

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**ДО САМОСТІЙНОЇ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ**  
**З КУРСУ «ФІЗИКА»**  
**ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ**  
**спеціальності 122 — “Комп'ютерні науки та інформаційні технології”**

**Запоріжжя**  
**2019**

Методичні рекомендації до самостійної практичної роботи з курсу «Фізика» для студентів денної форми навчання спеціальності 122 — “Комп'ютерні науки та інформаційні технології” / Укладач: О.А. Лозовенко. — Запоріжжя, ЗНТУ, 2019. — 77 с.

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

Рецензент: М.І. Правда, доцент, к. ф.-м.н.

Відповідальний

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

Затверджено на засіданні кафедри фізики  
Протокол № 6 від 18.04.2019

Рекомендовано до видання НМК  
факультету комп'ютерних наук і технологій  
Протокол №9 від 26.04.2019

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	5
<b><i>Лекція 1. Кінематика</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	6
Рекомендовані для читання матеріали.....	6
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 1.....	8
<b><i>Лекція 2. Закони Ньютона</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	12
Рекомендовані для читання матеріали.....	12
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 2.....	14
<b><i>Лекція 3. Закони збереження імпульсу та механічної енергії</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	18
Рекомендовані для читання матеріали.....	18
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 3.....	20
<b><i>Лекція 4. Обертальний рух і закон збереження моменту імпульсу</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	24
Рекомендовані для читання матеріали.....	24
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 4.....	26
<b><i>Лекції 5-6. Механічні коливання та хвилі</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	30
Рекомендовані для читання матеріали.....	30
Обов'язкове домашнє завдання до лекцій 5-6.....	32
<b><i>Лекція 7. Заряди та електричні поля</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	36
Рекомендовані для читання матеріали.....	36
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 7.....	37
<b><i>Лекція 8. Енергія електричного поля</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	41
Рекомендовані для читання матеріали.....	41
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 8.....	42

<b><i>Лекція 9. Електроємність</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	46
Рекомендовані для читання матеріали.....	46
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 9.....	47
<b><i>Лекція 10. Електричний струм</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	51
Рекомендовані для читання матеріали.....	51
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 10.....	53
<b><i>Лекція 11. Магнітне поле</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	57
Рекомендовані для читання матеріали.....	57
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 11.....	59
<b><i>Лекція 12. Електромагнітна індукція</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	63
Рекомендовані для читання матеріали.....	63
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 12.....	64
<b><i>Лекція 13. Змінний струм та е/м хвилі</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	68
Рекомендовані для читання матеріали.....	68
Обов'язкове домашнє завдання до лекції 13.....	70
<b><i>Лекції 14-15. Елементи фізики твердого тіла</i></b>	
Питання, що розглядаються.....	74
Рекомендовані для читання матеріали.....	74
<b>Список рекомендованої літератури.....</b>	<b>76</b>

## ВСТУП

Головною метою даного навчального посібника є надання студентам максимально докладної інформації щодо організації їхньої самостійної практичної роботи протягом вивчення курсу фізики. 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.

Звертаємо увагу на наявність дванадцяти *обов'язкових домашніх завдань*, тексти яких містяться у посібнику після матеріалів до кожного лекційного заняття. Передбачається, що студент самостійно роздруковує 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. КІНЕМАТИКА

### *Питання, що розглядаються*

- Одиниці вимірювання в механіці.
- Система відліку.
- Поняття матеріальної точки.
- Поступальний рух.
- Обертальний рух.
- Прямолінійний рух.
- Координата, шлях, переміщення.
- Середня шляхова швидкість.
- Середня швидкість.
- Миттєва швидкість.
- Прискорення.
- Зв'язок між графіками кінематичних величин
- Вільне падіння.
- Рух у просторі.
- Радіус-вектор.
- Швидкість та прискорення як векторні величини.
- Нормальне та тангенціальне прискорення.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [7]).

- I.1. Елементарні поняття кінематики.
- I.2. Швидкість. Середня та миттєва швидкість.
- I.3. Прискорення.

2. Мінаєв Ю.П. Математичний апарат фізики для першокурсників (див. [4]).

1.1. Зв'язок між швидкістю змінення значень функції та кутовим коефіцієнтом дотичної до графіка.

1.2. Формальні означення та деякі властивості похідної та первісних.

1.3. Доведення формули для похідної функції  $y = x^n$  ( $n \in \mathbb{N}$ ) різними способами (методом математичної індукції та за допомогою бінома Ньютона).

1.5. Визначений інтеграл і приріст первісної.

1.6. Застосування ідеї інтегрування для обчислення площ та об'ємів геометричних об'єктів, а також роботи силового поля у випадку прямолінійного руху матеріальної точки.

**3. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [5]).**

§1. Механічний рух

§2. Деякі відомості про вектора.

§3. Швидкість.

§4. Прискорення.

**4. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).**

§1.1. Механічний рух. Уявлення про простір і час у класичній механіці. Кінематичний опис.

§1.2. Основні види руху твердих тіл.

§1.3. Вектор переміщення. Швидкість.

§1.4. Прискорення.

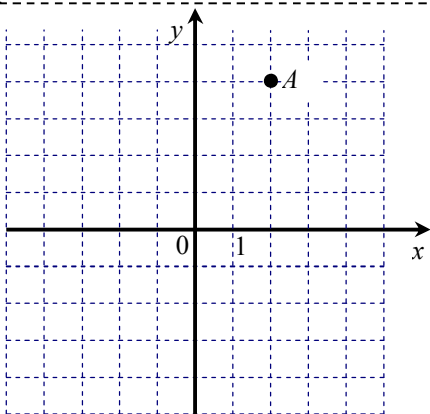
## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 1

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

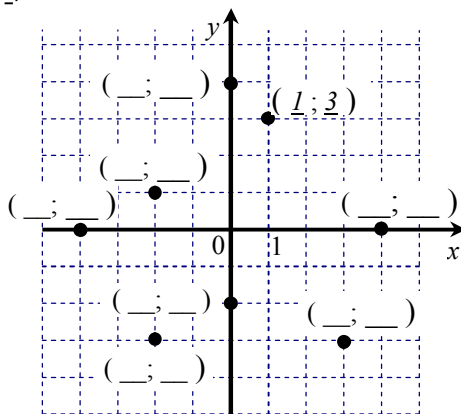
\_\_\_\_\_  
група

1. Позначте положення кожної точки.

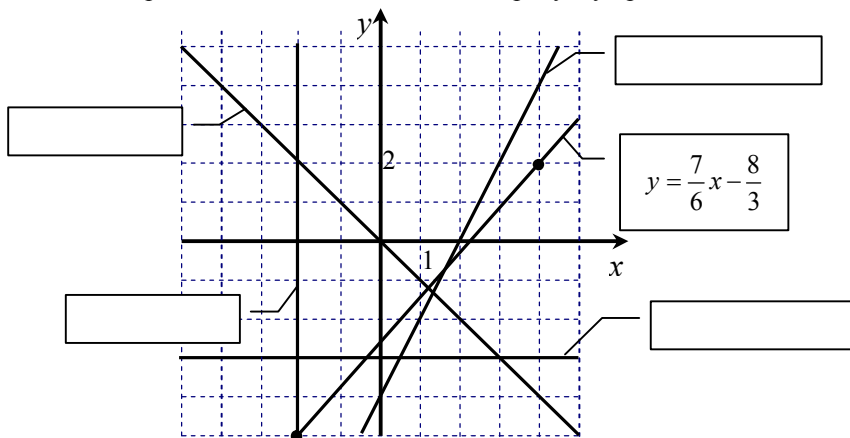
$A(2;4)$ ,  $B(-1;3)$ ,  $C(3;-2)$ ,  $D(0;1)$ ,  
 $E(4;0)$ ,  $F(0;-4)$ ,  $G(-2;0)$ ,  $H(-3;-2)$



2. Визначте координати кожної позначеної точки.



2. Запишіть рівняння кожної з наведених на рисунку прямих.



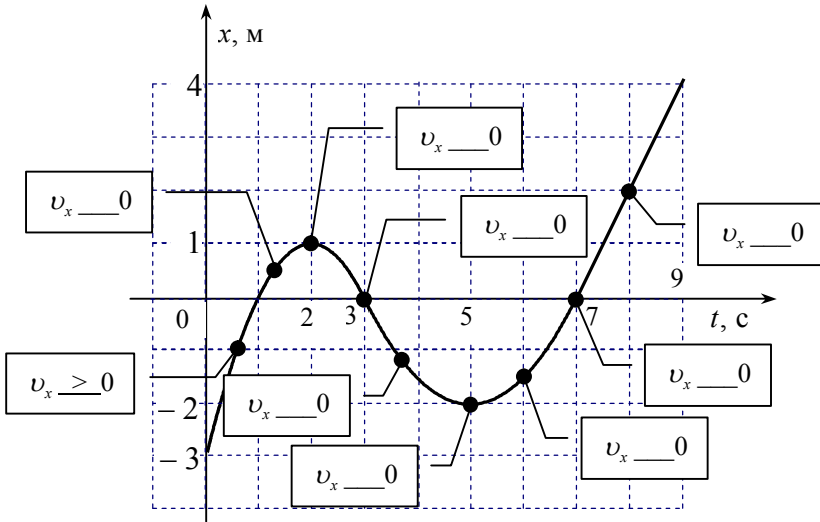
3. Знайдіть похідні функцій за вказаними змінними.

$$y(x) = 3 - 4x \quad \frac{dy}{dx} = \underline{-4} \quad x(t) = 3 - \frac{1}{2}t^2 \quad \frac{dx}{dt} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$y(x) = 2x - \frac{3}{4}x^2 + 1 \quad \frac{dy}{dx} = \underline{\hspace{2cm}} \quad x(t) = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \quad \frac{dx}{dt} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$y(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad \frac{dy}{dt} = \underline{\hspace{2cm}} \quad y(t) = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \quad \frac{dy}{dt} = \underline{\hspace{2cm}}$$

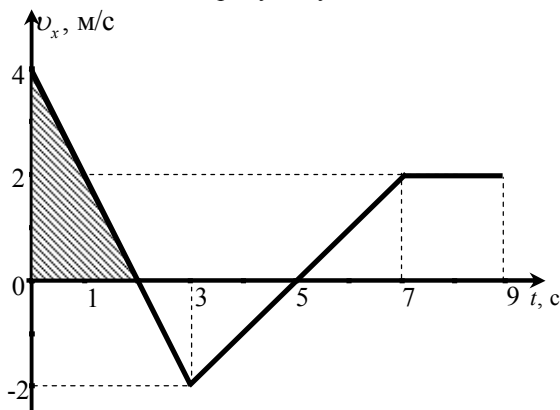
4. Визначте знак проекції швидкості тіла у вказаних на графіку точках.



5. Матеріальна точка рухається вздовж осі  $Ox$ . Запишіть вираз для залежності  $x(t)$ .

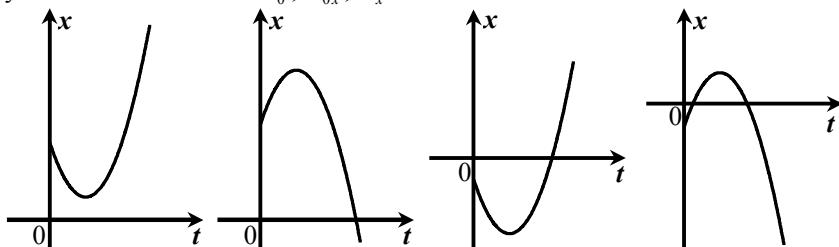
Рух відбувається з прискоренням $4 \text{ м/с}^2$ . В момент часу $t=0$ тіло знаходилось у точці початку координат, а його швидкість дорівнювала нулю.	$x(t) = \frac{4 \cdot t^2}{2} = 2 \cdot t^2$
Залежність швидкості від часу $v_x(t) = 3 - t$ , початкова координата $x_0 = 4 \text{ м}$ .	
Стале прискорення дорівнює $3 \text{ м/с}^2$ , початкова швидкість дорівнює $2 \text{ м/с}$ і спрямована протилежно до напрямку осі $Ox$ , початкова координата дорівнює $1 \text{ м}$ .	

6. Визначте шлях, який пройшло тіло за вказаний інтервал часу, напрям руху тіла та заповніть пропуски у тексті.



інтервал часу	шлях	напрям руху
0 – 2 с	4 м	+
2 – 3 с		
3 – 5 с		
5 – 7 с		
7 – 9 с		

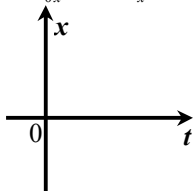
7. За наведеним ескізом графіка залежності  $x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$  порівняйте з нулем значення сталих  $x_0$ ,  $v_{0x}$ ,  $a_x$ .



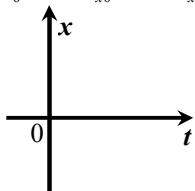
$x_0 > 0$			
$v_{0x} < 0$			
$a_x > 0$			

8. Зробіть ескізи графіків залежності  $x(t) = x_0 + v_{x0}t + \frac{a_x t^2}{2}$  за вказаних умов.

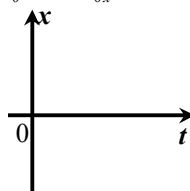
$$x_0 > 0, v_{0x} = 0, a_x > 0$$



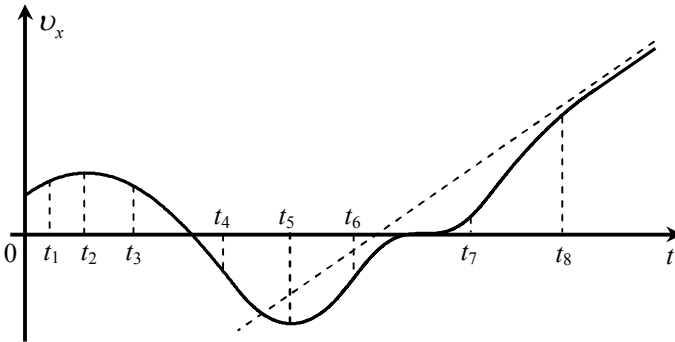
$$x_0 < 0, v_{x0} < 0, a_x > 0$$



$$x_0 > 0, v_{0x} > 0, a_x > 0$$



9. Тіло рухається вздовж осі  $OX$  так, що графік залежності  $v_x(t)$  є таким:



Чи правильні твердження, що наведені нижче?

(Варіанти відповідей: «+» — так, «-» — ні, «0» — неможливо визначити)

Про проекцію прискорення:		Про координату:	
$a_x(t_5) = 0$	+	від $t_2$ до $t_3$ зростає	
$a_x(t_3) > a_x(t_6)$		$x(t_4) > 0$	
при $t \rightarrow \infty$ прямує до певного додатного значення		при $t = t_5$ має мінімальне значення	
при $t = t_2$ дорівнює нулю		між $t_3$ та $t_4$ змінює свій знак	

10. Заповніть таблицю похідних і первісних.

первісна $F(x) =$	функція $f(x) =$	похідна $f'(x) =$
$(4/3)x^3 - (3/2)x^2 + 2x + C$	$4x^2 - 3x + 2$	$8x - 3$
		$5x$
	$2\sqrt{x}$	
координата $x(t) =$	швидкість $v_x(t) =$	прискорення $a_x(t) =$
	$4t - 4$	
$t^2 + 2t - 3$		

## ЛЕКЦІЯ 2. ЗАКОНИ НЬЮТОНА

### *Питання, що розглядаються*

- Перший закон Ньютона.
- Інерціальні системи відліку.
- Сила.
- Результуюча сила.
- Маса.
- Другий закон Ньютона.
- Третій закон Ньютона.
- Правило трьох векторів.
- Застосування законів Ньютона.
- Сили в природі (тяжіння, гравітаційна, тертя, пружності).
- Вага тіла.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [7]).

I.4. Дві таємниці векторів.

II.1. Закони Ньютона.

II.2. Спогади про силу тяжіння, силу реакції опори, вагу тіла.

II.3. Сили в природі.

II.4. Закон всесвітнього тяжіння.

II.5. Сила пружності. Закон Гука.

II.7. Сила тертя.

III.3. “Правило трьох векторів”.

2. Мінаєв Ю.П. Математичний апарат фізики для першокурсників (див. [4]).

2.5. Вибір базису векторів при розв’язуванні задач з механіки.

**3. Савельев І.В. Курс загальної фізики (див. [5]).**

§7. Перший закон Ньютона. Інерціальні системи відліку.

§8. Маса та імпульс тіла.

§9. Другий закон Ньютона.

§11. Третій закон Ньютона.

§14. Пружні сили.

§15. Сили тертя.

§17. Практичне застосування законів Ньютона.

**4. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).**

§2.1. Межі застосування класичної механіки.

§2.2. Перший закон Ньютона. Інерціальні системи відліку.

§2.7. Деякі наслідки законів Ньютона.

**5. Сівухін Д.В. Загальний курс фізики. Механіка (див. [16]).**

§11. Другий закон Ньютона. Сила.

§17. Про закони тертя.

§55. Закони Кеплера та закон всесвітнього тяжіння.

**6. Зельдович Я.Б. Вища математика для початківців (див. [11]).**

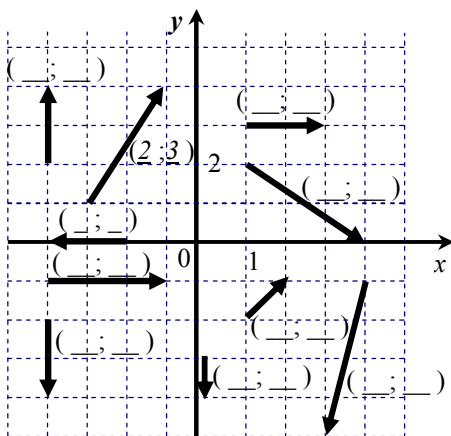
VI. §4. Другий закон Ньютона.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 2

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група

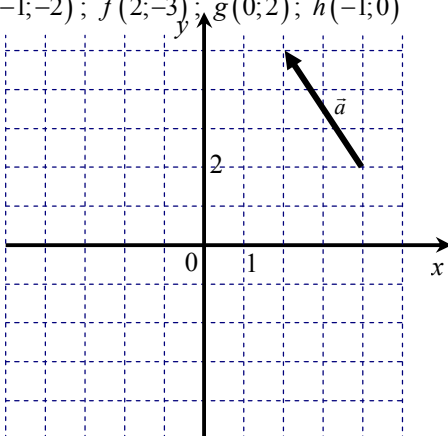
1. Запишіть проєкції кожного вектора на осі координат.



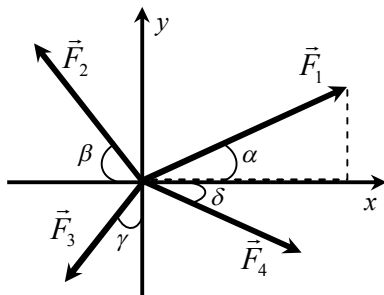
2. Зобразіть вказані вектори.

$\vec{a}(-2;3)$ ;  $\vec{b}(1;4)$ ;  $\vec{c}(0;-2)$ ;  $\vec{d}(3;0)$ ;

$\vec{e}(-1;-2)$ ;  $\vec{f}(2;-3)$ ;  $\vec{g}(0;2)$ ;  $\vec{h}(-1;0)$



3. Знайдіть проєкції кожної з вказаних на рисунку сил на осі координат.



	$\vec{F}_1$	$\vec{F}_2$	$\vec{F}_3$
$OX$	$F_1 \cos \alpha$		
$OY$	$F_1 \sin \alpha$		

4. Запишіть кожний з векторів з попереднього завдання через одиничні вектори  $\vec{i}$  (вектор вздовж осі  $OX$ ) та  $\vec{j}$  (вектор вздовж осі  $OY$ ).

$\vec{F}_1 = \underline{F_1 \cos \alpha \cdot \vec{i} + F_1 \sin \alpha \cdot \vec{j}}$

$\vec{F}_3 = \underline{\hspace{10em}}$

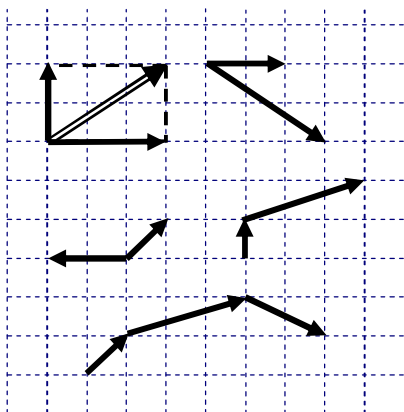
$\vec{F}_2 = \underline{\hspace{10em}}$

$\vec{F}_4 = \underline{\hspace{10em}}$

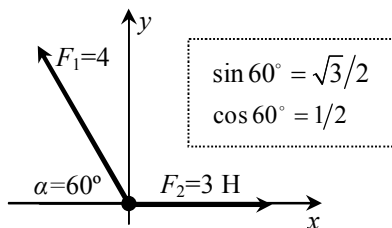
5. Заповніть пропущені місця.

вектор	проекція на $OX$	проекція на $OY$	проекція на $OZ$	модуль
$\vec{a} = 3\vec{i} + 4\vec{j} - 5\vec{k}$	$a_x = 3$	$a_y = 4$	$a_z = -5$	$\sqrt{50}$
$\vec{b} = -\vec{i} + 2\vec{j} + 6\vec{k}$				
$\vec{c} =$	$c_x = -2$	$c_y = 0$	$c_z = 1$	
$\vec{d} = 3\vec{j} - 4\vec{k}$				

6. Покажіть на рисунку, куди буде спрямована сума вказаних векторів.



7. Знайдіть модуль результуючої сили, що діє на тіло (див. рис.).



	$\vec{F}_1$	$\vec{F}_2$	$\vec{F}_{рез}$
$OX$			
$OY$			

$$|\vec{F}_{рез}| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Н}$$

8. Залежність радіус-вектора частинки від часу описується законом  $\vec{r}(t) = 3t \cdot \vec{i} - 2t^2 \cdot \vec{j}$ . Знайдіть вказані величини.

залежності координат частинки від часу:  $x(t) = \underline{\hspace{2cm}}$

$$y(t) = \underline{\hspace{2cm}}$$

швидкість частинки  $\vec{v}(t) = d\vec{r}/dt = \underline{\hspace{2cm}}$

модуль швидкості частинки  $v(t) = |\vec{v}(t)| = \underline{\hspace{2cm}}$

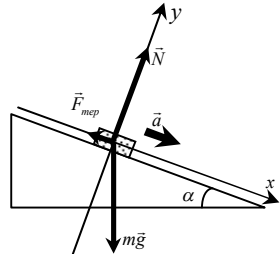
прискорення частинки  $\vec{a}(t) = d\vec{v}/dt = \underline{\hspace{2cm}}$

модуль прискорення частинки  $a(t) = |\vec{a}(t)| =$  \_\_\_\_\_

9. Тіло масою  $m$  зісковзує з похилої площини. Другий закон Ньютона у цьому випадку має вигляд:

$$m \vec{g} + \vec{F}_{\text{мер}} + \vec{N} = m \vec{a} .$$

Враховуючи, що похила площина має кут  $\alpha$  з горизонтом, заповніть таблицю та запишіть другий закон Ньютона у проекціях на осі, що позначені на рисунку.



	$\vec{N}$	$\vec{F}_{\text{мер}}$	$m\vec{g}$	$\vec{a}$
$OX$				
$OY$				

другий закон Ньютона в проекції на осі

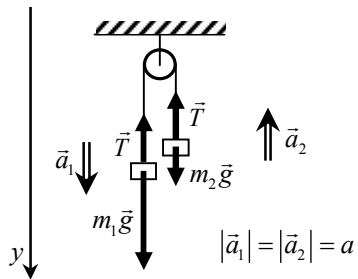
$OX$ : \_\_\_\_\_ =  $ma$

$OY$ : \_\_\_\_\_ =  $0$

10. Два тіла зв'язані ниткою, що перекинута через блок, так як показано на рисунку. Запишіть другий закон Ньютона у проекціях на вказану вісь для обох тіл.

тіло  $m_1$  : \_\_\_\_\_

тіло  $m_2$  : \_\_\_\_\_



11. Заповніть пропущені у тексті місця.

- За законом Гука сила пружності, що виникає в пружині під час її розтягування, залежить від величини деформації за формулою

\_\_\_\_\_.

Для пружини жорсткістю 20 кН/м під час її розтягування на 2 см ця сила буде дорівнювати

\_\_\_\_\_ Н.

Якщо величину деформації збільшити на 50%, то сила пружності зросте у \_\_\_\_\_ рази.

- За законом Всесвітнього тяжіння сила гравітаційної взаємодії між двома точковими масами залежить від відстані між цими масами за формулою

\_\_\_\_\_.

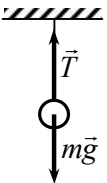
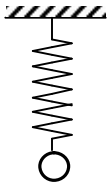
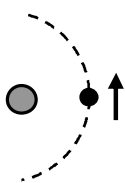
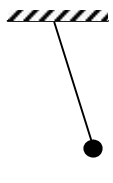

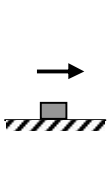
Якщо порахувати за цією формулою силу, з якою притягуються Місяць (маса  $7,3 \cdot 10^{22}$  кг) і Земля (маса  $6 \cdot 10^{21}$  тонн), які знаходяться на відстані  $3,8 \cdot 10^5$  км, то ця сила буде дорівнювати

\_\_\_\_\_ Н.

Якщо б маса одного з тіл була у 2 рази більшою, а відстань між ними — у 3 рази меншою, то сила взаємодії б *збільшилася/зменшилася* у

\_\_\_\_\_ разів.

**12.** Позначте сили, що діють на тіло у кожному з наведених випадків. Опором повітря можна знехтувати.

Тіло висить на нерозтяжній нитці	Тіло висить на пружині	Супутник обертається навколо планети	Маятник коливається	Тіло кинули біля поверхні землі	Тіло рухається по шорсткій поверхні після поштовху
					

.....

## ЛЕКЦІЯ 3. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ ТА МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### *Питання, що розглядаються*

- Імпульс і другий закон Ньютона.
- Закон збереження імпульсу.
- Реактивний рух.
- Центр мас.
- Робота.
- Кінетична енергія.
- Потенціальна енергія.
- Консервативні та неконсервативні сили.
- Закон збереження механічної енергії.
- Потужність.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [7]).

III.1. Закон збереження імпульсу.

III.2. Закон збереження енергії.

2. Д.І. Анпілогов. Методичні вказівки до практичних занять з теми «Центр мас і його застосування» (див. [9]).

3. Мінаєв Ю.П. Математичний апарат фізики для першокурсників (див. [4]).

3.2. Показникова та логарифмічна функції як взаємно обернені.

3.3. Від властивостей степенів до властивостей логарифмів.

1.6. Застосування ідеї інтегрування для обчислення площ та об'ємів геометричних об'єктів, а також роботи силового поля у випадку прямолінійного руху матеріальної точки.

2.6. Приклади застосування двох представлень скалярного добутку векторів.

4. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [5]).

§19. Кінетична енергія.

§20. Робота.

§21. Консервативні сили.

§22. Потенціальна енергія у зовнішньому полі сил.

§23. Потенціальна енергія взаємодії.

§24. Закон збереження енергії.

§27. Закон збереження імпульсу.

§28. Зіткнення двох тіл.

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

§2.3. Маса. Імпульс.

§2.5. Третій закон Ньютона і закон збереження імпульсу.

§2.8. Рух тіл змінної маси. Реактивний рух.

§3.1. Енергія — універсальна міра руху та взаємодії.

§3.2. Робота і потужність.

§3.3. Кінетична енергія. Види механічних сил.

§3.4. Потенціальна енергія системи.

§3.5. Закон збереження енергії в механіці. Дисипація енергії.

6. Сівухін Д.В. Загальний курс фізики. Механіка (див. [16]).

§21. Рух тіл зі змінною масою. Реактивний рух.

7. Зельдович Я.Б. Вища математика для початківців (див. [11]).

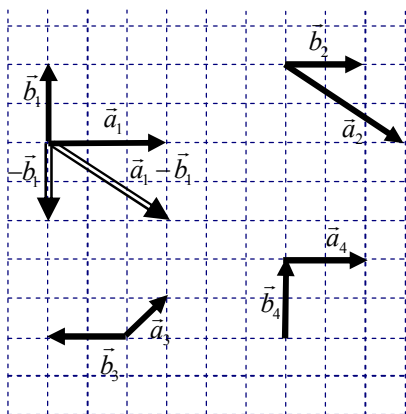
VI. §13. Реактивний рух і формула К.Е. Ціолковського.

### ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 3

П.І. студента \_\_\_\_\_

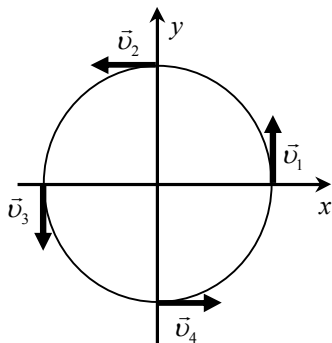
група \_\_\_\_\_

1. Покажіть на рисунку, куди буде спрямована різниця векторів  $\vec{a}_i$  і  $\vec{b}_i$ , та заповніть пропущені місця у таблиці.



	$\vec{a}_1$	$\vec{b}_1$	$\vec{a}_1 - \vec{b}_1$
$OX$	3	0	3
$OY$	0	2	-2
	$\vec{a}_2$	$\vec{b}_2$	$\vec{a}_2 - \vec{b}_2$
$OX$			
$OY$			
	$\vec{a}_3$	$\vec{b}_3$	$\vec{a}_3 - \vec{b}_3$
$OX$			
$OY$			
	$\vec{a}_4$	$\vec{b}_4$	$\vec{a}_4 - \vec{b}_4$
$OX$			
$OY$			

2. Знайдіть модуль зміни швидкості тіла, яке рухається по колу зі сталою за модулем швидкістю  $v$ , у вказаних точках ( $|\vec{v}_i| = v$ ).



	$\vec{v}_2$	$\vec{v}_1$	$\Delta\vec{v}_{12}$	$ \Delta\vec{v}_{12} $
$OX$	$-v$	0	$-v$	$v\sqrt{2}$
$OY$	0	$v$	$-v$	
	$\vec{v}_3$	$\vec{v}_1$	$\Delta\vec{v}_{13}$	$ \Delta\vec{v}_{13} $
$OX$				
$OY$				
	$\vec{v}_4$	$\vec{v}_1$	$\Delta\vec{v}_{14}$	$ \Delta\vec{v}_{14} $
$OX$				
$OY$				

3. Знайдіть величину зміни імпульсу тіла масою 0,2 кг у кожній ситуації.

**Абсолютно непружний удар**

«до»

«після»

$$v_1 = 2 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 0$$



**Абсолютно пружний удар**

«до»

«після»

$$v_1 = 2 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 2 \text{ м/с}$$



	$\vec{p}_2$	$\vec{p}_1$	$\Delta\vec{p}$		$\vec{p}_2$	$\vec{p}_1$	$\Delta\vec{p}$
$Ox$	0	$0,2 \cdot 2 = 0,4$	-0,4	$Ox$			
$ \Delta\vec{p}  = 0,4 \text{ кг м/с}$				$ \Delta\vec{p}  =$			

**Абсолютно пружний удар**

«до»

«після»

$$v_1 = 2 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 2 \text{ м/с}$$



**Частково пружний удар**

«до»

«після»

$$v_1 = 2 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 1 \text{ м/с}$$



	$\vec{p}_2$	$\vec{p}_1$	$\Delta\vec{p}$		$\vec{p}_2$	$\vec{p}_1$	$\Delta\vec{p}$
$Ox$				$Ox$			
$Oy$				$Oy$			
$ \Delta\vec{p}  \approx$				$ \Delta\vec{p}  \approx$			

4. Визначте для наведеної нижче ситуації, чи можлива вона, чи ні. Вважайте, що зовнішні сили відсутні, удар абсолютно **пружний і центральний**.

«до удару»

«після удару»

$$0,2 \text{ кг, } 4 \text{ м/с}$$

$$0,1 \text{ кг, } 2 \text{ м/с}$$

$$0,2 \text{ кг, } 2 \text{ м/с}$$

$$0,1 \text{ кг, } 6 \text{ м/с}$$

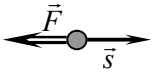
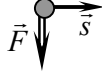
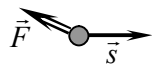
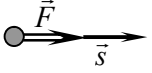



Сумарний імпульс тіл до удару: \_\_\_\_\_ кг·м/с.

Сумарний імпульс після удару: \_\_\_\_\_ кг·м/с.

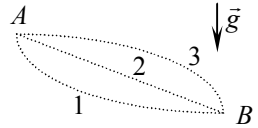
Відповідь: \_\_\_\_\_.

5. Порівняйте з нулем роботу сили  $\vec{F}$  у кожному з випадків (вектор  $\vec{s}$  — переміщення).

				
$A < 0$	$A \underline{\quad} 0$	$A \underline{\quad} 0$	$A \underline{\quad} 0$	$A \underline{\quad} 0$

6. Порівняйте роботу сили тяжіння при переміщенні тіла з точки  $A$  в точку  $B$  за трьома траєкторіями.

- А.  $A_1 < A_2 < A_3$ .                      Б.  $A_1 > A_2 > A_3$ .  
 В.  $A_1 < A_2 = A_3$ .                      Г.  $A_1 = A_2 = A_3$ .

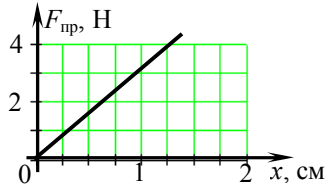


Відповідь: \_\_\_\_\_.

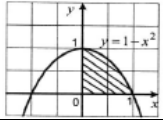
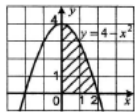
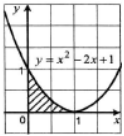
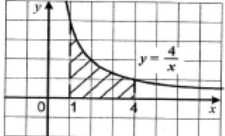
7. За графіком залежності проекції сили пружності від видовження пружини можна визначити, що...

1) жорсткість пружини  $k = \underline{\hspace{2cm}}$  Н/м;

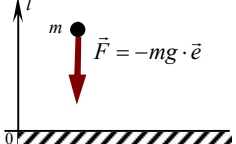
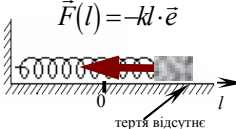
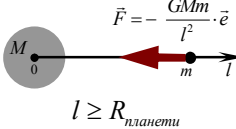
2) робота, яку необхідно виконати для розтягування пружини на 1,25 см  
 $A = \underline{\hspace{2cm}}$  Дж.



8. Запишіть визначений інтеграл, за допомогою якого можна визначити площу  $S$  заштрихованої фігури, і знайдіть цю площу.

фігура	інтеграл	$S$	фігура	інтеграл	$S$
	$\int_0^1 (1 - x^2) dx$	$\frac{2}{3}$			
					

9. Обчисліть роботу  $A_f$  сили  $\vec{F}(l)$  під час переміщення вздовж прямої з точки з координатою  $l_i$  у точку з координатою  $l_f$ . Вираз для сили  $\vec{F}(l)$  вказаний на рисунку,  $\vec{e}$  — одиничний вектор вздовж осі  $l$ .

 <p><math>\vec{F} = -mg \cdot \vec{e}</math></p>	$A_f = \int_{l_i}^{l_f} (-mg) dl = -mg(l_f - l_i) = mgl_i - mgl_f$
 <p><math>\vec{F}(l) = -kl \cdot \vec{e}</math></p> <p>тертя відсутнє</p>	
 <p><math>\vec{F} = -\frac{GMm}{l^2} \cdot \vec{e}</math></p> <p><math>l \geq R_{\text{планети}}</math></p>	

10. Обчисліть роботу заданої сили в описаних ситуаціях.

• Матеріальна точка рухається прямолінійно, причому величина переміщення дорівнює 3 м, а сила, що діє на неї складає 4 Н і спрямована під кутом  $30^\circ$  до напрямку переміщення.

$$A = \underline{\hspace{10cm}}$$

• Матеріальна точка рухається прямолінійно, причому вектор переміщення дорівнює  $\vec{s} = 2\vec{i} - 3\vec{j}$  (м), а сила, що на неї  $\vec{F} = 2\vec{i} + 3\vec{j}$  (Н).

$$A = \underline{\hspace{10cm}}$$

• Матеріальна точка рухається вздовж прямої  $y = 2x$  між точками з координатами  $x_1 = 1$  м,  $x_2 = 2$  м, а сила, що діє на неї дорівнює  $\vec{F} = 2\vec{i} + 3\vec{j}$  (Н).

$$A = \underline{\hspace{10cm}}$$

• Матеріальна точка рухається вздовж осі  $OX$  між точками з координатами  $x_1 = 1$  см,  $x_2 = 4$  см, а сила, що діє на неї залежить від координати:  $F = 2x$  (Н).

$$A = \underline{\hspace{10cm}}$$

.....

## ЛЕКЦІЯ 4. ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХ І ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МОМЕНТУ ІМПУЛЬСУ

### *Питання, що розглядаються*

- Опис обертального руху матеріальної точки.
- Кутова швидкість.
- Лінійна швидкість.
- Період.
- Частота.
- Кутове прискорення.
- Кінетична енергія тіла, що обертається навколо нерухомої осі.
- Момент інерції.
- Теорема Гюйгенса-Штейнера.
- Момент сили.
- Основний закон динаміки обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі.
- Робота і потужність при обертанні тіла.
- Аналогія між поступальним та обертальним рухом.
- Момент імпульсу.
- Закон збереження моменту імпульсу.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [7]).

1.8. Рівномірний рух по колу.

2. Мінаєв Ю.П. Математичний апарат фізики для першокурсників (див. [4]).

2.1. Радіанна міра кутів. Лінійна і кутова швидкості. Полярна система координат.

2.7. Векторний добуток векторів у деяких фізичних формулах.

3.6. Обернені тригонометричні функції та найпростіші тригонометричні рівняння.

**3. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [5]).**

§5. Кінематика обертального руху.

§36. Рух твердого тіла.

§37. Рух центра мас твердого тіла.

§38. Обертання твердого тіла навколо нерухомої осі.

§39. Момент інерції.

**4. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [1]).**

§1.5. Кінематика обертального руху.

§1.6. Плоский рух твердого тіла.

**5. Сівухін Д.В. Загальний курс фізики. Механіка (див. [16]).**

§4. Швидкість та прискорення при криволінійному русі.

§35. Теорема Гюйгенса-Штейнера.

§36. Обчислення моментів інерції.

**6. Зельдович Я.Б. Вища математика для початківців (див. [11]).**

VI. §15. Маса, центр тяжіння і момент інерції стержня.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 4

---

П.І. студента

---

група

1. Кінетична енергія обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі визначається формулою...

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Момент інерції твердого тіла відносно заданої осі дорівнює ...

Відповідь: \_\_\_\_\_

3. У міжнародній системі фізичних величин момент інерції вимірюється у ...

Відповідь: \_\_\_\_\_

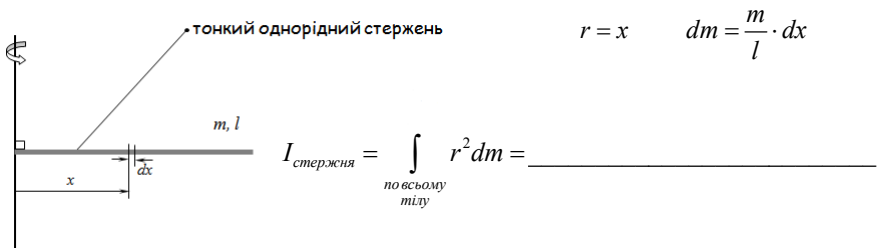
4. Якщо тіло здійснює і обертальний (навколо певної осі), і поступальний рух, то його загальну кінетичну енергію можна визначити за формулою:

A)  $E_k = \frac{mv^2}{2} \pm \frac{I\omega^2}{2}$  (знак обирається в залежності від напрямку обертання);

B)  $E_k = \frac{I\omega^2}{2}$ ;                      В)  $E_k = \frac{I\omega^2}{2} - \frac{mv^2}{2}$ ;                      Г)  $E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

5. Продовжить процес виведення формули для моменту інерції тонкого однорідного стержня маси  $m$  і довжини  $l$  відносно осі, що проходить через один з його кінців перпендикулярно до стержня (див. рис.).

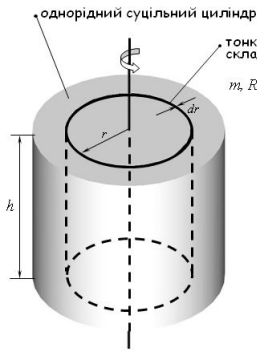


Додаткові запитання:

У яких одиницях вимірюється величина  $\frac{m}{l}$ ?      Відповідь: \_\_\_\_\_

Як можна назвати таку фізичну величину?      Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Продовжить процес виведення формули для моменту інерції однорідного суцільного циліндра маси  $m$ , радіуса  $R$  і висоти  $h$  відносно осі, що співпадає з віссю циліндра.



$$dm = \frac{m}{\pi R^2 h} \cdot dV = \frac{m}{\pi R^2 h} \cdot (2\pi r h dr) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$I_{\text{циліндра}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

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

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

Додаткові запитання:

Який фізичний зміст має величина  $\frac{m}{\pi R^2 h}$ ? Відповідь: \_\_\_\_\_

В яких одиницях вона вимірюється?      Відповідь: \_\_\_\_\_

Виявилося, що  $I_{\text{циліндра}}$  не залежить від  $h$ . Чи означає це, що, розпилявши циліндр на два з  $h_1 = \frac{1}{3}h$  і  $h_2 = \frac{2}{3}h$ , ми отримаємо циліндри з однаковими моментами інерції відносно тієї ж самої осі? Відповідь і пояснення: \_\_\_\_\_

Якщо ні, то чому дорівнюватиме  $I_2/I_1$ ? Відповідь: \_\_\_\_\_

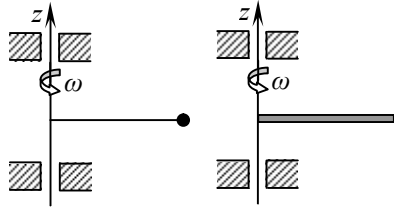
Оберіть правильні твердження:

7. Момент інерції тонкого кільця маси  $m$  і радіуса  $R$  відносно осі, що проходить через його центр перпендикулярно до площини кільця ...

- А) ... дорівнює моменту інерції півкільця  $(m, R)$  відносно тієї ж осі;
- Б) ... у два рази більший, ніж момент інерції півкільця  $(m, R)$  відносно тієї ж осі;
- В) ... у два рази менший, ніж момент інерції півкільця  $(m, R)$  відносно тієї ж осі;
- Г) ... дорівнює моменту інерції диска  $(m, R)$  відносно тієї ж осі.

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Розгляньте дві механічні системи (див. рис.). Перша являє собою тягарець масою  $m$ , що закріплений на горизонтально розташованому невагомому стержні довжиною  $l$ , а друга — горизонтально розташований однорідний стержень масою  $m$  і довжиною  $l$ . Кінці стержнів з'єднані з вертикальними осями, що обертаються з кутовою швидкістю  $\omega$ . Як відносяться кінетичні енергії цих тіл?



Відповідь: *кінетична енергія тягарця більша/менша* (підкресліть!) *за кінетичну енергію стержня у \_\_\_\_\_ рази(ів).*

9. До маховика з моментом інерції  $I$ , що обертається з кутовою швидкістю  $\omega_1$ , приклали гальмівну колодку. Через деякий час кутова швидкість маховика зменшилася до значення  $\omega_2$ . Яка енергія у вигляді теплоти виділилася за цей час?

Відповідь: \_\_\_\_\_

10. Тонкостінна сфера має масу  $m$  і радіус  $R$ . Яка енергія знадобиться для того, щоб розкрутити її до частоти  $\omega$  навколо її осі?

Відповідь: \_\_\_\_\_

11. Тонкостінний циліндр має масу  $m$ , радіус  $R$  і висоту  $h$ . Знайдіть момент інерції циліндра відносно нерухомої осі  $z$ , що співпадає з однією з твірних циліндричної поверхні

Відповідь: \_\_\_\_\_

12. Два подібних маховика зроблені з однакового металу, причому лінійні розміри першого вдвічі більші лінійних розмірів другого. Як відносяться кінетичні енергії маховиків за їх однакової кутової швидкості обертання?

Відповідь: *кінетична енергія першого тіла більша у \_\_\_\_\_ рази(ів).*

13. Якою стане кутова швидкість обертання диска масою 2,4 кг і радіусом 20 см, що обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю 40 рад/с, якщо на його край впаде та прилипне шматок пластиліну масою 200 г?

Відповідь: \_\_\_\_\_

14. Однорідний стрижень довжиною  $\ell = 1$  м і масою  $M = 0,7$  кг підвішений на горизонтальній осі, що проходить через верхній кінець стрижня. В точку стрижня, що знаходиться на відстані  $2\ell/3$  нижче осі, абсолютно пружно вдаряє куля масою  $m = 5$  г, що летить перпендикулярно до стрижня і його осі. Після удару стрижень відхилився на кут  $\alpha = 60^\circ$ . Визначте швидкість кулі.

*місце для розв'язку*

Відповідь: \_\_\_\_\_

## ЛЕКЦІЇ 5-6. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ

### *Питання, що розглядаються*

- Вільні та вимушені коливання.
- Пружинний маятник.
- Диференціальне рівняння, що описує гармонічні коливання.
- Математичний маятник.
- Фізичний маятник.
- Згасаючі коливання.
- Вимушені коливання.
- Резонанс амплітуди та резонанс швидкості.
- Поняття хвилі.
- Поздовжні та поперечні хвилі.
- Частота і довжина хвилі.
- Фронт хвилі.
- Хвильова поверхня.
- Рівняння синусоїдальної хвилі.
- Хвильове число.
- Звукові хвилі.
- Ефект Доплера.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).
  - I.1. Основні визначення.
  - I.2. Вільні механічні коливання.
  - I.4. Додавання коливань. Вимушені механічні коливання.
  - II.1. Основні визначення.
  - II.2. Звук.
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики. (див. [5]).
  - §49. Загальні відомості про коливання.

- §50. Малі коливання.
- §52. Лінійні диференціальні рівняння.
- §53. Гармонічні коливання.
- §54. Маятник.
- §58. Затухаючі коливання.
- §59. Автоколивання.
- §60. Вимушені коливання.

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

- §10.1. Коливальні процеси.
- §10.2. Гармонічні коливання.
- §10.3. Векторне зображення гармонічних коливань та їхнє вираження в комплексній площині. Гармонічний осцилятор.
- §10.4. Математичний маятник.
- §10.5. Фізичний маятник.
- §10.6. Додавання коливань однакового напрямку. Биття.
- §10.7. Додавання взаємно перпендикулярних коливань.
- §10.8. Згасаючі коливання.
- §10.9. Вимушені коливання.
- §10.11. Поняття про автоколивання.
- §11.1. Поширення хвиль.
- §11.2. Рівняння хвилі.
- §12.1. Природа звуку. Швидкість звуку
- §12.2. Поширення звукових хвиль. Інтенсивність звуку.
- §12.3. Сприймання звуку.
- §12.4. Джерела звуку.
- §12.5. Ефект Доплера.
- §12.6. Ударні хвилі.
- §12.7. Ультразвук та його застосування.
- §12.8. Поняття про інфразвуки.

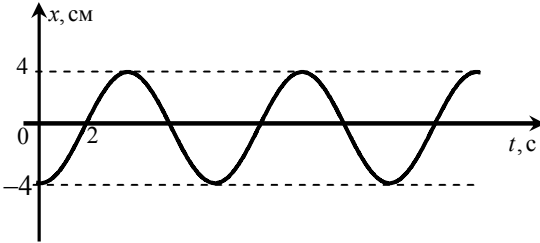
### 4. Сівухін Д.В. Загальний курс фізики. Механіка (див. [16]).

- §39. Кінематика гармонічного коливального руху.
- §40. Гармонічні коливання тягарця на пружині.
- §41. Фізичний маятник.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЙ 5-6

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група



1. Визначте за наведеним графіком залежності координати тіла від часу основні характеристики гармонічного коливання: амплітуда коливань \_\_\_\_\_

період коливань \_\_\_\_\_

частота коливань \_\_\_\_\_      циклічна частота коливань \_\_\_\_\_

2. Запишіть рівняння гармонічних коливань тіла, якщо про його рух відомо таке:

«Тіло коливається вздовж осі  $OX$  із амплітудою 3 см і періодом 0,8 секунд. У початковий момент часу тіло знаходилося у точці з координатою 3 см, а його швидкість дорівнювала нулю».

$$x(t) = \underline{\hspace{2cm}}$$

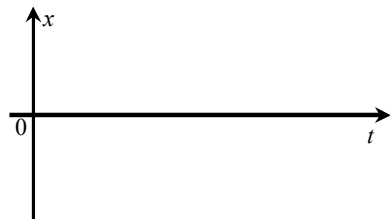
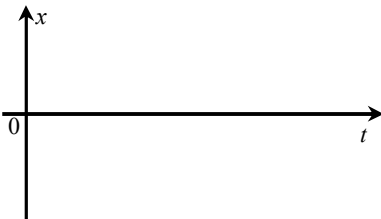
«Тіло коливається вздовж осі  $OX$  із амплітудою 3 см і періодом 0,8 секунд. У початковий момент часу тіло знаходилося у початку координат, а його швидкість мала певне додатне значення».

$$x(t) = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Побудуйте ескізи графіків наведених нижче залежностей  $x(t)$  і позначте у кожному випадку амплітуду та період коливань:

$$x(t) = 2 \cos 4t$$

$$x(t) = 3 \sin 2t$$



4. Диференціальне рівняння гармонічних коливань пружинного маятника після введення позначення  $k/m = \omega^2$  має вигляд ...

- А)  $\ddot{x} + \omega^2 x = x$ ; Б)  $\ddot{x} + \omega^2 \dot{x} = 0$ ; В)  $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$ ; Г)  $\ddot{x} - \omega^2 x = 0$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

5. Циклічна частота гармонічних коливань пружинного маятника залежить від ...

- А) ... маси тягарця та жорсткості пружини;  
 Б) ... початкової швидкості тягарця;  
 В) ... маси тягарця та прискорення вільного падіння;  
 Г) ... довжини пружини та прискорення вільного падіння.

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Залежність координати тягарця пружинного маятника, що здійснює гармонічні коливання, від часу **не** може мати вигляд:

- А)  $x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$ ;      В)  $x = C + A \cos \omega t + B \sin \omega t$ ;  
 Б)  $x = A \cos \omega t + B \sin \omega t$ ;      Г)  $x = At + B \cos(\omega t + \varphi_0)$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

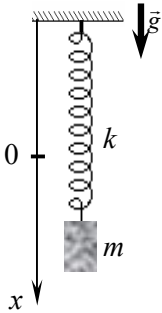
7. За якої умови коливання математичного маятника є гармонічними?

- А) Якщо довжина нитки маятника більша за 1 м.  
 Б) Якщо кут відхилення маятника від положення рівноваги набагато менше одиниці.  
 В) Якщо кут відхилення маятника від положення рівноваги не перевищує  $90^\circ$ .  
 Г) Якщо маса тягарця не перевищує 1 кг.

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Оцініть, як і на скільки відсотків збільшиться період коливань математичного маятника при збільшенні його довжини на 1%.

Відповідь: \_\_\_\_\_



9. Другий закон Ньютона, записаний для пружинного маятника у полі тяжіння (див. рис., початок координат відповідає положенню тіла при нерозтягнутій пружині) має вигляд:

- А)  $m\ddot{x} = -kx$ ;                      Б)  $m\ddot{x} = -kx + mg$ ;  
 В)  $m\ddot{x} = mg$ ;                        Г)  $-kx = mg$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

10. Період гармонічних коливань фізичного маятника дорівнює:

- А)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mga}}$ ;    Б)  $T = \sqrt{\frac{I}{mga}}$ ;    В)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{mga}{I}}$ ;    Г)  $T = \sqrt{\frac{mga}{I}}$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

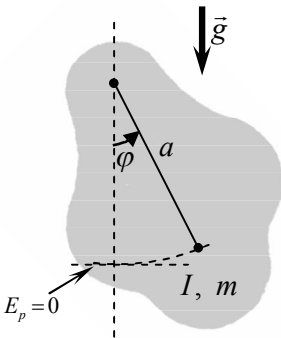
11. Потенціальну та кінетичну енергії фізичного маятника (див. рис.) можна записати у такому вигляді:

А) 
$$\begin{cases} E_k = \frac{I\dot{\varphi}^2}{2}; \\ E_p = mga(1 - \cos \varphi), \end{cases}$$

Б) 
$$\begin{cases} E_k = I\dot{\varphi}^2; \\ E_p = mga(1 - \cos \varphi), \end{cases}$$

В) 
$$\begin{cases} E_k = \frac{I\dot{\varphi}^2}{2}; \\ E_p = mga \cos \varphi, \end{cases}$$

Г) 
$$\begin{cases} E_k = \frac{I\dot{\varphi}^2}{2}; \\ E_p = mga \sin \varphi. \end{cases}$$



Відповідь: \_\_\_\_\_

12. Обруч масою  $m$  та радіусом  $R$  здійснює малі коливання навколо горизонтальної осі, що проходить крізь отвір в обручі.

Нехтуючи тертям, знайдіть період коливань обруча. Для цього заповніть пропущені у тексті місця:

вісь, відносно якої відбуваються коливання  
момент інерції обруча відносно цієї осі  
дорівнює  
 $I = mR^2 + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$

зміна положення центр мас  
 $h(R, \varphi) = \underline{\hspace{2cm}}$

Кінетична енергія обруча:  
 $E_k = \frac{I\dot{\varphi}^2}{2} = \underline{\hspace{2cm}}$ ,  
де  $\dot{\varphi}$  — це  $\underline{\hspace{2cm}}$

Потенціальна енергія обруча:  
 $E_p = mgh = \underline{\hspace{2cm}}$

Other labels in diagram:  $E_p = 0$ , початкове положення центра мас, центр мас,  $R$ ,  $\varphi$ .

Закон збереження енергії у цьому випадку буде мати вигляд:

Якщо продиференціювати отриманий вираз за часом, то отримаємо таке:

Використання того факту, що коливання обруча є малими, тобто  $|\varphi| \ll 1$ , дозволяє скористатися розвиненням у ряд Маклорена:

Отже, рівняння малих коливань обруча має вигляд  $\ddot{\varphi} + \omega^2 \varphi = 0$ , де циклічна частота  $\omega = \underline{\hspace{2cm}}$ , тобто період коливань дорівнює

$\underline{\hspace{2cm}}$ .

## ЛЕКЦІЯ 7. ЗАРЯДИ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ПОЛЯ

### *Питання, що розглядаються*

- Типи взаємодій у природі.
- Електричний заряд.
- Закон збереження заряду.
- Закон Кулона. Принцип суперпозиції сил.
- Напруженість поля. Силові лінії поля. Принцип суперпозиції.
- Потік вектора напруженості. Електростатична теорема Гаусса.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

#### 1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).

- I.1. Елементарні поняття електростатики.
- I.2. Закон Кулона.
- I.3. Електричне поле та його характеристики.

#### 2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [6]).

- §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. [2]).

- §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 ДО ЛЕКЦІЇ 7

\_\_\_\_\_  
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: \_\_\_\_\_

2. Який вираз є математичним записом закону Кулона?

Відповідь: \_\_\_\_\_

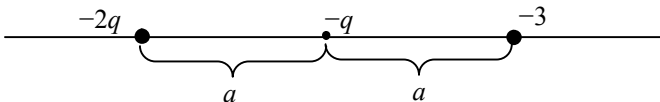
3. Як зміниться сила кулонівської взаємодії двох невеликих заряджених кульок внаслідок збільшення відстані між ними у 2 рази та зменшення заряду однієї з них у 2 рази?

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

4. 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*.

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

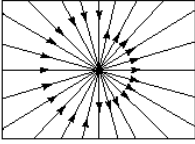


Відповідь: *результуюча кулонівська сила спрямована*

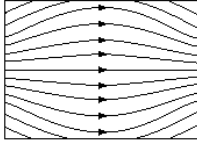
*праворуч / ліворуч, її модуль дорівнює* \_\_\_\_\_.



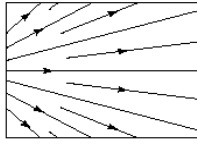
10. Який з рисунків показує фізично можливе електростатичне поле?



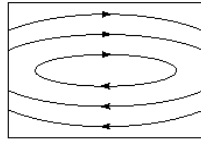
А)



Б)



В)

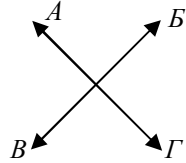
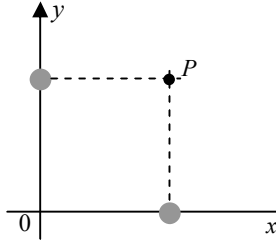


Г)

Д) Жоден з вказаних варіантів.

Відповідь: \_\_\_\_\_

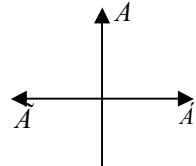
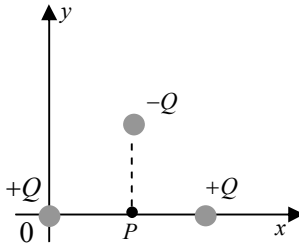
11. Два заряди ( $+Q$  кожен) знаходяться на однаковій відстані від початку координат (див. рис.) Як спрямована напруженість електричного поля у точці  $P$ ?



Д) Жоден з вказаних напрямів.

Відповідь: \_\_\_\_\_.

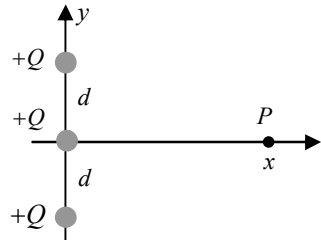
12. Три заряди однакової величини, але різних знаків розташовані так, як показано на рис. Як спрямована напруженість електричного поля у точці  $P$  у цьому випадку? Відстані між зарядами однакові, точка  $P$  розташована посередині між позитивними зарядами.



Д) Жоден з вказаних напрямів.

Відповідь: \_\_\_\_\_.

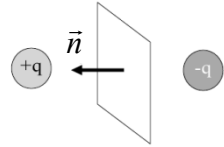
13. Якщо точка  $P$  (див. рис.) буде розміщена далеко від зарядів ( $d \ll x < \infty$ ), то напруженість електричного поля у цій точці буде прямувати до...



Відповідь: \_\_\_\_\_.

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

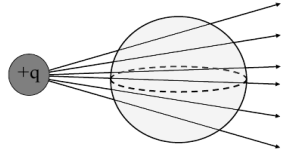
- А) ... є позитивним.                      Б) ... дорівнює нулю.  
В) ... є негативним.                      Г) неможливо визначити.



Відповідь: \_\_\_\_\_.

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

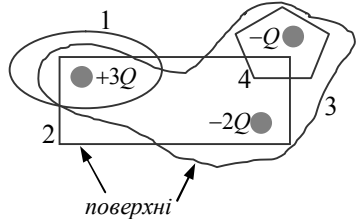
- А) є позитивним.                      Б) є негативним.  
В) дорівнює нулю.                      Г) неможливо визначити.



Відповідь: \_\_\_\_\_.

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

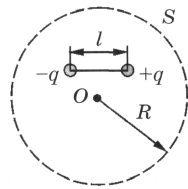
- А)  $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = \Phi_4$ .    Б)  $\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3 > \Phi_4$ .  
В)  $\Phi_3 > \Phi_2 > \Phi_1 > \Phi_4$ .    Г)  $\Phi_3 > \Phi_2 > \Phi_1 = \Phi_4$ .  
Д) інша відповідь.



Відповідь: \_\_\_\_\_.

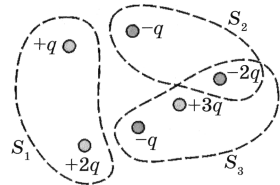
17. В середині сферичної поверхні  $S$  радіусом  $R$  знаходиться диполь (див. рис.). Потік вектора  $\vec{E}$  через поверхню  $S$  дорівнює...

Відповідь: \_\_\_\_\_.



18. 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 8. 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.
- Провідники в електричному полі.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).

I.4. Зв'язок між напруженістю та потенціалом.

I.5. Електричні поля, створені різноманітними системами зарядів. Принцип суперпозиції.

I.6. Зображення електричних полів.

I.7. П'ять властивостей провідників в електричному полі.

2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [6]).

§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. [2]).

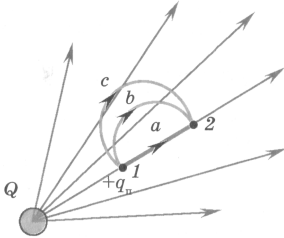
§1.10. Робота сил електричного поля. Потенціальний характер електростатичного поля.

§1.11. Потенціал та різниця потенціалів. Рівняння Пуассона.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 8

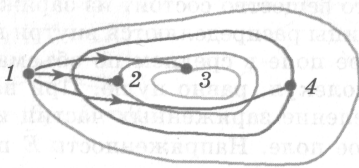
П.І. студента \_\_\_\_\_

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: \_\_\_\_\_

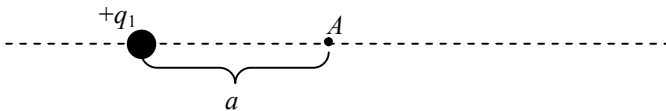


2. На рисунку подана картина екіпотенціальних поверхонь деякого електричного поля. За якого переміщення електричного заряду:

$1 \rightarrow 2$ , або  $1 \rightarrow 3$ , або  $1 \rightarrow 4$ ,  
робота буде мінімальною?

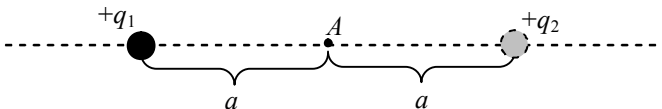
Відповідь: \_\_\_\_\_

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



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

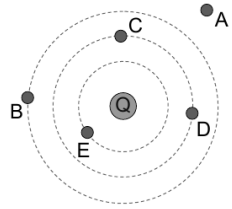
Якщо на такій самій відстані від точки  $A$  розташувати ще одну позитивно заряджену кулю  $+q_2$  ( $q_2 < q_1$ ), то:



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: \_\_\_\_\_

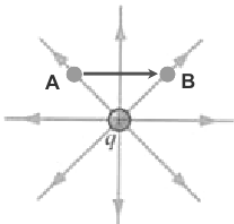
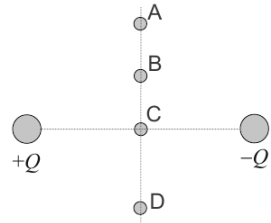


5. Які з двох точок мають однаковий потенціал (див. рис. з попереднього завдання)?

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)  $E = 0$ ,  $\varphi = 0$ .

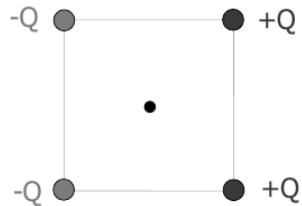
Б)  $E = 0$ ,  $\varphi \neq 0$ .

В)  $E \neq 0$ ,  $\varphi = 0$ .

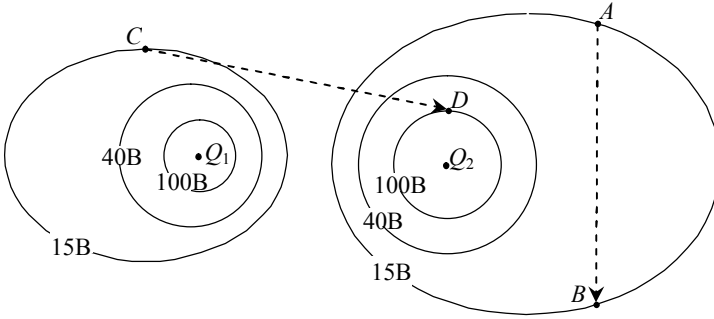
Г)  $E \neq 0$ ,  $\varphi \neq 0$ .

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: \_\_\_\_\_

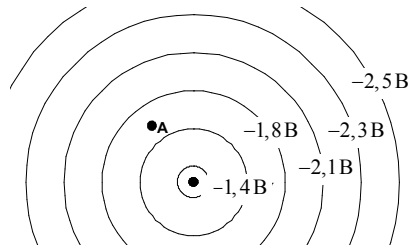
11. Ви переміщуєте *електрон* з точки  $C$  у точку  $D$  (див. рис. до питання 10). Яку роботу Ви при цьому виконуєте?

- 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: \_\_\_\_\_

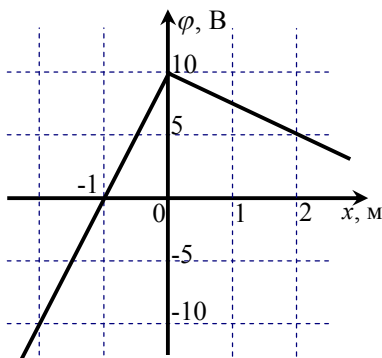
12. На рисунку показані екіпотенціальні поверхні (лінії) навколо точкового заряду. Відстань між будь-якими сусідніми з них дорівнює 2 м.

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



Відповідь: \_\_\_\_\_

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

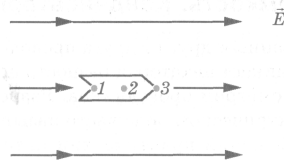


- значення  $\frac{d\varphi}{dx}$  в точці  $x = 2$  м : \_\_\_\_\_;
- значення  $\frac{d\varphi}{dx}$  в точці  $x = -1$  м : \_\_\_\_\_;
- значення проекції вектора напруженості  $E_x$  в точці  $x = 2$  м : \_\_\_\_\_;
- значення  $E_x$  в точці  $x = -1$  м : \_\_\_\_\_;
- значення  $E_x$  для  $x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

14. Напруженість однорідного електричного поля дорівнює 100 В/м. Яких значень може набувати модуль різниці потенціалів між двома точками такого поля, якщо відстань між точками дорівнює 5 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: \_\_\_\_\_

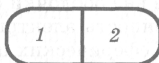
16. Незаряджене **металеве** тіло внесено до електричного поля позитивного заряду, а потім розділено на частини 1 і 2 (див рис.). Які електричні заряди будуть мати частини цього тіла після розділення?

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 9. ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ

### *Питання, що розглядаються*

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

### *Рекомендовані для читання матеріали*

#### 1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).

- I.8. Діелектрики в електричному полі.
- I.9. Електроємність. Конденсатори.
- I.10. Енергія в електростатиці.

#### 2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [6]).

- §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. [2]).

- §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 ДО ЛЕКЦІЇ 9

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група

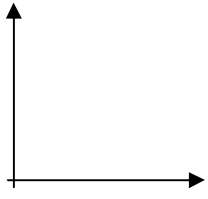
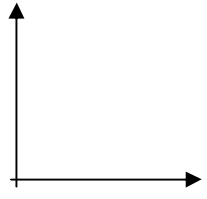
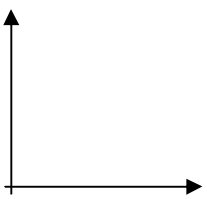
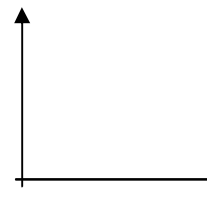
1. Поверхнева густина заряду вимірюється у \_\_\_\_\_.
2. Напруженість електричного поля нескінченної однорідно зарядженої площини залежить від поверхневої густини заряду так:  $E = \underline{\hspace{2cm}}$ .
3. Дві паралельні пластини розташовані на невеличкій, у порівнянні з їхніми розмірами, відстані 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:

$$C = \frac{\epsilon_0 (\_) }{d}, \underline{\hspace{2cm}}$$

$$E = \frac{\sigma}{(\_)}, \underline{\hspace{2cm}}$$

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

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

$$C = \frac{\pi \varepsilon_0 R^2}{d}.$$

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

$$\text{вигляд } E(r) = \frac{kQ}{r^2}.$$

*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  $\epsilon$ ?

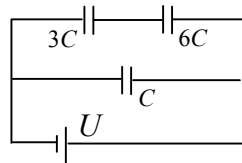
Відповідь: збільшиться / зменшиться у \_\_\_\_\_ рази(ів) / не зміниться.

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 10. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

### *Питання, що розглядаються*

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

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).

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. [6]).

§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. [2]).

§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 ДО ЛЕКЦІЇ 10

\_\_\_\_\_  
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  $\bar{v}_d$  електронів та їх концентрацією  $n$ ?

Відповідь: \_\_\_\_\_

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



А



Б



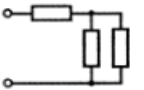
В



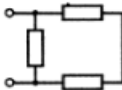
Г

Відповідь: \_\_\_\_\_

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



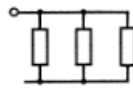
А



Б



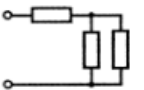
В



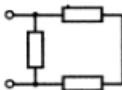
Г

Відповідь: \_\_\_\_\_

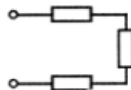
6. На якому з рисунків показано паралельне з'єднання трьох провідників?



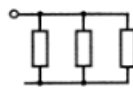
А



Б



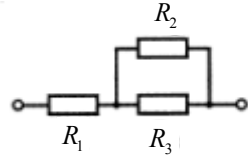
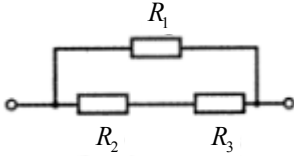
В



Г

Відповідь: \_\_\_\_\_

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



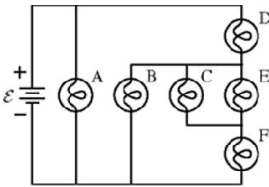
8. Опір такого електричного кола (див. рис.) можна обчислити за формулою

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:

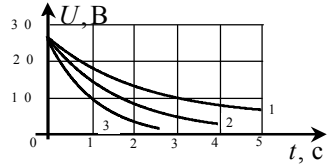
$$P_Q|_{R \rightarrow 0} = \underline{\hspace{10cm}},$$

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

- 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:

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

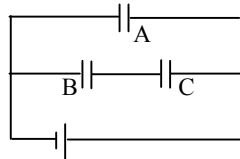
• Через досить великий час ( $t \rightarrow \infty$ ) напруга на конденсаторі буде дорівнювати:

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

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



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 11. МАГНІТНЕ ПОЛЕ

### *Питання, що розглядаються*

- Індукція магнітного поля.
- Дія магнітного поля на заряджені частинки.
- Робота з переміщення заряду в магнітному полі.
- Сила Ампера.
- Ефект Холла.
- 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. [8]).

- III.1. Елементарні поняття магнітостатики.
- III.2. Магнітні поля, створені різними струмами.
- III.3. Сила Ампера.
- III.4. Сила Лоренца. Рух частинок в магнітному полі.
- III.5. Магнітні властивості речовини. Гіпотеза Ампера.

#### 2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [6]).

- §39. Взаємодія струмів.
- §40. Магнітне поле.
- §42. Закон Біо – Савара.
- §43. Сила Лоренца.
- §44. Закон Ампера.
- §47. Магнітне поле контуру зі струмом.
- §48. Робота, що здійснюється при переміщенні струму в магнітному полі.
- §50. Поле соленоїда та тороїда.
- §55. Види магнетиків.

§72. Рух зарядженої частинки в однорідному магнітному полі.

§79. Ефект Холла.

### 3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [2]).

§8.1. Поняття про магнетизм.

§8.2. Магнітне поле електричного струму. Індукція магнітного поля. Закон Ампера.

§8.3. Магнітна взаємодія струмів.

§8.5. Циркуляція вектора індукції магнітного поля. Закон повного струму.

§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.

§8.4. Закон Біо – Савара – Лапласа. Магнітне поле прямого, колового і соленоїдного струмів.

§9.1. Магнетики та їх намагнічування. Вектор намагнічення та його зв'язок з густиною струмів намагнічення.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 11

---

 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.



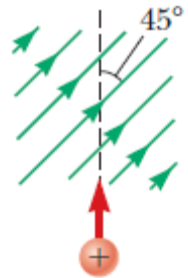
Відповідь: \_\_\_\_\_

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: \_\_\_\_\_

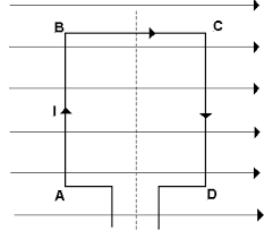
Період обертання цієї частинки під час руху по колу дорівнює...

Відповідь: \_\_\_\_\_

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

Відповідь: \_\_\_\_\_

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

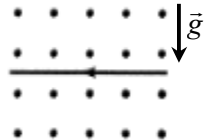


На сторону  $AB$  цієї рамки буде діяти сила, яка спрямована \_\_\_\_\_,

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

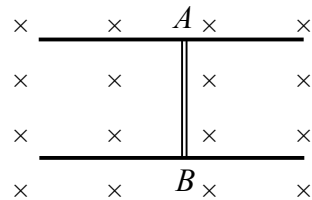
В результаті дії цих сил рамка буде \_\_\_\_\_.

7. 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>.



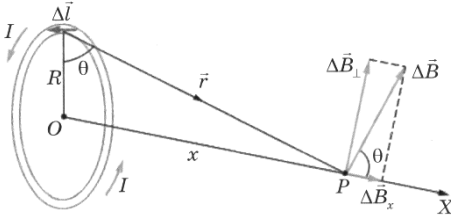
Відповідь: у загальному вигляді  $I =$  \_\_\_\_\_,  
числове значення \_\_\_\_\_ А.

8. 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.

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



Розіб'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:

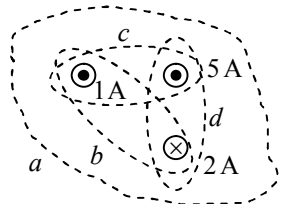
$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\Delta l}{r^2} .$$

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

$$\Delta B_x = \Delta B \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\Delta l}{(x^2 + R^2)} \cdot \frac{R}{(\text{_____})^{3/2}} .$$

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

10. 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»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \text{_____}$ ,

для контуру «b»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \text{_____}$ ,

для контуру «c»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \text{_____}$ ,

для контуру «d»  $\oint \vec{B} d\vec{l} = \text{_____}$ ,



## ЛЕКЦІЯ 12. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

### *Питання, що розглядаються*

- Досліди Фарадея. Явище електромагнітної індукції.
- Вихрове електричне поле.
- Закон Фарадея. Правило Ленца.
- Циркуляція електричного поля.
- Застосування явища електромагнітної індукції.
- Самоіндукція.  $RL$  – коло.
- Енергія магнітного поля.
- Взаємоіндукція.
- $LC$  – контур і  $RLC$  – контур.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).

IV.1. Явище електромагнітної індукції.

IV.2. ЕРС індукції у провідниках, що рухаються.

2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [6]).

§60. Явище електромагнітної індукції.

§61. Електрорушійна сила індукції.

§63. Струми Фуко.

3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [2]).

§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.

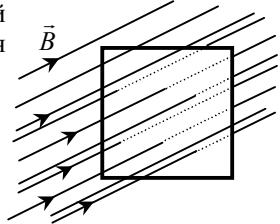
§11.8. Передавання електричної енергії. Трансформатори.

## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 12

П.І. студента \_\_\_\_\_

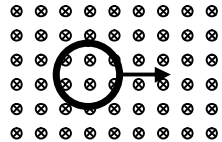
група \_\_\_\_\_

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?



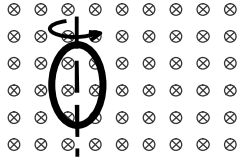
Відповідь: \_\_\_\_\_

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



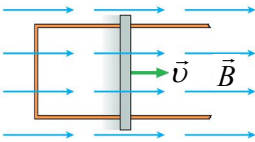
Відповідь: \_\_\_\_\_

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



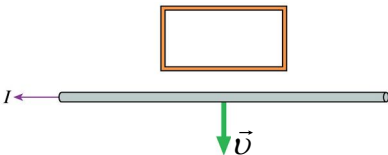
Відповідь: \_\_\_\_\_

### Що можна сказати про індукційний струм у таких системах?



4. 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.*



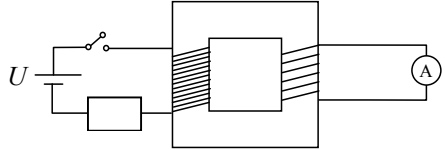
5. Провідник зі струмом віддаляють від замкнутого контуру (див. рис.)

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

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

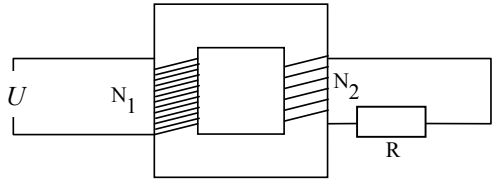
Відповідь:  $|\Delta\Phi| =$  \_\_\_\_\_

7. 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.*

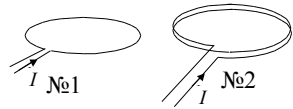
8. Якою буде напруга на резисторі, якщо на первинну обмотку трансформатора подають сталу напругу  $U$  (див. рис.)?



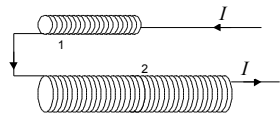
Відповідь: \_\_\_\_\_

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

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



10. 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: \_\_\_\_\_

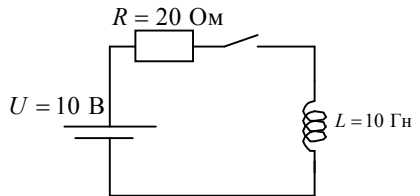
11. Визначте, скільки витків дроту діаметром  $d = 0,3$  мм потрібно намотати на картонний циліндр діаметром  $D = 1$  см, щоб отримати одношарову котушку з індуктивністю  $L = 1$  мГн? Витки намотують впритул один до одного.

*місце для розв'язку*

Відповідь: у загальному вигляді:  $N = \underline{\hspace{2cm}}$ ,

числове значення:  $\underline{\hspace{2cm}}$  витків.

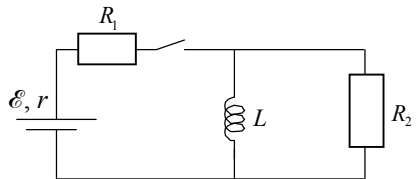
12. У момент часу  $t = 0$  коло (див. рис.) замикають. Чому дорівнює початкове значення швидкості зміни струму  $dI/dt$  у соленоїді **одразу** після замикання кола?



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

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

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



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

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





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

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

Відповідь: збільшиться / зменшиться у  $\underline{\hspace{2cm}}$  рази(ів)/не зміниться.

15. 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> 

## ЛЕКЦІЯ 13. ЗМІННИЙ СТРУМ ТА Е/М ХВИЛІ

### *Питання, що розглядаються*

- Змінний струм.
- Векторні діаграми струму та напруги.
- Опори резистора, конденсатора та соленоїда.
- Резонанс у колі змінного струму з резистором, конденсатором і котушкою.
- Трансформатор.
- Рівняння Максвелла.
- Властивості е/м хвиль.
- Вектор Умова-Пойнтінга, інтенсивність.
- Шкала електромагнітних хвиль.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).

IV.4. Змінний електричний струм.

Частина 4.

I.6. Вимушені електромагнітні коливання.

II.3. Електромагнітні хвилі.

II.4. Випромінювання та приймання електромагнітних хвиль.

2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [6]).

§91. Вимушені електричні коливання.

§92. Змінний струм.

§69. Вихрове електричне поле.

§70. Струм зміщення.

§71. Рівняння Максвелла.

§107. Енергія електромагнітних хвиль.

### 3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [2]).

§11.1. Отримання змінної ЕРС.

§11.2. Квазістаціонарний струм. Діючі значення сили струму і напруги. Середні 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.

§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.

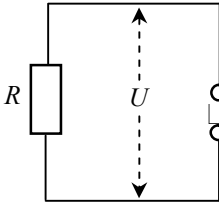
## ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ ДО ЛЕКЦІЇ 13

\_\_\_\_\_  
П.І. студента

\_\_\_\_\_  
група

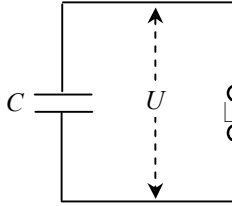
1. На резистор, конденсатор і котушку індуктивності подається змінна напруга  $U(t) = U_m \cos \omega t$  (див рис.).

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



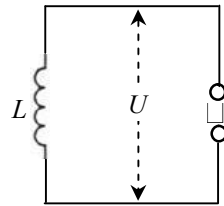
$$i(t) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{опір} = \underline{\hspace{2cm}}$$



$$i(t) = \underline{\hspace{2cm}}$$

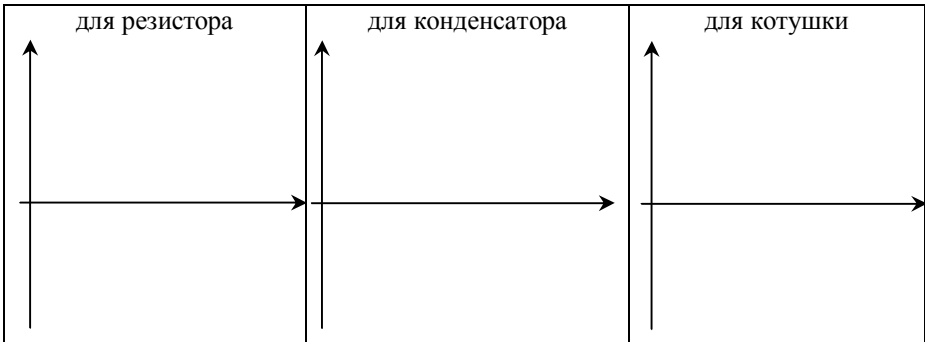
$$\text{опір} = \underline{\hspace{2cm}}$$



$$i(t) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{опір} = \underline{\hspace{2cm}}$$

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



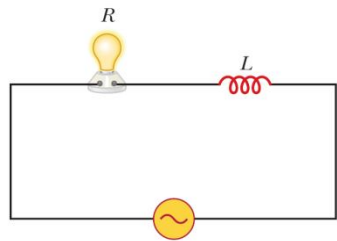
2. Електронагрівник потужністю 600 Вт підключений до електромережі змінного струму 120 В. Яке **максимальне** значення струму, що тече у приладі?

Відповідь: \_\_\_\_\_

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

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

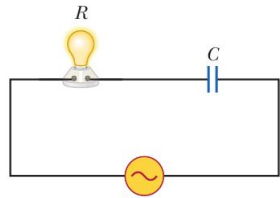
Відповідь: \_\_\_\_\_



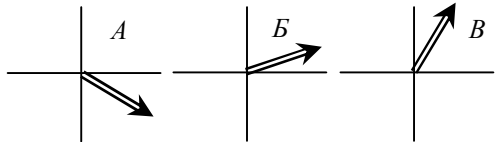
4. Частоту змінного струму у колі (див. рис.) можна змінювати. Коли лампочка буде світити яскравіше?

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

Відповідь: \_\_\_\_\_

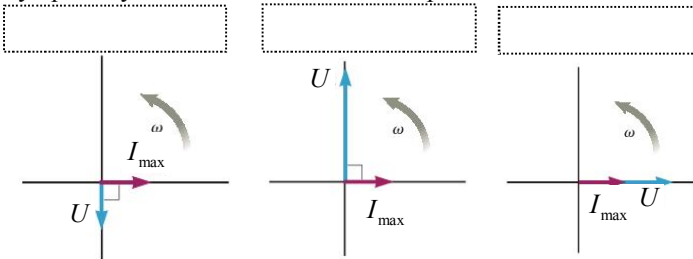


5. На рисунку зображена векторна діаграма для напруги у різні моменти часу. У якому випадку діаграма показує



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

6. 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.



7. 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: \_\_\_\_\_

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

Відповідь: \_\_\_\_\_

9. 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: \_\_\_\_\_

10. Електромагнітна хвиля розповсюджується у вакуумі. Виберіть усі правильні твердження.

- а) електромагнітна хвиля є повздовжньою 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: \_\_\_\_\_



## ЛЕКЦІЇ 14-15. ЕЛЕМЕНТИ ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА

### *Питання, що розглядаються*

- Класична електронна теорія провідності металів.
- Поняття про квантову теорію провідності металів.
- Енергетичний спектр електронів у кристалі.
- Метали, діелектрики і напівпровідники.
- Контактна різниця потенціалів.
- Контакт електронного і діркового напівпровідників.
- Напівпровідниковий діод.
- Напівпровідниковий транзистор.
- Явища Пельтьє і Томсона.

### *Рекомендовані для читання матеріали*

1. Соколов Є.П. Екзаменаційна фізика (див. [8]).

II.7.1. Електричний струм в металах.

2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики (див. [6]).

§70. Елементарна класична теорія металів.

§71. Основи квантової теорія металів.

§72. Напівпровідники.

§74. Робота виходу.

§76. Контактна різниця потенціалів.

§77. Термоелектричні явища.

§78. Напівпровідникові діоди та тріоди.

3. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики (див. [2]).

§3.1. Електричний струм у металах.

§3.2. Класична електронна теорія металів.

§3.3. Поняття про квантову теорію металів.

§3.4. Явище надпровідності.

§3.5. Енергетичний спектр електронів у кристалі. Метали, діелектрики і напівпровідники.

§3.6. Електропровідність напівпровідників.

§4.1. Робота виходу електрона з металу.

§4.2. Контактна різниця потенціалів.

§4.3. Контакт металу з провідником.

§4.4. Контакт електронного і діркового напівпровідників.

§4.5. Напівпровідникові діоди і тріоди (транзистори).

§4.5. Термоелектронний струм.

§4.6. Явища Пельтьє і Томсона.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Основна

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики: У 3 т./ За ред. І.М. Кучерука. — 2-ге вид., випр. — К.: Техніка. 2006. Т.1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П.Луцик. — 532 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, П.П. Луцик; за ред. І.М. Кучерука. — Т. 2. Електрика і магнетизм. — К.: Техніка, 2001. — 452 с.
3. 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.
4. 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.
5. Савельєв І.В. Курс общей физики: Учебное пособие для студ. вузов. В 3-х т. Т.1. Механика. Колебания и волны. Молекулярная физика — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1966. — 389 с.
6. Савельєв 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.
7. Соколов Є. П. Екзаменаційна фізика. Лекції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.]: в 2 т. / Євгеній Петрович Соколов. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — Т.1. — 184 с.
8. Соколов Є. П. Екзаменаційна фізика. Лекції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.]: в 2 т. / Євгеній Петрович Соколов. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — Т.2. — 222 с.

### Додаткова

9. Анпілогов. Д.І. Методичні вказівки до практичних занять з теми «Центр мас і його застосування» для слухачів факультету довузівської підготовки І та 2 рівня інженерно-технічної спеціалізації. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2006. — 66 с.

10. Детлаф А.А, Яворский Б.М, Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1989. – 607 с.
11. Зельдович Я.Б. Высшая математика для начинающих и ее приложения к физике / Я.Б. Зельдович. — М., 1968. — 576 с.
12. 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.
13. 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.
14. Механічні коливання: Методичні вказівки з дисципліни “Фізика” для слухачів факультету загальнотехнічної підготовки / Укладачі: І.П. Кенєва, О.А. Лозовенко, Ю.П. Мінаєв. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. — 86 с.
15. Обертальний рух твердого тіла: Методичні вказівки з дисципліни “Фізика” для слухачів факультету загальнотехнічної підготовки / Укладачі: І.П. Кенєва, О.А. Лозовенко, Ю.П. Мінаєв. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. — 86 с.
16. Сивухин Д.В. Механика: Учебное пособие для вузов. – Т.1. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 576 с.
17. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество / Д.В. Сивухин. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. — 688 с.
18. Трофимова Т.И. Курс физики. — М.: Высшая школа, 1985.— 300 с.

### **Інформаційні ресурси**

1. Публічна електронна бібліотека «Прометей»: [http://lib.prometey.org/?sub\\_id=38](http://lib.prometey.org/?sub_id=38)
2. Наукові дослідження та технічні розробки: <http://physics.com.ua/>
3. The WWW Virtual Library Physics: <http://vlib.org/Physics>