Який напрям руху магніту?



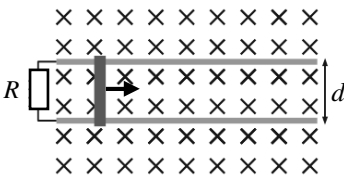
Відповідь: \_\_\_\_\_

Що можна сказати про індукційний струм у таких системах?



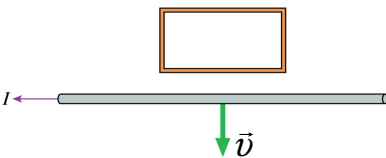
7. Металевий стержень рухається зі сталою швидкістю по паралельних горизонтальних рейках, що розміщені в однорідному магнітному полі (див. рис.).

Відповідь: *струм спрямований за годинниковою стрілкою / проти годинникової стрілки / струм не виникає.*



8. Металевий стержень рухається зі сталою швидкістю по паралельних горизонтальних рейках, що розміщені в однорідному магнітному полі (див. рис.).

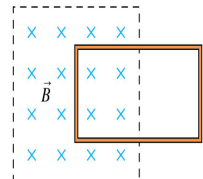
Відповідь: *струм спрямований за годинниковою стрілкою / проти годинникової стрілки / струм не виникає.*



9. Провідник зі струмом віддаляють від замкнутого контуру (див. рис.).

Відповідь: *струм спрямований за годинниковою стрілкою / проти годинникової стрілки / струм не виникне.*

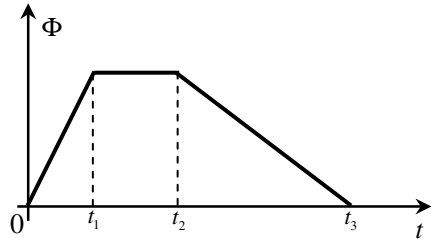
10. Замкнений контур наполовину знаходиться у магнітному полі (див. рис.). Індукція магнітного поля починає різко збільшуватися. Що буде відбуватися з контуром?



Відповідь: \_\_\_\_\_

11. Магнітний потік, що пронизує котушку, змінюється з часом так, як показано на рисунку. Протягом якого проміжку часу модуль ЕРС індукції має максимальне значення?

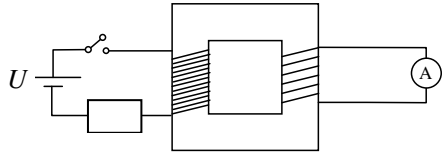
Відповідь: \_\_\_\_\_



12. В котушці з 200 витків дроту протягом 5 мс збуджувалася постійна ЕРС індукції 160 В. Як змінився магнітний потік через кожний виток за ці 5 мс?

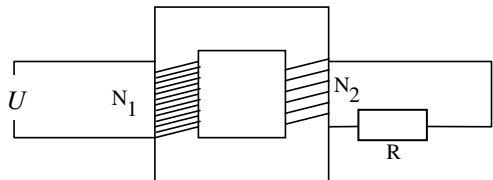
Відповідь:  $|\Delta\Phi| =$  \_\_\_\_\_

13. До первинної обмотки трансформатора приєднані батарея, резистор та перемикач, а до вторинної — амперметр (див. рис.). Коли перемикач замкне коло, амперметр покаже ...



Відповідь: *нульовий струм / ненульовий струм на короткий інтервал часу / сталий ненульовий струм.*

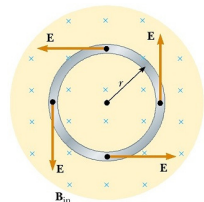
14. Якою буде напруга на резисторі, якщо на первинну обмотку трансформатора подають сталу напругу  $U$  (див. рис.)?



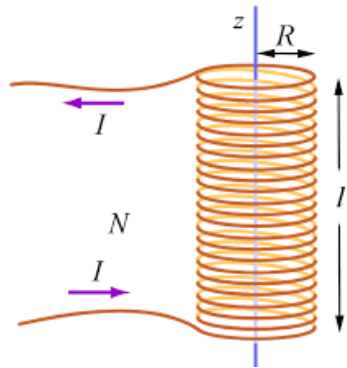
Відповідь: \_\_\_\_\_

15. Визначте, як змінюється магнітне поле, у якому знаходиться замкнений контур (див. рис.), якщо у цьому контурі виникло індукційне електричне поле, спрямоване так, як показано на рисунку.

Відповідь: \_\_\_\_\_



16. У довгому соленоїді радіуса  $R$ , довжиною  $l$  і кількістю витків  $N$  сила струму змінюється за законом  $I = I_{\max} \cos \omega t$ , де  $I_{\max}$  — максимальне значення сили струму,  $\omega$  — циклічна частота зміни струму (див. рис.).



Чому дорівнює напруженість індукційного електричного поля  $E$  на відстані  $r$  від осі соленоїда ( $r > R$ )?

Для відповіді на це запитання скористаємося законом Фарадея і знайдемо вирази окремо для правої і лівої частин відповідної формули:

$$-\frac{d\Phi_M}{dt} = -\pi \frac{dB}{dt}, \text{ оскільки потік магнітного поля крізь переріз}$$

котушки дорівнює  $\pi R^2 B$ . Для знаходження похідної  $\frac{dB}{dt}$  використаємо

формулу для магнітного поля всередині довгого соленоїда:  $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$ , де

вираз для сили струму  $I$  нам відомий з умови задачі. Отже, остаточно

$$-\frac{d\Phi_M}{dt} = \pi \mu_0 \frac{N}{l} \sin(\omega t).$$

Для розрахунку інтеграла  $\oint \vec{E} d\vec{l}$  оберемо замкнений контур у вигляді кола радіуса  $r$  ( $r > R$ ), що оточує соленоїд і площина якого паралельна площині поперечного перерізу соленоїда. Тоді можна записати, що

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = E \cdot 2\pi r.$$

Прирівнявши, згідно з законом Фарадея, отримані вирази, остаточно маємо:

$$E = \frac{\mu_0 N I_{\max} \omega r}{2l} \sin(\omega t).$$



## ЛЕКЦІЯ 8. МАГНІТНА ЕНЕРГІЯ

### *Питання, що розглядаються*

- Самоіндукція.
- Індуктивність.
- Закон Фарадея і самоіндукція.
- Робота зі зміни сили струму у провіднику і енергія магнітного поля.
- Об'ємна густина енергії магнітного поля.
- Гармонічні коливання у коливальному контурі.
- Згасаючі коливання у контурі.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).  
IV.3. Явище самоіндукції.  
Частина 4.  
I.5. Вільні електромагнітні коливання.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).  
§64. Явище самоіндукції.  
§65. Струм під час замикання та розмикання кола.  
§67. Енергія магнітного поля.  
§89. Вільні коливання в контурі без активного опору.  
§90. Вільні згасаючі коливання.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).  
§10.4. Явище самоіндукції. Індуктивність.  
§10.5. Явище взаємної індукції.  
§10.6. Енергія магнітного поля струму. Енергія і густина енергії магнітного поля.  
§12.1. Коливальний контур. Власні електричні коливання.  
§12.2. Затухаючі коливання.

**Слайд із запитаннями**  
**для відпрацювання необхідних навичок<sup>1</sup>**

**МАТЕМАТИЧНА АНАЛОГІЯ МІЖ ФІЗИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

$$m \frac{dv}{dt} \equiv F = m\ddot{x}$$

$$I \frac{d\omega}{dt} \equiv M = I\ddot{\varphi}$$

$$L \frac{di}{dt} \equiv \mathcal{E} = L\ddot{q}$$

Спеціального позначення для  $\frac{di}{dt}$  не використовують

$F$ — сила, що діє вздовж осі ОХ (напрямок визначається знаком)	$M$ — момент сили відносно осі обертання	$\mathcal{E}$ — ЕРС джерела, яке підключене до соленоїда
$m$ — маса матеріальної точки	$I$ — момент інерції тіла відносно осі обертання	$L$ — індуктивність соленоїда (катушки індуктивності)

**1** Продовжіть порівняльну таблицю для  $x, v, a$ .

**2** Який фізичний зміст мають величини  $m v, m v^2 / 2$  та їхні аналоги?

**3** Вважаючи сталими  $M$  і  $\mathcal{E}$ , а також, що  $\omega(0) = \omega_0, \varphi(0) = \varphi_0, i(0) = i_0, q(0) = q_0$ , знайдіть  $\omega(t), \varphi(t), i(t), q(t)$ . Побудуйте ескізи відповідних графіків.

**Примітка.** Величини  $m, I, L$  вважалися сталими вже у вихідних рівняннях.

**Зауваження.** Розглядаючи рух вздовж прямої ОХ, ми вважали  $\vec{F}, v, a$  скалярами, а не векторами, бо у даному випадку напрямок цілком визначається знаком скаляра. Для розгляду обертання тіла навколо нерухомої осі теж достатньо скалярних величин.

<sup>1</sup> Пояснення та відповіді до цього та наступного слайдів Ви можете знайти у [6-8].

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №8

П.І. студента \_\_\_\_\_

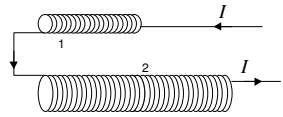
група \_\_\_\_\_

1. Порівняйте індуктивність двох провідників (див. рис.).



Відповідь: індуктивність провідника №1 більша / менша / така сама, як і провідника №2.

2. Один і той самий струм тече крізь обидва соленоїди (див. рис.) Соленоїд №2 вдвічі довший, має вдвічі більше витків та вдвічі більший діаметр, ніж соленоїд №1. Чому дорівнює відношення енергій магнітного поля у соленоїдах  $W_2/W_1$  ?



Відповідь: \_\_\_\_\_

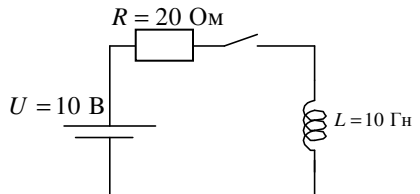
3. Визначте, скільки витків дроту діаметром  $d = 0,3$  мм потрібно намотати на картонний циліндр діаметром  $D = 1$  см, щоб отримати одношарову котушку з індуктивністю  $L = 1$  мГн? Витки намотують впритул один до одного.

*місце для розв'язку*

Відповідь: у загальному вигляді:  $N =$  \_\_\_\_\_,

числове значення: \_\_\_\_\_ витків.

4. У момент часу  $t = 0$  коло (див. рис.) замикають. Чому дорівнює початкове значення швидкості зміни струму  $dI/dt$  у соленоїді **одразу** після замикання кола?

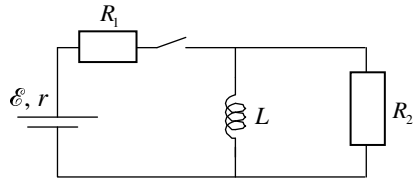


Відповідь: \_\_\_\_\_

5. У момент часу  $t = 0$  коло (див. рис.) замикають.

- Чому дорівнює початкове значення струму в соленоїді **одразу** після замикання кола?

Відповідь: \_\_\_\_\_



- Чому дорівнює значення струму у соленоїді через **довгий** проміжок часу після замикання кола?

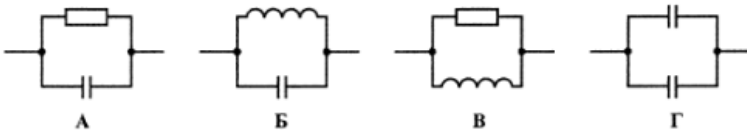
Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Який заряд пройде через резистор  $R_2$  (див. рис. до попередньої задачі) після розмикання ключа? ЕРС джерела  $\mathcal{E} = 12$  В, внутрішній опір джерела  $r = 1,5$  Ом, індуктивність котушки  $L = 0,2$  Гн, опори резисторів  $R_1 = 7,5$  Ом і  $R_2 = 3$  Ом. Опором котушки знехтуйте.

*місце для розв'язку*

Відповідь: у загальному вигляді:  $q =$  \_\_\_\_\_, числове значення: \_\_\_\_\_ Кл.

7. На якому з рисунків показаний коливальний контур?



Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Яку характеристику вільних електромагнітних коливань можна обчислити за формулою  $2\pi\sqrt{LC}$  ?

Відповідь: \_\_\_\_\_

9. Як зміниться період власних коливань контуру, якщо його індуктивність збільшити у 20 разів, а ємність зменшити в 5 разів?

Відповідь: збільшиться / зменшиться у \_\_\_\_\_ рази(ів)/не зміниться.

10. Заповніть пропущені місця у тексті про коливальний контур, що складається з конденсатора ємністю  $C$  і котушки з індуктивністю  $L$  :

• Циклічна частота коливань у такому контурі дорівнює \_\_\_\_\_. Якщо у початковий момент часу напруга на конденсаторі була максимальною і становила  $U_m$ , то залежність заряду на конденсаторі від часу визначається формулою  $q(t) =$  \_\_\_\_\_. Залежність сили струму в котушці від часу — формулою  $I(t) =$  \_\_\_\_\_. Через час  $\frac{\pi}{4}\sqrt{LC}$  напруга на конденсаторі буде дорівнювати \_\_\_\_\_, а енергія електричного поля конденсатора становитиме \_\_\_\_\_.

• Якщо у початковий момент часу сила струму в котушці такого контуру була максимальною і дорівнювала  $I_m$ , то залежність сили струму від часу буде визначатися формулою  $I(t) =$  \_\_\_\_\_, а залежність заряду на конденсаторі від часу — формулою  $q(t) =$  \_\_\_\_\_. Через час  $\frac{\pi}{4}\sqrt{LC}$  сила струму в котушці буде дорівнювати \_\_\_\_\_, а напруга на конденсаторі — \_\_\_\_\_. У той самий момент часу енергія магнітного поля котушки становитиме \_\_\_\_\_.

**11.** Побудуйте ескізи графіків залежностей вказаних величин від часу для гармонічних електромагнітних коливань, що відбуваються у коливальному контурі, який складається з конденсатора ємністю  $C$  і котушки з індуктивністю  $L$ .

Обов'язково позначте на графіках максимальне значення величини та період її зміни.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• залежність сили струму в котушці має вигляд <math>I(t) = I_m \cos \omega t</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• залежність сили струму в котушці має вигляд <math>I(t) = I_m \sin \omega t</math></li> </ul>
<p>графік залежності <math>I(t)</math>:</p>	<p>графік залежності <math>I(t)</math>:</p>
<p>графік залежності заряду на конденсаторі від часу <math>q(t)</math>:</p>	<p>графік залежності напруги на конденсаторі від часу <math>U(t)</math>:</p>

**12.** Амплітудне значення сили струму в коливальному контурі дорівнює 1,2 мА, амплітудне значення заряду на обкладинках конденсатора контуру 30 нКл. Визначте період вільних коливань у контурі.

Відповідь: у загальному вигляді:  $T = \underline{\hspace{2cm}}$ , числове значення  $\underline{\hspace{2cm}}$  мкс.

## ЛЕКЦІЯ 9. ЗМІННИЙ СТРУМ

### *Питання, що розглядаються*

- Змінний струм.
- Опори резистора, конденсатора та соленоїда.
- Резонанс.

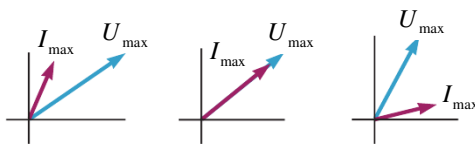
### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).  
IV.4. Змінний електричний струм.  
Частина 4.  
I.6. Вимушені електромагнітні коливання.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).  
§91. Вимушені електричні коливання.  
§92. Змінний струм.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).  
§11.1. Отримання змінної ЕРС.  
§11.2. Квазістаціонарний струм. Діючі значення сили струму і напруги. Середнє значення сили змінного струму.  
§11.3. Векторні діаграми.  
§11.4. Опір, індуктивність і ємність у колі змінного струму.  
Закон Ома для змінного струму.  
§11.5. Резонанс напруг.  
§11.6. Резонанс струмів.  
§11.7. Робота і потужність змінного струму.  
§12.3. Вимушені електричні коливання.

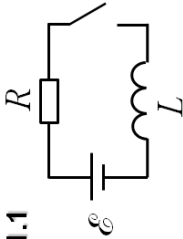
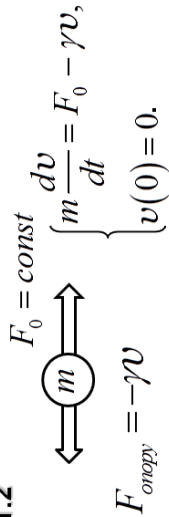
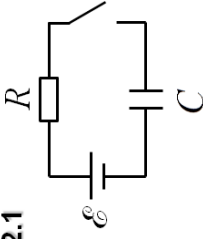
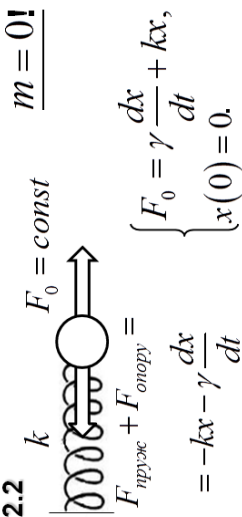


Поставте у відповідність кожній з наведених векторних діаграм такі нерівності:

А)  $X_L > X_C$ ;    Б)  $X_L = X_C$ ;    В)  $X_L < X_C$ .



**Слайди із запитаннями**  
**для відпрацювання необхідних навичок**

<b>МЕХАНІКО-ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНА АНАЛОГІЯ</b> (диференціальні рівняння першого порядку)	
<p><b>1.1</b></p> 	$\begin{cases} L \frac{dI}{dt} = \mathcal{E} - RI, \\ I(0) = 0. \end{cases}$
<p><b>1.2</b></p> 	$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = F_0 - \gamma v, \\ v(0) = 0. \end{cases}$
<p><b>2.1</b></p> 	$\begin{cases} \mathcal{E} = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}, \\ q(0) = 0. \end{cases}$
<p><b>2.2</b></p> 	$\begin{cases} F_0 = \gamma \frac{dx}{dt} + kx, \\ x(0) = 0. \end{cases}$

**1 ?** Опишіть словами кожен з чотирьох фізичних ситуацій, пояснюючи наведені диференціальні рівняння, початкові умови і додаткові припущення.

**2 ?** Які електродинамічні величини ставлять у відповідність у відповідність механічним величинам  $x, v, m, k, \gamma, F_0$  у наведеній аналогії? Поставте у відповідність не лише символічні позначення, а й назви!

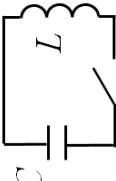
**3 ?** Знайдіть для заданих початкових умов розв'язки наведених диференціальних рівнянь (тобто  $I(t)$  і  $v(t)$ ;  $q(t)$  і  $x(t)$ ) і побудуйте відповідні графіки. Запишіть рівняння дотичних до графіків у точках з  $t = 0$ . Прокоментуйте їхній фізичний зміст.



## МЕХАНІКО-ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНА АНАЛОГІЯ

(окремі випадки гармонічних коливань)

1.1



$$L \frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{q}{C}$$

$$q|_{t=0} = q_0, \quad \frac{dq}{dt}|_{t=0} = 0.$$

1.2

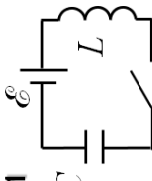


$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx,$$

$$x|_{t=0} = x_0, \quad \frac{dx}{dt}|_{t=0} = 0.$$

тертя  
відсутнє

2.1



$$\mathcal{E} = L\ddot{q} + \frac{q}{C},$$

$$q(0) = 0, \quad \dot{q}(0) = 0.$$

2.2



$$F_0 = const$$

$$F_0 = m\ddot{x} + kx,$$

$$x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0.$$

тертя  
відсутнє

1 ?

Опишіть словами кожен з чотирьох фізичних ситуацій, пояснюючи диференціальні рівняння, початкові умови і додаткові припущення. Що відповідає реарці "тертя відсутнє" в електричних схемах?

2 ?

Який фізичний зміст мають електродинамічні аналои імпульсу тіла, кінетичної енергії тіла і потенціальної енергії пружини? Не лише запишіть формули для відповідних величин, а й назвіть їх!

3 ?

Як одержати наведені диференціальні рівняння із закону збереження енергії?

4 ?

Виразіть  $\Gamma$  і  $\Phi$  через основні одиниці SI (кг, м, с, А), згадавши, що  $\text{Дж} = [F \cdot l] = [ma^2] = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$ .

5 ?

Знайдіть для першої пари порівнюваних рівнянь розв'язок у вигляді  $A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$ , а для другої – у вигляді  $a + b \cdot \cos \omega t + c \cdot \sin \omega t$ . Якими будуть формули для періодів коливань  $T(L, C)$  і  $T(m, k)$ ?

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №9

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група

1. Диференціальне рівняння, що описує згасаючі коливання у коливальному контурі:  $-L \frac{dI}{dt} = \frac{q}{C} + IR$ , де  $I = \dot{q}$ , можна записати у вигляді  $\ddot{q} + 2\gamma\dot{q} + \omega_0^2 q = 0$ .

• Запишіть назви фізичних величин, що були використані у цих рівняннях, та відповідні одиниці вимірювання:

$L$  — \_\_\_\_\_,  $I$  — \_\_\_\_\_,

$q$  — \_\_\_\_\_,  $C$  — \_\_\_\_\_,

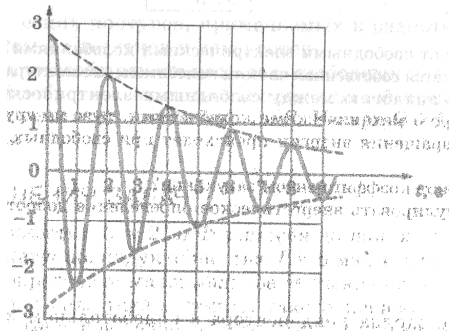
$R$  — \_\_\_\_\_,  $\omega_0$  — \_\_\_\_\_.

• Запишіть вираз для  $\gamma$  та  $\omega_0$ .

Відповідь:  $\gamma =$  \_\_\_\_\_,  $\omega_0 =$  \_\_\_\_\_.

2. На рисунку показаний процес згасаючих коливань у коливальному контурі. Знайдіть (приблизно) циклічну частоту коливань  $\omega$  і коефіцієнт згасання  $\gamma$ . Підказка: амплітуда коливань залежить від часу так:  $A(t) = A_0 e^{-\gamma t}$ .

Відповідь:  $\omega =$  \_\_\_\_\_  $\text{с}^{-1}$ ,  
 $\gamma =$  \_\_\_\_\_  $\text{с}^{-1}$ .

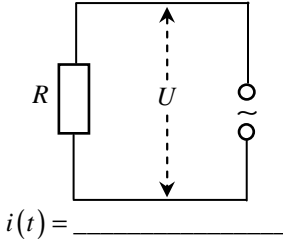


3. Заряджений конденсатор ємністю 6 мкФ підключили до котушки індуктивністю 60 мГн. Через 5 періодів амплітуда коливань у контурі становила 95% початкової напруги на конденсаторі. Який активний опір контуру?

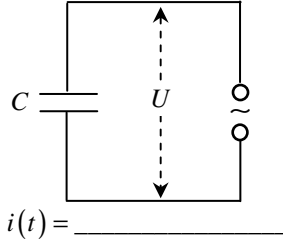
Відповідь: \_\_\_\_\_

4. На резистор, конденсатор і котушку індуктивності подається змінна напруга  $U(t) = U_m \cos \omega t$  (див рис.).

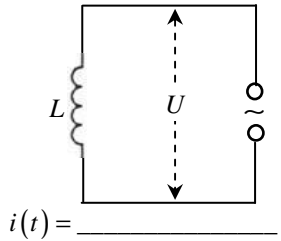
- Запишіть формулу залежності сили струму від часу та опір відповідного елемента:



опір = \_\_\_\_\_

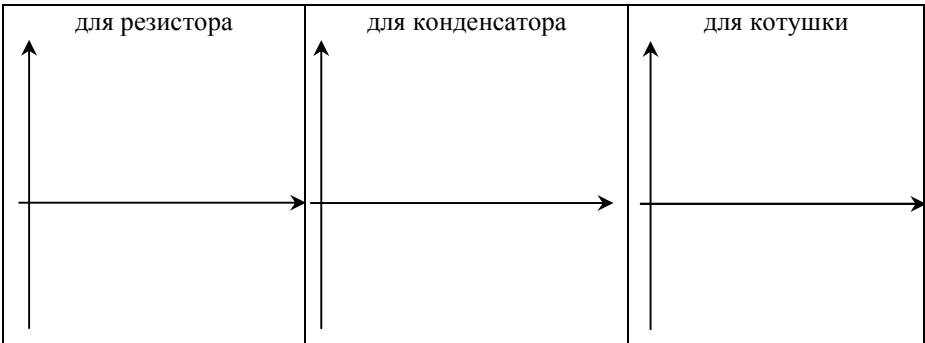


опір = \_\_\_\_\_



опір = \_\_\_\_\_

- Побудуйте відповідні графіки залежностей  $i(t)$  :



5. Вкажіть, як зміниться опір змінному струму...

**резистора**, якщо частота струму зменшиться у 5 разів?

Відповідь: \_\_\_\_\_

**конденсатора**, якщо його ємність збільшиться у 4 рази, а частота струму зменшиться у 7 разів?

Відповідь: \_\_\_\_\_

**котушки індуктивності**, якщо її індуктивність зменшиться 2 у рази, а частота струму збільшиться у 6 разів?

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Електронагрівник потужністю 600 Вт підключений до електромережі змінного струму 120 В. Яке **максимальне** значення струму, що тече у приладі?

Відповідь: \_\_\_\_\_

7. Резистор з опором  $R = 250$  Ом підключений до мережі змінного струму  $i(t) = 2 \cos 50\pi t$  (А). При цьому потужність джоулева тепла, що виділяється на резисторі, пов'язана з силою струму так:  $P = i^2 R$ .

Дайте відповідь на такі запитання:

• Чому дорівнює період зміни сили струму?      Відповідь: \_\_\_\_\_

А період зміни потужності?      Відповідь: \_\_\_\_\_

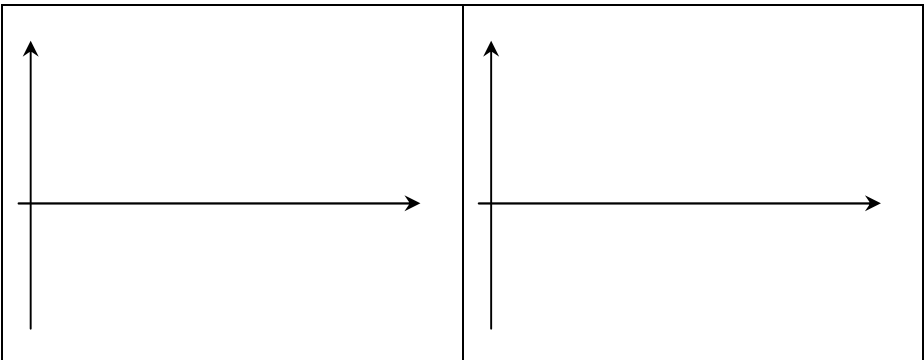
• У яких межах змінюється значення сили струму?      Відповідь: \_\_\_\_\_

А значення потужності?      Відповідь: \_\_\_\_\_

• Чому дорівнює середнє за період значення сили струму?      Відповідь: \_\_\_\_\_

А середнє значення потужності?      Відповідь: \_\_\_\_\_

• Побудуйте графіки залежностей  $i(t)$  та  $P(t)$ :

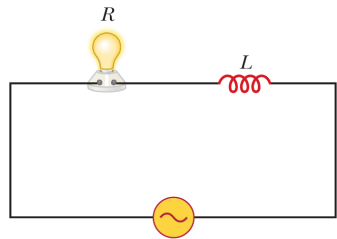


*Примітка.* Для відповіді на деякі запитання вам може стати у пригоді формула  $\cos^2 \alpha = (1 + \cos 2\alpha)/2$ .

8. Частоту змінного струму у колі (див. рис.) можна змінювати. Коли лампочка буде світити яскравіше?

- А) при більшій частоті коливань струму;  
 Б) при меншій частоті коливань струму;  
 В) яскравість лампочки не буде змінюватися.

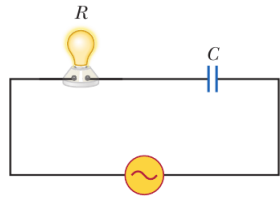
Відповідь: \_\_\_\_\_



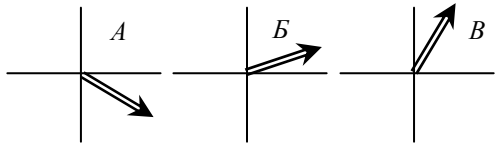
9. Частоту змінного струму у колі (див. рис.) можна змінювати. Коли лампочка буде світити яскравіше?

- А) при більшій частоті коливань струму;  
 Б) при меншій частоті коливань струму;  
 В) яскравість лампочки не буде змінюватися.

Відповідь: \_\_\_\_\_

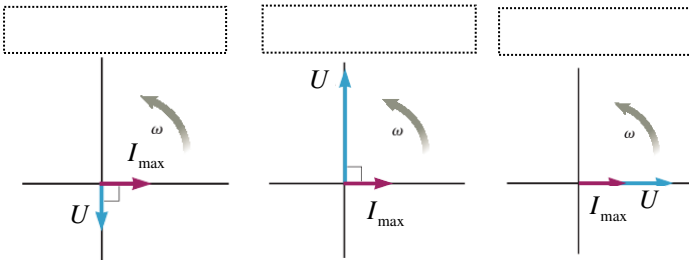


10. На рисунку зображена векторна діаграма для напруги у різні моменти часу. У якому випадку діаграма показує



- ... найбільше абсолютне значення напруги?      Відповідь: \_\_\_\_\_
- ... найменше абсолютне значення напруги?      Відповідь: \_\_\_\_\_

11. На рисунку наведені векторні діаграми для трьох випадків: резистор, конденсатор та котушка у колі змінного струму. Впишіть назву одного з цих приладів у прямокутник біля відповідної діаграми.



## ЛЕКЦІЯ 10. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

### *Питання, що розглядаються*

- Рівняння Максвелла. Властивості  $\epsilon/m$  хвиль.
- Напівхвильова антенна.
- Вектор Умова-Пойнтінга, інтенсивність.
- Шкала електромагнітних хвиль.
- Принцип Ферма.
- Закони відбивання заломлення світла. Повне внутрішнє відбивання.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

#### 1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).

Частина 4.

П.3. Електромагнітні хвилі.

П.4. Випромінювання та приймання електромагнітних хвиль.

Частина 5.

І.1. Елементарні поняття геометричної оптики.

І.2. Закони відбивання та заломлення світла.

#### 2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).

§69. Вихрове електричне поле.

§70. Струм зміщення.

§71. Рівняння Максвелла.

§107. Енергія електромагнітних хвиль.

§115. Геометрична оптика.

#### 3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).

§13.3. Електромагнітне поле.

§13.4. Струм зміщення. Система рівнянь Максвелла в інтегральній і диференціальній формах.

§14.1. Хвильове рівняння. Плоскі електромагнітні хвилі в однорідному середовищі, швидкість поширення їх.

§14.2. Енергія електромагнітної хвилі. Потік енергії. Вектор Умова – Пойнтінга.

§14.6. Поширення електромагнітних хвиль в неоднорідних середовищах. Відбивання і заломлення електромагнітних хвиль.

§14.11. Шкала електромагнітних хвиль.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №10

---

*П.І. студента*

---

*група*

1. Яка з двох хвиль  $y_1(x, t) = 2 \sin(2x - t)$  чи  $y_2(x, t) = 4 \sin(x - 2t)$  має більшу швидкість? У скільки разів?

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Час одного повного коливання поля електромагнітної хвилі — це...

Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Відстань, яку проходить електромагнітна хвиля у просторі за один період, називається...

Відповідь: \_\_\_\_\_

4. Що використовують як джерело електромагнітних хвиль?

- А) Закритий коливальний контур.      Б) Дріт, по якому тече постійний струм.  
В) Відкритий коливальний контур.      Г) Заряджений конденсатор.

Відповідь: \_\_\_\_\_

5. У скільки разів і як треба змінити індуктивність коливального контуру радіопередавача, щоб довжина електромагнітної хвилі, що випромінюється, змінилася від 300 до 250 м?

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. У якому з наведених випадків відбувається випромінювання електромагнітних хвиль?

- А) Електрон рухається рівномірно по колу.  
Б) Електрон здійснює коливальний рух.  
В) Електрон прискорюється електричним полем.  
Г) У всіх наведених випадках.

Відповідь: \_\_\_\_\_

7. Швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль у деякому немагнітному середовищі ( $\mu = 1$ ) дорівнює  $2,5 \cdot 10^8$  м/с. Чому дорівнює діелектрична проникність середовища?

Відповідь: \_\_\_\_\_

**8.** Електромагнітна хвиля розповсюджується у вакуумі. Виберіть усі правильні твердження.

- а) електромагнітна хвиля є поздовжньою хвилею.
- б) Електромагнітна хвиля є поперечною хвилею.
- в) вектор магнітної індукції поля хвилі спрямований у бік її розповсюдження.
- г) напрямок розповсюдження хвилі періодично змінюється.
- д) для розповсюдження електромагнітних хвиль потрібне пружне середовище.
- е) швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі залежить від довжини хвилі.
- ж) період хвилі обернено пропорційний її частоті.
- з) частота коливань електричного поля хвилі в два рази вище за частоту коливань її магнітного поля.

Відповідь: \_\_\_\_\_

**9.** Яка з вказаних нижче фізичних величин переноситься під час розповсюдження електромагнітної хвилі?

- А) Електромагнітна енергія.
- Б) Електромагнітний імпульс.
- В) Електромагнітна маса.
- Г) Всі три вказані величини.

Відповідь: \_\_\_\_\_

**10.** Напруженість електричного поля електромагнітної хвилі у вакуумі в деякій точці змінюється від максимального значення до нуля за 1 мкс. Яка довжина хвилі?

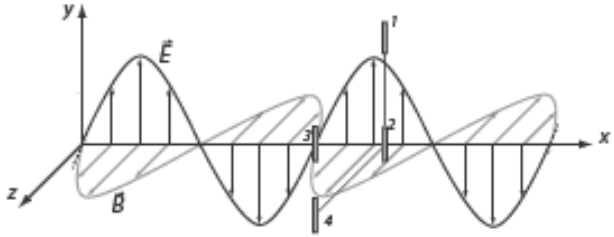
Відповідь: \_\_\_\_\_

**11.** Кожну секунду радіолокатор випромінює 1000 імпульсів. Яка найбільша дальність виявлення цілі? Дальність виявлення не обмежена потужністю радіолокатора.

Відповідь: \_\_\_\_\_



12. Електромагнітна хвиля (див. рис.) розповсюджується вправо. Чотири антени, що орієнтовані вертикально розташовані так, як показано на рисунку: №№1-3 лежать у площині  $XY$ , №№ 1, 2 та 4 мають однакову координату  $x$ . Яка з антен буде краще приймати сигнал?



Відповідь: \_\_\_\_\_

13. Скільки сонячних колекторів необхідно для того, щоб замінити електричний водонагрівач потужністю 4,8 кВт? Кожен колектор має розміри  $2 \times 2 \text{ м}^2$  та коефіцієнт корисної дії 40%. Вважайте, що інтенсивність сонячного випромінювання складає  $1 \text{ кВт/м}^2$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

14. Точкове джерело випромінює з потужністю  $P_0$  однаково в усіх напрямках. Детектор площею  $S$  розташований на відстані  $R$  від цього джерела. Яку потужність отримує цей детектор?

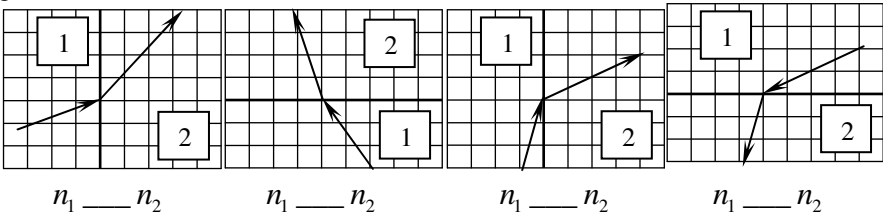
Відповідь: \_\_\_\_\_

15. Дві антени отримують сигнали від радіостанції, яка випромінює радіохвилі з однаковою потужністю у всіх напрямках. Антенна №2 вдвічі далі, ніж антенна №1, але має вдвічі більший діаметр (див. рис.). Яка з антен отримує випромінювання більшої потужності?



Відповідь: \_\_\_\_\_

16. Визначте співвідношення між коефіцієнтами заломлення  $n_1$  і  $n_2$  (див. рис.):



17. Два спостерігачі визначають «на око» кутову висоту Сонця над горизонтом. Перший спостерігач знаходиться на березі озера, а інший — аквалангіст — неглибоко під водою. Для кого з них Сонце здаватиметься вищим?

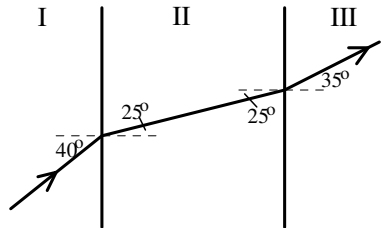
Відповідь: \_\_\_\_\_

18. Коли кут падіння променя з повітря на поверхню пластинки дорівнює  $80^\circ$ , кут заломлення дорівнює  $41^\circ$ . Визначить швидкість світла в пластинці.

Відповідь: \_\_\_\_\_

19. Промінь світла проходить крізь три різних середовища (див. рис.). Як співвідносяться між собою показники заломлення цих середовищ?

Відповідь: \_\_\_\_\_

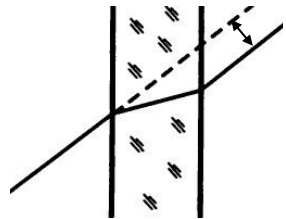


20. Промінь світла падає з води на межу розділу вода-скло. При якому куті падіння відбитий і заломлений промені будуть перпендикулярні один до одного? (показник заломлення води 1,3, скла — 1,5).

Відповідь: \_\_\_\_\_

21. Кут падіння світла на скляну ( $n = 1,5$ ) плоскопаралельну пластинку дорівнює  $60^\circ$ . Промінь, що пройшов крізь пластинку, змістився на 8 мм (див. рис.). Яка товщина пластинки?

Відповідь: \_\_\_\_\_



## ЛЕКЦІЯ 11. ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

### *Питання, що розглядаються*

- Параболічне дзеркало.
- Формула сферичного дзеркала.
- Лінійне збільшення.
- Лінзи: збиральні та розсіювальні.
- Формула тонкої лінзи.
- Оптична сила лінзи та параметри лінзи.
- Око.
- Дисперсія.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).
  - I.3. Принцип отримання зображень. Лінзи.
  - I.4. Оптичні прибори.
  - II.3. Дисперсія.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).
  - §116. Центрована оптична система.
  - §117. Тонка лінза.
  - §118. Принцип Гюйгенса.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [2]).
  - §2.1. Основні поняття та означення. Принцип Ферма. Правило знаків.
  - §2.2. Відбивання та заломлення світла на плоскій межі поділу середовищ. Повне відбивання.
  - §2.3. Заломлення і відбивання променів сферичною поверхнею. Теорема Лагранжа – Гельмгольца.
  - §2.4. Тонка лінза.
  - §2.9. Око як оптична система.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №11

---

*П.І. студента*

---

*група*

1. Зображення предмету в плоскому дзеркалі...

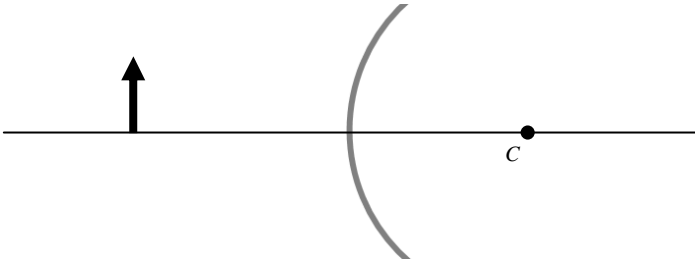
А) ... уявне.      Б)... зменшене.      В)... дійсне.      Г)... збільшене.

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Якою повинна бути мінімальна висота вертикального дзеркала, щоб людина зростом 180 см могла бачити в ньому своє зображення на повний зріст?

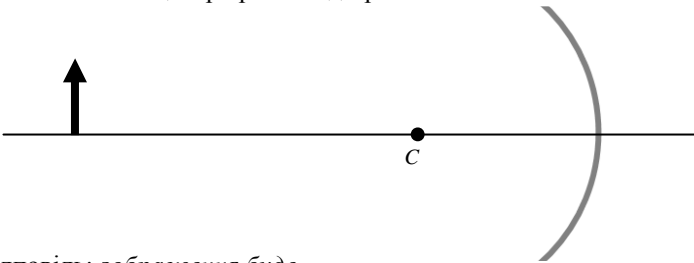
Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Побудуйте зображення в опуклому дзеркалі та визначте, яким воно буде (див. рис.). Точка *C* — центр кривини дзеркала.



Відповідь: зображення буде  
дійсним / уявним, прямим / оберненим, збільшеним / зменшеним.

4. Побудуйте зображення у вогнутому дзеркалі та визначте, яким воно буде (див. рис.). Точка *C* — центр кривини дзеркала.



Відповідь: зображення буде  
дійсним / уявним, прямим / оберненим, збільшеним / зменшеним.

5. Яку з лінз можна використовувати як збільшувальне скло?



Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Формула, за якою можна розрахувати оптичну силу тонкої лінзи через радіуси кривини її поверхонь має вигляд...

Відповідь: \_\_\_\_\_

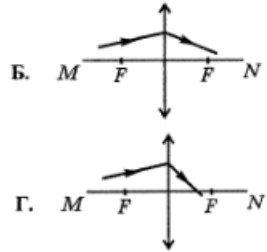
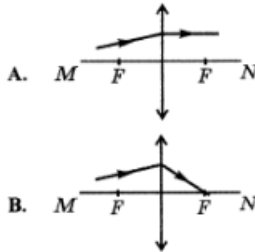
7. Формула тонкої лінзи має вигляд...

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Лінійне збільшення тонкої лінзи можна розрахувати знаючи відстань від зображення до лінзи та відстань від предмета до лінзи за формулою ...

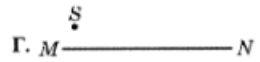
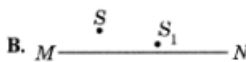
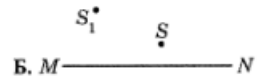
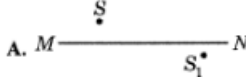
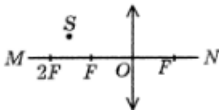
Відповідь: \_\_\_\_\_

9. На рисунку показаний падаючий на лінзу світловий промінь. Який з рисунків правильно ілюструє подальше розповсюдження цього променя?



Відповідь: \_\_\_\_\_

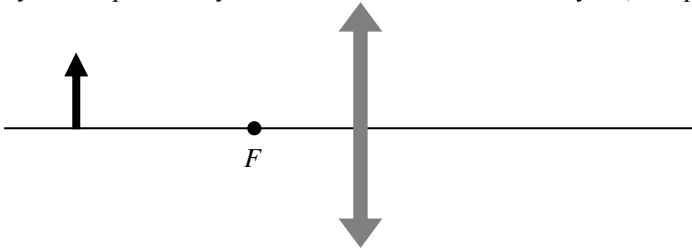
10. На рисунку зображена точка, що світиться,  $S$  і збираюча лінза. На якому з рисунків правильно показано зображення точки  $S$ ?



Відповідь: \_\_\_\_\_

$S_1^*$

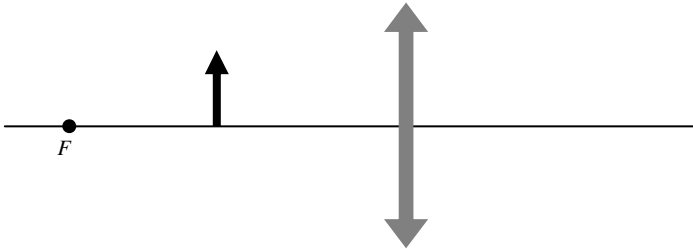
11. Побудуйте зображення у лінзі та визначте, яким воно буде (див. рис.).



Відповідь: зображення буде (підкресліть!)

*дійсним / уявним, прямим / оберненим, збільшеним / зменшеним.*

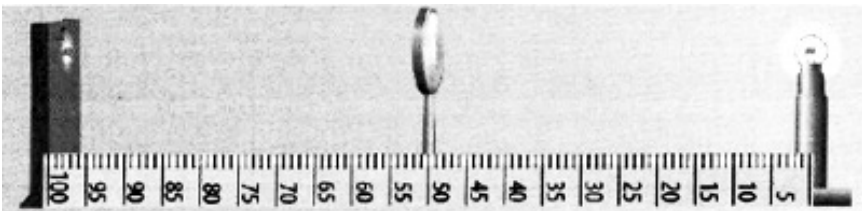
12. Побудуйте зображення у лінзі та визначте, яким воно буде (див. рис.).



Відповідь: зображення буде (підкресліть!)

*дійсним / уявним, прямим / оберненим, збільшеним / зменшеним.*

13. Студентка отримала чітке зображення нитки розжарювання лампи на екрані. Визначте оптичну силу лінзи. Одна поділка лінійки дорівнює 1 см.



Відповідь: \_\_\_\_\_

**14.** Знайдіть оптичну силу тонкої скляної лінзи, яку вона буде мати, якщо помістити цю лінзу у рідину з показником заломлення 1,7. У повітрі ця лінза має оптичну силу  $-5,0$  дптр, показник заломлення скла 1,5.

*місце для розв'язку*

Відповідь: \_\_\_\_\_

**15.** Падаючий на деякий оптичний об'єкт промінь задали матрицею-стовбцем  $\begin{pmatrix} \pi/20 \\ 0,02 \end{pmatrix}$ . Вважаючи, що всі величини задані в SI, напишіть, що означають задані числа.

Відповідь:  $\pi/20$  — це \_\_\_\_\_,

$0,02$  — це \_\_\_\_\_.

**16.** Падаючий на лінзу промінь задається за допомогою матриці-стовбця  $\begin{pmatrix} \pi/20 \\ 0,03 \end{pmatrix}$ , а матриця тонкої лінзи має вигляд  $\begin{pmatrix} 1 & -0,4 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  (всі величини задані в SI). Знайдіть, під яким кутом до горизонту вийде цей промінь після заломлення у лінзі.

*місце для розв'язку*

Відповідь: \_\_\_\_\_

## ЛЕКЦІЯ 12. ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛОВИХ ХВИЛЬ

### *Питання, що розглядаються*

- Когерентність і монохроматичність світлових хвиль.
- Інтерференція.
- Інтерференція на одній та двох щілинах.
- Інтерференція світла в тонких плівках.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).  
II.1. Інтерференція.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).  
§119. Інтерференція світлових хвиль.  
§120. Когерентність.  
§121. Способи спостереження інтерференції світла.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [2]).  
§3.1. Накладання світлових хвиль. Принцип суперпозиції.  
§3.2. Методи одержання когерентних пучків світла поділом хвильового фронту.  
§3.4. Методи одержання когерентних пучків світла поділом амплітуди.  
§3.5. Багатопроменева інтерференція.  
§3.6. Застосування інтерференції в науці і техніці.  
Інтерферометри.



Яку найменшу товщину може мати мильна плівка, якщо при освітленні її білим світлом відбиті промені здаються червоними?

Коефіцієнт заломлення мильного розчину дорівнює 1,33, а довжину хвилі червоного світла вважайте рівною 630 нм.



## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №12

---

П.І. студента

група

1. В деякій точці простору накладаються одна на одну дві когерентні світлові хвилі з різницею ходу півтори довжин хвилі. Що можна сказати про різницю фаз цих хвиль у даній точці?

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Дві когерентні хвилі можуть під час додавання утворювати інтерференційну картину, якщо...

А)  $v_1 = v_2, \Delta\varphi = 0$ .

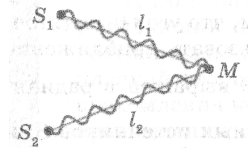
Б)  $v_1 = v_2, \Delta\varphi = \text{const}$ .

В)  $v_1 = v_2, \Delta\varphi \neq \text{const}$ .

Г)  $v_1 \neq v_2, \Delta\varphi \approx \Delta t$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Два когерентних джерела з довжиною хвилі  $\lambda$  розташовані на різних відстанях  $l_1$  і  $l_2$  від точки  $M$  (див. рис.). Чому дорівнює початковий фазовий зсув між хвилями і що буде спостерігатися у точці  $M$ ? Відповідь поясніть.



Відповідь:  $\Delta\varphi_{\text{початкове}} = \underline{\hspace{2cm}}$ , максимум/мінімум.

Пояснення до відповіді: \_\_\_\_\_

---

4. Оптична різниця ходу між двома когерентними хвилями у точці розташування детектора дорівнює  $4,5\lambda$ .

• Чому дорівнює різниця фаз між хвилями (у радіанах) у цій точці?

Відповідь: \_\_\_\_\_

• Чи буде спостерігатися у цій точці інтерференційний максимум? А мінімум?

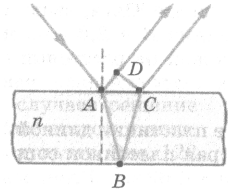
Відповідь: \_\_\_\_\_

5. В деяку точку простору приходять дві когерентні світлові хвилі з різницею ходу  $1,2 \mu\text{м}$ . Якою може бути довжина хвилі, щоб в даній точці спостерігався інтерференційний максимум? Наведіть три можливі довжини хвилі.

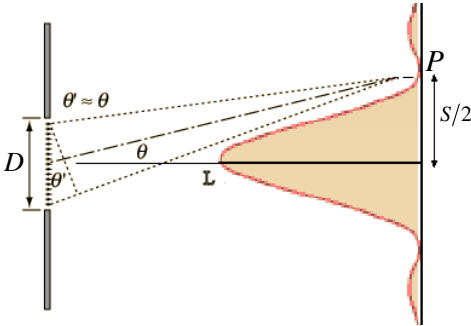
Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Чому дорівнює різниця ходу променів з довжиною хвилі  $\lambda$  у відбитому світлі від плівки, показник заломлення якої дорівнює  $n$ ? Відстані між позначеними на рисунку точками відомі.

Відповідь: \_\_\_\_\_.



7. Заповніть пропущені місця у тексті про світлову хвилю та щілину:



З рисунку видно, що у точці  $P$  спостерігається мінімум. Можна довести, що для цього різниця ходу  $\Delta$  між хвилями, які показані на рисунку, має дорівнювати  $\lambda$ .

З іншого боку, зв'язок між різницею ходу та шириною щілини можна записати як  $\Delta = D \sin \theta$ . Оскільки кут  $\theta$  малий, то  $\sin \theta \approx \text{tg } \theta$ , а тангенс

кута  $\theta$  можна пов'язати із відстанню між екраном та щілиною та півшириною центрального максимуму.

Наведені вище міркування можна записати за допомогою системи рівнянь, звідки легко отримати формулу для довжини хвилі:

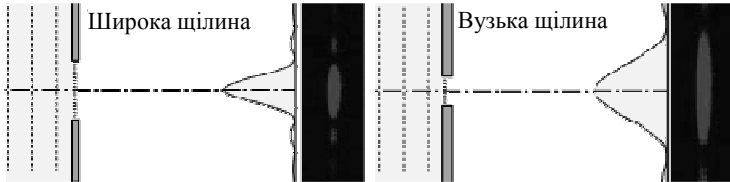
$$\left. \begin{array}{l} \Delta = \_, \quad \Delta = \_ \sin \theta \\ \sin \theta \approx \_, \quad \text{tg } \theta \approx \frac{S}{\_ L} \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = \frac{\_}{\_}$$

Цей результат можна використати для розрахунку довжини хвилі лазера. Якщо відомо, що ширина центрального максимуму дорівнює 2,6 см, ширина щілини — 0,1 мм, а екран розташований на відстані 3,0 м від цієї щілини, то довжина хвилі лазера має бути ...

*місце для розрахунків*

Відповідь: \_\_\_\_\_ нм

8. Під час вивчення інтерференції на щілині діаметр щілини починають зменшувати. Картину, що спостерігають на екрані, показано на рисунку. Поясніть, чому при зменшенні ширини щілини ширина центрального максимуму збільшується.

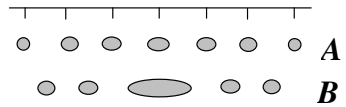


Відповідь: \_\_\_\_\_

9. Фіолетове світло з довжиною хвилі  $\lambda$  проходить крізь щілину шириною  $D$  і формує на екрані картину, в якій ширина центрального максимуму дорівнює  $S$ . Якщо замінити фіолетове світло на червоне з довжиною хвилі приблизно  $2\lambda$ , то ширина центрального максимуму...

Відповідь: \_\_\_\_\_

10. Промінь лазера у одному з дослідів проходить крізь одну щілину розміром  $D$ , а у іншому досліді — крізь дві малі щілини, що розташовані на відстані  $d$  одна від одної (всі інші умови дослідів однакові).



- Який з рисунків відповідає випадку з двома щілинами?

Відповідь: \_\_\_\_\_

- Як співвідносяться  $D$  і  $d$ ? А)  $d \approx D$ ; Б)  $d \approx 2D$ ; В)  $d \approx D/2$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

11. Промінь лазера проходить крізь дві щілини, відстань між якими дорівнює  $d$ . Поступово ширину щілини збільшують. Які зміни будуть відбуватися на екрані?

Відповідь: \_\_\_\_\_

## Тренування практичних вмінь

12. Студент, досліджуючи за допомогою лазера явище інтерференції на двох щілинах, отримав таку картину максимумів та мінімумів (див. рис.).



Знаючи, що в цьому випадку відстань  $\Delta y$  між сусідніми максимумами **центральної** частини отриманої картини пов'язана з довжиною хвилі лазера формулою

$$\Delta y = \frac{L}{d} \lambda,$$

де  $L$  — відстань між щілинами та екраном,  $d$  — відстань між щілинами ( $d = 0,12$  мм), студент вирішив визначити довжину хвилі лазера.

13. Користуючись наведеним вище рисунком (ширина **центральної** групи максимумів і мінімумів складає 26 мм), знайдіть відстань  $\Delta y$  між найближчими максимумами **центральної** групи.

$$\Delta y = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м.}$$

14. Користуючись формулою з завдання 12 і вважаючи, що відстань між щілинами на екраном дорівнює 50 см, визначить довжину хвилі лазера.

*місце для розрахунків*

$$\lambda = \underline{\hspace{2cm}} \text{ нм (значення округліть до десятків нанометрів).}$$

15. Якого кольору був промінь лазера, що використовував студент у своєму дослідженні?

Відповідь: \_\_\_\_\_

## ЛЕКЦІЯ 13. ДИФРАКЦІЯ ТА ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА

### *Питання, що розглядаються*

- Дифракція.
- Роздільна здатність приладів.
- Дифракційна ґратка.
- Застосування дифракції.
- Поляризація.
- Закон Малюса.
- Закон Брюстера.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [4]).  
П.2. Дифракція.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [3]).  
§130. Дифракційна ґратка.  
§134. Природне та поляризоване світло.  
§135. Поляризація під час відбивання та заломлення.  
§136. Поляризація під час подвійного заломлення промінів.
3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [2]).  
§4.1. Означення дифракції. Принцип Гюйгенса – Френеля.  
§4.4. Дифракційні ґратки.  
§5.1. Природне і поляризоване світло. Поляризація світла при відбиванні і заломленні на межі поділу однорідних та ізотропних оптичних середовищ.  
§5.2. Подвійне заломлення променів.



Уявіть, що Ви спостерігаєте за подвійної зіркою у телескоп і маєте труднощі із розділенням зображення цих двох зірок. Ви вирішуєте використати кольоровий фільтр для збільшення роздільної здатності телескопа.

Який фільтр Ви виберете?

- А) синій,    Б) зелений,    В) жовтий,    Г) червоний.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ №13

---

*П.І. студента*

---

*група*

1. Дифракцією світла називається ...

Відповідь: \_\_\_\_\_

---

2. Якщо відомо, що дифракційна ґратка має 200 штрихів на кожний міліметр, то це означає, що період цієї ґратки дорівнює ...

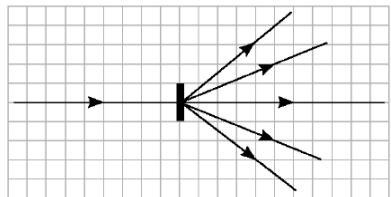
Відповідь: \_\_\_\_\_ мм.

3. На відстані 2 м від екрану знаходиться дифракційна ґратка, у якій 50 штрихів на кожний міліметр. Чому буде дорівнює відстань між максимумами нульового і першого порядку, якщо на ґратку падає світло з довжиною хвилі 600 нм?

*місце для розв'язку*

Відповідь: \_\_\_\_\_ м.

4. На рисунку показано пучок монохроматичного ультрафіолетового світла, що падає на дифракційну ґратку, яка має 1200 штрихів на 1 мм. Визначте довжину хвилі.



*місце для розв'язку*

Відповідь: \_\_\_\_\_

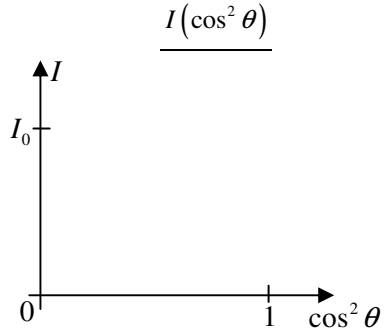
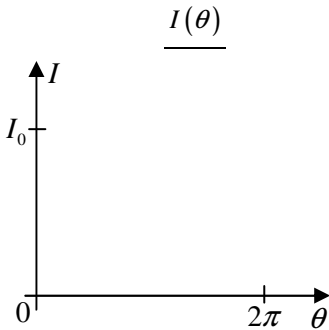
5. У скільки разів зменшується інтенсивність неполяризованого світла після проходження крізь поляризатор?

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Запишіть формулу закону Малюса.

Відповідь: \_\_\_\_\_

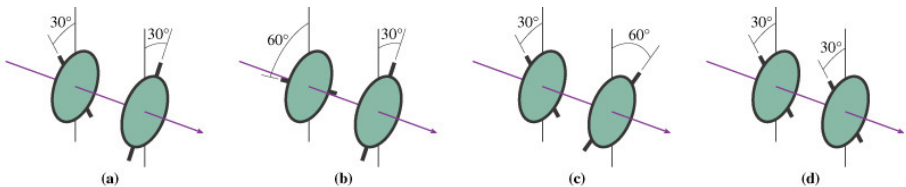
7. Побудуйте ескізи графіків таких залежностей для інтенсивності поляризованого світла після проходження крізь аналізатор:



8. Неполяризоване світло проходить крізь два поляризатора, що орієнтовані під кутом  $45^\circ$  один до одного. Початкова інтенсивність падаючого світла дорівнює  $I_0$ . Яка інтенсивність світла, що пройшов крізь обидва поляризатора?

Відповідь: \_\_\_\_\_

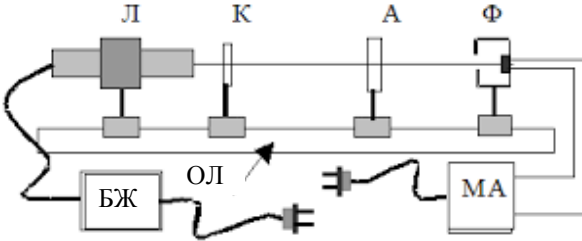
9. Неполяризоване світло однакової інтенсивності падає на чотири пари поляризаційних фільтрів (див. рис.). Розташуйте у порядку зменшення інтенсивності  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $I_d$  світла після проходження кожної пари поляризаторів.



Відповідь: \_\_\_\_\_

### Тренування практичних вмінь

Студентка, перевіряючи закон Малюса, використала таку експериментальну установку (див. рис.):



на оптичній лаві (ОЛ) встановлені лазер (Л), конденсаторна лінза (К), поліроїд-аналізатор (А) і фоторезистор (Ф).

Випромінювання лазера проходить крізь конденсаторну лінзу, що робить промінь дещо ширшим, потім потрапляє на аналізатор, який можна обертати, змінюючи кут  $\varphi$  між площиною поляризації лазерного випромінювання і власною площиною аналізатора, і, нарешті, падає на фоторезистор, в якому виникає струм, сила якого фіксується мікроамперметром (МА). Сила цього струму  $i$  пропорційна інтенсивності світла, що потрапляє на фоторезистор.

Результати відповідного експерименту показані у таблиці:

$\varphi$ , градуси	$i$ , (мкА)	$\varphi$ , градуси	$i$ , (мкА)
0°	96	50°	40
10°	88	60°	23
20°	72	70°	13
30°	65	80°	9
40°	50	90°	0

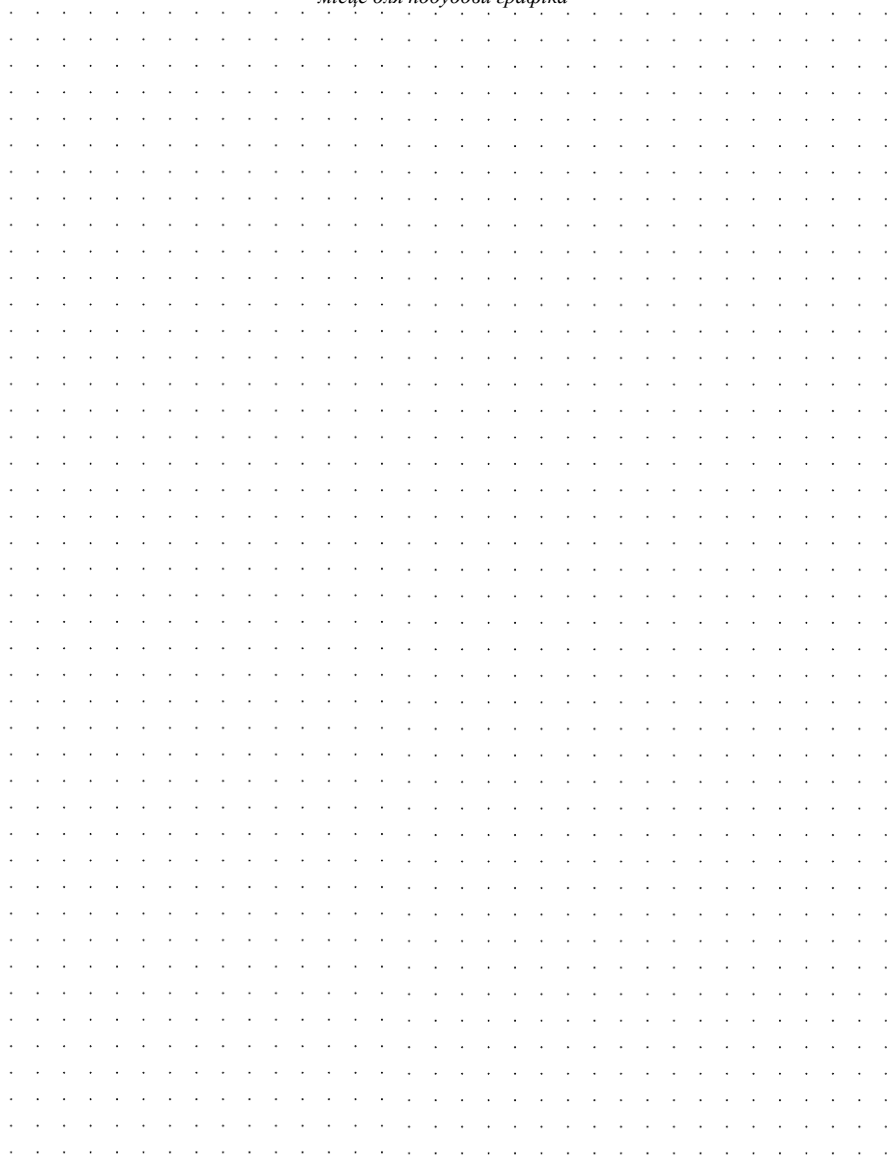
**10.** Побудуйте за цими даними графік, за допомогою якого можна було б підтвердити або спростувати закон Малюса (використайте для цього наступну сторінку).

**Підказка:** подумайте, яку саме залежність має сенс будувати:  $i(\varphi)$ ,  $i(\varphi^2)$ ,  $i(\cos \varphi)$  чи  $i(\cos^2 \varphi)$ ?

**11.** Зробіть висновок щодо того, чи підтверджує цей експеримент справедливість закону Малюса.



*місце для побудови графіка*



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Основна

1. Кучерук І.М. Загальний курс фізики: У 3 т.: Навч. посіб. для студ. вищ. техн. і пед. закл. освіти / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик; за ред. І.М. Кучерука. — Т. 2. Електрика і магнетизм. — К.: Техніка, 2001. — 452 с.
2. Кучерук І.М. Загальний курс фізики: У 3 т.: Навч. посіб. для студ. вищ. техн. і пед. закл. освіти / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук; за ред. І.М. Кучерука. — Т. 3. Оптика. Квантова фізика. — К.: Техніка, 1999. — 520 с.
3. Савельев І.В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. Т. 2. Электричество / И.В. Савельев.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. — 480 с.
4. Соколов Є. П. Екзаменаційна фізика. Лекції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.]: в 2 т. / Є. П. Соколов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – Т.2. – 222 с.

### Додаткова

5. Зельдович Я.Б. Высшая математика для начинающих и ее приложения к физике / Я.Б. Зельдович. — М., 1968. — 576 с.
6. Математичний апарат фізики: методичні вказівки з дисципліни “Фізика” для слухачів факультету загальнотехнічної підготовки. Частина 1 / Укладачі: І.П. Даценко, О.А. Лозовенко, Ю.П. Мінаєв. — Запоріжжя, ЗНТУ, 2014. — 82 с.
7. Математичний апарат фізики: методичні вказівки з дисципліни “Фізика” для слухачів факультету загальнотехнічної підготовки. Частина 2 / Укладачі: І.П. Даценко, О.А. Лозовенко, Ю.П. Мінаєв. — Запоріжжя, ЗНТУ, 2014. — 78 с.
8. Мінаєв Ю.П. Математичний апарат фізики для першокурсників : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Ю.П. Мінаєв. — Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2013. — 200 с.
9. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество / Д.В. Сивухин. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. — 688 с.



