

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

О. П. ПАНЧУК

ФІЗИКА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за освітньо-професійною програмою Комп'ютерні науки
та інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки
галузі знань 12 Інформаційні системи**

Електронне видання

Кам'янець-Подільський
2023

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

П16

Рекомендувала вчена рада Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, протокол № 5 від 27 квітня 2023 р.

Рецензенти:

Оптасюк С.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри фізики Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка;

Килимник С.М. – кандидат педагогічних наук, викладач, спеціаліст вищої категорії Кам'янець-Подільського фахового коледжу харчової промисловості;

Павлюк О.М. – кандидат педагогічних наук, викладач-методист, спеціаліст вищої категорії Кам'янець-Подільського фахового коледжу індустрії, бізнесу та інформаційних технологій.

Панчук О. П.

П16 Фізика: навчально-методичний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою Комп'ютерні науки та інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки галузі знань 12 Інформаційні системи [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2023. 135 с.

**Електронна версія навчально-методичного посібника
доступна за покликанням:**

URL: <http://elar.kpnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/7493>

Навчально-методичний посібник складається з частин: вступ, робоча програма, силабус, лекційні заняття, лабораторні заняття, список використаних джерел.

Посібник спрямований на розширення кругозору здобувачів вищої освіти, покликаний сприяти розвитку в них діалектико-матеріалістичних поглядів на природу, створити у здобувачів вищої освіти основу широкої теоретичної підготовки в області фізики, що дозволить їм орієнтуватися в потоці наукової і технічної інформації. Це забезпечить можливість використовувати фізичні принципи в тих областях знань, в яких вони спеціалізуються.

Значне місце у навчально-методичному посібнику займають навчальні лабораторні роботи з розділів “Механіки”, “Молекулярної фізики і термодинаміки”, “Електрики та магнетизму”.

Навчально-методичний посібник складений на основі робочої програми для спеціальності 122 Комп'ютерні науки і стане у нагоді студентам не фізичних спеціальностей та викладачам фізики.

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

© О. П. Панчук, 2023

ЗМІСТ



ВСТУП	5
РОБОЧА ПРОГРАМА	7
СИЛАБУС	14
ТЕЗИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ	24
Лекція 1: Основи механіки	24
Лекція 2: Основи динаміки.....	34
Лекція 3: Основи термодинаміки	42
Лекція 4: Ізопроееси в газах.....	46
Лекція 5: Основи електродинаміки (електростатика).....	50
Лекція 6: Постійний електричний струм.....	53
Лекція 7: Електромагнітні явища	60
Лекція 8: Оптичні явища	66
ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ	80
Робота № 1: Визначення часу та сили пружного удару двох тіл	80
Робота № 2: Визначення швидкості польоту кулі за допомогою балістичного маятника	85
Робота № 3: Визначення коефіцієнта пружності пружин	87
Робота № 4: Вимірювання швидкості потоку повітря	91
Робота № 5: Вимірювання лінійних розмірів тіл	94
Робота № 6: Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини методом компенсації тиску Лапласа	99

Робота № 7: Визначення вологості повітря	104
Робота № 8: Визначення відношення питомих теплоємностей газів	110
Робота № 9: Експериментальне вивчення закону Бойля-Маріотта	113
Робота № 10: Дослідження залежності опору напівпровідників від температури	116
Робота № 11: Вимірювання опорів за допомогою містка Уїтстона.....	119
Робота № 12: Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля землі	122
Робота № 13: Дослідження залежності опору металів від температури	126
Робота № 14: Зняття вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода.....	129
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	134

ВСТУП

Все, що нас оточує, все що існує навколо нас і сприймається за допомогою відчуттів є матерією. Невід'ємною властивістю матерії і формою її існування є рух.

Рух в широкому розумінні – це все можливі перетворення матерії, від простого переміщення до складних процесів мислення. Різні форми матерії вивчають різні науки в тому числі і фізика.



Дати точне визначення предмету фізики є досить складно, тому що межі між фізикою і суміжними науками умовні. Не можна точно визначити, які питання відносяться до цієї науки, а які ні.

Академік А.Ф. Йоффе (1880-1960р.р, рад. фізик) дав визначення фізики як науки, що вивчає загальні властивості і закони руху речовин і поля. На сьогоднішній день загальноприйнято, що вся взаємодія здійснюється з допомогою полів (гравітаційне, електромагнітне, полів ядерних сил). Поле поряд з речовиною є однією із форм існування матерії. Зв'язок поля і речовини, а також відмінність між їхніми властивостями будемо розглядати по мірі вивчення курсу.

Фізика – наука про найбільш прості і разом з тим найбільш загальні форми руху матерії і їх взаємні перетворення.

Сучасна фізика вивчає найзагальніші властивості і об'єктивні просторово-часові закони руху матерії, кількісні і якісні зміни в матерії, пов'язані з будовою, взаємодією і перетвореннями усіх видів і станів матерії.

Найбільш важливі фізичні закони встановлюють зв'язок між фізичними величинами. Для цього їх (величини) необхідно вимірювати. Вимірювання фізичних величини – це процес знаходження її значення в прийнятих одиницях. Одиниці фізичних величин можна вибирати довільно, але тоді виникають труднощі під час їх порівняння. Тому доцільно ввести систему одиниць, яка охоплювала б одиниці всіх фізичних величин та дозволяла оперувати ними.

Для створення системи одиниць довільно вибирають одиниці декількох незалежних фізичних величин і теоретичним способом об'єднують їх у певну систему. Ці величини називаються основними. Інші ж величини і їх одиниці вимірювання виводяться із законів та називаються похідними.

Основна система вимірювання фізичних величин – це СІ (система інтернаціональна). До неї входять сім основних і дві додаткові одиниці. Основні одиниці: метр (м), кілограм (кг), секунда (с), ампер (А), кельвін (К), моль (моль), кандела (кд). Додаткові одиниці: радіан,стерадіан.

Значне місце у вивченні загальної фізики займають навчальні лабораторні роботи з розділів “Механіки”, “Молекулярної фізики і термодинаміки”, “Електрики та магнетизму”. Це пояснюється розвитком науки і техніки, особливо розвитком військової та цивільної авіації. Лабораторні роботи дають можливість вивчення, вимірювання та пояснення різних фізичних явищ, а також відтворення в лабораторних умовах фізичних процесів з метою їх детальнішого вивчення. Студенти повинні виробити стійкі і свідомі навички в проведенні вимірювань, обробці, представленні та поясненні отриманих результатів. Особливу увагу слід звернути на дотримання вимог техніки безпеки.

Посібник складається з частин: вступ, робоча програма, силабус, лекційні заняття, лабораторні заняття, список використаних джерел.

РОБОЧА ПРОГРАМА

Зміст робочої програми навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни «Фізика» є розширити кругозір студентів, сприяти розвитку в них діалектико-матеріалістичних поглядів на природу, створити в студентів основу широкої теоретичної підготовки в області фізики, що дозволить їм орієнтуватися в потоці наукової і технічної інформації. Це забезпечить можливість використовувати фізичні принципи в тих областях знань, в яких вони спеціалізуються. Метою вивчення курсу являється також підготовка студентів до свідомого вивчення суміжних з фізикою дисциплін.



Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика» – дати студентам сучасні відомості про найважливіші закони і відкриття у фізиці і навчити їх самостійно і творчо працювати, використовуючи отримані відомості. Задачею курсу загальної фізики являється також формування в студентів цілісного уявлення про фундаментальні фізичні закономірності, що лежать в основі фізичних теорій, утворюючих сучасну фізичну картину світу. В зв'язку з цим необхідно дати студентам фундаментальні знання по основних розділах сучасної фізики, відобразити структуру даної області науки, розкрити її експериментальні основи.

1. Обсяг дисципліни

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік навчання	1	
Семестр вивчення	2	
Кількість кредитів ЄКТС	4	
Загальний обсяг годин	120	
Кількість годин навчальних занять	48	
Лекційні заняття	18	
Практичні заняття		
Семінарські заняття		
Лабораторні заняття	30	
Самостійна та індивідуальна робота	72	
Форма підсумкового контролю	залік	

2. Статус дисципліни – нормативна

Навчальна дисципліна «Фізика» базується на вивченні таких дисциплін, як: «Математичний аналіз, лінійна алгебра та аналітична геометрія».

3. Програмні компетентності навчання

Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в галузі інформаційних технологій або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів комп'ютерних наук та технологій і характеризується комплектною та невизначеністю умов.

Загальні компетентності: ЗК 01 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Фахові компетентності: СК 01 Здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язання теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування

4. Очікувані результати навчання з дисципліни

ПРН 01. Застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук.

ПРН 02. Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- основні фізичні величини та зв'язок між ними, систему одиниць вимірювання фізичних величин;
- основні види прискорень при різних видах рухів;
- закони прямолінійного та обертового рухів матеріальної точки;
- коливальний рух та умови його поширення (хвиля);
- закони збереження в фізиці;
- графічне зображення залежностей між фізичними величинами;
- загальні основи термодинаміки;
- загальні основи електродинаміки;
- історію здобуття фізичних знань;
- закони побудови фізичної теорії та межі її застосування;
- внесок українських вчених у розвиток теоретичної науки;
- питання охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів, з огляду на внесок фізики у розвиток малозатратних, енергозберігаючих і безвідходних технологій виробництва;
- принципи роботи з джерелами знань: навчальною літературою, спеціальною науковою літературою, інформацією з інтернет ресурсів.

вміти:

- вести спостереження за фізичними явищами як у природі, так і в побуті;
- оцінювати похибки при проведенні навчальних експериментів;
- використовувати знання для запобігання випадків та подій, які наносять шкоду оточуючому середовищу та життю людей;
- вміти розв'язувати фізичні задачі якісного та кількісного характеру;

- вміти поставити завдання практичного характеру, з використанням лабораторного обладнання;
- прогнозувати результати фізичних експериментів.

5. Засоби діагностики результатів навчання: стандартизовані тести, наскрізні проекти, реферати, презентації результатів виконаних завдань та досліджень, мультимедійні презентації, завдання креативного характеру тощо.

6. Програма навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма навчання					
	усього	зокрема				
		лк	пз	лаб.	інд.	с.р.
Предмет і завдання курсу. Фізика як природнича наука	6	2	-	-	-	4
Механіка	20	4	-	6	-	10
Молекулярна фізика та теплота	18	2	-	6	-	10
Електрика, магнетизм. Провідники та діелектрики в електричному полі	11	1	-	4	-	6
Енергія взаємодії зарядів. Енергія електричного поля	8	1		2		5
Постійний електричний струм	7			2		5
Електричний струм у вакуумі, газах та рідинах	8	1		2		5
Електромагнітне поле та електромагнітні хвилі	8	1		2		5
Оптичні явища	9	2	-	2	-	5
Коливання та хвилі	11	2	-	2	-	7
Будова атома та ядерна фізика	9	2	-	2	-	5
Підготовка до МКР	5	-	-	-	-	5
Разом годин	120	18	-	30	-	72

7. Форми поточного та підсумкового контролю. Виконання лабораторних робіт, відповіді на контрольні запитання, усне опитування на лабораторних заняттях, тестові завдання, реферативні повідомлення, модульна контрольна робота.

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Поточний і модульний контроль (100 балів)			Сума
Поточний контроль	Самостійна робота	МКР	100
40 балів	20 балів	40 балів	

Поточний контроль (40 балів)

Максимальний бал оцінки поточної успішності студентів на навчальних заняттях – 12 (<https://drive.google.com/file/d/1aD jeL-jGRbDWAegkQ58tdMxxbqQKufF/view>).

Студенту, який не виконав поточних домашніх завдань, не підготувався до навчальних занять, в журнал обліку роботи академічної групи ставиться 0 балів.

Студент, знання, уміння і навички якого на навчальних заняттях за 12-бальною шкалою оцінено від 1 до 3 балів, вважається таким, що недостатньо підготувався до цих занять і має академічну заборгованість за результатами поточного контролю. Поточну заборгованість, пов'язану з непередготовленістю або недостатньою підготовленістю до навчальних занять, студент повинен ліквідувати. За ліквідацію поточної заборгованості нараховуються бали середнього (4, 5, 6), достатнього (7, 8, 9) та високого рівня (10, 11, 12).

Самостійна робота (20 балів)

Перевірку питань й завдань самостійної роботи, які студенти готують на практичні заняття, здійснює викладач, який їх проводить. Їх оцінювання є складником загальної оцінки, що виставляється студенту на практичному занятті.

Контроль за іншими видами самостійної роботи здійснює лектор на консультаціях.

До того ж, самостійна робота передбачає опрацювання матеріалу лекційних занять, попередню підготовку до практичних занять; виконання завдань і вправ в позааудиторний час; підготовку до обговорення окремих теоретико-практичних тем; самостійне вивчення окремих теоретичних тем курсу; підготовка до написання модульної контрольної роботи; відвідування консультацій (згідно з графіком консультацій кафедри).

Студенти, які за виконання завдань СР отримали рейтинговий бал менший 60% від максимальної кількості балів, виділених на цей вид ро-

боти, а також ті, що не з'явилися на звіт за виконання СР на консультації, або не виконали її завдань, вважаються такими, що мають академічну заборгованість за результатами поточного контролю, ліквідація якої є обов'язковою.

СР 20 балів	«задовільно»	14 – 12
	«добре»	17 – 15
	«відмінно»	20 – 18

Модульна контрольна робота (40 балів)

Модульна контрольна робота виконується у письмовій формі. До її написання допускаються всі студенти. Позитивну оцінку за МКР не рекомендується покращувати. Невиконання МКР оцінюється 0 балів.

Студенти, які за результатами виконання МКР отримали рейтинговий бал менший 60 % від максимальної кількості балів, виділених на цей вид роботи, а також ті, що не з'явилися для її виконання або не виконали її завдань, вважаються такими, що мають академічну заборгованість за результатами поточного контролю, ліквідація якої є обов'язковою.

МКР 40 балів	«задовільно»	24 – 29
	«добре»	30 – 34
	«відмінно»	35 – 40

Підсумковий рейтинг з кредитного модуля (дисципліни)

Рейтингова оцінка з кредитного модуля	Оцінка за шкалою ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100 і більше	A (відмінно)	відмінно
82-89	B (дуже добре)	добре
75-81	C (добре)	
67-74	D (задовільно)	задовільно
60-66	E (достатньо)	
35-59	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)	незадовільно
34 і менше	F (незадовільно з обов'язковим проведенням додаткової роботи щодо вивчення навчального матеріалу кредитного модуля)	

Перескладання рейтингових оцінок (від 60 і більше балів) з метою їх підвищення дозволяється лише у виняткових випадках за погодженням з деканом факультету та з дозволу ректора університету.

Рейтингова оцінка у балах знань, умінь і навичок студента на навчальних заняттях з навчального (змістового) модуля обчислюється після проведення цих занять та ліквідації поточної заборгованості, пов'язаної з пропусками занять, невідповідністю або недостатньою підготовленістю до них.

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна (за потребою). Використання навчальної дисципліни «Фізика» потребує використання лабораторного обладнання.

10. Рекомендована література

1. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. Кн.1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. Київ: Либідь, 2001. 448 с.
2. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Кн.2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ: Либідь, 2001. 424 с.
3. Губанова А.О. Лабораторні роботи з курсу «Фізика»: навчально-методичний посібник.-Кам'янець-Подільський: Видавець Зволейко Д.Г.,2010. 104 с.
4. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Москва: Наука, 1965. 384 с.
5. Савельев И.В. Курс общей физики. Москва: Наука, 1989. Т. 1-3.
6. Трофимова Т.И. Краткий курс физики. Москва: Высшая школа, 2000. 489 с.
7. Мялова О.М. Загальна фізика та основи астрономії: [посібник] Харків: Основа, 1996. 120 с.
8. Лапта С.І. Електрика та магнетизм навчальної дисципліни «Фізика»: навчальний посібник. Харків: Вид. ХНЕУ, 2009. 168 с.

СИЛАБУС



Кам'янець-Подільський національний університет
імені Івана Огієнка
Факультет фізико-математичний
Кафедра фізики
Силабус
навчальної дисципліни
«Фізика»

1. Загальна інформація про курс

Назва курсу, мова викладання	ФІЗИКА Мова викладання – українська.
Викладачі	Панчук Олег Петрович, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики.
Профайл викладачів	https://mvf.kpnu.edu.ua/sklad-kafedry/panchuk-oleh-petrovych/
E-mail	panchuk.op@kpnu.edu.ua
Консультації	О.П. Панчук: вівторок 15.00–16.00 / 15.30–16.30 Місце проведення консультацій – 32 аудиторія (корпус №5), платформа MOODLE.

2. Анотація до курсу

Програма вивчення нормативної навчальної дисципліни «Фізика» укладена відповідно до освітньої програми (освітньо-професійної/освітньо-наукової) програми підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, галузь знань 12 Інформаційні системи, спеціальність 122 Комп'ютерні науки. Програма навчальної дисципліни містить один змістовий модуль.

3. Мета і цілі курсу

Метою навчальної дисципліни є набуття студентами знань з основних розділів фізики. Знайомство з математичним апаратом фізики, історією розвитку фізичної науки, зокрема внеском українських вчених у розвиток фізичних знань. Набуття практичних навичок у застосуванні вимірjuвальних пристроїв, методах електрозабезпечення населення та промисловості. Оволодіння студентами системою вмінь і навичок які б давали можливість передавати знання наступним поколінням, виховували в них інтерес до знань, любов до творчої праці, відповідальність за власне життя та життя оточуючих людей.

Завдання навчальної дисципліни – виробити вміння застосовувати теоретичні знання для аналізу та опису фізичних процесів, оцінки їх впливу на оточуюче середовище, виявлення небезпечних явищ для здоров'я людей, створення комфортних умов для їх праці, уміння оцінки шкідливих впливів на стан здоров'я людей. Розвиток навичок користування фізичними приладами, спостереження природних явищ та запобігання їх негативних наслідків для існування людини. Демонстрація та вивчення зв'язку фізики з іншими науками, медициною, екологією. Навчити використовувати закони фізики в охороні навколишнього середовища, дотриманні правил техніки безпеки у побуті та на виробництві.

Інтегральна компетентність: Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в галузі інформаційних технологій або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів комп'ютерних наук та технологій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності: ЗК 01 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності: СК 01 Здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язання теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування.

4. Формат курсу

Стандартний курс (очний, заочний). Можливе застосування об'єктно-модульного динамічного середовища навчання Moodle та застосунків для проведення відеоконференцій.

5. Результати навчання

ПРН 01	Застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук
ПРН 02	Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- основні фізичні величини та зв'язок між ними, систему одиниць вимірювання фізичних величин;
- основні види прискорень при різних видах рухів;
- закони прямолінійного та обертового рухів матеріальної точки;
- коливальний рух та умови його поширення (хвиля);
- закони збереження в фізиці;
- графічне зображення залежностей між фізичними величинами;
- загальні основи термодинаміки;
- загальні основи електродинаміки;
- історію здобуття фізичних знань;
- закони побудови фізичної теорії та межі її застосування;
- внесок українських вчених у розвиток теоретичної науки;
- питання охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів, з огляду на внесок фізики у розвиток малозатратних, енергозберігаючих і безвідходних технологій виробництва;
- принципи роботи з джерелами знань: навчальною літературою, спеціальною науковою літературою, інформацією з інтернет ресурсів.

вміти:

- вести спостереження за фізичними явищами як у природі, так і в побуті;
- оцінювати похибки при проведенні навчальних експериментів;
- використовувати знання для запобігання випадків та подій, які наносять шкоду оточуючому середовищу та життю людей;

- вміти розв'язувати фізичні задачі якісного та кількісного характеру;
- вміти поставити завдання практичного характеру, з використанням лабораторного обладнання;
- прогнозувати результати фізичних експериментів.

6. Обсяг і ознаки курсу

Найменування показників	Характеристика навчального курсу	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерні науки галузі знань 12 Інформаційні системи спеціальності 122 Комп'ютерні науки	
Рік навчання / рік викладання	перший	
Семестр вивчення	другий	
Кількість кредитів ЄКТС	4	
Загальний обсяг годин	120	
Кількість годин навчальних занять	48	
Лекційні заняття	18	
Лабораторні заняття	30	
Самостійна та індивідуальна робота	72	
Форма підсумкового контролю	залік	

7. Пререквізити курсу

Навчальна програма дисципліни передбачає вивчення 6 тем, з яких 6 висвітлюються в процесі лекційних занять і 6 тем на лабораторних заняттях. Організація навчання передбачає цілеспрямовану самостійну роботу студентів, виконання практичних завдань аналітичного, узагальнюючого характеру.

8. Технічне й програмне забезпечення, обладнання

Вивчення курсу потребує спеціального матеріально-технічного та/або інформаційного забезпечення, а саме використання лабораторного обладнання фізичних лабораторій та використання проектора й ноутбука / персонального комп'ютера для створення презентацій у форматі MS Power Point або інших. Передбачається застосування об'єктно-модульного динамічного середовища навчання MOODLE.

9. Політика курсу

Відвідування занять. Очікується, що студенти відвідуватимуть лекційні та лабораторні заняття. Під час відвідування всіх видів занять і консультацій очікується дотримання правил внутрішнього розпорядку Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка (<http://kpnu.edu.ua/pravyla-vnutrishnoho-rozporiyadku/>) та етичних норм поведінки.

Очікується, що студенти дотримуватимуться термінів виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. За несвоєчасно подані роботи / завдання (з порушенням визначених термінів) знижуватимуться бали.

Якщо студент не відпрацював пропущені навчальні заняття, не виправив оцінки 0, 1, 2, 3, отримані на навчальних заняттях, виконав завдання модульної контрольної роботи (МКР) або самостійної роботи менше ніж на 60% від максимальної кількості балів, виділених на ці види робіт, він вважається таким, що має академічну заборгованість за результатами поточного контролю.

Пропущені заняття студент має відпрацювати. За відпрацьовані лекційні заняття оцінки не ставляться, за лабораторні заняття нараховуються бали середнього (4, 5, 6), достатнього (7, 8, 9) та високого рівня (10, 11, 12).

Очікується, що студенти поступово відпрацьовуватимуть пропущені заняття й завершать цей процес вчасно (до останнього практичного заняття з дисципліни). Відпрацювання лекційного заняття передбачає знання студентом питань плану. Відпрацювання пропущеного практичного заняття передбачає опанування теоретичних питань плану заняття й виконання запланованих завдань.

Очікується, що студенти не будуть запізнюватися на заняття, а мобільні телефони під час занять використовуватимуть лише з освітньою метою.

Академічна доброчесність. Дотримання академічної доброчесності регулюється Кодексом академічної доброчесності Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка

(<https://drive.google.com/file/d/1UXqhkTdz-TJoPFKFueSsc5v25FlqVAIW/view>)

та Положенням про дотримання академічної доброчесності науково-педагогічними працівниками та здобувачами вищої освіти Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка (https://drive.google.com/file/d/1Wi2EaD27TABQU_0BgslxnZWQK77HEWkh/view).

Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними міркуваннями. Відсутність покликань на використані джерела, фабрикування джерел списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують приклади можливої академічної недоброчесності. Списування під час контрольних робіт та екзамену заборонені (зокрема, з використанням мобільних пристроїв). Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі аспіранта та фактів списування є підставою для її незарахування викладачем (незалежно від масштабів плагіату чи обману).

Література. Для пошуку рекомендованої літератури студенти можуть послуговуватися бібліотекою університету, кафедри фізики та інтернетними ресурсами. Студенти заохочуються до використання літератури, якої немає з-поміж рекомендованої.

Комунікування з викладачем. Спілкування з викладачами здійснюється під час лекційних і практичних занять (участь у бесідах, дискусіях, відповіді на питання тощо). Очікується, що студенти будуть задавати викладачам запитання, цікавитися додатковими відомостями й сучасними науковими знаннями з курсу.

Викладачі щотижня проводять консультації.

10. Схема курсу

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усьо-го	зокрема					усьо-го	зокрема				
		лк	пз	лаб.	інд.	с.р.		лк	пз	лаб.	інд.	с.р.
Предмет і завдання курсу. Фізика як природнична наука	6											
Механіка	20	4	-	6	-	10						
Молекулярна фізика та теплота	18	2	-	6	-	10						
Електрика, магнетизм. Провідники та діелектрики в електричному полі	11	1	-	4	-	6						
Енергія взаємодії зарядів. Енергія електричного поля	8	1		2		5						
Постійний електричний струм	7			2		5						
Електричний струм у вакуумі, газах та рідинах	8	1		2		5						
Електромагнітне поле та електромагнітні хвилі	8	1		2		5						
Оптичні явища	9	2	-	2	-	5						
Коливання та хвилі.	11	2	-	2	-	7						
Будова атома та ядерна фізика	9	2	-	2	-	5						
Підготовка до МКР	5	-	-	-	-	5						
Разом годин	120	18	-	30	-	72						

11. Система оцінювання та вимоги

Розподіл балів, що присвоюються студентам:

денна форма навчання

Поточний і модульний контроль (100 балів)			Сума
Поточний контроль	Самостійна робота	МКР	100
40 балів	20 балів	40 балів	

Поточний контроль (40 балів)

Максимальний бал оцінки поточної успішності студентів на навчальних заняттях – 12 (https://drive.google.com/file/d/1aD_jeL-jGRbDWAegkQ58tdMxxbqQKuff/view).

Студенту, який не виконав поточних домашніх завдань, не підготувався до навчальних занять, в журнал обліку роботи академічної групи ставиться 0 балів.

Студент, знання, уміння і навички якого на навчальних заняттях за 12-бальною шкалою оцінено від 1 до 3 балів, вважається таким, що недостатньо підготувався до цих занять і має академічну заборгованість за результатами поточного контролю. Поточну заборгованість, пов'язану з непідготовленістю або недостатньою підготовленістю до навчальних занять, студент повинен ліквідувати. За ліквідацію поточної заборгованості нараховуються бали середнього (4, 5, 6), достатнього (7, 8, 9) та високого рівня (10, 11, 12).

Самостійна робота (20 балів)

Перевірку питань й завдань самостійної роботи, які студенти готують на практичні заняття, здійснює викладач, який їх проводить. Їх оцінювання є складником загальної оцінки, що виставляється студенту на практичному занятті.

Контроль за іншими видами самостійної роботи здійснює лектор на консультаціях.

До того ж, самостійна робота передбачає опрацювання матеріалу лекційних занять, попередню підготовку до практичних занять; виконання завдань і вправ в позааудиторний час; підготовку до обговорення окремих теоретико-практичних тем; самостійне вивчення окремих теоретичних тем курсу; підготовка до написання модульної контрольної роботи; відвідування консультацій (згідно з графіком консультацій кафедри).

Студенти, які за виконання завдань СР отримали рейтинговий бал менший 60% від максимальної кількості балів, виділених на цей вид ро-

боти, а також ті, що не з'явилися на звіт за виконання СР на консультації, або не виконали її завдань, вважаються такими, що мають академічну заборгованість за результатами поточного контролю, ліквідація якої є обов'язковою.

Денна форма навчання

СР 20 балів	«задовільно»	14 – 12
	«добре»	17 – 15
	«відмінно»	20 – 18

Модульна контрольна робота (40 балів)

Модульна контрольна робота виконується у письмовій формі. До її написання допускаються всі студенти. Позитивну оцінку за МКР не рекомендується покращувати. Невиконання МКР оцінюється 0 балів.

Студенти, які за результатами виконання МКР отримали рейтинговий бал менший 60 % від максимальної кількості балів, виділених на цей вид роботи, а також ті, що не з'явилися для її виконання або не виконали її завдань, вважаються такими, що мають академічну заборгованість за результатами поточного контролю, ліквідація якої є обов'язковою.

МКР 40 балів	«задовільно»	24 – 29
	«добре»	30 – 34
	«відмінно»	35 – 40

Підсумковий рейтинг з кредитного модуля (дисципліни)

Рейтингова оцінка з кредитного модуля	Оцінка за шкалою ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100 і більше	A (відмінно)	відмінно
82-89	B (дуже добре)	добре
75-81	C (добре)	
67-74	D (задовільно)	задовільно
60-66	E (достатньо)	
35-59	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)	незадовільно
34 і менше	F (незадовільно з обов'язковим проведенням додаткової роботи щодо вивчення навчального матеріалу кредитного модуля)	

Перескладання рейтингових оцінок (від 60 і більше балів) з метою їх підвищення дозволяється лише у виняткових випадках за погодженням з деканом факультету та з дозволу ректора університету.

Рейтингова оцінка у балах знань, умінь і навичок студента на навчальних заняттях з навчального (змістового) модуля обчислюється після проведення цих занять та ліквідації поточної заборгованості, пов'язаної з пропусками занять, невідповідністю або недостатньою підготовленістю до них.

12. Основна література

- Губанова А.О. Лабораторні роботи з курсу «Фізика»: навчально-методичний посібник. Кам'янець-Подільський: Видавець Зволейко Д.Г., 2010. 104 с.
- Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. Кн.1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. Київ: Либідь, 2001. 448 с.
- Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Кн.2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ: Либідь, 2001. 424 с.
- Лапта С.І. Електрика та магнетизм навчальної дисципліни «Фізика»: навчальний посібник. Харків: Вид. ХНЕУ, 2009. 168 с.

ТЕЗИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

ЛЕКЦІЯ 1: ОСНОВИ МЕХАНІКИ



ПЛАН

1. Основна задача механіки. Абетка кінематики.
2. Механічний рух та його основні характеристики.
3. Рівномірний прямолінійний рух. Швидкість.
4. Нерівномірний рух. Середня та миттєва швидкість.
5. Рівноприскорений прямолінійний рух. Прискорення.
6. Криволінійний рух. Рух по колу та його характеристики

1. Основна задача механіки. Абетка кінематики

1. **Механіка** – наука про механічний рух матеріальних тіл і про взаємодії, які при цьому відбуваються між тілами.

Основна задача механіки – визначити положення тіла у просторі в будь-який момент часу.

Механіка містить такі розділи:

Кінематика – це розділ механіки, що вивчає рух тіл і при цьому не розглядає причин, якими цей рух викликаний. (Як рухається тіло?)

Динаміка – розділ механіки, в якому вивчаються причини виникнення механічного руху. (Чому рухається тіло?)

2. Механічний рух

Механічний рух – це зміна з часом положення тіла (або частин тіла) в просторі відносно інших тіл.

Найпростіші види механічного руху

Поступальний Обертальний Коливальний

Проблемні питання

- Відносно яких тіл рухаються зображені на рисунку тіла?
- Відносно яких тіл вони перебувають у стані спокою?
- Чому механічний рух називають відносним?

Тіло відліку – це тіло, відносно якого розглядають рух усіх інших тіл, про які йдеться в певній задачі.

Проблемне питання

- Що ще потрібно знати для визначення положення тіла в просторі в даний момент часу?

Щоб визначити положення тіла в просторі в даний момент часу, з тілом відліку пов'язують *систему координат* (одновимірна, двовимірна або тривимірна) і *прилад для відліку часу* (годинник, секундомір).

Система відліку – це тіло відліку, пов'язані з ним система координат і прилад для відліку часу.

Матеріальна точка – це фізична модель тіла, розмірами якого в умовах задачі можна знехтувати.

Проблемне питання

- У якому випадку тіла, зображені попередніх рисунках, можна вважати матеріальними точками?

Траєкторія руху – це уявна лінія, в кожній точці якої послідовно перебувала матеріальна точка під час руху.

Шлях – це фізична величина, яка дорівнює довжині траєкторії або довжині її певної ділянки (скалярна фізична величина):

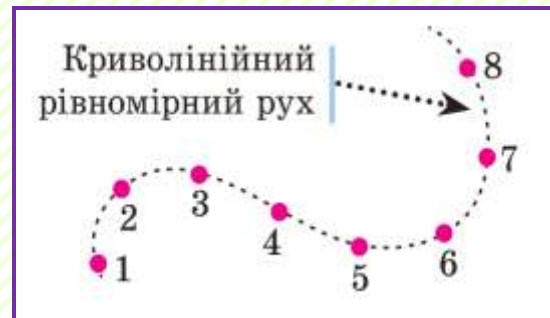
$$[l] = \text{м.}$$

Переміщення \vec{s} – це вектор, що з'єднує початкове та кінцеве положення матеріальної точки.

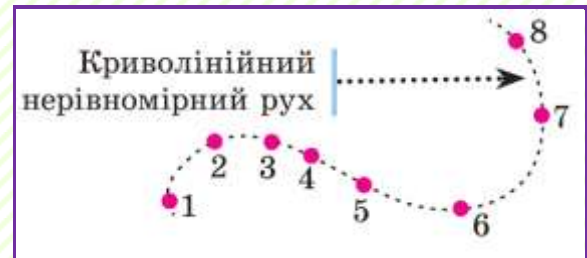
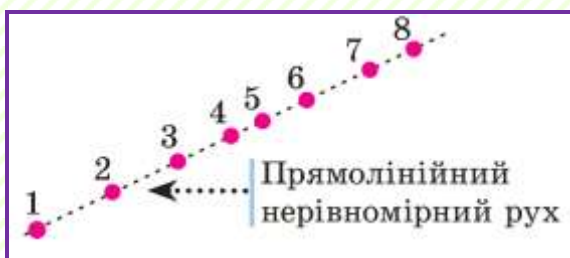
$$[s] = \text{м.}$$

Види механічного руху

Рівномірний рух – рух, під час якого матеріальна точка за будь-які рівні інтервали часу долає однаковий шлях.



Нерівномірний рух – рух, під час якого матеріальна точка за рівні інтервали часу долає різний шлях.



3. Рівномірний прямолінійний рух

Рівномірний прямолінійний рух – це такий механічний рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення.

Висновки (впливає з означення):

- для опису цього руху достатньо скористатись одновимірною системою координат, адже траєкторія руху – пряма;
- відношення переміщення \vec{s} до інтервалу часу t , за який це переміщення відбулося, для такого руху є незмінною величиною, адже за рівні інтервали часу тіло здійснює однакові переміщення.

Швидкість рівномірного прямолінійного руху тіла – це векторна фізична величина, яка дорівнює відношенню переміщення \vec{s} до інтервалу часу t , за який це переміщення відбулося.

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}.$$

Напрямок вектора швидкості руху збігається з напрямком переміщення тіла.

Модуль і проекцію швидкості визначають за формулами:

$$v = \frac{s}{t}; \quad v_x = \frac{s_x}{t}.$$

4. Нерівномірний рух

Напевне, вам доводилося їхати автобусом або потягом із одного міста до іншого. Згадайте: транспортний засіб час від часу гальмує, зупиняється, потім знову набирає швидкість. Стрілка спідометра весь час коливається і тільки іноді завмирає на місці.

Проблемне питання

- Чи можна назвати такий рух рівномірним? (Звичайно, ні)
- А як називають такий рух?
- Як його описати?

Рівномірний прямолінійний рух трапляється досить рідко. У повсякденному житті ми зазвичай маємо справу з нерівномірним рухом.

Нерівномірний рух – це рух, під час якого тіло за рівні проміжки часу проходить різний шлях.

Проблемне питання

- Наведіть свої приклади нерівномірного руху в повсякденному житті.

(Нерівномірним є рух автобуса та інших транспортних засобів, рух тіл, що падають, рух спортсменів на біговій доріжці. А ще згадайте, наприклад, як котиться м'яч, як ви рухаєтесь під час прогулянки, на уроках фізкультури).

- Якщо швидкість автобуса в кожній точці є різною, як же її визначити? Як характеризувати такий рух?

Для характеристики нерівномірного руху використовують фізичні величини: *середня шляхова швидкість, середня векторна швидкість, миттєва швидкість.*

Середня швидкість руху тіла

Середня шляхова швидкість:

- Скалярна фізична величина.
- Дорівнює відношенню всього шляху l до інтервалу часу t , за який цей шлях подолано:

$$v_{\text{сер } l} = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n};$$

Увесь шлях

Увесь час спостереження

де l_1, l_2, \dots, l_n – ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу t_1, t_2, \dots, t_n .

- Не має напрямку.



Середня швидкість переміщення:

- Векторна фізична величина.
- Дорівнює відношенню переміщення \vec{s} до інтервалу часу t , за який це переміщення здійснено:

$$\vec{v}_{\text{сер } s} = \frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \dots + \vec{s}_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}; \quad \frac{\text{Усе переміщення}}{\text{Увесь час спостереження}}$$

де $\vec{s}_1, \vec{s}_2, \dots, \vec{s}_n$ – переміщення тіла за відповідні інтервали часу t_1, t_2, \dots, t_n .

- Напрямок збігається з напрямком переміщення: $\vec{v}_{\text{сер}} \uparrow \vec{s}$.

Миттєва швидкість руху тіла

Проблемне питання

- Яку швидкість показує спідометр автобуса?

Миттєва швидкість:

- Векторна фізична величина.

- Швидкість руху в даний момент часу, в даній точці; середня векторна швидкість, виміряна за нескінченно малий інтервал часу.
- $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$, де $\Delta \vec{s}$ – переміщення за дуже малий інтервал часу Δt ($\Delta t \rightarrow 0$).
- Напрямок збігається з напрямком переміщення в даний момент часу: $\vec{v} \uparrow \Delta \vec{s}$.
- Чим менше інтервал часу, за який вимірюється середня швидкість руху, тим більше її значення наближається до значення миттєвої швидкості

Час між послідовними положеннями тіла – 1 с.

Під час прямолінійного рівномірного руху миттєва швидкість збігається з середньою швидкістю руху тіла та є незмінною.

В усіх інших випадках миттєва швидкість змінюється:

- за напрямком – під час криволінійного рівномірного руху;
- за значенням, інколи за напрямком (напрямок може змінюватися на протилежний) – під час прямолінійного нерівномірного руху;
- за напрямком і значенням водночас – під час криволінійного нерівномірного руху.

5. Рівноприскорений прямолінійний рух. Прискорення

Рівноприскорений прямолінійний рух – це прямолінійний рух, під час якого швидкість руху тіла за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково. (рух із незмінним прискоренням)

$$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \text{const.}$$

Прискорення \vec{a} – це векторна фізична величина, яка характеризує швидкість зміни швидкості руху тіла й дорівнює відношенню зміни швидкості руху тіла до інтервалу часу, за який ця зміна відбулася.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

де: \vec{a} – прискорення руху тіла; \vec{v}_0 – початкова швидкість руху тіла (в момент початку відліку часу); \vec{v} – швидкість руху тіла через інтервал часу t .

Одиниця прискорення в СІ – метр на секунду в квадраті:
 $[a] = \frac{1 \text{ м/с}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Швидкість рівноприскореного прямолінійного руху

Проблемне питання

• Як визначити швидкість в будь-який момент часу при рівноприскореному прямолінійному русі?

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

Переміщення під час рівноприскореного руху

Для будь-якого руху проекція переміщення чисельно дорівнює площі фігури під графіком залежності $v_x(t)$.

В разі рівноприскореного руху проекція переміщення чисельно дорівнює площі трапеції:

Рівняння проекції переміщення:

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2.$$

6. Криволінійний рух. Рух по колу

Криволінійний рух – це такий рух тіла, при якому траєкторія руху тіла являє собою криву лінію.

Лінійна швидкість руху тіла – це скалярна фізична величина, яка характеризує криволінійний рух і дорівнює середній шляховій швидкості, вимірній за нескінченно малий інтервал часу.

Лінійна швидкість:

$$v = \frac{l}{t}, l = 2\pi r, t = T \Rightarrow v = \frac{2\pi r}{T}.$$

Рівномірний рух по колу

Розглянемо найпростіший вид криволінійного руху – рівномірний рух по колу.

Рівномірний рух тіла по колу – це такий криволінійний рух, при якому траєкторією руху тіла є коло, а лінійна швидкість руху не змінюється з часом.

Період обертання T – фізична величина, яка дорівнює інтервалу часу, за який тіло здійснює один оберт.

$$T = \frac{t}{N}, [T] = \text{с},$$

де N – кількість обертів, здійснених тілом за інтервал часу t .

Обертова частота n – фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості обертів за одиницю часу.

$$n = \frac{N}{t}, [n] = \frac{\text{об}}{\text{с}} = \frac{1}{\text{с}}.$$

Період і обертова частота є взаємно оберненими величинами:

$$n = \frac{1}{T}, T = \frac{1}{n}.$$

Кутова швидкість – це фізична величина, яка чисельно дорівнює куту повороту радіуса за одиницю часу:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}, [\omega] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

$$\omega = \frac{\varphi}{t}, \varphi = 2\pi, t = T \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

$$v = \frac{2\pi r}{T}, \omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow v = \omega r.$$

Доцентрове прискорення

- Модуль доцентрового прискорення обчислюють за формулами:

$$a_{\text{дц}} = \frac{v^2}{r}; a_{\text{дц}} = \omega^2 r.$$

ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Диск за 10 с зробив 200 обертів. Визначте період його обертання та обертову частоту.

<p style="text-align: center;"><i>Дано:</i></p> $t = 10 \text{ с}$ $N = 200$ <hr style="border: 0.5px solid black;"/> $T - ?$ $n - ?$	<p style="text-align: center;"><i>Розв'язання</i></p> $T = \frac{t}{N}, \quad [T] = \frac{\text{с}}{1} = \text{с}, \quad T = \frac{10}{200} = 0,05 \text{ (с)}$ $n = \frac{N}{t}, \quad [n] = \frac{1}{\text{с}} = \frac{\text{об}}{\text{с}}, \quad n = \frac{200}{10} = 20 \left(\frac{\text{об}}{\text{с}} \right)$ <p style="text-align: center;"><i>Відповідь:</i> $T = 0,05 \text{ с}; n = 20 \frac{\text{об}}{\text{с}}$.</p>
---	--

2. Визначте кутову швидкість, з якою рухається секундна стрілка механічного годинника.

<p style="text-align: center;"><i>Дано:</i></p> $T = 60 \text{ с}$ <hr style="border: 0.5px solid black;"/> $\omega - ?$	<p style="text-align: center;"><i>Розв'язання</i></p> $\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad [\omega] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad \omega = \frac{2\pi}{60} \approx 0,1 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right)$ <p style="text-align: center;"><i>Відповідь:</i> $\omega \approx 0,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.</p>
--	--

3. Автомобіль рухається по закругленій ділянці шосе радіусом 50 м з постійною за модулем швидкістю 72 км/год. Знайдіть доцентрове прискорення руху автомобіля на цій ділянці.

<p style="text-align: center;"><i>Дано:</i></p> $r = 50 \text{ м}$ $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ <hr style="border: 0.5px solid black;"/> $a_{\text{дц}} - ?$	<p style="text-align: center;"><i>Розв'язання</i></p> $a_{\text{дц}} = \frac{v^2}{r}, \quad [a_{\text{дц}}] = \frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2}{\text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad a_{\text{дц}} = \frac{20^2}{50} = 8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$ <p style="text-align: center;"><i>Відповідь:</i> $a_{\text{дц}} = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.</p>
--	---

4. Кутова швидкість обертання лопатей вентилятора 15π рад/с. Визначте, скільки обертів здійснив вентилятор за 6 с.

<p style="text-align: center;"><i>Дано:</i></p> $\omega = 15\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ $t = 6 \text{ с}$ <hr style="border: 0.5px solid black;"/> $N - ?$	<p style="text-align: center;"><i>Розв'язання</i></p> $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad T = \frac{t}{N}$ $\frac{t}{N} = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow N = \frac{t\omega}{2\pi}, \quad [N] = \frac{\text{с} \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}}{1} = 1$ $N = \frac{6 \cdot 15\pi}{2\pi} = 45$ <p style="text-align: center;"><i>Відповідь:</i> $N = 45$.</p>
---	---

5. Знайдіть максимальну швидкість, з якою може обертатися шліфувальний круг діаметром 30 см, якщо допустима обертова частота для нього становить 1800 об/хв.

Дано:

$$d = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$n = 1800 \frac{\text{об}}{\text{хв}} = 30 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

$v - ?$

Розв'язання

$$v = \frac{2\pi r}{T}, \quad T = \frac{1}{n}, \quad r = \frac{d}{2} \Rightarrow v = \pi d n$$

$$[v] = \text{м} \cdot \frac{\text{об}}{\text{с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad v = 3,14 \cdot 0,3 \cdot 30 \approx 28,3 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

$$\text{Відповідь: } v \approx 28,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

6. Колесо радіусом 80 см котиться по горизонтальній дорозі без ковзування. Який шлях воно пройде, зробивши 20 повних обертів?

Дано:

$$r = 80 \text{ см} = 0,8 \text{ м}$$

$$N = 20$$

$l - ?$

Розв'язання

$$v = \frac{2\pi r}{T}, \quad T = \frac{t}{N} \Rightarrow v = \frac{2\pi r N}{t}, \quad v = \frac{l}{t}$$

$$\frac{2\pi r N}{t} = \frac{l}{t} \Rightarrow l = 2\pi r N [l] = \text{м}$$

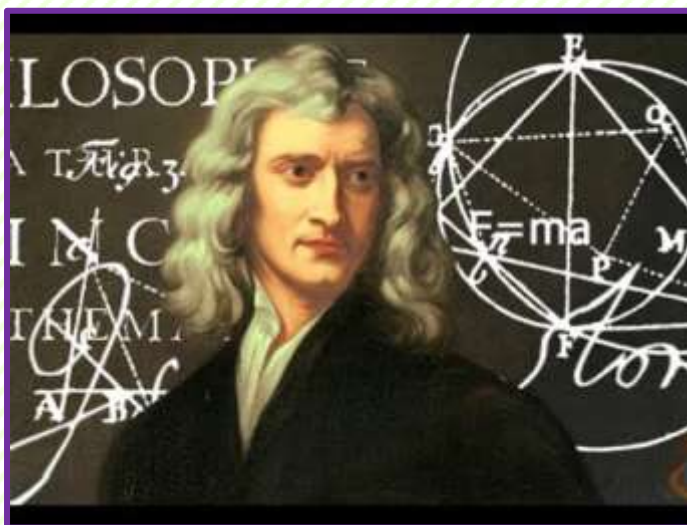
$$l = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,8 \cdot 20 \approx 100,5 \text{ (м)}$$

$$\text{Відповідь: } l \approx 100,5 \text{ м.}$$

ЛЕКЦІЯ 2: ОСНОВИ ДИНАМІКИ

ПЛАН

1. Основні закони динаміки Ньютона.
2. Сила пружності. Вага тіла
3. Механічна робота. Кінетична енергія. Потужність



1. Основні закони динаміки Ньютона

Динаміка (грец. *δύναμις* – сила) – розділ механіки, в якому вивчаються причини виникнення механічного руху. (Чому рухається тіло?)

Основна задача динаміки – вивчити можливі взаємодії тіл, з'ясувати закони, яким підпорядковуються рух і взаємодія тіл, і на основі цих законів уміти визначати положення тіл у будь-який момент часу.

1. За яких умов тіло (м'яч, тягар) перебуває в стані спокою відносно Землі?
2. Тіло перебуває у стані спокою, якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані.
3. За яких умов тіло (горошина, парашутист) рухається рівномірно прямолінійно відносно Землі?
4. Тіло рухається рівномірно прямолінійно, якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані.
5. Як рухатиметься тіло, якщо на нього не діють інші тіла?
6. Тіло рухається рівномірно прямолінійно, якщо на нього не діють інші тіла.

Закон інерції Галілея (наприкінці XVI ст. експериментально встановив італійський учений Галілео Галілей (1564–1642)):

Тіло рухається рівномірно прямолінійно або перебуває в стані спокою, якщо на нього не діють інші тіла або дії інших тіл скомпенсовані.

Тіло, на яке не діють інші тіла та поля, називають **вільним (ізольованим)**, а рух вільного тіла називають **рухом за інерцією**.

Явище інерції – це явище збереження тілом стану спокою або рівномірного прямолінійного руху за умови, що на нього не діють інші тіла та поля або їхні дії скомпенсовані.

Проблемне питання

- Чи в кожній системі відліку (СВ) спостерігається явище інерції?

Інерціальна система відліку – це система відліку, відносно якої спостерігається явище інерції.

Неінерціальна система відліку – це система відліку, відносно якої явище інерції не спостерігається.

➤ **Перший закон Ньютона:**

Існують такі системи відліку, відносно яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на нього не діють жодні сили або якщо ці сили скомпенсовані.

Отже, перший закон Ньютона постулює існування інерціальних систем відліку.

Сила \vec{F} у механіці – це векторна фізична величина, що є мірою взаємодії тіл, у результаті якої тіло набуває прискорення або деформується.

Одиниця сили в СІ – **ньютон**:

$$[F] = 1 \text{ Н.}$$

- Як зміниться швидкість м'яча та слона, якщо до кожного з них прикласти однакову силу?

Швидкість слона зміниться менше (у будь-якому разі для зміни його швидкості потрібно більше часу). Тобто різним тілам властиво по-різному відгукуватися на ту саму дію.

Інертність – властивість тіла, яка полягає в тому, що для зміни швидкості руху тіла під дією сили потрібен деякий час.

Маса m – фізична величина, яка є мірою інертності та мірою гравітації тіла.

Одиниця маси в СІ – **кілограм**: $[m] = 1 \text{ кг.}$

➤ **Другий закон Ньютона:**

Прискорення, якого набуває тіло внаслідок дії сили, прямо пропорційне цій силі та обернено пропорційне масі тіла.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

➤ **Третій закон Ньютона:**

Тіла взаємодіють із силами, що мають одну природу, напрямлені вздовж однієї прямої, рівні за модулем і протилежні за напрямком:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційна стала

Проблемне питання

- Як розрахувати силу гравітаційного притягання?

До XVII ст. вчені вважали, що тільки Земля має особливу властивість притягувати до себе всі тіла, що перебувають поблизу її поверхні. У 1667 р. Ньютон висловив дивне для тих часів твердження, що між усіма тілами діють сили взаємного притягання та сформулював закон всесвітнього тяжіння.

Гравітаційна взаємодія – взаємодія, яка є властивою всім тілам у Всесвіті й виявляється в їхньому взаємному притяганні одне до одного.

Закон всесвітнього тяжіння:

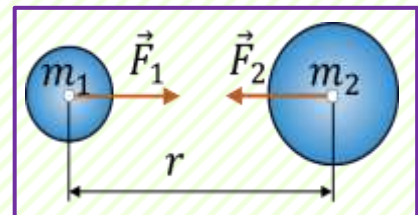
Між будь-якими двома тілами діють сили гравітаційного притягання, які прямо пропорційні добутку мас цих тіл і обернено пропорційні квадрату відстані між ними.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

де G – гравітаційна стала.

Гравітаційну сталу вперше виміряв англійський учений Генрі Кавендіш у 1798 р. за допомогою крутильних терезів:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$



Гравітаційна стала чисельно дорівнює силі, з якою дві матеріальні точки масою 1 кг кожна взаємодіють на відстані 1 м одна від одної (якщо $m_1 = m_2 = 1$ кг, а $r = 1$ м, то $F = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н).

2. Сила пружності. Вага тіла

Деформація – це зміна форми та (або) розмірів тіла.

За характером зміщення частин тіла одна відносно одної розрізняють деформації *стиснення, розтягнення, зсуву, вигину, кручення*.

Пружні деформації – це деформації, які повністю зникають після припинення дії на тіло зовнішніх сил.

Пластичні деформації – це деформації, які зберігаються після припинення дії на тіло зовнішніх сил.

Сила пружності $\vec{F}_{\text{пруж}}$ – це сила, яка виникає під час деформації тіла і намагається повернути тіло в недеформований стан.

Закон Гука:

У разі малих пружних деформацій розтягнення або стиснення сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла:

$$\vec{F}_{\text{пруж}} = -k\Delta\vec{x},$$

де k – жорсткість тіла (пружини).

Знак «-» показує, що сила пружності завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку зміщення ($\vec{F}_{\text{пруж}} \updownarrow \Delta\vec{x}$).

Одиниця жорсткості в СІ – **ньютон на метр** $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.

Вага тіла \vec{P} – це сила пружності, з якою внаслідок притягання до Землі тіло діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс.

Вага прикладена до опори або підвісу.

У СІ одиниця ваги – **ньютон** (Н).

Якщо тіло перебуває у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху, то його вага за значенням дорівнює силі тяжіння й збігається з нею за напрямком.

$$\vec{P} = m\vec{g}.$$

Вага тіла, що рухається з прискоренням:

1) Прискорення направлене вертикально вгору.

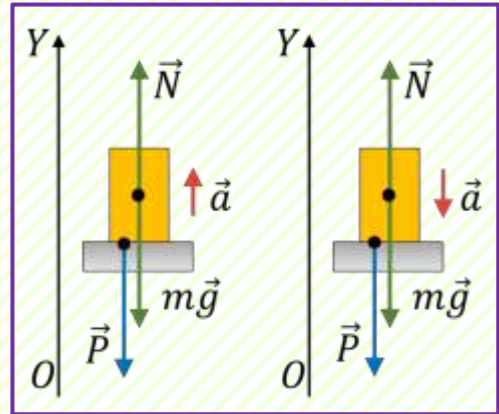
$$m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a},$$

$$OY: -mg + N = ma,$$

$$N = m(g + a),$$

Відповідно до III закону Ньютона:

$$P = N, \quad P = m(g + a) > mg.$$



2) Прискорення направлене вертикально вниз.

$$P = m(g - a) < mg.$$

Задача 1. Визначте вагу кулі масою 12 кг, коли вона вертикально падає з прискоренням 4 м/с².

Дано:

$$m = 12 \text{ кг}$$

$$a = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$P = ?$

Розв'язання

Прискорення направлене вертикально вниз.

$$P = m(g - a), \quad [P] = \text{кг} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) = \text{Н}.$$

$$P = 12 \cdot (10 - 4) = 72 \text{ (Н)}.$$

Відповідь: $P = 72 \text{ Н}.$

Задача 2. Якою буде вага льотчика масою 75 кг, який виводить літак із піке на швидкості 540 км/год, якщо радіус кривизни траєкторії становить 500 м?

Дано:

$$m = 75 \text{ кг}$$

$$v = 540 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$= 150 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$r = 500 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$P = ?$

Розв'язання

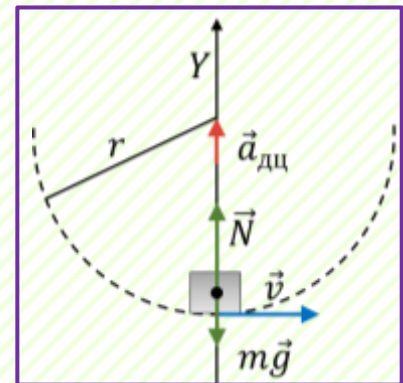
За II законом Ньютона:

$$m\vec{a}_{\text{дц}} = \vec{N} + m\vec{g},$$

$$OY: ma_{\text{дц}} = N - mg,$$

$$N = m(g + a_{\text{дц}}) =$$

$$= m \left(g + \frac{v^2}{r} \right)$$



За III законом Ньютона:

$$P = N = m \left(g + \frac{v^2}{r} \right),$$

$$[P] = \text{кг} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\text{м}} \right) = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н},$$

$$P = 75 \cdot \left(10 + \frac{150^2}{500} \right) = 4125 \text{ (Н)}.$$

Відповідь: $P = 4125 \text{ Н}$.

3. Механічна робота. Кінетична енергія. Потужність

Механічна робота (робота сили) A – це фізична величина, яка характеризує зміну механічного стану тіла й дорівнює добутку модуля сили F , модуля переміщення s і косинуса кута α між вектором сили та вектором переміщення:

$$A = Fs \cos \alpha.$$

Одиниця роботи в СІ – **джоуль**:

$$[A] = 1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

1 Дж дорівнює механічній роботі, яку виконує сила 1 Н, переміщуючи тіло на 1 м у напрямку дії цієї сили.

Кінетична енергія – це фізична величина, яка характеризує механічний стан рухомого тіла і дорівнює половині добутку маси m тіла на квадрат швидкості v його руху:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Проблемне питання

- Як охарактеризувати швидкість виконання роботи?

Потужність P (або N) – це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи й дорівнює відношенню роботи A до інтервалу часу t , за який цю роботу виконано:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Одиниця потужності в СІ – **ват**:

$$[P] = 1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Проблемне питання

- Як визначити потужність транспортного засобу?

Потужність транспортного засобу, наприклад, автомобіля, зручно виражати не через роботу й час, а через силу й швидкість.

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = F \cdot \frac{s}{t} = Fv.$$

Задача. Хлопчик тягне санчата, прикладаючи силу 50 Н, напрямлену під кутом 60° до горизонту. Яку потужність розвиває хлопчик, якщо санчата рухаються рівномірно прямолінійно і за хвилину перемістилися на 30 м?

Дано:

$$F = 50 \text{ Н}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$t = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$$

$$s = 30 \text{ м}$$

$$P = ?$$

Розв'язання

$$P = \frac{A}{t} \quad A = Fs \cos \alpha,$$

$$P = \frac{Fs \cos \alpha}{t}, \quad [P] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт},$$

$$P = \frac{50 \cdot 30 \cdot \cos 60^\circ}{60} = 12,5 \text{ (Вт)}.$$

Відповідь: $P = 12,5 \text{ Вт}$.

Потенціальна енергія E_p – це енергія, яку має тіло внаслідок взаємодії з іншими тілами або внаслідок взаємодії частин тіла між собою.

Потенціальна енергія піднятого тіла:

$$E_p = mgh.$$

Потенціальна енергія пружно деформованого тіла:

$$E_p = \frac{k\Delta x^2}{2}.$$

Закон збереження повної механічної енергії

Повна механічна енергія системи тіл – це сума кінетичної і потенціальної енергій системи: $E = E_k + E_p$

Закон збереження повної механічної енергії:

У замкненій системі тіл, які взаємодіють тільки консервативними силами, повна механічна енергія залишається незмінною (зберігається):

$$E_{p0} + E_{k0} = E_p + E_k.$$

Енергія нікуди не зникає й нізвідки не з'являється: вона лише перетворюється з одного виду на інший, передається від одного тіла до іншого.

Задача. При підготовці іграшкового пістолета до пострілу пружину жорсткістю 800 Н/м стиснули на 5 см. Яку швидкість набуває куля масою 20 г при пострілі в горизонтальному напрямку?

Дано:

$$k = 8 \cdot 10^2 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\Delta x_0 = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$m = 20 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$v - ?$

Розв'язання

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p.$$

$$E_{k0} = 0 \text{ (оскільки } v_0 = 0).$$

$$E_{p0} = \frac{k\Delta x_0^2}{2}, \quad E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

$$E_p = 0 \text{ (оскільки } x = 0).$$

$$\frac{k\Delta x_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2}, \quad v = \Delta x_0 \sqrt{\frac{k}{m}},$$

$$v = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{Н}}{\frac{\text{М}}{\text{кг}}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}^2}}{\text{кг} \cdot \text{М}}} = \frac{\text{М}}{\text{с}},$$

$$v = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^{-2}}} = 10 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}} \right).$$

$$\text{Відповідь: } v = 10 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

ЛЕКЦІЯ 3: ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

ПЛАН

1. Внутрішня енергія. Закон рівномірного розподілу енергії за ступенями свободи.
2. Перший закон термодинаміки.
3. Робота газу при зміні його об'єму.
4. Теплоємність.



1. Внутрішня енергія. Закон рівномірного розподілу енергії за ступенями свободи

Важливою характеристикою термодинамічної системи є її внутрішня енергія U – енергія хаотичного (теплого) руху мікрочастинок системи (молекул, атомів, електронів, ядер і т.д.) і енергія взаємодії цих частинок. З цього визначення випливає, що до внутрішньої енергії не відносяться кінетична енергія руху системи як цілого і потенційна енергія системи в зовнішніх полях. Внутрішня енергія – однозначна функція термодинамічного стану, тобто у кожному стані система має цілком певну внутрішню енергію (вона не залежить від того, як система прийшла в даний стан). Це означає, що при переході системи з одного стану в інший зміна внутрішньої енергії визначається тільки різницею значень внутрішньої енергії цих станів і не залежить від шляху переходу. Число ступенів свободи i – це число незалежних змінних (координат), які повністю визначають положення системи в просторі. У ряді задач молекулу одноатомного газу розглядають як матеріальну точку, якій приписують три ступені свободи поступального руху – $i = 3$. В класичній механіці молекула двохатомного газу розглядається як сукупність двох матеріальних точок жорстко зв'язаних між собою зв'язком який не деформується. Ця система окрім трьох ступенів свободи поступального руху має ще дві ступені обертального руху. Таким чином, двохатомна молекула газу має п'ять ступенів свободи – $i = 5$.

Трехатомна і багатоатомна нелінійні молекули мають шість ступенів свободи ($i = 6$): три поступальних і три обертальних. Природно, що жо-

рсткого зв'язку між атомами не існує. Тому для реальних молекул необхідно враховувати також ступені свободи коливального руху. У класичній статистичній фізиці розглядається закон Больцмана про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи молекул: для статистичної системи, що перебуває в стані термодинамічної рівноваги, на кожну поступальну і обертальну ступені свободи припадає в середньому кінетична енергія, яка дорівнює $\frac{1}{2} kT$, а на кожну з коливальних ступенів свободи – в середньому енергія, яка дорівнює kT .

2. Перший закон термодинаміки

Розглянемо термодинамічну систему, для якої механічна енергія не змінюється, а змінюється лише її внутрішня енергія. Внутрішня енергія системи може змінюватися в результаті різних процесів, наприклад, здійснення над системою роботи або надання їй теплоти. Так, якщо опускати поршень у циліндр, в якому знаходиться газ, то ми стискаємо цей газ, в результаті чого його температура підвищується, тобто тим самим змінюється (збільшується) внутрішня енергія газу. З іншого боку, температуру газу і його внутрішню енергію можна збільшити за рахунок надання йому деякої кількості теплоти – енергії, переданої системі зовнішніми тілами шляхом теплообміну (процес обміну внутрішніми енергіями при контакті тіл з різними температурами). Таким чином, можна говорити о двох формах передачі енергії від одних тіл до інших: о роботі і теплоті. Енергія механічного руху може перетворюватися в енергію теплового руху, і навпаки. У цих перетвореннях виконується закон збереження і перетворення енергії; стосовно до термодинамічних процесів цим законом і є перший початок термодинаміки, встановлений в результаті узагальнення багатомісячних дослідних даних. Припустимо, що деяка система (газ, розташований у циліндрі під поршнем), володіючи внутрішньої енергією U_1 , отримала деяку кількість теплоти Q і, перейшовши у новий стан, що характеризується внутрішньої енергією U_2 , здійснила роботу A над зовнішнім середовищем, тобто проти зовнішніх сил. Кількість теплоти вважається позитивною, коли вона підводиться до системи, а робота – позитивною, коли система робить її проти зовнішніх сил. Дослід показує, що відповідно до закону збереження енергії при будь-якому способі переходу системи з першого стану в другий зміна внутрішньої енергії $\Delta U = U_2 - U_1$ буде однаковою і дорівнювати різниці

між кількістю теплоти Q яка отримана системою, і роботою A яка виконується системою проти зовнішніх сил:

$$Q = \Delta U + A.$$

Дане рівняння виражає **перший закон термодинаміки**: *теплота, що надається системі, витрачається на зміну її внутрішньої енергії і на здійснення нею роботи проти зовнішніх сил.*

3. Робота газу при зміні його об'єму

Для розгляду конкретних процесів знайдемо в загальному вигляді зовнішню роботу, що здійснюються газом при зміні його об'єму.

Розглянемо газ, що знаходиться під поршнем в циліндричній посудині. Якщо газ, розширюючись, пересуває поршень на нескінченно малу відстань dl , то виконує над ним роботу

$$\delta A = Fdl = pSdl = pdV,$$

де S – площа поршня, Sdl dV – зміна об'єму системи. Таким чином,

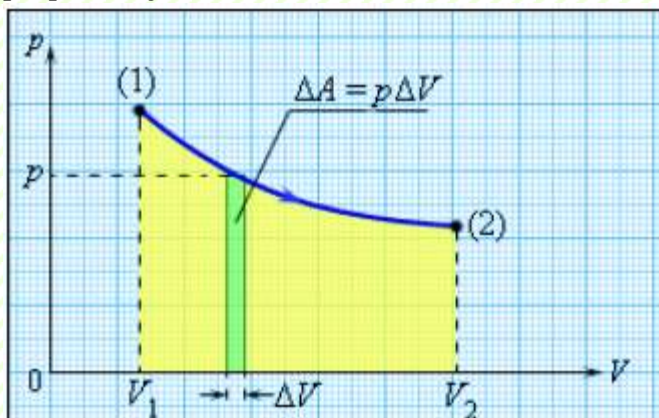
$$\delta A = pdV.$$

Повну роботу A , вчинену газом при зміні його об'єму від V_1 до V_2 знаходимо інтегруванням формули:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} pdV.$$

Результат інтегрування визначається характером залежності між тиском і об'ємом газу. Знайдене для роботи вираз справедливо при будь-яких змінах об'єму твердих, рідких і газоподібних тіл. Оскільки геометричний зміст визначеного інтегралу – це площа. То вироблену при тому чи іншому процесі роботу можна зобразити графічно у вигляді площі за допомогою кривої в координатах p, V .

Нехай зміна тиску газу при його розширенні зображується кривої на *рис.* При збільшенні об'єму на dV вчинена газом робота дорівнює pdV і визначається площею смужки з основою заштрихованої на малюнку dV .



Тому повна робота, що здійснюються газом при розширенні від об'єму V_1 до об'єму V_2 визначається площею, обмеженою віссю абсцис, кривою $p = f(V)$ і прямими V_1 і V_2 .

Графічно можна зображати тільки рівноважні процеси – процеси, які складаються з послідовності рівноважних станів. Усі реальні процеси – нерівноважні (вони протікають з кінцевою швидкістю), але в ряді випадків неравновісність реальних процесів можна нехтувати (чим повільніше протікає процес, тим він ближче до рівноважного). Всі розглянуті в подальшому процеси будуть рівноважними.

4. Теплоємність

Теплоємність – фізична величина, чисельно рівна відношенню кількості теплоти ΔQ , наданої тілу, до зміни температури ΔT тіла в термодинамічному процесі: .

$$C = \Delta Q / \Delta T.$$

Одиниця теплоємності: джоуль на кельвін (Дж/К).

Питома теплоємність речовини – величина, яка дорівнює кількості теплоти, необхідної для нагрівання 1 кг речовини на 1 К

$$c = \delta Q / m dT.$$

Одиниця питомої теплоємності – джоуль на кілограм – кельвін (Дж/(кг·К)).

Молярна теплоємність – величина, рівна кількості теплоти, необхідної для нагрівання 1 молю речовини на 1 К

$$C_m = \delta Q / \nu \cdot dT,$$

де $\nu = m/M$ – кількість речовини.

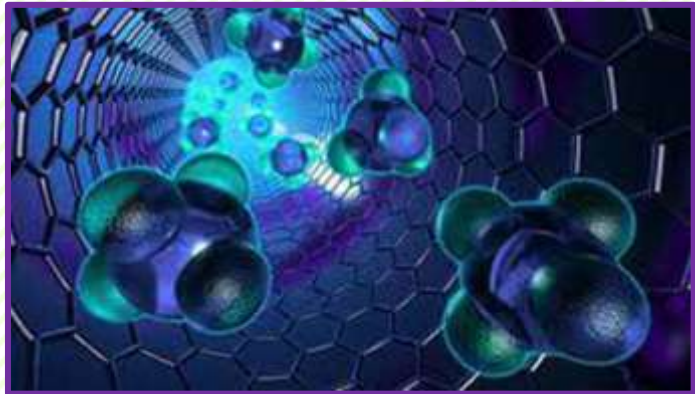
Одиниця молярної теплоємності – джоуль на моль – кельвін (Дж/(моль К)).

Розрізняють теплоємності при постійному об'ємі і постійному тиску, якщо в процесі нагрівання речовини його об'єм або тиск підтримується постійним.

ЛЕКЦІЯ 4: ІЗОПРОЦЕСИ В ГАЗАХ

ПЛАН

1. Ізохорний процес.
2. Ізобарний процес.
3. Ізотермічний процес.
4. Адіабатичний і політропний процеси.



Вивчення даної теми є дуже важливим в наш час. Без знань про газові закони багато підприємств не зможе виробляти свою продукцію. Під час проведення парового опалення потрібно враховувати температуру, об'єм та тиск, який допустимий для котла. При виготовлення насосів також потрібні знання про тиск та об'єм. При виготовлення колес до авто використовують знання про температуру та тиск. Газові закони активно працюють не лише в техніці, але й в живій природі, широко застосовуються в медицині. Можна навести багато прикладів де саме використовуються знання про газові закони. Отож, ця тема є досить актуальною в наш час.

Ні один термодинамічний параметр неможна змінити, не змінюючи один, а то і два других параметри. Буває так, що газ даної маси переходить з одного стану в інший, змінюючи лише два параметри, залишаючи третій незмінним. Такий перехід називається ізопроцесом, а рівняння його закономірності – газовим законом.

Ізопроцеси – процеси, які відбуваються при незмінному значенні одного із параметрів.

Газовий закон – кількісна залежність між двома термодинамічними параметрами газу при фіксованому значенні третього.

Газових законів, як і ізопроцесів – три. Використовуючи рівняння стану ідеального газу, можна вивести всі три закони за 10 хвилин. Але в історії фізики ці відкриття були зроблені в зворотному порядку: спочатку експериментально було отримано газові закони, і лише потім вони були узагальнені в рівняння стану. Цей шлях зайняв майже 200 років: перший газовий закон було отримано у 1662 році фізиками Бойлем та Маріоттом, рівняння стану – в 1834 році Клапейроном, а більш загальна форма рівняння – в 1874 році Д.І. Менделєєвим.

Ізотермічний процес – процес зміни стану термодинамічної системи при сталій температурі.

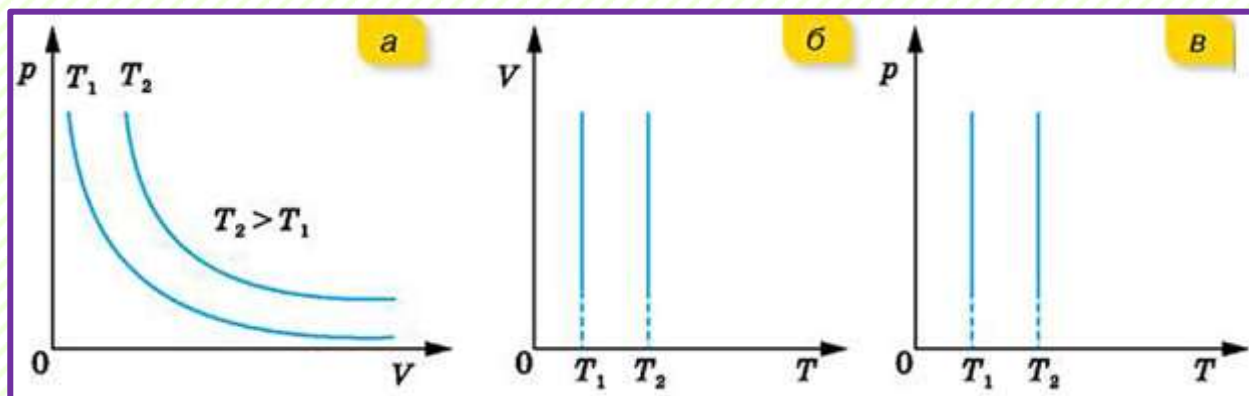
Для ідеального газу ізотермічний процес описується законом Бойля-Маріотта.

Закон встановлено експериментально до створення молекулярно-кінетичної теорії газів англійським фізиком Робертом Бойлем в 1662 році та французьким абатом Едмоном Маріоттом, який описав незалежно від Бойля аналогічні досліди 1676 році.

Закон Бойля-Маріотта (ізотермічний процес, $T = \text{const}$)

$$m = \text{const}, \quad T = \text{const}, \quad pV = \text{const}.$$

Для газу даної маси при сталій температурі добуток тиску на об'єм сталий.



Ізотерми

Закон Бойля-Маріотта справедливий для всіх газів, а також і для їх сумішей, наприклад, для повітря. Лише при тисках, в кілька сотень раз більших атмосферного, відхилення від цього закону стають суттєвими.

Ізотермічним можна приблизно вважати процес повільного стиску повітря або розширення газу під поршнем насосу **при відкачуванні його з посудини**. Правда температура газу при цьому змінюється, але в першому наближенні цими змінами можна знехтувати. Використовують закон Бойля-Маріотта у повітряних двигунах.

Ізобарний процес – процес зміни стану термодинамічної системи, що протікає при сталому тиску.

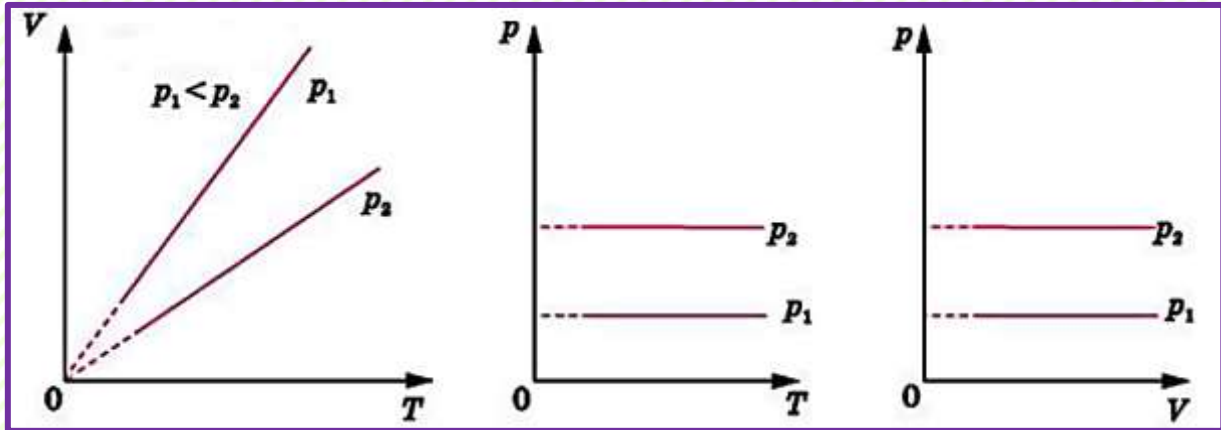
Для ідеального газу ізобарний процес описується законом Гей-Люссака. Закон встановлений в 1802 році французьким фізиком Гей-Люссаком, який визначав об'єм газу при різних значеннях температур в

межах від точки кипіння води. Газ тримали в балончику, а в трубці знаходилась крапля ртуті, що закривала газ, який розміщувався горизонтально.

Закон Гей-Люссака (ізобарний процес $p = \text{const}$)

$$m = \text{const}, \quad p = \text{const}, \quad \frac{V}{T} = \text{const}.$$

Для газу даної маси при сталому тиску відношення об'єму до температури є сталою величиною.



Ізобари

Ізобарним можна вважати розширення газу при нагріванні його в циліндрі з рухомим поршнем. Сталість тиску в циліндрі забезпечується атмосферним тиском на зовнішню поверхню поршня.

Експериментально перевірити цей закон можна за допомогою пристрою, що є в багатьох кабінетах фізики – скляної колби із зігнутою трубкою.

У горизонтальній частині трубки є крапля рідини, яка відокремлює газ у колбі від атмосферного повітря. Якщо підігріти колбу (можна й руками), то крапля рідини зміститься вправо, тобто об'єм газу, який знаходиться в колбі, збільшиться, а тиск залишиться рівним атмосферному.

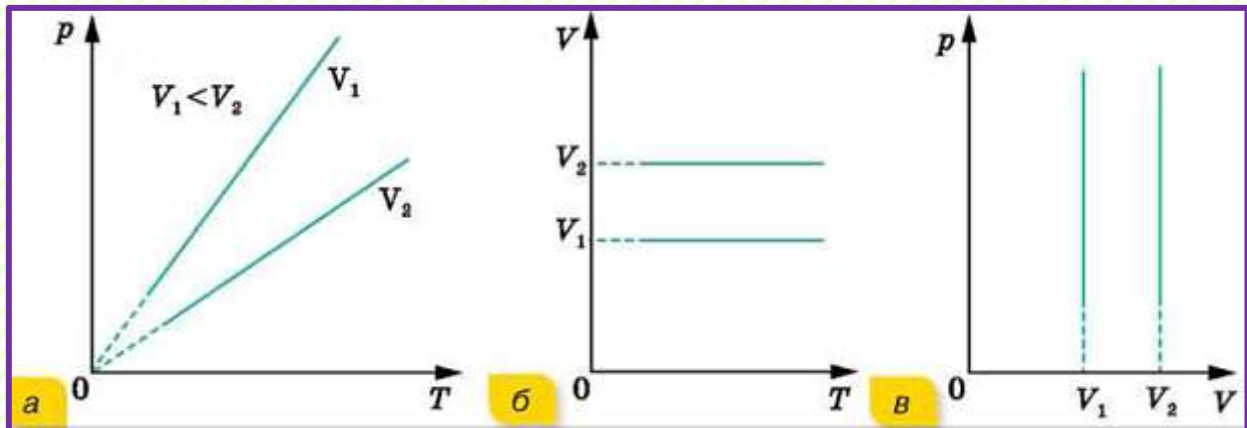
Ізохорний процес – процес зміни стану термодинамічної системи, що протікає при сталому об'ємі.

Для ідеального газу ізохорний процес описується законом Шарля. В 1787 році французький вчений Жак Шарль виміряв тиск різних газів при нагріванні при сталому об'ємі і встановив лінійну залежність тиску від температури, але не публікував дослідження. Через 15 років до таких же результатів прийшов і Гей-Люссак і, будучи на рідкість благородним, настояв, щоб закон називався на честь Шарля.

Закон Шарля (ізохорний процес, $V = \text{const}$)

$$m = \text{const}, \quad V = \text{const}, \quad \frac{p}{T} = \text{const}.$$

Для газу даної маси при сталому об'ємі відношення тиску до температури є величиною сталою.

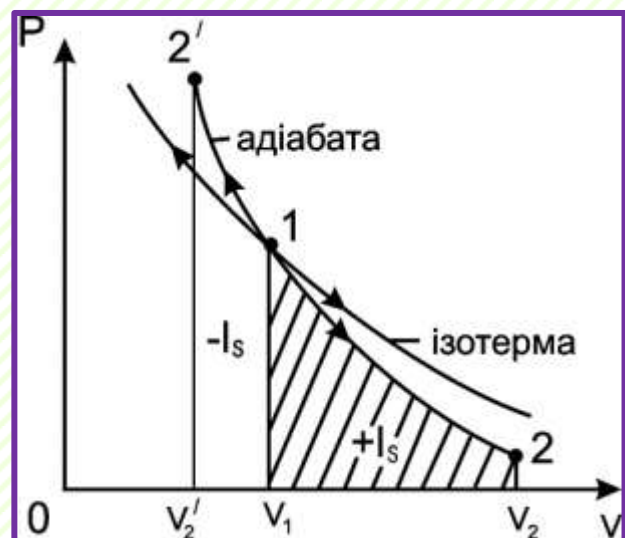


Ізохори

Ізохорним можна вважати збільшення тиску газу в довільній ємності або в електричній лампочці при нагріванні.

Адіабатний і політропний процеси. Адіабатним називається процес, при якому відсутній теплообмін $dQ = 0$ між системою і навколишнім середовищем. До адіабатних процесів можна віднести всі швидкоплинні процеси. Наприклад, процес поширення звуку в середовищі, так як швидкість поширення звукової хвилі настільки велика, що обмін енергією між хвилею і середовищем відбутися не встигає. Адіабатні процеси застосовуються в ДВС (розширення і стиснення горючої суміші в циліндрах), в холодильних приладах і т.д.

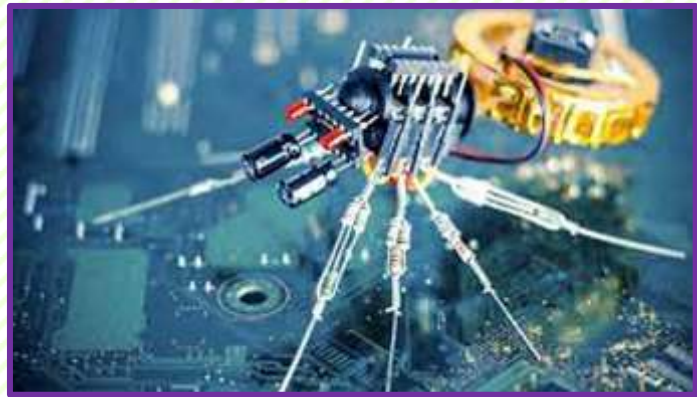
Діаграма адіабатного процесу (адіабата) в координатах p, V зображується гіперболою. На рисунку видно, що адіабата $pV^\gamma = \text{const}$ більш крута ніж, ізотерма $T = \text{const}$.



ЛЕКЦІЯ 5: ОСНОВИ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ (ЕЛЕКТРОСТАТИКА)

ПЛАН

1. Предмет вивчення електродинаміки, електростатики.
2. Електричний заряд. Типи зарядів.
- 3 Закон збереження електричного заряду.
4. Закон взаємодії зарядів (закон Кулона).



1. Електродинаміка – це розділ фізики, в якому вивчаються закони руху і взаємодії електричних зарядів. **Електростатика** – це розділ електродинаміки, в якому вивчаються закони взаємодії нерухомих електричних зарядів. Взаємодія нерухомих зарядів передається через електричне поле, яке в електростатиці називають **електростатичним**. Матерія, яка є філософським поняттям об'єктивної реальності, існує у вигляді речовини і поля. **Електричний заряд** – це така частинка речовини, яка крім маси, розмірів та інших властивостей має ще додаткову властивість створювати навколо себе електричне поле й взаємодіяти через це поле з іншими електричними зарядами. Кількісною мірою такої властивості частинки речовини є фізична величина, яка також називається зарядом. Одиницею вимірювання заряду є **кулон (Кл)**.

Електричні заряди умовно поділяють на два типи – позитивні та негативні. За **позитивні** приймають такі заряди, які збираються на скляному стержні під час натирання його шовком. За **негативні** приймають такі заряди, які збираються на бурштиновому стержні під час натирання його хутром.

Розрізняють мікроскопічні та макроскопічні носії електричного заряду. **Мікроскопічними** носіями заряду є елементарні частинки та йони. Елементарними частинками називають найпростіші елементи матерії, внутрішня будова яких невідома. Тепер налічується близько двохсот елементарних частинок й багато різних йонів. Лише частина елементарних частинок є носіями електричного заряду. Більшість відомих на сьогоднішній день заряджених елементарних частинок мають дуже малий час

життя, інколи частку секунди. Стабільними зарядженими елементарними частинками, що мають нескінчений час життя, є лише електрон, протон та їх античастинки – позитрон і антипротон.

Електрон є носієм найменшого електричного заряду в природі, який умовилися вважати негативним. Заряд електрона позначається літерою e . Він дорівнює $e = -1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл (кулонів).

Носієм позитивного заряду є **протон**. За сучасними експериментальними даними заряд протона за абсолютним значенням дорівнює заряду електрона з відносною похибкою $\sim 10^{-21}$, тобто, вважається, що заряд протона $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл (кулонів). Протон є більш важкою частинкою ніж електрон

Накопичення мікроскопічних зарядів на тілах веде до утворення макроскопічних зарядів. Отже, **макроскопічними** носіями зарядів є тіла з величезною кількістю мікроскопічних носіїв заряду.

Розглянемо властивості електричних зарядів:

- 1) електричні заряди *взаємодіють* між собою. Різнойменні заряди притягуються, однойменні заряди відштовхуються;
- 2) макроскопічні заряди *дискретні*. Це означає, що існує елементарний заряд, якому кратні всі макроскопічні заряди. За елементарний заряд приймають додатне значення заряду електрона, тому що він є найменшим за абсолютним значенням з усіх можливих позитивних і негативних електричних зарядів:

$$|e| = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Тоді математичний запис дискретності макроскопічного заряду має вигляд:

$$q = N |e|,$$

де $N = 1, 2, 3, \dots$ – кількість елементарних зарядів. Наприклад, макроскопічний заряд $1 \text{ Кл} = 6,25 \cdot 10^{18} |e|$, тобто він створюється $N = 6,25 \cdot 10^{18}$ елементарними зарядами.

- 3) електричні заряди *інваріантні*. Це означає, що значення електричного заряду не залежить від того, чи рухається цей заряд, чи він знаходиться в стані спокою, тобто його значення не залежить від вибору системи відліку.

Електризація являє собою процес перерозподілу електричних зарядів між різнорідними тілами, що торкаються одне одного (електризація

через дотик), або процес перерозподілу електричних зарядів вздовж поверхні тіла під впливом зовнішнього електричного поля (електризація через вплив).

Електризація через дотик відбувається тому, що під час контакту двох різнорідних тіл електрони, які входять до складу атомів одного тіла, можуть переходити до атомів іншого тіла. Це пояснюється неоднаковою енергією зв'язку валентних електронів з ядром в атомах різних хімічних елементів. У результаті одне тіло втрачає певну кількість електронів і набуває позитивного заряду, а друге тіло приєднує ці електрони і набуває негативного заряду.

Електризація через вплив відбувається тому, що зовнішнє електричне поле переміщує електрони вздовж поверхні тіла. При цьому з одного боку тіла виникає надлишок електронів, який створює негативний заряд, а на протилежному боці тіла електронів не вистачає і він набуває позитивного заряду.

Для електрично ізольованих тіл процес електризації відбувається згідно **закону збереження електричного заряду**, який має таке формулювання: електричні заряди не виникають і не зникають; вони можуть лише передаватися від одного тіла до іншого або перерозподілятися вздовж поверхні одного тіла так, що їх алгебраїчна сума дорівнюватиме нулю.

Закон взаємодії електричних зарядів був відкритий французьким фізиком Кулоном у 1785 році. Згідно цього закону сила взаємодії двох електричних зарядів прямо пропорційна добутку цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані між ними і напрямлена вздовж прямої, що з'єднує ці заряди.

Діелектрична проникність середовища – це число, що показує в скільки разів послаблюється сила взаємодії між зарядами у даному середовищі в порівнянні з вакуумом або повітрям. Для вакууму та повітря $\epsilon = 1$.

ЛЕКЦІЯ 6: ПОСТІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

ПЛАН

1. Електричний струм. Основні характеристики електричного струму: сила струму, густина струму.
2. Закон Ома для ділянки кола в інтегральній формі.
3. Електричний опір провідника. Закон Ома в диференціальній формі.
4. Робота та потужність електричного струму.



1. Електричний струм – це упорядкований рух електричних зарядів. Заряди, які створюють електричний струм, називаються *носіями струму*. Упорядкований рух носіїв струму відносно нерухомого провідного середовища називається *струмом провідності*. У металах електричний струм провідності створюється рухом вільних електронів, в електролітах – рухом позитивних та негативних йонів у протилежних напрямках, в газах – рухом електронів та йонів протилежного знаку (рис. 1).



Рис. 1. Блискавка як приклад електричного струму провідності в повітрі

Якщо рух носіїв струму відбувається разом з провідним середовищем, то такий струм називається *конвекційним*. Прикладами конвекційних струмів є рухзаряджених крапель води в атмосфері під дією сили тяжіння; рух заряджених частинок пилу або диму в електричному полі тощо.

Історично склалось так, що за напрям електричного струму умовно прийняли напрям руху позитивно заряджених частинок. Тому в металевому провіднику напрям електричного струму і напрям руху електронів є протилежним.

Для виникнення електричного струму необхідні дві умови:

- 1) наявність в даному середовищі носіїв струму;
- 2) наявність в провідному середовищі потенціального електричного поля.

Це означає, що між будь-якими точками провідного середовища повинна існувати різниця потенціалів, яку створює спеціальний пристрій – джерело електричного струму або джерело живлення.

Кількісними характеристиками електричного струму є сила струму і густина струму. **Силою струму** називається скалярна фізична величина, яка чисельно дорівнює заряду, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу. Якщо за нескінченно малий проміжок часу dt через поперечний переріз провідника проходить нескінченно малий заряд dq , то сила струму дорівнює:

$$I = \frac{dq}{dt},$$

де I – миттєве значення сили струму. Якщо сила струму та його напрям не змінюються з часом, то такий струм називається *постійним*. Сила постійного струму визначається за формулою:

$$I = \frac{q}{t},$$

де q – електричний заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за час t . Сила струму вимірюється в *амперах* (А) приладами, які називаються амперметрами (рис. 2).



Рис. 2. Амперметр

Густиною струму називається векторна фізична величина, яка збігається за напрямом з напрямом струму і чисельно дорівнює заряду, який проходить за одиницю часу через одиничну площу перерізу провідника.

Постійний електричний струм провідності в металевому провіднику створюється напрямленим рухом вільних електронів під дією сили

$$\vec{F} = e\vec{E}.$$

Це означає, що всередині провідника, по якому проходить струм, існує стаціонарне (незмінне в часі) електричне поле з певною напруженістю \vec{E} . Таке поле називається *електричним полем постійного струму*. Воно за своїми фізичними властивостями подібне до електростатичного поля нерухомих зарядів.

Якщо струм є постійним, то густина електричних зарядів у будь-якій точці провідника не змінюється з часом, хоч має місце потік зарядів. Тут на місце тих зарядів, що переходять в інше місце, надходять наступні заряди. Отже, в будь-який момент часу в даній точці провідника завжди знаходиться електричний заряд. Такі заряди створюють в провіднику таке ж електричне поле, як створювали б нерухомі заряди тієї ж густини. З цього випливає, що електричне поле постійного струму також є потенціальним. Оскільки поле постійного струму має потенціальний характер, то існує потенціал окремих точок поля постійного струму, а також різниця потенціалів між ними.

Але між електричним полем постійного струму та електростатичним полем є істотні відмінності. Електричне поле постійного струму існує всередині провідника. Електростатичне поле існує тільки поза провідником,

а всередині провідника воно відсутнє. Якщо лінії напруженості електростатичного поля завжди перпендикулярні дотичній до поверхні провідника, то при наявності постійного струму в провіднику його поверхня вже не є екіпотенціальною і лінії напруженості напрямлені під гострим кутом до поверхні провідника в напрямку струму.

Німецький фізик Георг Ом у 1827 р. експериментально довів, що сила струму в провіднику прямо пропорційна різниці потенціалів:

$$I \sim \varphi_1 - \varphi_2, \quad I \sim U, \quad I = G U,$$

де $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$ – електрична напруга, G – коефіцієнт пропорційності, який залежить від розмірів провідника, матеріалу, з якого він виготовлений, та його фізичного стану. Цей коефіцієнт пропорційності називається *електричною провідністю* провідника.

2. Закон Ома для ділянки кола в інтегральній формі. Величина, яка обернена до електричної провідності, називається **електричним опором** провідника:

$$R = 1/G .$$

Одиницею вимірювання електричної провідності є *сіменс (См)*, одиницею вимірювання електричного опору є *ом (Ом)*.

Залежність між струмом і напругою у вигляді

$$I = \frac{U}{R}$$

називається **законом Ома** для однорідної ділянки кола в **інтегральній формі**. Ділянка кола називається *однорідною*, якщо вона не включає джерела живлення. *Електричним колом* називається сукупність джерела живлення, споживачів електричної енергії, вимірювальних приладів і регулювальних пристроїв та інших елементів, з'єднаних між собою провідниками.

Електричний опір металів пояснюється розсіюванням вільних електронів коливаннями вузлів кристалічної решітки та її дефектами. Він не залежить від сили струму та напруги, а залежить від геометричних розмірів провідника, матеріалу провідника та його фізичного стану. Для однорідних провідників циліндричної форми електричний опір визначається формулою:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де l – довжина провідника, S – площа поперечного перерізу провідника, ρ – коефіцієнт пропорційності, який залежить від матеріалу та фізичного стану провідника. Він називається *питомим опором* провідника. Одиницею вимірювання питомого опору є *Ом-м* ($\text{ом} \times \text{метр}$). Питомий опір чисельно дорівнює опору циліндричного провідника одиничної довжини з одиничною площею перерізу.

Електричний опір металевого провідника із збільшенням температури зростає згідно залежності:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

де R – опір провідника при даній температурі t , R_0 – опір провідника при температурі $t = 0^\circ\text{C}$, α – температурний коефіцієнт опору, t – температура за шкалою Цельсія. Така залежність пояснюється зростанням амплітуди коливань вузлів кристалічної решітки під час нагрівання провідника.

3. В однорідному провіднику упорядкований рух позитивних носіїв струму відбувається в напрямку вектора напруженості поля \vec{E} , тому напрямки векторів \vec{j} і \vec{E} збігаються. Остаточно у векторній формі маємо рівняння, яке називається **законом Ома в диференціальній формі**:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}.$$

4. Робота та потужність електричного струму.

Розглянемо ділянку кола, на яку подано напругу U і в якій тече постійний електричний струм силою I .

$$U = \frac{A}{q} \Rightarrow A = Uq; \quad I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = It; \quad A = UIt.$$

Одиниця роботи струму в СІ – **джоуль**:

$$[A] = 1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}.$$

Проблемне питання

- На побутових приладах є написи: на електричній лампі «230 В; 12 Вт; на електропрасці «потужність електричної праски 2200 Вт». Що ці написи означають?

Потужність струму P – фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі струму за одиницю часу.

$$P = \frac{A}{t},$$

де P – потужність електричного струму; A – робота струму за час t .

Одиниця потужності в СІ – **ват**:

$$[P] = 1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

$$P = \frac{UIt}{t} = UI, \quad 1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

де U – напруга на ділянці кола, на якій визначають потужність струму; I – сила струму в ділянці.

За будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність струму в усьому колі дорівнює сумі потужностей окремих споживачів.

Вимірюючи потужність струму в споживачі, ми визначаємо його *фактичну потужність*. Потужність, яку зазначено в паспорті електропристрою (або на пристрої), називають *номінальною потужністю*.

Проблемне питання

- Чи існують прилади для вимірювання потужності та роботи електричного струму?

Ватметр – прилад, призначений для вимірювання потужності електричного струму в колі.

Електролічильник – це прилад для прямого вимірювання роботи струму.

Поряд із цифровим табло електролічильника написано: кВт · год.

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 3600000 \text{ Дж} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Закон Джоуля – Ленца. Будь-який провідник під час проходження струму нагрівається. Це відбувається тому, що вільні заряджені частинки в провіднику розганяються електричним полем і, зіштовхуючись з іншими частинками, передають їм частину своєї кінетичної енергії. Унаслідок цього внутрішня енергія провідника збільшується – провідник нагрівається.

Теплову дію струму вивчали англійський фізик Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) і російський фізик Емілій Християнович Ленц (Генріх Ленц) (1804–1865). Незалежно один від одного вони дійшли однакового висновку.

Закон Джоуля – Ленца. Кількість теплоти Q , яка виділяється в провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струм I , опору провідника R та часу t проходження струму:

$$Q = I^2 R t,$$

де Q – кількість теплоти, яка виділяється провідником зі струмом; I – сила струму у провіднику; R – опір провідника; t – час проходження струму.

Інші формули випливають із Закон Джоуля – Ленца:

$$Q = U I t; \quad Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія витрачається на нагрівання.

Якщо ж на ділянці кола є споживачі енергії, в яких виконується механічна робота або відбуваються хімічні реакції, даними формулами користуватися не можна.

ЛЕКЦІЯ 7: ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЯВИЩА

ПЛАН

1. Магнітне поле. Досліди Ерстеда та Ампера.
2. Силова характеристика магнітного поля.
3. Сила Ампера.



15 лютого 1820 р. данський фізик *Ганс Крістіан Ерстед* (1777-1851) демонстрував студентам дослід із нагріванням провідника електричним струмом. У ході дослідження вчений помітив, що під час проходження струму магнітна стрілка, розташована поблизу провідника, відхилилася від напрямку «північ – південь», встановлюючись перпендикулярно до провідника. Як тільки струм припинявся, стрілка знову поверталася в початкове положення. Так було з'ясовано, що *електричний струм здійснює певну магнітну дію*.

Французький математик і фізик *Андре Марі Ампер* (1775-1836) уперше почув про дослід Г. К. Ерстеда 4 вересня 1820 р. і вже за тиждень продемонстрував взаємодію двох паралельно розташованих провідників зі струмом.

Якщо в двох паралельних провідниках течуть струми одного напрямку, провідники притягуються. Якщо протилежних напрямків – провідники відштовхуються.

Ампер також показав, що котушки, в яких проходить електричний струм, поведуться як постійні магніти: вони притягуються або відштовхуються.

Аналізуючи результати дослідів, учений зробив висновок: провідники електрично нейтральні, тому їхнє притягання або відштовхування не може бути пояснене дією кулонівських сил – їхня поведінка є наслідком дії *магнітних сил*.

Ампер був прихильником *теорії далекодії* і вважав, що взаємодія провідників зі струмом здійснюється миттєво, а навколишній простір не бере участі в цій взаємодії.

Англійський фізик *Майкл Фарадей* (1791-1867) створив *теорію близькодії*, з точки зору якої взаємодія провідників зі струмом здійснюється з певною швидкістю *через магнітне поле*. Відповідно до цієї теорії, заряджені частинки, що напрямлено рухаються в кожному з двох провідників зі струмом, створюють у навколишньому просторі магнітне поле. Магнітне поле одного провідника діє на другий провідник і навпаки.

1. Магнітне поле – це форма матерії, яка існує навколо намагнічених тіл, провідників зі струмом, рухомих заряджених тіл і частинок та діє на інші намагнічені тіла, провідники зі струмом, рухомі заряджені тіла й частинки, розташовані в цьому полі.

Властивості магнітного поля:

1. *Магнітне поле є матеріальним* – воно існує реально, незалежно від наших уявлень.
2. *Магнітне поле є складовою електромагнітного поля.*
3. *Магнітне поле створюють:* намагнічені тіла; провідники зі струмом; рухомі заряджені частинки і тіла; змінне електричне поле.
4. *Магнітне поле діє з деякою силою:* на заряджені тіла й частинки, що рухаються в цьому полі; на провідники зі струмом; на намагнічені тіла.
5. *Магнітне поле чинить орієнтувальну дію:* на магнітну стрілку; на рамку зі струмом.
6. *Магнітне поле діє на будь-яку речовину, намагнічуючи її певним чином.*

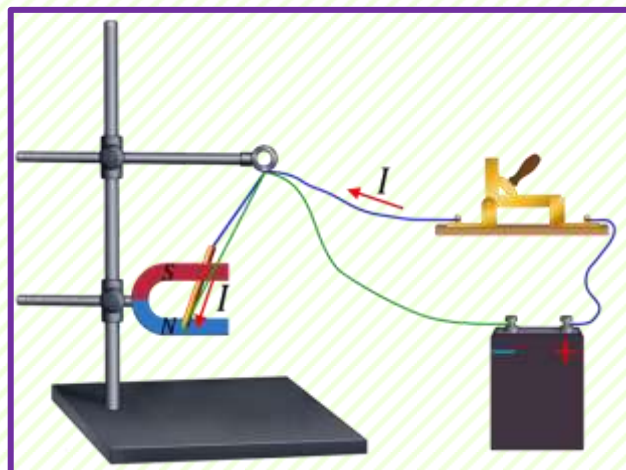
2. Силова характеристика магнітного поля. Якщо прямий провідник, виготовлений із немагнітного матеріалу, підвісити на проводах між полюсами постійного магніту і пропустити в провіднику струм, то провідник відхилиться. Причиною такого відхилення є *сила Ампера*.

Сила Ампера \vec{F}_A – це сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом.

Змінюючи силу струму в провіднику, довжину активної частини провідника (тобто частини провідника, яка перебуває в магнітному полі), кут між провідником і лініями магнітної індукції магнітного поля, можна переконатися:

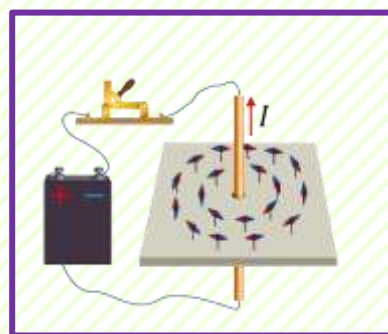
1) сила Ампера прямо пропорційна і силі струму I , і довжині l активної частини провідника, а отже, прямо пропорційна їх добутку:
 $F_A \sim Il$

2) сила Ампера є максимальною ($F_{A \max}$), якщо провідник розташований перпендикулярно до ліній магнітної індукції.



Оскільки $F_{A \max} \sim Il$, то для даної ділянки магнітного поля відношення $\frac{F_{A \max}}{Il}$ не залежить ані від сили струму в провіднику, ані від довжини провідника, а залежить тільки від властивостей магнітного поля. Тому це відношення обрали за *силову характеристику магнітного поля* – вона одержала назву *магнітна індукція*.

Магнітна індукція \vec{B} – векторна фізична величина, що характеризує силову дію магнітного поля і за модулем дорівнює відношенню максимальної сили, з якою магнітне поле діє на розташований у цьому полі прямий провідник зі струмом ($F_{A \max}$), до добутку сили струму I в провіднику і довжини l активної частини провідника.



$$B = \frac{F_{A \max}}{Il}$$

Одиниця магнітної індукції в СІ – Тл (**тесла**):

$$[B] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 1 \text{ Тл.}$$

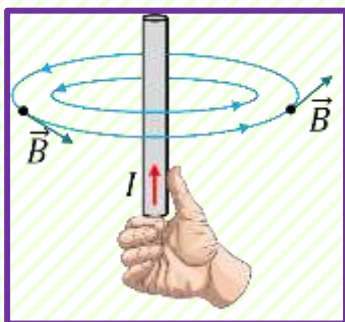
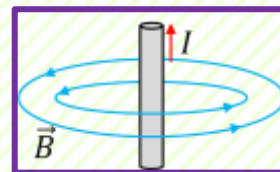
1 Тл – це магнітна індукція такого однорідного магнітного поля, яке діє з максимальною силою 1 Н на провідник завдовжки 1 м, сила струму в якому 1 А.

Напрямок вектора магнітної індукції

Проблемне питання

- Магнітна індукція – векторна величина. Як визначити напрямок вектора магнітної індукції?

За напрямок вектора магнітної індукції в даній точці магнітного поля обрано *напрямок, у якому вказує північний полюс магнітної стрілки*, встановленої в цій точці.



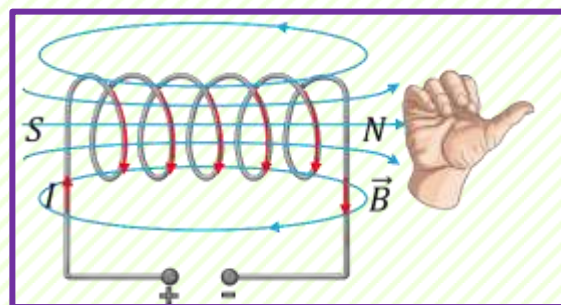
Напрямок вектора магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом і котушки зі струмом визначають за допомогою **правила свердлика** або за допомогою **правило правої руки**.

Правило правої руки (для провідника зі струмом):

Якщо спрямувати великий палець правої руки за напрямком струму в провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямок ліній магнітної індукції магнітного поля струму.

Правило правої руки (для котушки):

Якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок ліній магнітної індукції магнітного поля всередині котушки.

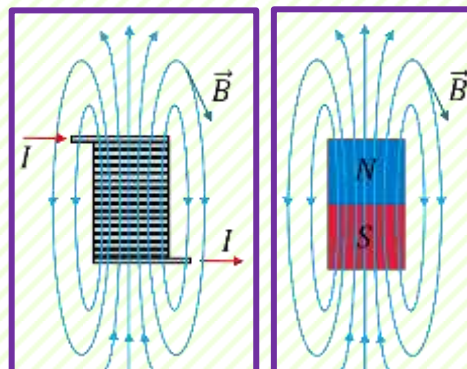


Лінії магнітної індукції.

Магнітні поля графічно зображують за допомогою *ліній магнітної індукції* (ще їх називають *лініями магнітного поля* або *магнітними лініями*).

Лінії магнітної індукції – умовні напрямлені лінії, у кожній точці яких дотична збігається з лінією, уздовж якої напрямлений вектор магнітної індукції.

Лінії магнітної індукції домовлено креслити так, щоб їхня густина відображала значення модуля магнітної індукції магнітного поля: чим більшим є модуль магнітної індукції, тим густіше креслять лінії.

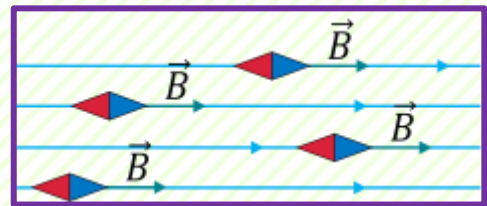


Властивості ліній магнітної індукції (штабового магніту і катушки зі струмом):

- поза магнітом виходять із північного полюса магніту і входять у південний;
- завжди замкнені (магнітне поле – це вихрове поле);
- найщільніше розташовані біля полюсів магніту;
- ніколи не перетинаються.

Однорідне та неоднорідне магнітні поля.

Однорідне магнітне поле – це магнітне поле в кожній точці якого вектори магнітної індукції однакові як за модулем, так і за напрямком.



Лінії магнітної індукції однорідного магнітного поля паралельні та розташовані на однаковій відстані одна від одної. У фізиці прийнято *магнітні лінії однорідного магнітного поля*, які напрямлені до нас, зображати *точками* – ми ніби бачимо вістря «стріл», що летять до нас.

Якщо *магнітні лінії напрямлені від нас*, то їх зображають *хрестиками* – ми ніби бачимо хвости «стріл».

У більшості випадків ми маємо справу з неоднорідним магнітним полем.

Неоднорідне магнітне поле – це магнітне поле, в якого вектори магнітної індукції в різних точках мають різні значення та напрямки.

Лінії магнітної індукції зазвичай викривлені, а їхня щільність є різною.

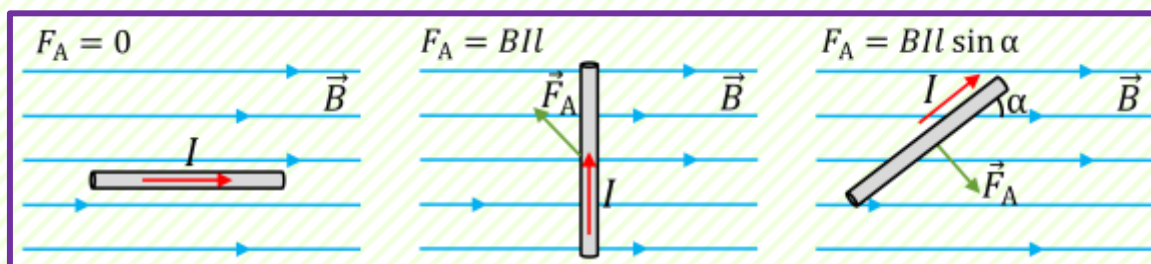
3. Сила Ампера. Восени 1820 р. *Андре Марі Ампер* (1775-1836), досліджуючи дію магнітного поля на провідники різних форм і розмірів, отримав формулу для визначення сили, що діє на окрему невелику ділянку провідника (на елемент струму). Зараз цю силу називають *силою Ампера*.

Сила Ампера \vec{F}_A – це сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом

$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

де F_A – сила Ампера; B – магнітна індукція поля, в якому розташований провідник; I – сила струму в провіднику; l – довжина активної частини

провідника (тобто частини провідника, розташованої в магнітному полі);
 α – кут між вектором магнітної індукції і напрямком струму.



- Провідник розташований паралельно лініям магнітної індукції – *магнітне поле на провідник не діє*: $F_A = 0$.
- Провідник розташований перпендикулярно до ліній магнітної індукції – *сила Ампера є максимальною*: $F_A = BIl$.
- У загальному випадку силу Ампера визначають за формулою:

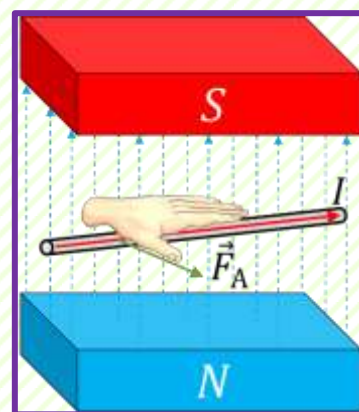
$$F_A = BIl \sin \alpha.$$

Проблемне питання

- Як визначити напрямок сили Ампера?

Правило лівої руки:

Якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок сили Ампера.



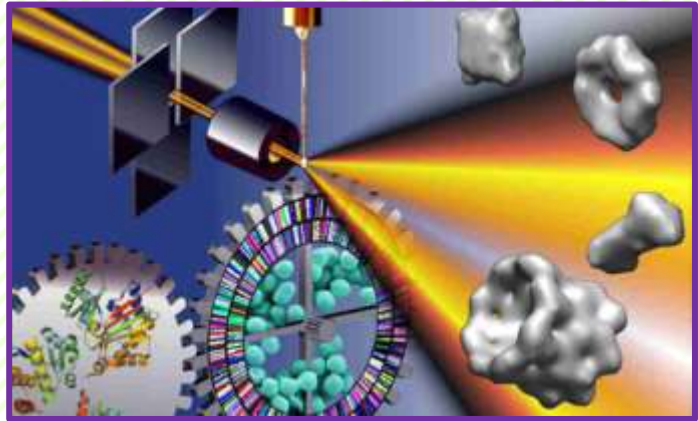
Момент сил Ампера, які діють на плоский замкнений контур, розташований в однорідному магнітному полі, дорівнює добутку модуля магнітної індукції поля, сили струму в контурі, площі контуру і синуса кута α між вектором магнітної індукції та нормаллю до площини контуру:

$$M = BIS \sin \alpha.$$

ЛЕКЦІЯ 8: ОПТИЧНІ ЯВИЩА

ПЛАН

1. Розвиток уявлень про природу світла.
2. Закони відбивання та заломлення світла.
3. Лінзи.
4. Явище дифракції. Принцип Гюйгенса-Френеля.



1. Розвиток уявлень про природу світла

Оптика – це розділ фізики, який вивчає властивості та взаємодію світла з речовиною.

Світло являє собою складне явище : в одному випадку воно веде себе як електромагнітна хвиля, а в іншому – як потік особливих частинок (фотонів). Така властивість називається – **корпускулярно-хвильовим дуалізмом**.

Довжина хвилі видимого світла знаходиться в межах :

$$\lambda = 400 \div 760 \text{ нм} \quad \text{або} \quad 0,4 - 0,76 \text{ мкм}; \quad 4 \cdot 10^{-7} - 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Інфрачервоне випромінювання – це випромінювання з $\lambda > 760 \text{ нм}$.
Ультрафіолетове випромінювання – це випромінювання з $\lambda < 400 \text{ нм}$.

Світло – складне явище. Це тільки на перший погляд світло – явище просте і легко зрозуміле, але насправді – досить таємниче і складне.

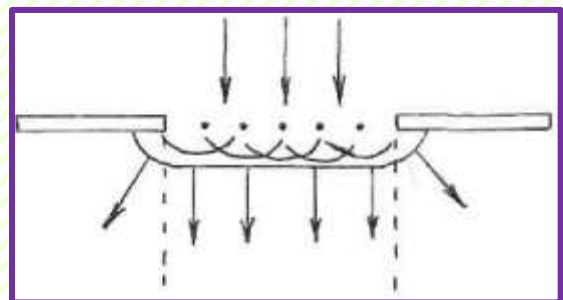
Основні закони оптики відомі ще з давніх століть. Платон (430 р. до н.е.) встановив закони прямолінійного поширення світла. Аристотель (350 р. до н.е.) і Пталомей виявляли заломлення світла. Перші уявлення про природу світла виникли у древніх греків та єгиптян, які, в подальшому, по мірі виникнення та удосконалення різноманітних оптичних приладів, наприклад, параболічних дзеркал (XIII ст.), фотоапарата та мікроскопа (XVI ст.), зорової труби (XVII ст.), розвивалися та трансформувалися.

В XVII ст. на основі досвіду та розвитку уявлень про світло виникли дві теорії світла : корпускулярна (І.Ньютон) та хвильова (Р.Гук, Гюйгенс).

Згідно корпускулярної теорії світло являє собою потік частинок (корпускул), які випромінюються світними тілами і летять по прямим траєкторіям. Для опису руху світлових корпускул Ньютон застосував закони механіки. Так, відбивання світла розумілось як відбивання пружного шарика при ударі о площину, де також дотримується закон рівності кутів падіння і відбивання. Заломлення світла Ньютон пояснював дією сил притягання заломлюючого середовища, внаслідок чого швидкість корпускул змінюється при переході з одного середовища в інше

Згідно хвильової теорії, яка розвивалася на основі аналогій акустичних та оптичних явищ, світло являє собою пружну хвилю, яка поширюється в особливому середовищі – ефірі ! Ефір заповнює весь світовий простір, проникає крізь усі тіла і володіє механічними властивостями – пружністю та щільністю. Згідно Гюйгенсу велика швидкість поширення світла обумовлена особливими властивостями ефіру.

Хвильова теорія базується на **принципі Гюйгенса** : кожна точка хвильового фронту є центром вторинних хвиль, а огинаюча поверхня цих хвиль дає положення хвильового фронту в наступний момент часу. Принцип Гюйгенса дозволяє аналізувати поширення світла і вивести закони відбивання та заломлення.

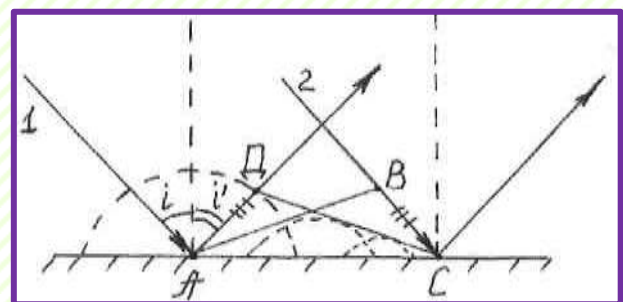


В однорідному та ізотропному середовищі вторинні хвилі є сферичними.

Принцип Гюйгенса не дає ніяких вказівок щодо інтенсивності хвиль, які поширюються в різних напрямках (цей недолік усунув Френель).

Виведемо закони відбивання та заломлення світла у хвильовій теорії Гюйгенса.

Нехай на межу поділу двох середовищ падає плоска хвиля (фронт хвилі – площина AB), яка поширюється уздовж напрямку 1 .



Коли фронт хвилі досягне відбиваючої поверхні в точці A , ця точка почне випромінювати вторинну хвилю. Для проходження хвилею відстані BC потрібен час

$$\Delta t = \frac{BC}{V}.$$

Таким чином на початку XVIII ст. існувало два протилежні підходи до пояснення природи світла : корпускулярна теорія Ньютона і хвильова теорія Гюйгенса. Обидві ці теорії пояснювали прямолінійне поширення світла, закони відбивання і заломлення світла. XVIII ст. є століттям боротьби цих теорій. Експериментальний доказ справедливості хвильової теорії одержав в 1815 р. Фуко (і незалежно Фізо), коли виміряв швидкість поширення світла у воді і отримав значення, яке відповідає формулі $V < c$. На початку XIX ст. корпускулярна теорія була повністю усунена і розвивалася хвильова теорія. Великий вклад в цьому відношенні належить англійському фізику Т.Юнгу, який досліджував явище дифракції та інтерференції, і французькому фізику О.Френелю, який доповнив принцип Гюйгенса і пояснив ці явища.

Але хвильова теорія мала цілий ряд недоліків. Наприклад, явища інтерференції, дифракції, поляризації могли бути пояснені тільки в тому випадку, якщо світлові хвилі вважати поперечними. З іншого боку, якщо світлові хвилі – поперечні, то їх носій – ефір – повинен мати властивості твердих тіл. Спроба наділити ефір властивостями твердого тіла успіху не мала, тому що ефір не виявляє помітної дії на тіла, що в ньому рухаються. Експерименти показали, що швидкість поширення світла в різних середовищах різна, тому ефір повинен мати в різних середовищах різні властивості. Теорія Гюйгенса не змогла пояснити фізичну природу різних кольорів.

Початок XX ст. – гіпотеза Планка, згідно якої випромінювання і поглинання світла відбувається не безперервно, а дискретно, певними порціями – квантами.

$$E = \hbar\nu, \quad \hbar - \text{const Планка.}$$

В 1905 р. Ейнштейн створив квантову теорію, згідно якої не тільки випромінювання світла, але і його поширення відбувається у вигляді потоку світлових квантів – фотонів.

За сучасним уявленням світло являє собою єдність протилежних видів руху – корпускулярного (квантового) і хвильового (електромагнітного), тобто має двояку природу.

2. Закони відбивання та заломлення світла

Ще до встановлення природи світла були знайомі наступні основні закони оптики:

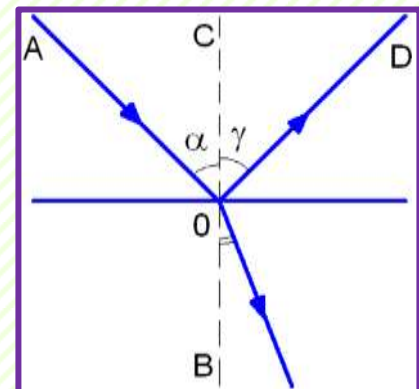
1. Закон прямолінійного поширення світла: світло в оптично однорідному середовищі поширюється прямолінійно.

Доведення: тіні з різкими межами від непрозорих предметів при освітленні їх точковим джерелом світла. Але цей закон не виконується, якщо світло проникає скрізь дуже маленький отвір.

2. Закон незалежності світлових пучків: ефект, який виробляється одним пучком світла не залежить від того, діють одночасно інші пучки або вони усунені. Розбиваючи світловий потік на окремі світлові пучки (наприклад, за допомогою діафрагм) можна показати, що дія виділених світлових пучків незалежна.

Якщо світло падає на межу поділу двох середовищ (двох прозорих речовин), то падаючий промінь (A) поділяється на два – відбитий (D) і заломлений (B), напрямки поширення яких визначаються законами відбивання і заломлення світла.

3. Закон відбивання: відбитий промінь лежить в одній площині з падаючим променем та перпендикулярно, проведеним до межі поділу двох середовищ в точці падіння; кут падіння дорівнює куту відбивання: $\alpha = \gamma$.



4. Закон заломлення: падаючий промінь, промінь заломлений, та перпендикуляр, проведений в точку падіння до межі поділу двох середовищ, лежать в одній площині; відношення \sin кута падіння до \sin кута заломлення є постійна величина для даних двох середовищ.

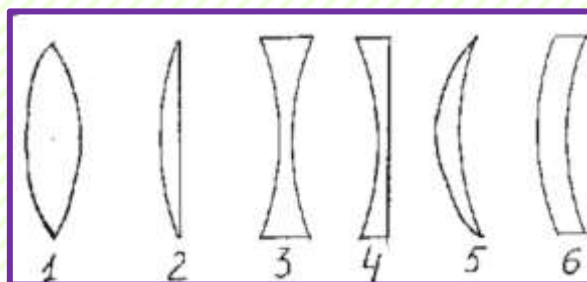
Відносний показник заломлення середовищ дорівнює відношенню їх абсолютних показників заломлення: !!!

3. Лінзи

Оптичною лінзою називається тіло з прозорої речовини, обмежене двомасферичними або іншої форми поверхнями, яке заломлює світлові промені, здібне формувати оптичні зображення предметів. Речовиною лінзи може бути скло, прозорі кристали, пластмаси.

По зовнішньому вигляду лінзи бувають:

1. Двоопуклі.
2. Плоскоопуклі.
3. Двовгнуті.
4. Плосковгнуті.
5. Опукло-вгнуті.
6. Вгнуто-опуклі.



По оптичним властивостям лінзи бувають :

1. Розсіювальними.
2. Збиральними.

Лінзу вважають **тонкою**, якщо її товщиною (відстань між обмежувальними поверхнями) можна знехтувати порівняно з радіусами кривизни поверхонь.

Головна оптична вісь лінзи – пряма, що проходить через центри кривизни поверхонь.

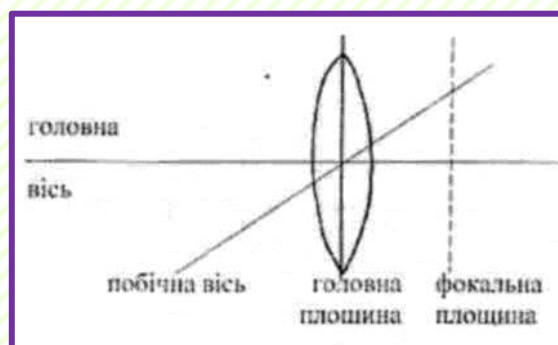
Оптичний центр лінзи – точка, що лежить на головній оптичній вісі і володіє такою властивістю, що промені не заломлюються проходячи крізь неї.

Побічні вісі – прямі, які проходять крізь оптичний центр лінзи і не співпадають з її головною віссю.

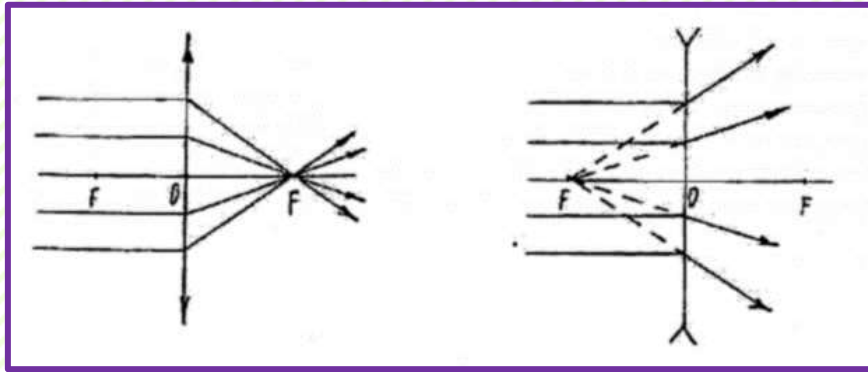
Головна площина лінзи – площина, яка проходить через центр.

Промені, паралельні головній оптичній вісі, перетинаються в точці, яка лежить на цій вісі і називається **фокусом лінзи**.

Фокальна площина – площина, яка проходить через фокус.



Фокусна відстань – відстань від центра лінзи O до її фокуса: $f = OF$.



Збиральна лінза

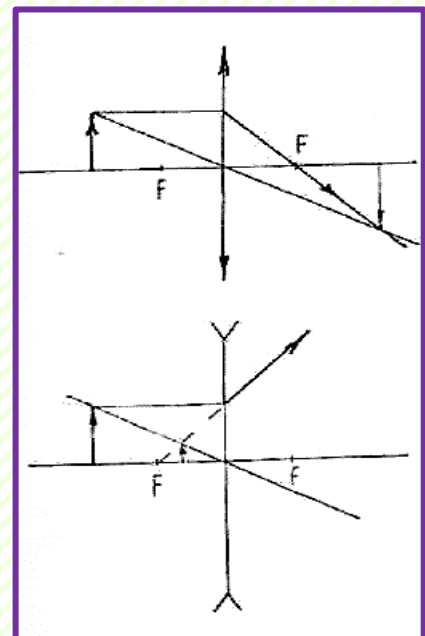
Розсіювальна лінза (фокуси уявні)

Побудуємо зображення предмету в лінзах. Для цього користуються наступними променями:

- 1) промінь, який проходить через оптичний центр лінзи і не змінює свого напрямку;
- 2) промінь, який йде паралельно головній вісі лінзи; після заломлення в лінзі цей промінь (або його продовження) проходить крізь другий промінь лінзи ;
- 3) промінь, який проходить крізь перший фокус лінзи; після заломлення він виходить паралельно її головній оптичній вісі.

Зображення дійсне, збільшене зворотне

Зображення уявне, зменшене зворотне



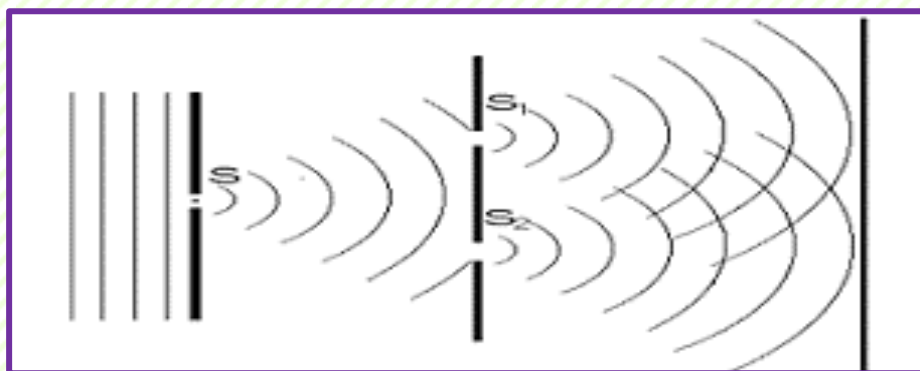
4. Явище дифракції. Принцип Гюйгенса-Френеля

Дифракцією називають відхилення при поширенні світла від законів геометричної оптики. Зокрема, **дифракцією** називають огинання світлом перешкод (розміри перешкод порівняні з довжиною хвилі).

Між дифракцією і інтерференцією немає принципової фізичної різниці, обидва явища полягають у накладанні когерентних хвиль, у разі чого відбувається перерозподіл інтенсивності світла у просторі.

В силу історичних причин під інтерференцією розуміють накладання когерентних хвиль, які йдуть від кінцевого числа дискретних джерел, а дифракція – це накладання когерентних хвиль від безперервно розташованих джерел.

Схема спостереження дифракції



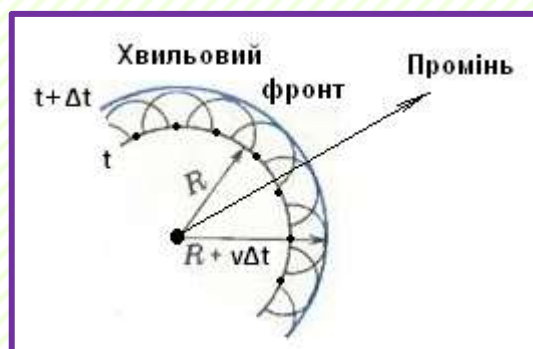
джерело
світла

перешкода, яка перекриває
частину хвильової поверхні

екран

На екрані спостерігається чергування максимумів і мінімумів.

Огинання хвилями перешкод можна пояснити за допомогою **принципу Гюйгенса**: будь-яка точка простору до якої доходить хвиля стає джерелом повторних сферичних хвиль, огинаючи яких дає положення хвильового фронту у наступний момент часу.



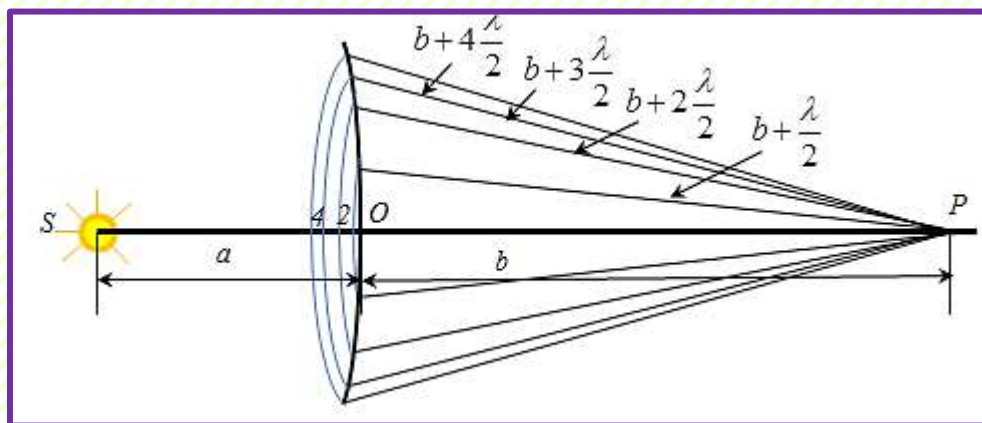
Французький фізик Френель додав принцип Гюйгенса інтерференцією повторних хвиль.

Згідно Френелю замість точкового джерела можна розглядати “фіктивні” джерела, які знаходяться на сферичній хвильовій поверхні, яка

оточує ці джерела, і які коливаються в одній фазі, а значить, випромінюють когерентні хвилі. При накладанні їх у будь-якій точці можуть спостерігатися максимуми або мінімуми.

Френель вигадав особливий прийом, який отримав назву **методу зон Френеля**, який дозволяє пояснити багато явищ. Зокрема, у рамках хвильової теорії цей метод доводить прямолінійність поширення світла.

Оточимо точкове джерело світла S сферичною хвильовою поверхнею радіусом a ; P – точка спостереження; $OP = b$.



Френель розбив хвильову поверхню на кільцеві зони таким чином, що відстань від країв сусідніх зон до точки P відрізнялась на $\lambda/2$

Коливання від сусідніх зон у розглядаєму точку P приходять у протифазі, послаблюючи один одного, тому результуюча коливань у точці P дорівнює:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots \pm A_m.$$

Дифракція світла на дифракційній ґратці

Дифракційна ґратка являє собою систему однакових паралельних щілиноднакової ширини, які знаходяться на рівних відстанях одна від одної.

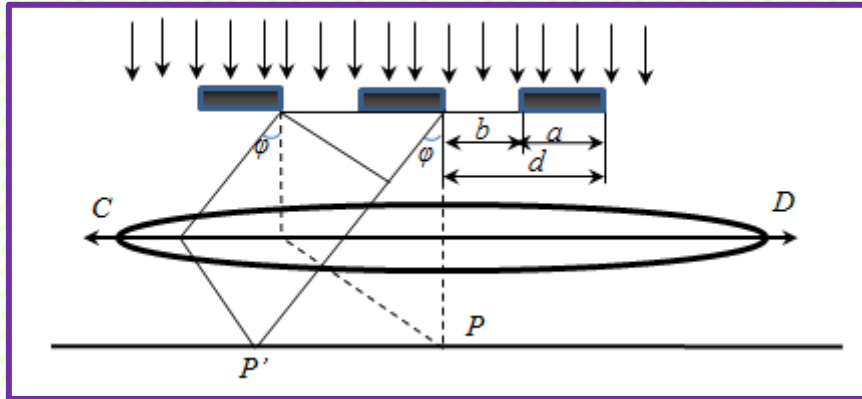
ґратка являє собою скляну або кварцеву пластинку, на якій алмазною голкою проведені паралельні штрихи, проміжки між якими можна розглядати як щілини. Така ґратка працює на пропускання, а відбиваюча ґратка буде являти собою дзеркало з нанесеними на нього штрихами.

Періодом ґратки або **постійною ґратки d** називають відстань між сусідніми щілинами

$$d = a + b,$$

де a – ширина штриху; b – ширина щілини.

Розглянемо ґратку, яка складається з двох щілин:



ґолографія

ґолографія (в перекладі: повний запис) – це особливий спосіб запису та послідуочної відбудови хвильового поля, який базується на реєстрації інтерференційної картини.

ґолограма являє собою чергування темних та світлих смуг і на відміну від фотографії вона дає об’ємне зображення предмету.

ґолографія була винайдена в 1947 році анґлійським фізиком Ґабором, за що в 1971 році він отримав Нобелівську премію.

Для того, щоб реєструвати та відбудовувати хвилі необхідно вміти реєструвати та відбудовувати дві характеристики : амплітуду і фазу, яка йде від предмету хвилі. Це можливо, оскільки, розподіл інтенсивності світла в картині характеризується як амплітудою так і різницею фаз складаних хвиль.

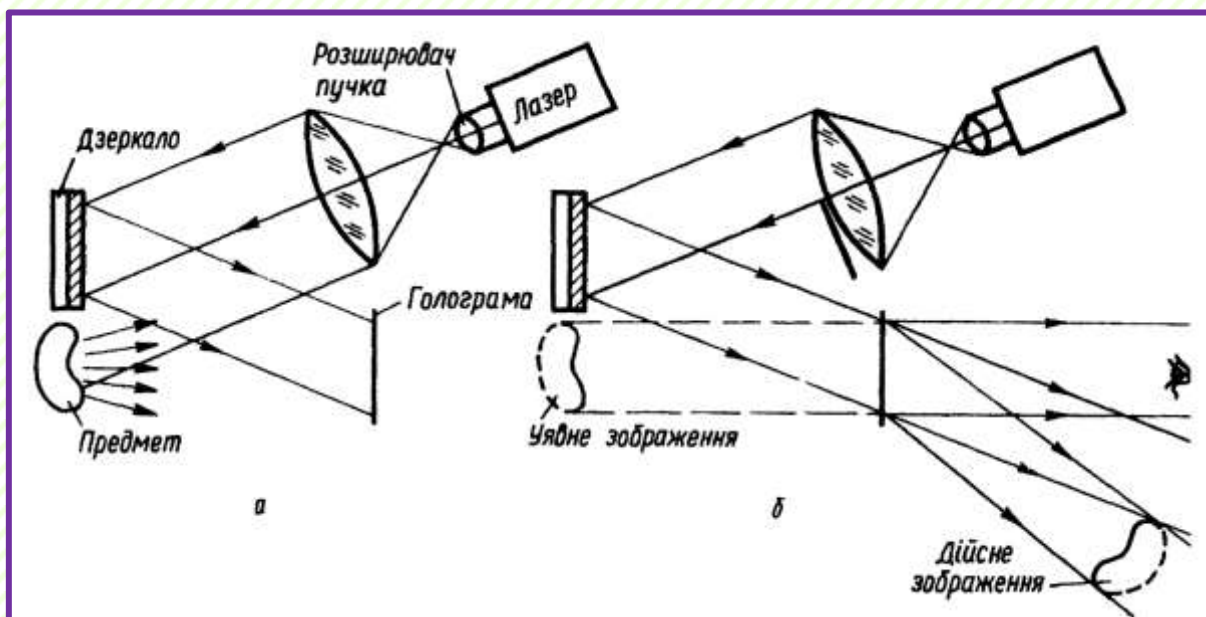


Схема запису

Схема зчитування

Схема запису голограм:

Для реєстрації як фазової так і амплітудної інтерференції, крім хвилі, яка йде від предмету, тобто так називаємої **предметної хвилі**, ще використовують когерентну з нею хвилю, яка йде від джерела і відбивається від дзеркала, тобто так називаємої **опорну хвилю**.

На фотопластинці відбувається накладання цих хвиль (опорної і предметної) і голограма являє собою, записану на фотопластинці, інтерференційну картину (являє собою чергування максимумів і мінімумів).

Для відбудови зображення голограму розташовують на тому ж місці, де вона знаходилась при запису. Її освітлюють опорним пучком того ж лазера (друга частина лазерного пучка закривається діафрагмою). У результаті дифракції світла на інтерференційній структурі голограми відбувається копіювання предметної хвилі, яка утворює об'ємне зображення (це уявне зображення предмету). Можна побачити також і дійсне зображення предмету.

Схема зчитування голограм:

Радянський фізик Денисюк запропонував метод запису голограм на товстосферичних імпульсах. Цей метод дозволяє отримати кольорове зображення предмету, яке можна побачити при освітлюванні голограм звичайним джерелом світла.

Будь-яка, навіть найменша, ділянка голограми зберігає повну інформацію про предмет. На пластинці розміром 32×32 мм можна записати 1024 голограми (приблизно книга у 1000 сторінок).

Розсіяння світла в оптично неоднорідному середовищі

Поширення світла у середовищі у напрямках, відмінних від напрямку поширення падаючої хвилі, називається **розсіянням світла**. Оптично неоднорідність середовища може порушуватися через наявність у ньому сторонніх частинок. **Оптично неоднорідним** називається середовище, показник заломлення якого залежить від координат. Реальні середовища практично ніколи не бувають однорідними, бо в них завжди є різні макроскопічні неоднорідності: тверді частинки у газі (дим), у рідині (суспензії). Такі середовища називають **каламутними**.

У разі поширення світла у каламутному середовищі відбувається дифракція його на оптичних неоднорідностях. Внаслідок дифракції світло поширюється у напрямках, відмінних від напрямку поширення падаючої хвилі, тобто розсіюється. Інтенсивність розсіяного світла значною мірою залежить від співвідношення між розміром оптичних неоднорідностей d і довжиною хвилі λ . Якщо $d < \lambda$, то розсіяння називають **релеївським**. Інтенсивність розсіяного світла обернено пропорційна четвертому ступеню довжини хвилі.

Це означає, що фіолетові та сині промені розсіюються більше ніж червоні. За допомогою цього можна пояснити голубий колір неба.

Розсіяння світла спостерігається також і в оптичних середовищах, в яких відсутні частинки. Оптична неоднорідність у середовищах може виникати завдяки флуктуаціям. Останні зумовлені тепловим рухом молекул, що приводить до нерівномірного їх розподілу у просторі. У будь-який момент часу кількість молекул в однакових, але досить малих об'ємах, буде різною. Це означає, що концентрація молекул і густина газу також будуть різними. Оскільки показник заломлення пропорційний густині газу, то він буде змінюватися як за координатами, так і в часі. Таким чином, тепловий рух молекул зумовлює флуктуації густини, що приводить до розсіяння світла. Таке розсіяння називають **молекулярним**.

У 1910 році А. Ейнштейн, виходячи з ідей флуктуації густини середовища, створив кількісну термодинамічну теорію молекулярного розсіяння світла в рідинах і у реальних газах. Він одержав формулу для інтенсивності розсіяного світла, окремим випадком якої є формула Релея.

Молекулярне розсіяння світла може спричинятися не лише флуктуаціями густини. У розчинах за звичайних умов молекули розчиненої речовини перемішуються з молекулами розчинника настільки рівномірно, що розчин вважається в оптичному відношенні таким же однорідним, як і розчинник. Причиною розсіяння світла у розчинах можуть бути флуктуації концентрацій розчиненої речовини. Особливий випадок молекулярного розсіяння світла спостерігається в речовинах при температурах їхнього критичного стану, коли флуктуації максимальні. Таке середовище стає не прозорим для падаючого світла, а розсіяння називається **опалесценцією**.

Молекулярне розсіяння у кристалах вперше виявив Г.С. Ландсберг у 1927 році.

Оптичні явища, зумовлені розсіянням світла в атмосфері

Внаслідок розсіяння світла атмосфера світиться в усіх напрямках, створюючи **денне світло**, яке освітлює земну поверхню. Розсіяння світла атмосферою є причиною плавного переходу від дня до ночі і навпаки. При опусканні Сонця атмосфера освітлюється все менше. Проміжок часу між моментом, коли атмосфера не освітлюється і заходом Сонця являє собою присмерки.

До оптичних явищ, зумовлених розсіянням світла в атмосфері, належить **райдуга**. Це кольорова смуга у вигляді дуги, що спостерігається на фоні дощових хмар або дощу, коли дощова хмара знаходиться попереду спостерігача, а Сонце – позаду. Центр дуги знаходиться на продовженні прямої, що проходить крізь спостерігача і Сонце. Кут між цією прямою і напрямом від спостерігача до дуги райдуги має значення $41-42^\circ$. Різнокольорова райдуга знаходиться від спостерігача на відстані 1–2 км. Вигляд дуги залежить від розмірів краплин води та їхньої кількості.

Виникнення райдуги спостерігав Р. Декарт у 1637 році і пояснював її як заломлення і відбивання світла у дощових краплинах.

Нерідко спостерігається оптичне явище, яке називається **гало**. Ця назва об'єднує групу складних оптичних явищ в атмосфері, зумовлених заломленнями відбивання світла у кристалах льоду пір'ястих хмар. Кристали, з яких складаються хмари, являють собою тонкі шестикутні пластинки – сніжинки або правильні шестигранні призми. Іноді пластинки та призми з'єднуються, тоді кристали мають форму парашутиків.

Оскільки кут між двома гранями шестигранної призми дорівнює 60° , а показник заломлення льоду для світлових хвиль, яким відповідає зелений колір, $n = 1,31$, то кут найменшого відхилення променя дорівнює 22° .

Навколо Сонця або Місяця можна спостерігати одне або кілька райдужних кілець, які називають **вінцями**. Центр вінців збігається з центром світила. Утворення вінців зумовлене дифракцією світла на водяних краплинах прозорих хмар, які знаходяться між світилом і спостерігачем. Кутовий діаметр вінців становить $1-6^\circ$.

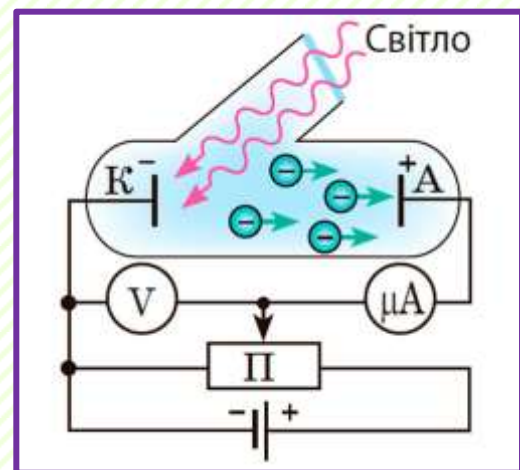
До оптичних явищ належить також **мерехтінням зірок**. Воно зумовлене випадковими змінами густини середовища, що приводить до зміни його показника заломлення.

Від зірки до Землі поширюється плоска світлова хвиля. Внаслідок випадкових змін густини атмосфери Землі відбуваються відповідні зміни форми фронту хвилі. Оскільки промені нормальні до фронту, то у місцях виступів вони розходяться й яскравість цих ділянок зменшується, в у місцях впадин промені сходяться і яскравість, відповідно, збільшується. Оскільки зміни показника заломлення в атмосфері мають випадковий характер, то спостерігається мерехтіння зірок.

Фотоефект та його види

Розділяють три види фотоефекту : зовнішній, внутрішній та вентильний.

1. Зовнішнім фотоефектом називають явище виривання електронів з поверхні тіл під дією електромагнітного випромінювання. Це явище спостерігаються у твердих тілах: металах, діелектриках, напівпровідниках, а також у газах на окремих молекулах (явище фотоіонізації газу). Це явище було відкрито у 1887 році німецьким фізиком Герцем, а докладно вивчено російським фізиком Столетовим.



2. Внутрішній фотоефект полягає у переході зв'язаних електронів у напівпровідниках і діелектриках під дією електромагнітного випромінювання у вільний стан без виходу їх назовні. Це явище супроводжується появою фотопровідності або фотоелектрорушійної сили.

3. Вентильний фотоефект полягає у виникненні фотоелектрорушійної сили при опромінюванні межі розподілу двох різних напівпровідників або напівпровідника і металу.

Це явище полягає в основі роботи сонячних батарей, в яких світлова енергія перетворюється в електричну.

Фотоефект має широке практичне застосування у фотоелементах, фоторезисторах, фотопомножувачах для посилення фотопотоку.

Фотоелементи із зовнішнім фотоефектом називаються **напівпровідниковими фотоелементами** або **фотоопорами (фоторезисторами)**,

вони володіють набагато більшою інтегральною чуттєвістю, ніж вакуумні.

Для їх виготовлення використовують PbS, CdS, RbSe та деякі інші напівпровідники. Якщо фотокатоди вакуумних фотоелементів та фотоелектронних помножувачів мають “червону межу” фотоефекту не вищу 1,1 мкм, то застосування фотоопорів дозволяє робити вимірювання у деякій інфрачервоній області спектру ($3 \div 4$ мкм), а також в областях рентгенівського та γ -випромінювання. Крім того, вони малогабаритні і мають низьку напругу живлення. Недолік фоторезисторів – їх помітна інерційність, тому вони непридатні для реєстрації швидкозмінних світлових потоків.

ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ

Робота №1

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ТА СИЛИ ПРУЖНОГО УДАРУ ДВОХ ТІЛ

Мета роботи: дослідити зіткнення пружних тіл, маса одного з яких набагато менша маси другого.

Теоретична частина

Короткочасна взаємодія двох тіл при їх зіткненні називається ударом. Розрізняють два граничних види ударів:

- а) удар абсолютно непружний;
- б) удар абсолютно пружний.

Абсолютно непружним ударом називається удар, після якого деформації, що виникають в тілах, зберігаються. Після абсолютно непружного удару тіла рухаються з спільною швидкістю.

Абсолютно пружним (точніше, близьким до нього) називається удар, після якого можна вважати, що деформації, які виникають в тілах, повністю зникають (кінетична енергія тіл до удару дорівнює їх кінетичні енергії після удару).

Явище абсолютно пружного удару відбувається звичайно в соті, тисячні і мільйонні долі секунди. Час співудару тим менший, чим менша деформація тіл. Тому, що при цьому кількість руху тіл змінюється на скінчену величину, в місці співудару розвиваються великі сили. При дотику тіл вони обидва деформуються, кінетична енергія переходить в енергію пружної деформації. Виникають пружні сили, які в міру зростання деформації також зростають і досягають найбільшої величини в момент найбільшої



деформації тіл. Після цього починається зворотній процес переходу потенціальної енергії деформації в кінетичну енергію руху, поки тіла знову не розійдуться.

Розглянемо випадок, коли відносно легка стальна кулька вдаряється в масивну стальну перешкоду. В цьому випадку удар можна розглядати як абсолютно пружний, а рухом сталеві перешкоди знехтувати.

При ударі кульки в перешкоду відбувається зміна її кількості руху на величину: $-mv - (mv) = -2mv$, за рахунок якої виникає імпульс сили, тобто має місце рівність:

$$\vec{F}\tau = -2m\vec{v}, \quad (1)$$

де \vec{F} – середня сила удару, τ – час співудару, m – маса кульки і \vec{v} – її швидкість безпосередньо перед ударом. Звідси і визначається середня сила удару:

$$|\vec{F}| = -\frac{2m\vec{v}}{\tau}.$$

Швидкість кульки \vec{v} безпосередньо перед ударом дорівнює швидкості, яку вона набуває при падінні з висоти h , на яку вона піднімається при відхиленні від положення рівноваги на відстань S (мал. 1): $v = \sqrt{2gh}$.

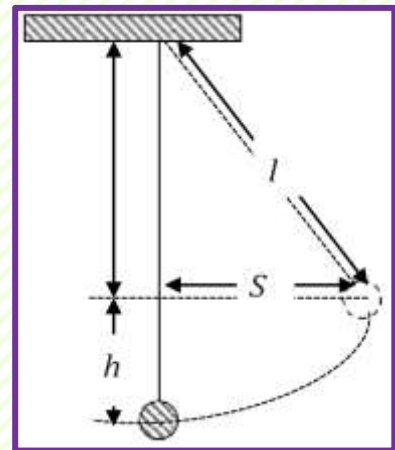
З малюнка видно, що $(l-h)^2 = l^2 - s^2$, звідки $h = l - \sqrt{l^2 - s^2} = l - \sqrt{(l+s)(l-s)}$.

Підставляючи значення h , маємо:

$$v = \sqrt{2g(l - \sqrt{(l+s)(l-s)})}.$$

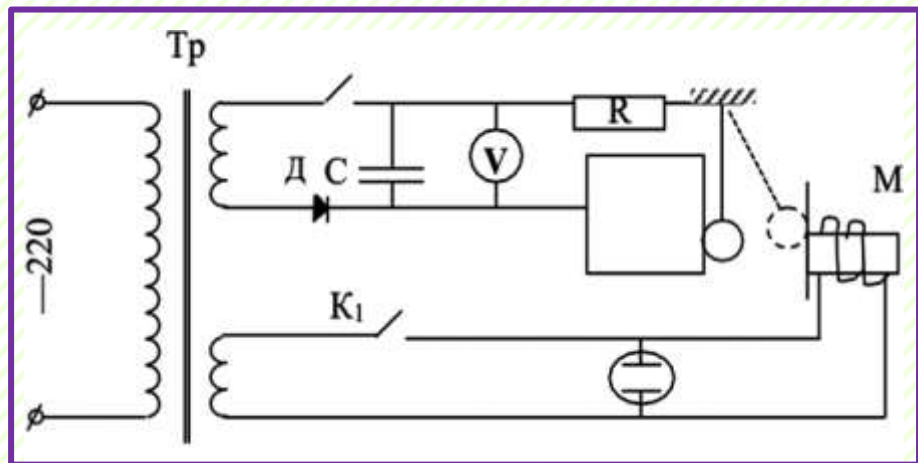
Для визначення часу співудару можна використати метод конденсаторного хронометра. Цей метод ґрунтується на прямопропорційному зв'язку між часом співудару та величиною розряду конденсатора, з'єднаного послідовно з тілами, що співударяються. Чим тривалішою буде взаємодія тіл, тим більший заряд втратить конденсатор.

Для визначення величини початкового заряду конденсатора q_0 та величини заряду q_1 , який залишився після першого удару кульки в перешкоду, в приладі використовується вольтметр електростатичної системи. Цим наш метод відрізняється від описаних в літературі, в яких визначають величину розряду конденсатора балістичним гальванометром.



Мал. 1

Кулька при ударі в перешкоду замикає електричне коло, яке складається з послідовно сполучених зарядженого конденсатора ємністю C та опору R . Паралельно до конденсатора



Мал. 2

приєднано електростатичний вольтметр V . Якщо спочатку конденсатор був заряджений зарядом $q_0 = CU$. Заряд $\Delta q = q_0 - q_1$ протече за час τ через місце дотику кулі з перешкодою під час удару (мал. 2).

Величина електричного струму I дорівнює величині заряду Q , який протікав за одиницю часу через поперечний переріз провідника: $I = dQ/dt$. Але за законом Ома $I = U/R$, отже $dQ/dt = U/R$, де R – опір кола, через який іде розряд.

Замінімо напругу на обкладках конденсатора U , в загальному випадку зарядом конденсатора Q та його ємністю C : $U = Q/C$, одержимо вираз: $dQ/dt = Q/RC$. Врахування того, що конденсатор розряджається, тобто заряд конденсатора зменшується ($-dQ$), тобто: $-dQ/dt = Q/RC$ або $dQ/Q = -dt/RC$. За час удару τ конденсатор змінить свій заряд від q_0 до q_1 , тобто, ми можемо записати:

$$\frac{\tau}{RC} = \ln \frac{U_0 C}{U_1 C} = \ln \frac{U_0}{U_1}.$$

Звідси $\tau = RC \cdot \ln \frac{U_0}{U_1}$. Якщо умови досліду підбрані так, що $\frac{U_0}{U_1}$ близьке до одиниці, то розкладаючи в ряд $\ln \frac{U_0}{U_1}$ за формулою

$\ln x = 2 \left[\frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{3} \frac{x-1}{x+1} \right]$ одержимо:

$$\tau = 2 \frac{U_0 - U_1}{U_0 + U_1} \quad (2)$$

Отже для визначення часу співудару за формулою (2) необхідно знати ємність конденсатора C , опір кола R , через яке відбувається розряд і напруги конденсатора U_0 та U_1 (до та після співудару).

Експериментальна частина

1. Увімкнути трансформатор T_r з випрямлячем D до джерела струму.
2. Увімкнути до джерела струму електростатичний вольтметр.
3. Вимикачем K_1 (розташований на правій частині приладу), замкнути коло електромагніта M (засвітиться неонова лампочка H над електромагнітом).
4. Встановити кінець електромагніта M відносно лінійки на віддалі S , запропонованій керівником занять.
5. Підвести обережно кульку K до магніту. Кулька повинна затриматись електромагнітом.
6. Натиснути на ключ-кнопку K_2 (розташована на ящику з трансформатором), зарядити конденсатор C , слідкуючи за показом вольтметра V . Визначити початкову напругу U_0 . Відпустити кнопку.
7. Розімкнути коло електромагніта вимикачем K_1 і зафіксувати показ вольтметра U_1 після першого удару кульки.
8. Визначити час співудару тіл по формулі (2).
9. Розрахувати швидкість легкого тіла перед співударом. Результати занести в таблицю:

$$l=207\text{см}; m=10,1\text{ г}; R=1\text{ кОм}; C=1\text{ мкФ}.$$

№	S (м)	H (м)	V (м/с)	U_0 (В)	U_1 (В)	τ (с)	τ (сер) (с)	F (сер) (Н)
1				1 ..2..3	1 ..2..3	1 ..2..3		
2								
3								
сер.								

10. Повторити пункти 3, 4, 5, 6, 7, 8 не менше трьох раз для кожної відстані S .
11. По середньому значенню тривалості удару τ (сер) визначити середню силу удару $F(\text{сер})$ для кожної відстані кульки S від перешкоди.

Контрольні запитання

1. Що називається ударом?
2. Який удар називають абсолютно пружним?
3. Який удар називають абсолютно непружним?
4. Який удар має місце в нашому досліді, чому?
5. Чому у формулі (1) перед кількістю руху стоїть цифра 2?

6. Чому сили, що виникають при ударі, великі?
7. В чому полягає метод визначення тривалості часу співудару?
8. Чому до явища удару можна застосувати закон збереження кількості руху?
9. Чи можна в даній роботі застосувати закон збереження енергії, чому?

Робота №2

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ КУЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ БАЛІСТИЧНОГО МАЯТНИКА

Мета роботи: навчитись визначати швидкість польоту тіл за допомогою балістичного маятника



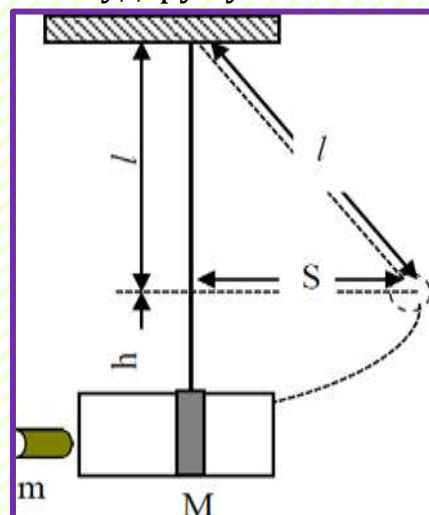
Теоретична частина

Прилад – балістичний маятник – являє собою вертикально підвішений масивний циліндр, вісь якого орієнтована горизонтально. Дно циліндра покрито пластиліном для одержання непружного удару кулі.

Для балістичного маятника повинна виконуватися умова $T \gg \tau$, де T – період коливання маятника; τ – час співудару.

На нижній твірній циліндра закріплена стрілка, яка служить для вимірювання переміщення маятника вздовж горизонтальної шкали.

Після удару куля K масою m застряє в циліндрі масою M і він почне рухатись з швидкістю v_m . Система куля–циліндр ізольована по горизонтальному напрямку.



Тому можна записати закон збереження імпульсу

$$mv_k = (M + m)v_m. \quad (1)$$

Центр маси куля-циліндр піднімається на висоту h . Отже можна записати закон збереження енергії так:

$$\frac{(M + m)V^2}{2} = (M + m) \cdot gh. \quad (2)$$

Висоту підйому h визначимо через горизонтальне зміщення маятника S , розглянувши прямокутний трикутник: $l^2 = (l - h)^2 + S^2$. Звідки

$$h = l - \sqrt{(l + s)(l - s)}. \quad (3)$$

Р формул (1), (2) і (3) визначимо шукану швидкість:

$$V_k = \frac{M+m}{m} V_m; \quad V_m = \sqrt{2gh};$$

$$V_k = \frac{M+m}{m} \sqrt{2gh} = \frac{M+m}{m} \sqrt{2g \left(l - \sqrt{(l+S)(l-s)} \right)}.$$

Експериментальна частина

1. Визначити на терезах масу двох куль, які видає керівник занять. Зважування кожної кулі повторіть три рази.
2. Запишіть сталі приладу: M – масу маятника, l – довжину його підвісу.
3. Встановіть пістолет від маятника на віддалі визначеній керівником занять.
4. Виконати декілька пробних пострілів в циліндр з боку його відкритої основи, орієнтуючи пістолет так, щоб не було бічних коливань балістичного маятника.
5. Виконуючи кожною кулею по 5 пострілів по не рухомому циліндру, визначити середнє зміщення S для кожної кулі.
6. Підрахувати середнє значення маси m і переміщення S , та обрахувати похибки їх вимірювання.
7. Обрахувати середнє значення швидкості польоту кожної кулі V_k .
8. Підрахувати відносну похибку обчислення швидкості кулі.
9. Запишіть для кожної кулі дійсне значення швидкості.

Контрольні запитання

10. Будова балістичного маятника.
11. Чому систему маятник-куля можна розглядати як замкнуту?
12. Як в установці забезпечуються умови, при яких удар кулі в маятник можна рахувати непружним, центральним і прямим?
13. В чому полягає принцип вимірювання швидкості польоту тіл балістичним маятником?
14. Які закони збереження використовуються при одержанні формули для визначення швидкості польоту кулі?
15. Як забезпечити умову $T \geq \tau$?
16. Виведіть формулу для розрахунку швидкості польоту тіла методом балістичного маятника.
17. В скільки разів різняться кінетична енергія кулі перед ударом і кінетична енергія системи куля-маятник після співудару?
18. Які фактори найбільше впливають на точність кінцевого результату?

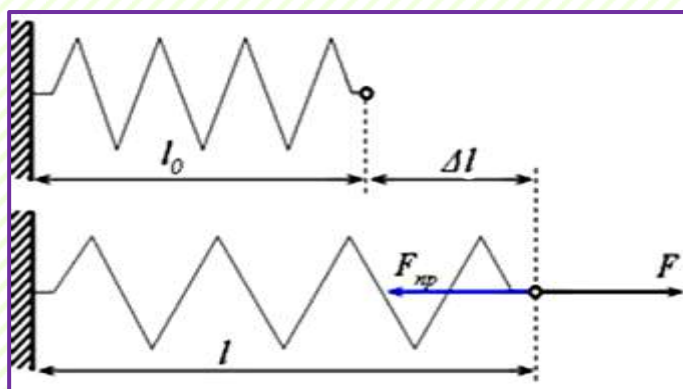
Робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРУЖНОСТІ ПРУЖИН

Мета роботи: навчитись визначати коефіцієнт пружності пружин.

Теоретична частина

Одним з найпростіших видів деформації є деформація розтягу або стиску. При цьому тіло зазнає зміни довжини. Якщо перед деформацією довжина стержня l_0 (мал. 1), а після деформації – l , то величину $\Delta l = l - l_0$ називають абсолютною деформацією розтягу. Очевидно, що для розтягу величина $\Delta l > 0$, для стиску – $\Delta l < 0$. Оскільки абсолютна деформація не вказує, яку частину становить зміна довжини стержня від початкової, вона не може характеризувати його *деформованість*. Мірою деформації є відносна деформація. Вона дорівнює відношенню абсолютної деформації до початкових розмірів тіла:



Мал. 1

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (1)$$

За допомогою дослідів встановлено, що для незначних пружних деформацій механічна напруга пропорційна відносній деформації, тобто

$$\sigma = k\varepsilon, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який називають *модулем пружності*. Формула (2) виражає *закон Гука*. Її можна поширити на будь-які види пружних деформацій.

Для деформації розтягу (стиску) формулу (2) запишемо у такому вигляді:

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (3)$$

де E – модуль Юнга, який залежить від речовини стержня і його фізичного стану. Якщо у формулі (3) покласти $\Delta l = l_0$, то дістаємо, що $\sigma = E$. Тому модулю Юнга часто дають означення механічної напруги, при якій довжина стержня збільшиться вдвоє. Це означення має формальний характер, оскільки для таких великих деформацій закон Гука не виконується. Формулу (3) можна застосувати і для деформації стиску.

При деформаціях розтягу або стиску відбувається зміна поперечних розмірів тіл. Зміни поперечних розмірів тіл характеризують також відносним поперечним стиском або розтягом

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d_0}, \quad (4)$$

де Δd – абсолютна зміна поперечних розмірів тіла, d_0 – поперечні розміри тіла до деформації.

Відношення відносної поперечної деформації тіла до відносної поздовжньої деформації називають *коефіцієнтом Пуассона*:

$$\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}. \quad (5)$$

Коефіцієнт Пуассона залежить тільки від матеріалу тіла і є однією із сталих, що характеризує пружні властивості тіла.

Модуль Юнга E і коефіцієнт Пуассона μ повністю характеризують пружні властивості ізотропних тіл. Для багатьох металів коефіцієнт $\mu \approx 0,25$.

Деформації розтягу (стиску) і зсуву належать до однорідних деформацій, тобто до таких, коли всі малі елементи тіла деформовані однаково. Крім наведених видів деформацій є деформації кручення і згину. Ці види деформацій належать до неоднорідних деформацій. У цих випадках деформація всередині тіла при переході від однієї точки до іншої неоднакова.

Експериментальна частина

1. Ознайомитись з будовою приладу.
2. Виконати тарировку вимірюваної пружини.
 - 2.1. З нижньої траверси знімається ступінчаста опора і на неї послідовно встановлюються тягарці в 1, 2, 3, 4, 5 кг (ступінчаста опора повинна лежати на тягарці і входити в загальну вагу).
 - 2.2. Встановивши стрілку індикатора в нульове положення в разі відсутності вантажу, фіксують відхилення стрілки індикатора при 1, 2, 3, 4, 5 кг, визначаючи ціну поділки індикатора.

1 поділка індикатора:
$$\frac{P_4 - P_1}{n_4 - n_1} = \frac{P_3 - P_1}{n_3 - n_1} = \frac{P_4 - P_2}{n_4 - n_2} \text{ (кг / под.)}$$

де: P_1, P_2, P_3, P_4 – ваги тягарців; n_1, n_2, n_3, n_4 – покази стрілки індикатора.

2.3. Взявши середню величину, визначають ціну одного поділу індикатора.

3. Визначити залежність довжини пружини від прикладеної до неї осьової сили $l = f(F)$.

3.1. Для вимірювання розтягу пружини кронштейн (6) переміщують і закріплюють у верхньому положенні.

3.2. На гачки підвішують вибрану для вимірювання пружину.

3.3. Обертанням маховика повільно навантажують пружину для надійного контакту з гачками (відхилення стрілки індикатора на 3-5 поділок).

3.4. Позначають на масштабній лінійці початкову довжину пружини при певній силі.

3.5. Збільшуючи у декілька раз силу (за вказівкою стрілки індикатора) визначити довжину пружини l (за показами масштабної лінійки), скласти таблицю і побудувати графік залежності деформації пружини від прикладеної до неї осьової сили $l = f(F)$, де l – довжина пружини; F – осьова сила.

3.6. Для вимірювання стиску пружин кронштейн (6) встановлюють в нижнє положення, пружина встановлюється на опорах і вимірювання проводяться аналогічно описаним вище.

4. Визначити коефіцієнт пружності пружини $k = \frac{\Delta F}{\Delta l}$ при деформації стиску і деформації розтягу, використовуючи одержаний експериментально графік.

Контрольні запитання

1. Що називають коефіцієнтом пружності пружини?
2. Дайте означення абсолютної і відносної деформації.
3. Назвіть основні види деформацій і їх підвиди.
4. Від чого залежить величина коефіцієнта пружності?
5. Як змінюється довжина пружини із зміною осьової сили?

6. З яких частин складається прилад для визначення стиску і розтягу пружини?
7. Що таке тарирування вимірювальної пружини?
8. Дайте означення деформації стиску і деформації розтягу.
9. Дайте означення межі пружності і межі текучості.

ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ ПОВІТРЯ

Мета роботи: за допомогою аеродинамічної труба та змінних насадок різних діаметрів навчитись визначати швидкість потоку повітря.



Теоретична частина

Рух рідини або газу можна вивчати двома методами. У першому вивчають рух кожної частинки зокрема. Він вимагає визначення кінетичних характеристик руху (переміщення, швидкість, прискорення) частинок рідини при переміщеннях їх у просторі і в часі. Такий метод вивчення стану руху рідини запропонував французький математик і механік Ж. Лагранж (1736 – 1813) і називається він *методом Лагранжа*. Виведення законів руху рідини за методом Лагранжа пов'язане із значними математичними труднощами, тому на практиці користуються іншим методом. Спостерігають не за рухом кожної частинки рідини, а в потоці рідини виділяють фіксований елементарний об'єм і вивчають, що відбувається з часом у кожній точці виділеного об'єму. Такий метод вивчення стану руху рідини розробив видатний математик і фізик Л. Ейлер (1707-1783) і називається він *методом Ейлера*. При цьому говорять не про швидкості і прискорення частинок рідини або газу, а про швидкість і прискорення потоку рідини.

Вивчаючи рух рідини, користуються ідеалізованим об'єктом або рідиною, яку називають ідеальною, тобто рідиною, яка абсолютно нестислива і повністю позбавлена внутрішнього тертя.

Потік рідини або газу називають стаціонарним, якщо його швидкість в усіх точках простору з часом не змінюється.

Частину рідини, обмежену лініями течії, називають *трубкою течії*. Всі частинки, що містяться всередині трубки течії, не виходять за межі трубки і жодна з частинок, що знаходяться за межами трубки течії, не проникає в неї. Трубку течії можна уявити як трубку з жорсткою бічною поверхнею, по якій протікає рідина. Якщо поперечний переріз трубки течії малий, то

вважають, що швидкість рідини для всіх точок заданого перерізу однакова.

Маса рідини, що протікає за час dt через поперечний переріз, визначається за формулою:

$$dm = \rho v S dt,$$

де ρ – густина рідини; S – площа поперечного перерізу.

При стаціонарному потоці маса рідини або газу, що протікає за одиницю часу через будь-який поперечний переріз трубки течії, однакова для всіх перерізів.

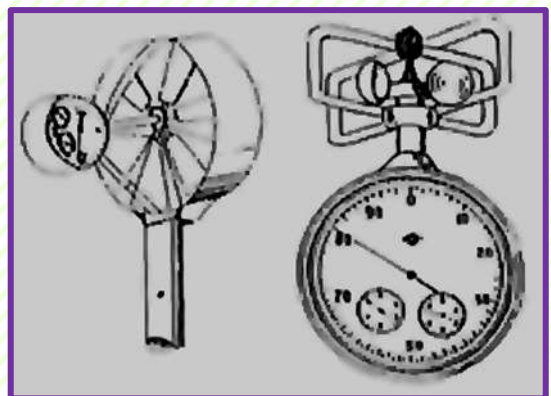
Якщо трубка течії має різні перерізи, але її вісь розміщена горизонтально ($h = const$).

$$(\rho v^2)/2 + p = const.$$

Тиск більший там, де швидкість менша, тобто де більший переріз. Це пояснюється тим, що при переході рідини із широкої частини у вузьку швидкість рідини зростає, вона рухається з прискоренням. Поява прискорення зумовлена дією сили, напрям якої, за другим законом Ньютона, збігається з напрямом прискорення. Оскільки ця сила зумовлена різницею тисків, то тиск більший у ширшій частині трубки течії.

Експериментальна частина

1. Ввімкнути аеродинамічну трубу і дати двигуну набрати постійний темпобертання.
2. Розташувати анемометр (мал.1) на штативі перед аеродинамічною трубою на одному рівні з нею.
3. Спрямувавши потік повітря від аеродинамічної труби на анемометр і зафіксувати час подання потоку на анемометр, заміряти за приладом кількість обертів за відведений час. (Час за який замірювати кількість обертів $t = 60$ с.)



Мал. 1

До аеродинамічної труби додаються три змінних насадки різного діаметру $d_1=0,055$ (м), $d_2=0,085$ (м), $d_3=0,07$ (м).

4. Розмістити першу насадку на аеродинамічній трубці і провести виміри згідно пункту (3) не менше трьох разів.

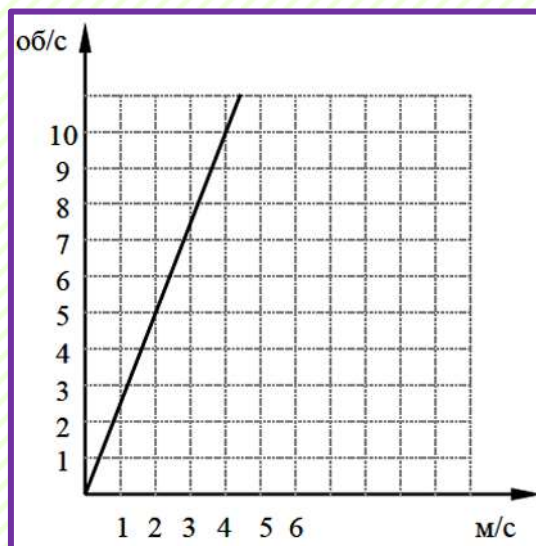
5. Почергово змінюючи насадки про- водити виміри.

6. Обрахувати швидкість потоку пові- тря за формулою

$$V = (\Delta_2 - \Delta_1)/t \text{ (об/с)},$$

де Δ_2 – кінцеві покази анемометра, Δ_1 – початкові покази анемометра, V – швид- кість руху повітря, t – час роботи анемо- метра.

Для переведення швидкості потоку повітря з об/с в м/с слід користуватися наведеним графіком (мал.2).



Мал.2

7. Порівняти залежність швидкості повітря-ного потоку від величини по- перечного перерізу.

8. Обрахувати похибки.

Контрольні запитання

1. Чим зумовлена поява сил опору тискові?
2. Що називається градієнтом швидкості?
3. Що таке коефіцієнт лобового опору? Від чого він залежить?
4. Який режим течії називають ламінарним? Турбулентним?
5. Що являє собою число Рейнольдса?
6. Як вимірюється повний тиск в об'ємі текучої рідини або газу?
7. Чому при обдуві півкруглого тіла зі сторони випуклої частини лобовий опір менший, ніж при обдуві з плоскої?
8. Що сильніше впливає на величину лобового опору: підвищений тиск перед тілом чи його пониження в зоні вихроутворення позаду тіла?
9. Поясніть причини утворення опору в'язкості і опору тиску?
10. Виведіть формулу закону Гагена-Пуазейля.

Робота № 5

ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ТІЛ

Мета роботи: навчитись користуватись мікрометром, штангенциркулем та глибокоміром і вимірювати за їх допомогою лінійні розміри тіл

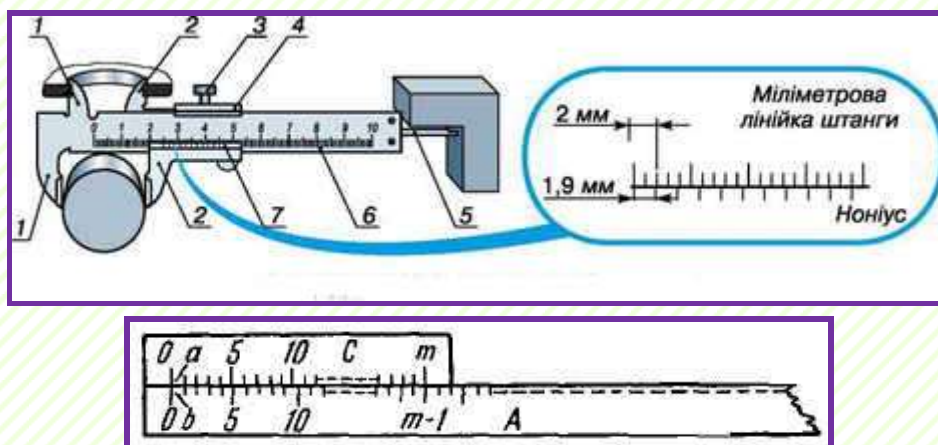


Теоретична частина

Для вимірювання лінійних і кутових величин використовуються різні прилади та інструменти. Найбільш прості з них: штангенциркуль, мікрометр, мікроскоп, кутомір і тд.

Вимірювання довжини проводять масштабними лінійками. Величина найменшої поділки такої лінійки називається ціною одної поділки. Як правило ціна однієї поділки дорівнює 1 мм.

Якщо вимірювання довжини проводять з точністю до сотих долей міліметра, до користуються допоміжною шкалою вимірювального приладу – ноніусом. Ноніус буває лінійним – для вимірювання лінійних величин і кутовий – для вимірювання кутових величин.



Мал. 1

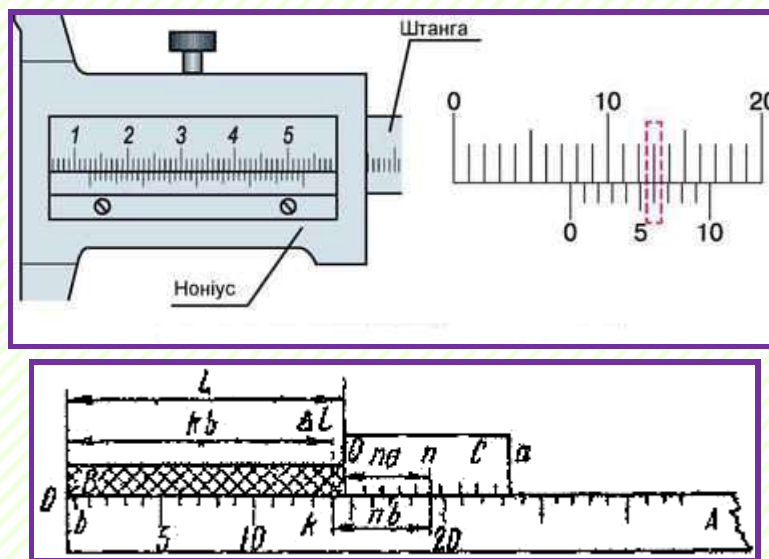
Лінійний ноніус являє собою невелику лінійку зі шкалою, m поділок якої дорівнюють $m - 1$ поділка шкали масштабної лінійки A (мал.1).

Якщо a – ціна поділки ноніуса, b – ціна поділки масштабної лінійки, m – число поділок на ноніусі, то зв'язок між вказаними поділками лінійки і ноніуса наступний:

$$am = (m-1)b. \quad (1)$$

Отримуємо з формули (1) різницю $b - a = b/m$, яка називається точністю ноніуса, тобто точність ноніуса й дорівнює відношенню ціни найменшої поділки масштабу до числа поділок на ноніусі. Точність ноніуса частобуває $1/10$ мм; в цьому випадку $b = 1$ мм, $m = 10$.

Вимірювання за допомогою ноніуса проводять наступним чином: до нульової поділки шкали лінійки прикладають один кінець вимірюваного тіла B , до другого кінця тіла – ноніус C (мал. 2).



Мал. 2

На мал. 2 видно, що шукана довжина тіла B дорівнює

$$L = kb + \Delta L, \quad (2)$$

де k – ціле число поділок масштабної лінійки в мм, що вміщується у вимірювальній довжині; ΔL – відрізок довжини, який являє собою соті долі міліметра.

Позначимо через n ту поділку ноніуса, яка співпадає з будь-якою поділкою масштабної лінійки; тоді

$$\Delta L = nb - na = n(b - a) = nb/m. \quad (3)$$

З формул (2) і (3) знаходимо шукану довжину $L = kb + nb/m$.

Якщо $b = 1$ мм, $m = 10$ поділок (що звичайно і буває), то шукана довжина

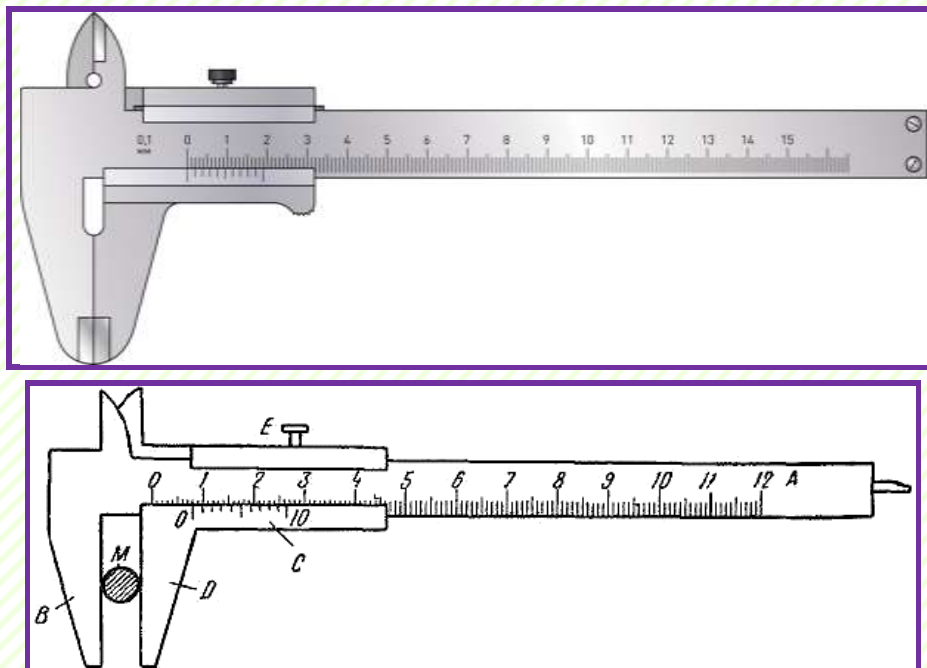
$$L = (k + n/10) \text{ мм}. \quad (4)$$

Таким чином, довжина вимірюваного тіла дорівнює цілому числу k мм масштабною лінійки плюс десяті частини числа n .

Число n показує той номер поділки ноніуса, який співпадає з деякою поділкою масштабною лінійки. На мал.2 показано приклад відліку довжини: $L = (14 + 5/10)\text{мм} = 14,5 \text{ мм}$, так як $k=14 \text{ мм}$, $n = 5$.

Лінійний ноніус використовується в приладі, який називається штангенциркулем.

Штангенциркуль (мал. 3) складається з стальної міліметрової лінійки A , з однієї сторони якої розміщена нерухому ніжка B . Друга ніжка D має ноніус C і може переміщуватися вздовж лінійки A . Коли ніжки B і D дотикаються, нуль лінійки і нуль ноніуса повинні співпадати. Для того щоб виміряти розмір предмета M , його розміщують між ніжками, які зсувають до дотику з предметом (без сильного натиску), і закріплюють гвинтом E . Після цього роблять відлік по лінійці і ноніусу і обчислюють довжину предмета L по формулі (4).



Мал. 3

Мікрометричний гвинт використовується в точних вимірювальних приладах і дозволяє проводити вимірювання до сотих частин міліметра.

Мікрометричний гвинт являє собою стержень, який містить точну гвинтову різьбу. Висота підйому гвинтової різьби за один оберт називається кроком мікрометричного гвинта.

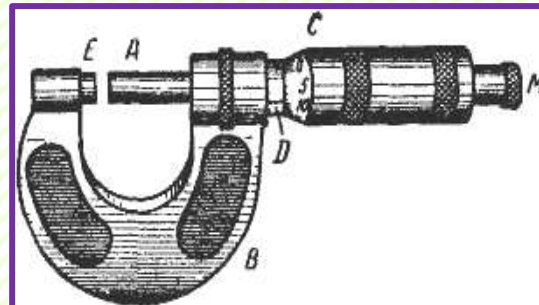
Мікрометр (мал.4 і 5) складається з двох основних частин: скоби B і мікрометричного гвинта A .

Мікрометричний гвинт *A* проходить через отвір скоби *B* з внутрішньою різьбою. Навпроти мікрометричного гвинта, на скобі є упор *E*. На мікрометричному гвинті закріплений барабан *C* з поділками по колу. При обертанні мікрометричного гвинта барабан ковзає по лінійній шкалі, нанесеній на стеблі *D*.

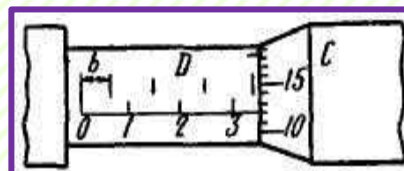
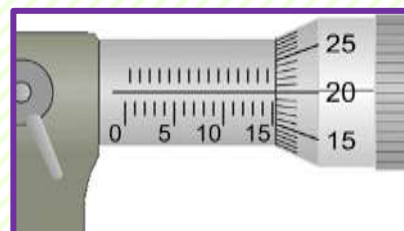
Найбільш поширений мікрометр, у якого ціна поділки лінійної шкали стебла $b=0,5$ мм. Верхні і нижні риски шкали зсунуті одна відносно одної на пів міліметра; цифри проставлені тільки для поділок нижньої шкали, тобто нижня шкала являє собою звичайну міліметрову шкалу (мал. 5).

Для того щоб мікрометричний гвинт *A* пересунувся на 1 мм, необхідно зробити два оберти барабану *C*. Таким чином, крок мікрометричного гвинта рівний $0,5$ мм. У такого мікрометра на барабані *C* є шкала, яка містить 50 поділок. Так як крок гвинта $b=0,5$ мм, а число поділок барабана $m=50$, то точність мікрометра $b/m = 0,5/50 = 1/100$ мм.

Для вимірювання мікрометром предмет розміщують між упором *E* і мікрометричним гвинтом *A* (мал.4) і обертають гвинт за головку *M* до тих пір, поки вимірювальний предмет не буде зажатий між упором *E* і кінцем гвинта *A* (оберт гвинта *A* проводиться тільки за головку *M* до спрацювання звукового сигналу трещітки, оскільки в іншому разі легко збити співпадання нулів шкали стебла *D* і барабана *C*).



Мал.4



Мал.5

Експериментальна частина

1. Вивчити конструкцію вимірних приладів.
2. Засвоїти метод лінійного ноніуса та метод мікрометричного гвинта.
3. Навчитись читати на приладах довільно поставлений розмір.
4. Виміряти приладами розміри запропонованих деталей для вимірювання з відповідною точністю.

5. Одержані дані записати до таблиці.
6. Визначити відносні похибки при вимірюванні кожного розміру.
7. Зробити ескізи деталей і поставити всі їх розміри, виміряні за допомогою приладів.

Штангенциркуль

Брусок									Циліндр						Кулька		
Довжина			Ширина			Товщина			Довжина			Діаметр			Діаметр		
l	Δl	E	h	Δh	E	d	Δd	E	l	Δl	E	D	ΔD	E	D	ΔD	E
(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%

Мікрометр

Брусок									Циліндр						Кулька		
Довжина			Ширина			Товщина			Довжина			Діаметр			Діаметр		
l	Δl	E	h	Δh	E	d	Δd	E	l	Δl	E	D	ΔD	E	D	ΔD	E
(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%	(мм)	(мм)	%

Штангенглибиномір

Висота виступу			Глибина западини		
h , (мм)	Δh , (мм)	E , %	h , (мм)	Δh , (мм)	E , %

Контрольні запитання

1. Яка довжина ноніуса у штангенциркулі? Яка ціна поділки ноніуса?
2. Як визначають точність мікрометричного гвинта?
3. Який з приладів найточніше проводить вимірювання? Чому?
4. Як зміниться точність відліку у мікрометрі з тим же барабаном, коли крок гвинта збільшити в два рази?
5. Як будується кутовий ноніус? Що називають точністю ноніуса?
6. Дайте означення таким приладам: хронометр, метроном, секундомір, сферометр.
7. Який ноніус називається лінійним, а який кутовим?
8. Як проводять вимірювання з допомогою лінійного ноніуса?
9. Як проводять вимірювання з допомогою кутового ноніуса?

Робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ ТИСКУ ЛАПЛАСА

Мета роботи: вивчення капілярних явищ.

Завдання: визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідини запропонованими методами.



Теоретична частина

За своїми фізичними властивостями рідини займають проміжне місце між газами і твердими тілами. Рідина, як і тверді тіла, можуть зберегти свій об'єм і в них існує вільна поверхня. В той же час рідина подібно до газів, приймає в полі тяжіння форму посудини, в яку вони налиті. Як і газ, рідина має властивість плинності, а подібно твердим тілам вони мають дуже малу стисливість і здібні чинити опір розтягу.

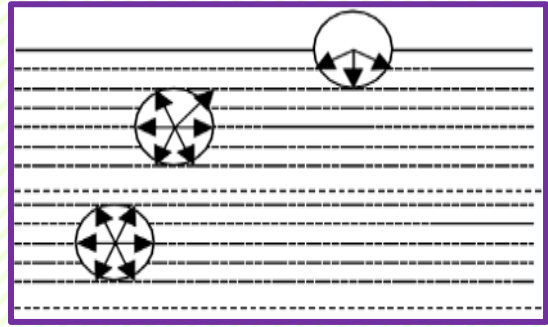
При переході молекули рідини із одного тимчасового положення рівноваги в інше порушуються її зв'язки з сусідніми молекулами, внаслідок чого витрачається енергія W . Інакше кажучи, при переході в нове тимчасове положення рівноваги молекула повинна подолати потенціальний бар'єр висотою ω , створений взаємодією її з сусідніми молекулами.

Цю мінімальну енергію ω , необхідну для переміщення молекули в нове тимчасове положення рівноваги, називають *енергією активації*.

Наявність в рідині вільної поверхні обумовлює існування особливих явищ, які називають поверхневими. Вони виникають в зв'язку з тим, що молекули в товщині рідини і на її поверхні знаходяться в неоднакових умовах.

В товщині рідини кожна молекула притягується сусідніми молекулами, які знаходяться в сфері молекулярної дії. В цьому випадку сили притягання, які діють на молекулу з усіх сторін, взаємно компенсуються і, отже, їх рівнодійна в середньому рівна нулю.

В поверхневому шарі рідини молекули володіють додатковою потенціальною енергією. Цей над-лишок енергії молекул поверхневого шару рідини називається *поверхневою енергією*.



Очевидно, що поверхнева енергія пропорційна площі поверхні S :

$$U_{\text{повн}} = \alpha S. \quad (1)$$

Коефіцієнт пропорційності α залежить не тільки від природи і стану речовини, а й від природи і стану того середовища, до якого додається дана поверхня рідини. Він називається *коефіцієнтом поверхневого натягу* даної рідини.

Коефіцієнт поверхневого натягу вимірюється роботою, необхідною для збільшення поверхні рідини при сталій температурі на одиницю. Очевидно, в системі СІ α має розмірність $[\alpha] = \text{Дж}/\text{м}^2$.

З іншої точки зору, на будь-яку пряму, що обмежує поверхню рідини, або будь-яку її частину, діють сили, спрямовані перпендикулярно до цієї лінії та дотичні до поверхні рідини. Ці сили називаються силами поверхневого натягу. Існування додаткової потенціальної енергії поверхневого шару при викривленні цієї поверхні (шару) приводить до збільшення цієї енергії. Поверхня, намагаючись скоротитись, тобто прийняти вигляд площини, щоб зменшити свою потенціальну енергію, створює додатковий тиск ΔP на рідину. Сума обернених радіусів R_1 та R_2 кривизни нормальних перерізів поверхні рідини характеризує середню кривизну поверхні в даній точці:

$$H = 1/R_1 + 1/R_2. \quad (2)$$

Формула (2) справедлива для поверхні будь-якої форми. Лаплас довів, що під викривленою поверхнею рідини існує додатковий тиск ΔP , величина якого визначається за формулою:

$$\Delta P = \alpha H, \quad (3)$$

де H – середня кривизна поверхні в тій точці, під якою визначається додатковий тиск ΔP .

Ця формула носить назву формули Лапласа, а додатковий тиск – тиском Лапласа. Інакше цю формулу можна записати у вигляді:

$$\Delta P = \alpha (1/R_1 + 1/R_2). \quad (4)$$

У випадку сферичної поверхні $R_1 = R_2 = R$, тоді

$$\Delta P = 2\alpha/R. \quad (5)$$

Якщо відстань між поверхнями, які обмежують рідину, того ж порядку, що й радіус кривизни поверхні рідини, то такі посудини називаються капілярними, а явища, які відбуваються в таких посудинах – капілярними явищами.

Для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини є декілька методів:

- 1) метод капілярних хвиль;
- 2) метод краплини і бульбашок;
- 3) метод горизонтального капіляра;
- 4) метод вимірювання рівнів рідини в капілярі і посудині;
- 5) метод відриву кільця від поверхні рідини.

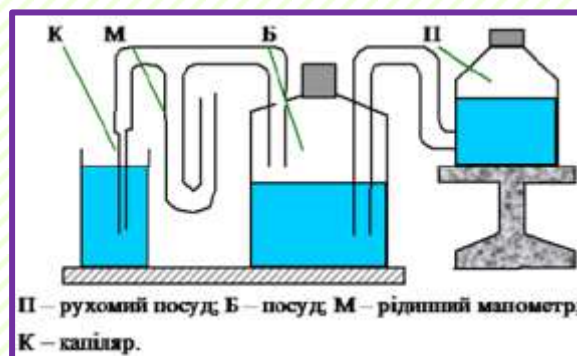
В цій роботі використовуються 3) і 4) методи.

Експериментальна частина

Метод вимірювання рівнів рідини в капілярі і посудині

В основному ця установка складається з штативу, на якому закріплений манометр M , посудини B , рухомої посудини Π та капіляра K . капіляр встановлюється вертикально і занурюється в досліджувану рідину (мал.1).

Цей метод дає можливість зручно визначити залежність коефіцієнта поверхневого натягу від температури, або концентрації домішок у розчині.



Мал. 1

Послідовність вимірювань:

1. Виміряти радіус капіляра за допомогою мікроскопу.
2. Опустити капіляр в досліджувану рідину.
3. Створити додатковий тиск P , переміщуючи посудину Π , щоб рівні рідини в капілярі і в посудині зрівнялись.
4. Визначити різницю рівнів за манометром.
5. Врахувавши, що $P = \rho gh$, обчислити коефіцієнт поверхневого натягу рідини за формулою:

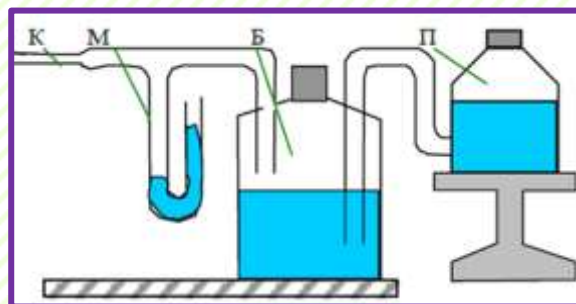
$$\alpha = (\rho gh)/4,$$

де d – діаметр капіляра, ρ – густина рідини в манометрі, h – різниця рівнів в манометрі.

6. Дослід повторити 4-5 разів. Обчислити середнє значення та похибки вимірів.

Метод горизонтального капіляра

Прилад складається з штативу, на якому закріплений рідинний манометр M , посудини B , рухомої посудини Π та капіляра K (мал. 2).



Мал. 2.

Послідовність вимірювання:

1. Виміряти радіус капіляра мікроскопом.
2. Заповнити досліджуваною рідиною приблизно на 1 см довжини капілярну трубку.
3. Відрегулювати мікроскоп для спостереження кінця капіляра та рівнів рідини в манометрі M . Поверхня торця капіляра повинна бути обов'язково сухою.
4. Перевірити однаковість рівнів в манометрі і, при необхідності, переміщенням посуду Π домогтись цієї рівності.
5. Повільно піднімаючи посуд Π , одержати плоску поверхню рідини на кінці капіляра. Спостереження провести за допомогою бінокулярного мікроскопу.
6. Визначити різницю рівнів рідини в манометрі.
7. Розрахувати коефіцієнт поверхневого натягу рідини за формулою:

$$\alpha = (\rho g d h) / 4,$$

де d – діаметр капіляра, ρ – густина рідини в манометрі, h – різниця рівнів в манометрі.

8. Дослід виконати 4-5 разів.
9. Обчислити середнє значення α та похибки вимірювань.

Контрольні запитання

1. *Що називається енергією активації молекули в рідині?*
2. *Що називається коефіцієнтом поверхневого натягу рідини?*
3. *Якими одиницями в СІ вимірюється коефіцієнт поверхневого натягу?*
4. *В чому полягають явища змочування та незмочування?*
5. *Від чого залежить тиск Лапласа?*
6. *В чому полягають капілярні явища?*
7. *Поясніть робочу формулу.*
8. *Виведіть формулу для розрахунку поверхневого натягу рідини.*
9. *Поясніть суть методу краплини і бульбашок.*

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи: ознайомитись з методами та приладами визначення вологості повітря.

Прилади: 1. Гігрометр Реньо. 2. Психрометр Августа. 3. Психрометр Ассмана. 4. Термометр. 5. Ефір.

Теоретична частина

Водяні пари входять до складу земної атмосфери, причому їх кількість значно зміниться в залежності від самих різних факторів, як-то: висоти місця, географічного положення, часу року та дня, температури і т.п.

В організмі людини, який складається на 65% з води, процеси випаровування відіграють істотно важливу роль. Так, за добу людина, в залежності від роду роботи, випаровує з поверхні шкіри та легень від 800 до 2000 г. і більше води. Швидкість процесів випаровування, а разом з тим і самопочуття людини, залежать від вологості навколишнього повітря.

Для чисельної характеристики вологості повітря використовується декілька величин:

Абсолютна вологість P – визначає кількість водяної пари, що міститься в повітрі при даних умовах. Вимірюється або парціальним тиском (пружністю) водяних парів (в мм. рт. ст.), або кількістю води в грамах, що міститься в 1 м³ повітря (в г/м³).

Максимальна вологість P_m – визначає кількість водяної пари яка насичувала б повітря при даній температурі. Максимальна вологість залежить від температури і вимірюється в тих же одиницях як і абсолютна вологість.



Відносна вологість B – виражене в процентах відношення абсолютної вологості до максимальної при тій же температурі:

$$B = (P/P_m) \cdot 100\%.$$

Точка роси τ – температура при якій водяна пара, що знаходиться в повітрі при даних умовах, стає насиченою. Вона відповідає початку конденсації водяної пари.

Стан насиченої пари відповідає наявності у просторі двох фаз води: рідкої та газоподібної. При цьому кількість молекул, що переходить з рідини в пару дорівнює кількості молекул, що переходять з пари в рідину.

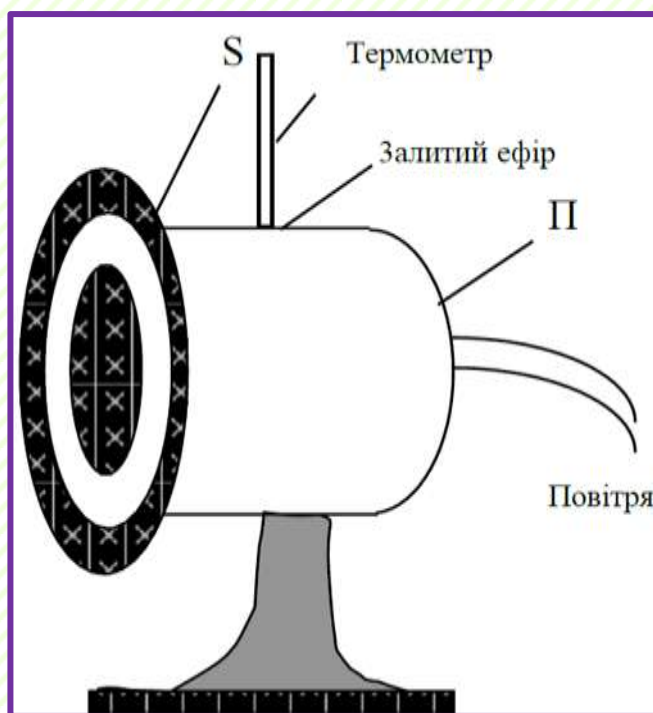
Відносна вологість в межах СНД в середньому біля 65-75%, але в деяких місцевостях спостерігається різке відхилення. Так в закаспійській області вона не перевищує 23-28%. Максимальна відносна вологість спостерігається у західній частині острова Суматра і становить 94%, найменша в 22% – в Хартумі на Нілі.

Прилади за допомогою яких ми можемо визначити точку роси називають *гігрометрами*.

Гігрометр Реньо (мал. 1) являє собою посуд Π , одна з стінок якого відполірована S . В посуд заливають декілька крапель ефіру і встановлюють термометр. Продування повітря підсилює випаровування ефіру, виключаючи пониження температури. При деякій температурі τ полірована поверхня S посуду вкривається матовим шаром краплинок води, що добре помітно при порівнянні з поверхнею кільця. Це означає, що при температурі τ (точка роси) водяні пари, що знаходяться в повітрі, стають насиченими і частково конденсуються на стінці посудини.

Точніше точку роси визначають як середню температуру між моментами появи та зникнення роси: $\tau = (t_1 + t_2)/2$.

З таблиці 1 пружності насиченої пари води в мм. рт. ст. знаходимо тиск насиченої пари, що відповідає температурі τ . Це і буде шукана абсолютна вологість повітря P при даних умовах.



Мал. 1

ПРУЖНІСТЬ НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ
(дана в мм. рт. ст. через одну десяту градуса)

°C	0.0°	0.1°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°	0.6°	0.7°	0.8°	0.9°
10	9.21	9.27	9.33	9.40	9.46	9.52	9.59	9.65	9.72	9.78
11	9.85	9.91	9.98	10.04	10.11	10.18	10.25	10.31	10.38	10.45
12	10.52	10.59	10.66	10.73	10.80	10.87	10.94	11.02	11.09	11.16
13	11.23	11.31	11.38	11.46	11.53	11.61	11.68	11.76	11.84	11.91
14	11.99	12.07	12.15	12.23	12.30	12.38	12.46	12.55	12.63	12.71
15	12.79	12.87	12.96	13.04	13.12	13.21	13.29	13.38	13.46	13.55
16	13.64	13.72	13.81	13.90	13.99	14.08	14.17	14.26	14.35	14.44
17	14.53	14.63	14.72	14.81	14.91	15.00	15.10	15.19	15.29	15.38
18	15.48	15.58	15.68	15.78	15.87	15.97	16.07	16.18	16.28	16.38
19	16.48	16.59	16.69	16.79	16.90	17.00	17.11	17.22	17.32	17.43
20	17.54	17.65	17.76	17.87	17.98	18.09	18.20	18.31	18.43	18.54
21	18.66	18.77	18.89	19.00	19.12	19.24	19.35	19.47	19.59	19.71
22	19.83	19.95	20.08	20.20	20.32	20.45	20.57	20.70	20.82	20.95
23	21.07	21.20	21.33	21.46	21.59	21.72	21.85	21.98	22.12	22.26
24	22.38	22.52	22.65	22.79	22.93	23.07	23.20	23.34	23.48	23.62
25	23.76	23.91	24.05	24.19	24.34	24.48	24.63	24.77	24.92	25.05

Для визначення абсолютної вологості повітря на практиці часто користуються психрометрами.

Ці прилади складаються з двох термометрів; кулька одного термометра обгорнута тканиною, змоченою водою. Завдяки властивості капілярності змочується вся тканина та кулька термометра. Вода випаровується, охолоджуючи термометр з інтенсивністю, що залежить від ступені вологості оточуючого повітря.

Відмітивши покази сухого t_c та вологого t_B термометрів, можна за формулою:

$$P = P_m - AH (t_c - t_B)$$

визначити абсолютну P , а потім відносну вологість B повітря. У цій формулі: P – абсолютна вологість; P_m – максимальна вологість при температурі сухого термометра; H – атмосферний тиск у мм. рт. ст. (визначається по барометру). Значення A в цій формулі залежить від швидкості повітря, яке омиває вологий термометр.

Для приладу з спеціальною вентиляцією (вентиляційний психрометр Ассмана) стала дорівнює: $A_1=0,00068\text{град}^{-1}$, для приладу без примусової вентиляції (психрометр Августа) стала дорівнює: $A_2=0,0008\text{ град}^{-1}$. По психрометричній таблиці (таблиця 2) за показами сухого та вологого термометрів визначають відносну вологість повітря.

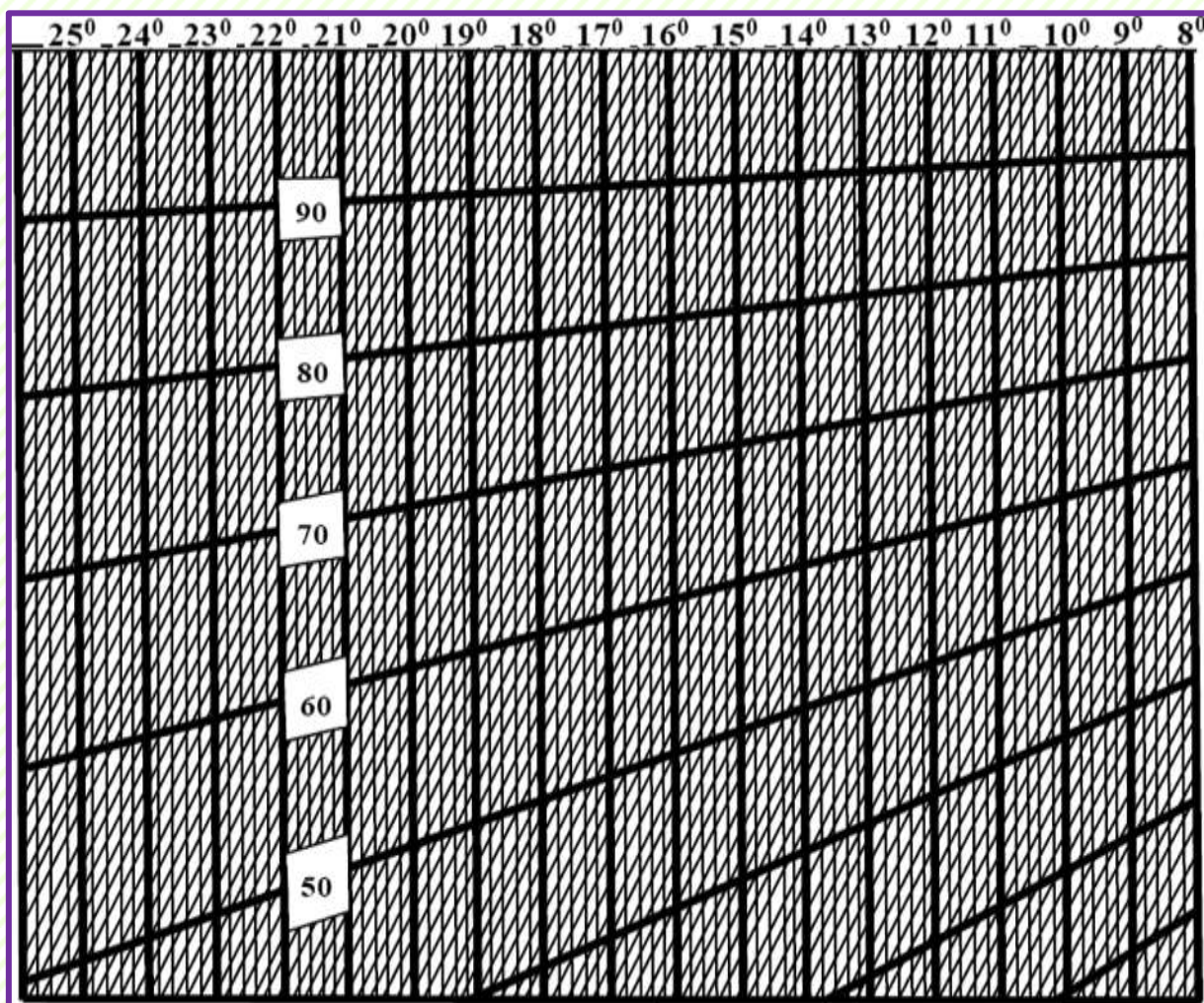
Таблиця 2.

ПСИХРОМЕТРИЧНА ТАБЛИЦЯ

Для температур від 0°C до 25°C по вологому термометру

Різниця показів сухого і вологого термометрів в $^{\circ}\text{C}$																					
Вологий термометр	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
	Насиченість повітря водяними парами у процентах (%)																				
0	100	90	81	73	64	57	50	43	36	31	26	20	16	11	7	3					
1	100	90	82	74	66	59	52	45	39	33	29	23	19	16	11	7					
2	100	90	83	75	67	61	54	47	42	35	31	26	23	18	14	10					
3	100	90	83	76	69	63	56	49	44	39	34	29	20	21	17	13	10				
4	100	91	84	77	70	64	57	51	46	41	36	32	28	24	20	16	14	11			
5	100	91	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30	27	23	19	17	13	10		
6	100	92	85	78	72	68	61	56	50	45	41	35	33	29	26	22	19	16	13	10	
7	100	92	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35	31	28	25	22	18	15	12	11
8	100	92	86	80	74	68	63	58	54	49	45	41	37	33	30	27	25	21	18	15	14
9	100	93	86	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39	35	32	29	27	24	21	18	17
10	100	94	87	82	76	71	66	61	57	53	48	45	41	38	34	31	28	26	23	21	19
11	100	94	88	82	77	72	67	62	58	55	50	47	43	40	36	33	30	28	25	23	20
12	100	94	88	82	78	73	68	63	59	56	52	48	44	42	38	35	32	30	27	25	22
13	100	94	88	82	78	73	68	63	59	57	53	50	46	43	40	37	34	32	29	27	24
14	100	94	89	83	79	74	70	66	62	58	54	51	47	45	41	39	36	34	31	29	26
15	100	94	89	84	80	75	71	67	63	59	55	52	49	46	43	41	37	35	33	31	28
16	100	95	90	84	80	75	72	67	64	60	57	53	50	48	44	42	39	37	34	32	30
17	100	95	90	84	81	76	73	68	65	61	58	54	52	49	46	44	40	39	36	34	31
18	100	95	90	85	81	76	74	69	66	62	59	56	53	50	47	45	42	40	37	35	33
19	100	95	91	85	82	77	74	70	66	63	60	57	54	51	48	46	45	41	39	37	34
20	100	95	91	86	82	78	75	71	67	64	61	58	55	53	49	47	44	43	40	38	36
21	100	95	91	86	83	79	75	71	68	65	62	59	56	54	51	49	46	44	41	39	37
22	100	95	91	87	83	79	76	72	69	65	63	60	57	55	52	50	47	45	42	40	38
23	100	96	91	87	83	80	76	72	69	66	63	61	58	56	53	51	48	46	43	41	39
24	100	96	92	88	84	80	77	73	70	67	64	62	59	56	53	52	49	47	44	42	40
25	100	96	92	88	84	81	77	74	70	68	65	63	59	58	54	52	50	47	45	44	42

**Психрометричний графік для психрометра Ассмана
по визначенню відносної вологості**



Вертикальна лінія – температура «сухого» термометра
Похила (діагональна тонка) лінія – температура «вологого» термометра
Відносна вологість – визначається як точка перетину цих ліній

Експериментальна частина

1. Визначити точку роси, абсолютну вологість повітря гігрометром Лабрехта (або Реньо), методом, описаним в теоретичній частині роботи.
2. Визначити температуру сухого і вологого термометра психрометра Августа і за цими значеннями визначити максимальну вологість за таблицями, тиск атмосферний за барометром.
3. Визначити температури сухого і вологого термометрів психрометра Ассмана, при цьому завівши вентилятор примусової вентиляції. За показами сухої та вологої температури, та за таблицями визначити максимальну вологість повітря, а за барометром – атмосферний тиск.

4. За таблицями визначити відносну вологість повітря для кожного психрометра.
5. Всі значення температур, атмосферного тиску, відносної та абсолютної вологості і максимальної вологості, записують в таблиці.

Гігрометр				Психрометр Августа					
$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$\tau, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм Hg}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$H, \text{мм Hg}$	$P, \text{мм Hg}$	$P_m, \text{мм Hg}$	$B, \%$

Психрометр Ассмана					Середні значення				
$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$H, \text{мм Hg}$	$P, \text{мм Hg}$	$P_m, \text{мм Hg}$	$P_{\text{сер}}$	$t_c, ^\circ\text{C}_{\text{сер}}$	$P_{m_{\text{сер}}}$	$B_{\text{сер}} = (P_{\text{сер}}/P_{m_{\text{сер}}}) \cdot 100\%$	За графіком психрометра Ассмана

Контрольні запитання

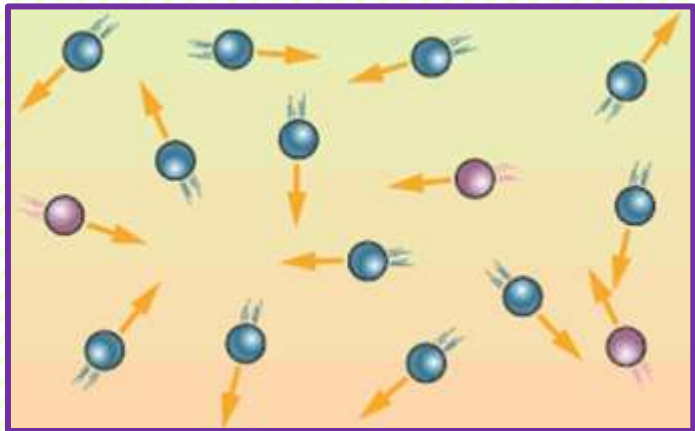
1. Які величини використовуються для чисельної характеристики вологості повітря?
2. Дайте визначення абсолютної вологості.
3. Дайте визначення відносної вологості.
4. Що називається максимальною вологістю?
5. Дайте визначення точки роси.
6. Поясніть принцип роботи сухого та вологого термометрів.
7. Поясніть принцип роботи барометра.
8. Поясніть принцип роботи психрометра.
9. Поясніть принцип роботи гігрометра.

Робота № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ПИТОМИХ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ ГАЗІВ

Мета роботи: навчитись визначати відношення питомих теплоємностей газів методом Клемана і Дезорма.

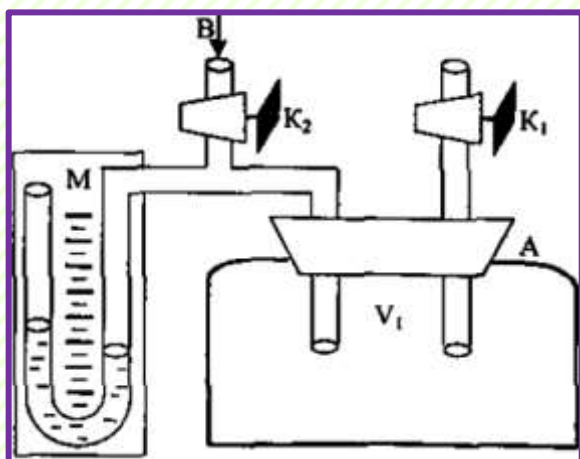
Завдання: визначити не менше 10 значень відношення теплоємностей для газів запропонованим методом в межах тиску від 10 до 25 поділок на шкалі водяного манометра; визначити середнє значення цього відношення.



Теоретична частина

Калориметричним методом теплоємність газів при сталому об'ємі точно не можливо визначити. Тому на практиці визначають дослідним шляхом C_p/C_v , а потім за цими значеннями визначають C .

Прилад для досліду зображено на мал. 1. Він являє собою великий скляний товстостінний балон A з'єднаний з манометром M і насосом B . З атмосферою балон сполучений через кран K_1 .



Мал. 1

Дослід починається з того, що в балон A , наповнений повітрям при атмосферному тиску, накачується повітря до деякого тиску і закривається кран K_2 (кран K_1 , при цьому закритий). Почекавши 2-3 хвилини, протягом яких температура в балоні зрівняється з кімнатною T_1 .

Виділимо в балоні деякий об'єм газу V_1 . Тоді цей стан, а ми його приймемо за перший, буде характеризуватись параметрами P_1, V_1, T_1 або $(P + h_1), V_1, T_1$ (так як $P_1 = P + h_1$). Потім відкривають і по можливості швидко закривають кран K_1 . При відкритому

крані K_1 повітря в балоні адіабатично розширюється в атмосферу. Отже, виділений об'єм повітря в балоні тепер збільшується до значення V_2 і тоді параметри нового стану будуть: P_2, V_2, T_2 , або P, V_2, T_2 (так як $P = P$). Вичікують 2-3 хвилини до встановлення в балоні кімнатної температури, про що свідчить встановлення сталого тиску P_3 (або h_2 на манометрі). Це буде третій стан, якому відповідають параметри: P_3, V_3, T_3 , або $(P + h_2), V_2, T_1$ (так як $P_3 = P + h_2, T_3 = T_1$).

Перший і другий стани являють собою початок і кінець адіабатичного переходу, Тому параметри цих станів можна пов'язати рівнянням Пуассона:

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma = \text{const.}$$

Або, застосувавши до нашого випадку, маємо:

$$(P - h_1) V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma. \quad (1)$$

Перший і третій стани відповідають одній і тій самій масі при однаковій температурі. Тому параметри цих станів можна пов'язати рівнянням Бойля-Маріотта (ізотермічний процес), отже:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ або } (P + h_1) V_1 = (P + h_2) V_2. \quad (2)$$

Якщо виключаючи V_1, V_2 , рівняння (1) і (2) дають рівняння:

$$P + h_1 = P \left(\frac{P + h_1}{P + h_2} \right)^\gamma.$$

Звідки після логарифмування одержимо:

$$\gamma = \frac{\lg(P + h_1) - \lg P}{\lg(P + h_1) - \lg(P + h_2)}.$$

Ця формула може бути робочою для обчислення коефіцієнта Пуассона. Оскільки $P_1(P + h_2), (P + h)$ мало відрізняється один від другого, можна з невеликою похибкою логарифми чисел замінити числами. В такому випадку будемо мати:

$$\gamma = \frac{(P + h_1) - P}{(P + h_1) - (P + h_2)} = \frac{h_1}{h_1 - h_2} = \frac{C_p}{C_v}. \quad (4)$$

Формула (4) і буде робочою формулою для обчислення коефіцієнта Пуассона: $\gamma = C_p/C_v$.

Експериментальна частина

1. Закрити кран K_1 , при цьому кран K_2 відкритий.
2. Грушою накачати повітря в балон, поки стрілка манометра не відхилиться на $2/3$ шкали. Зразу ж закриваємо кран K_2 , Після того як тиск встановиться, робимо перший відлік різниці рівнів в манометрі h_1 .
3. Кран K_1 відкриваємо і як можна швидше закриваємо.
4. Після встановлення тиску в балоні робимо другий відлік різниці тисків манометрі h_2 .
5. Дослід повторюють не менше 10 разів, в кожному випадку змінюючи величину h_1 . Для кожної пари значень h_1 і h_2 за формулою (4) визначають величину відношення питомих теплоємностей газів. Знаходять середнє значення. Дані занести в таблицю 1.
6. Підраховують похибки.

Таблиця 1.

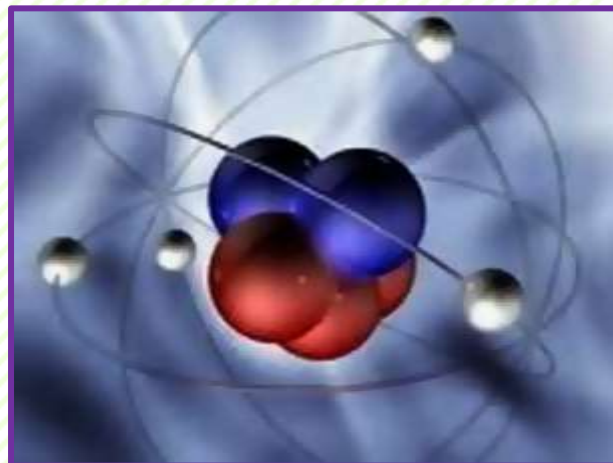
h_1										
h_2										
$\gamma = C_p/C_v$										

Контрольні запитання

1. Що розуміють під теплоємністю газу при постійному тиску?
2. Що розуміють під теплоємністю газу при постійному об'ємі?
3. Який зв'язок між C_p і C_v ?
4. Який процес називають адіабатичним?
5. Який процес називають ізотермічним?
6. Запишіть рівняння Бойля-Маріотта.
7. За якою формулою обчислюється коефіцієнт Пуассона?
8. Чому при адіабатичному процесі (стиску) температура газу підвищується, а при адіабатичному розширенні – знижується?
9. Намалюйте на $(P-V)$ -діаграмі послідовно всі процеси, які відбуваються з газом.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ЗАКОНУ БОЙЛЯ-МАРІОТТА

Мета роботи: дослідити, як буде змінюватися об'єм сталої маси газу (при сталій температурі) якщо змінювати тиск та встановити співвідношення між цими величинами.



Теоретична частина

Основне рівняння ідеального газу має вигляд:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

де p – тиск газу, V – об'єм, R – універсальна газова стала, m – маса, μ – молярна маса, T – температура.

При $m = const$

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{\mu} R = const.$$

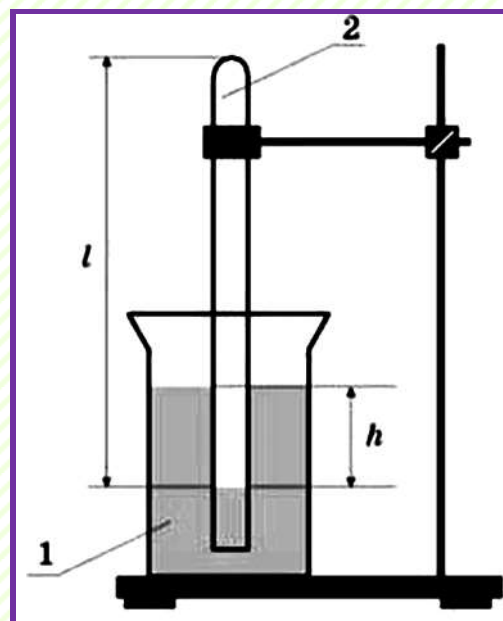
Якщо $T = const, m = const \Rightarrow pV = const$ (1) – закон Бойля-Маріотта.

Перевірити цей закон можна використовуючи установку, показану на мал. 1. Якщо у воду, налиту у високу скляну посудину, опустити відкритим кінцем трубку, то повітря в ній перебуватиме під тиском

$$p = H + \frac{h}{13,6}, [p] = \text{мм.рт.ст.} \quad (2)$$

де H – атмосферний тиск у мм.рт.ст, h – різниця рівнів води в міліметрах у широкій посудині в трубці (мал. 1).

Об'єм повітря в трубці: $V = Sl$,



Мал. 1. 1-посудина з водою, 2-скляна трубка

де l – довжина стовпчика повітря, S – площа внутрішнього поперечного перерізу трубки.

Оскільки площа поперечного перерізу трубки скрізь однакова, то число значення l буде пропорційним значенню V в одиницях об'єму.

Із зміною глибини занурення трубки змінюється об'єм і тиск повітря в трубці.

На *мал.1.* зображено прилад для експериментального вивчення закону Бойля-Маріотта, який складається із скляної трубки l скляної посудини 1 з водою. Один кінець трубки закритий корком або запаяний, а другий відкритий. Ця трубка відкритим кінцем занурена в посудину з водою. У трубці є замкнений стовпчик повітря.

Експериментальна частина

1. Скласти установку, показано на *мал. 1.* Підібрати лінійку для вимірювання відстані від поверхні води до границі вода-повітря всередині трубки та довжини повітряного стовпчика.
2. Занурити трубку на максимальну глибину, виміряти висоту стовпчика повітря в трубці 2 і різницю рівнів води в трубці й посудині h . Глибину занурення трубки встановити, пересуваючи затискач з муфтою вздовж стояка штатива.
Щоб температура повітря в трубці залишалася сталою під час проведення експерименту, вимірювання потрібно проводити через деякий час після зміни положення трубки, коли встановиться теплова рівновага між повітрям у трубці і навколишнім середовищем. Не треба братися руками за трубку, щоб не нагрівати її (H виміряти враховуючи показники барометра).
3. Аналогічний дослід провести ще чотири рази, змінюючи глибину занурення трубки.
4. Результати вимірювань та обчислень H , h , l , p для різних глибин занурення трубки занести в таблицю.
5. По даним таблиці побудувати графік залежності тиску від об'єму $p = f(V)$. Зробити висновки.

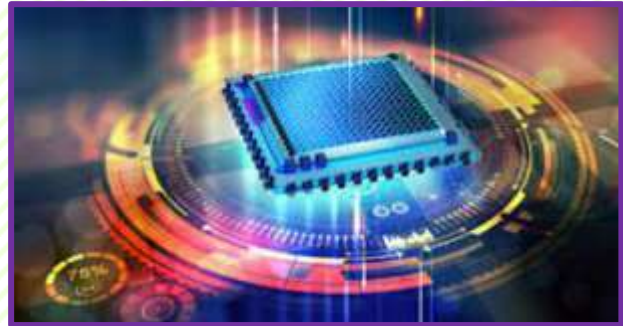
№ з/п	H , мм.рт.ст	h , м	l , м	p , мм.рт.ст	p , Н/м ²	V , м ³	pV , Н·м

Контрольні запитання

1. Дайте означення поняттю «замкнута система».
2. У чому полягає різниця між відкритими та замкнутими системами?
3. Сформулюйте та запишіть закон Бойля-Маріотта.
4. Назвіть газові процеси які Ви знаєте.
5. Чим зумовлений тиск на стінки посудини?
6. Що називають температурою системи, чим вона зумовлена?
7. Чому хаотичний рух молекул називають тепловим?
8. Як і в яких одиницях вимірюється атмосферний тиск?
9. Чому в робочій формулі в знаменнику присутнє число 13,6?

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ НАПІВПРОВІДНИКІВ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

Мета роботи: дослідити, як залежить опір напівпровідників від температури, навчитись користуватися містком типу ММВ.



Теоретична частина

Напівпровідники – це речовини, які за своєю електропровідністю займають проміжне місце між провідниками першого роду і діелектриками. На відміну від металів вони мають від’ємний температурний коефіцієнт опору (в певних температурних інтервалах).

Основною відмінністю напівпровідників від металів є значна залежність їх провідності (опору) від зовнішніх факторів (освітленість, механічні деформації, опромінення рентгенівськими та радіоактивними променями, дія магнітного поля тощо). На величину електропровідності напівпровідників суттєво впливає наявність домішок. Величина питомого опору напівпровідників лежить в межах від 10^{-5} до 10^{-8} Ом·м.

До напівпровідників належать деякі хімічні елементи (кремній, германій, селен, бор, телур), а також окиси (CuO), сульфіди (CdS, PbS, ZnS), телуриди (HgTe, CdTe), фосфіди (GaP, InP, ZnP₂) тощо.

Існують напівпровідники з електронною та дірковою провідністю. У напівпровідниковій техніці використовуються напівпровідники, в яких носіями заряду є електрони хімічного зв’язку (вірніше їх відсутність – дірки) – вони мають *p*-тип провідності і електрони провідності (*n*-тип).

Прилади, дія яких ґрунтується на значній залежності опору напівпровідників від температури, називаються **термісторами** або **термооперами**.

Термістори – об’ємні опори, що виготовляються з напівпровідникових матеріалів. Вони мають від’ємний коефіцієнт опору, який у багато разів

зів перевищує температурний коефіцієнт опору металів. Термістори можуть бути найрізноманітніших розмірів і форми, а також мають різні термічні та електричні властивості, високу механічну міцність.

Залежність опору напівпровідників від температури у значних інтервалах описується виразом:

$$R = Ae^{\Delta E/2kT}, \quad (1)$$

де: A – константа, k – стала Больцмана, E – енергія активації (висота енергетичного бар'єру).

Під енергією активації розуміють енергію, яку необхідно затратити, щоб перевести електрон із зв'язаного стану у вільний.

Зменшення опору з ростом температури пояснюється тим, що при збільшенні температури збільшується число носіїв заряду, тобто збільшується концентрація вільних електронів. Графік залежності опору напівпровідників від температури в координатах $\ln R = f(1/T)$ являє собою пряму лінію, тангенс нахилу якої до осі $1/T$ (вісь Ox) дорівнює:

$$\operatorname{tg}\varphi = \Delta E/2k. \quad (2)$$

Звідси енергія активації визначається як:

$$\Delta E = 2k \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (3)$$

Експериментальна частина

1. Зібрати схему за мал. 1.
2. Виміряти опір напівпровідника мостом ММВ при кімнатній температурі (при вимкненій електроплитці).
3. Ввімкнути електроплитку і через кожних $5-6^\circ\text{C}$ вимірювати опір напівпровідника. Нагрівання вести до $60-70^\circ\text{C}$.
4. За отриманими результатами побудувати графік залежності опору напівпровідника від температури в координатах $\ln R = f(1/T)$.
5. За графіком визначити $\operatorname{tg}\varphi$.
6. За формулою (3) обчислити енергію активації ΔE .
7. Зробити опис приладів.



Мал. 1

Контрольні запитання

1. Що таке напівпровідник?
2. Які речовини належать до напівпровідників?
3. Яка відмінність напівпровідників від металів?
4. Яка відмінність напівпровідників від діелектриків?
5. Що таке – термістор?
6. Які типи провідності є у напівпровідниках?
7. Як виникає діркова та електронна домішкова провідність напівпровідників?
8. Що є найбільш характерним для провідності напівпровідників?
9. Що називається енергією активації?

Робота № 11

ВИМІРЮВАННЯ ОПОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІСТКА УІТСТОНА

Мета роботи: виробити навички вимірювання опорів за допомогою місткових схем.



Теоретична частина

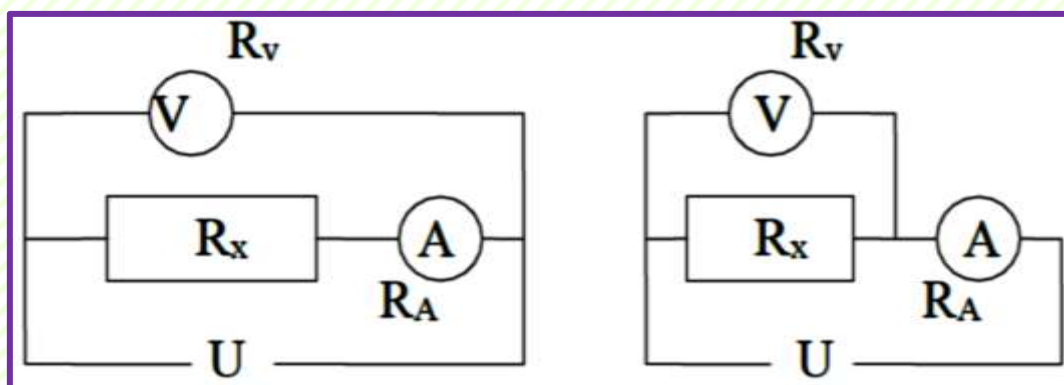
Відомо, що величину опору можна визначити за результатами вимірювання струму і напруги (метод вольтметра і амперметра). Цей метод заснований на безпосередньому використанні закону Ома для ділянки кола. Для цього амперметр і вольтметр вмикають в коло так, як показано на мал. 1, а. Опір провідника визначають за формулою:

$$R_x = (U - IR_A) / I.$$

У випадку ввімкнення амперметра і вольтметра за схемою мал. 1, б, опір визначається за формулою:

$$R_x = (UR_V) / (IR_V - U_V),$$

де: U – напруга, що подається на схему, U_V – покази вольтметра.

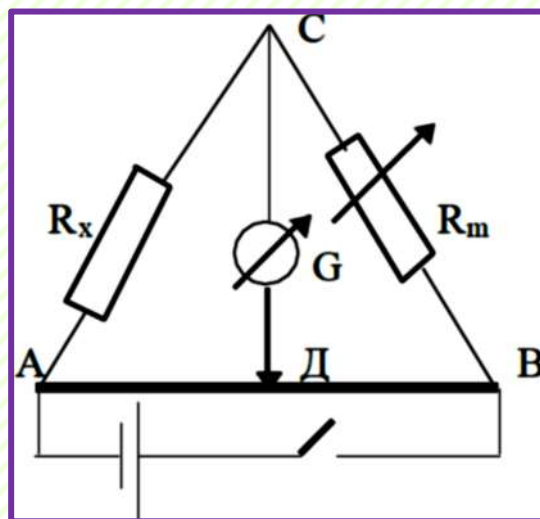


Мал. 1, а

Мал. 1, б

В першому випадку U та U_V співпадають. Цей метод визначення опору вимагає вимірювання струму і напруги. Проте, існують методи визначення опорів, які не вимагають таких вимірів. До них відноситься метод вимірювання опорів за допомогою місткових схем. Цей метод більш точний.

Схема містка Уїтстона показана на мал. 2. Тут AB – реохорд, G – чутливий гальванометр, R_x – опір, який потрібно виміряти, R_m – магазин опорів (відомий опір). Реохорд – це лінійка, на якій натягнута однорідна металева струна з ковзаючим контактом D .



Мал. 2.

Нехай ділянка CD відсутня. При замкненому колі по струні AB піде струм I_2 . Оскільки струна однорідна, то вздовж неї буде спостерігатися рівномірне падіння потенціалу від φ_A в точці A до φ_B в точці B . Через опори R_x і R_m піде струм I_1 . На опорі R_x буде падіння потенціалу від φ_A до φ_C , а на опорі R_m відповідно від φ_C до φ_B . Очевидно, що потенціал точки C буде мати проміжне значення між φ_A та φ_B . Отже, на реохорді AB при замкненому колі завжди можна знайти таку точку D , потенціал якої φ_D буде такий же, як і точки C . Тобто, можна досягти умови $\varphi_C = \varphi_D$. Якщо при такій умові між точками C і D увімкнути гальванометр, то струм через нього не піде, тому що $\varphi_C - \varphi_D = 0$. Рівність потенціалів точок C і D називається рівновагою містка, або в цьому випадку говорять, що міст збалансований. В такому містку струм в точках C і D не розгалужується. Застосовуючи закон Ома для цього випадку, маємо:

$$\varphi_A - \varphi_C = I_1 R_x \quad (1) \qquad \varphi_C - \varphi_B = I_1 R_m \quad (3)$$

$$\varphi_A - \varphi_D = I_2 R_1 \quad (2) \qquad \varphi_D - \varphi_B = I_2 R_2 \quad (4)$$

Але для збалансованого містка:

$$\varphi_A - \varphi_C = \varphi_A - \varphi_D \quad \text{і} \quad \varphi_C - \varphi_B = \varphi_D - \varphi_B \quad (\text{так як } \varphi_C = \varphi_D).$$

Отже,

$$I_1 R_x = I_2 R_1. \quad (5)$$

$$I_1 R_m = I_2 R_2. \quad (6)$$

Поділивши (5) на (6), знайдемо

$$R_x: \quad R_x = (R_m R_1) / R_2. \quad (7)$$

Для однорідного провідника $R = (\rho L) / S$, отже:

$$R_x = (R_m L_1) / L_2 = (R_m L_1) / (L - L_1). \quad (8)$$

Так як опір реохорда малий, то вказаний місток Уїтстона застосовується для вимірювання опорів в межах від 1 Ома до 10^3 Ом.

Потрібно показати, що найбільша точність вимірювань містком Уїтстона досягається при умові $L_1 = L_2$.

Експериментальна частина

1. Зібрати коло за схемою мал. 2.
2. Повзунок реохорда поставити посередині. Підібрати таке значення, якому відповідало б найменше відхилення стрілки гальванометра. Кінцеве балансування моста провести шляхом переміщення повзунка. Знайти R_{x1} .
3. Два наступних вимірювання провести для значень R_m , які відрізняються від першого приблизно на 10%.
4. Аналогічні виміри провести для другого R_{x2} .
5. Виконати вимірювання опорів при паралельному та послідовному включенні R_{x1} і R_{x2} . Порівняти експериментальні результати, одержані при вимірюванні, з теоретичними, підрахувати за формулами послідовного і паралельного з'єднання опорів.
6. Виконати ті самі вимірювання за допомогою заводського моста ММВ.
7. Всі виміри і результати записати в таблицю.
8. Зробити опис приладів, що використовувались в роботі.

Контрольні запитання

1. Які умови рівноваги моста?
2. Намалюйте схему містка Уїтстона.
3. Чи зміниться умова рівноваги містка, якщо джерело струму і гальванометр поміняти місцями? Доведіть своє твердження.
4. Запишіть закон Ома для ділянки кола.
5. Які існують методи визначення опорів, які з них більш точні?
6. Що являє собою магазин опорів?
7. Що таке реохорд?
8. З якою метою опір магазину підбирається таким, щоб повзунок при вимірюванні був посередині реохорда?
9. Яка перевага методу визначення опору містком Уїтстона?

Робота № 12

ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

Прилади: тангенс-бусоль, реостат, амперметр, джерело постійного струму, перемикач, провідники.



Теоретична частина

Магнітне поле Землі в даній точці місцевості визначають три його елементи:

1. Кут схилення магнітної стрілки, тобто кут між напрямками географічно-го і магнітного меридіанів. Він зумовлений тим, що магнітні полюси Землі не співпадають з географічними полюсами і з часом змінюють своє положення. Так, від початку XVII і до початку XX століття магнітний полюс північної пів- кулі віддалився від географічного полюса з 1300 км до 2100 км.
2. Кут нахилення, тобто кут між векторами напруженості магнітного поля Землі даної точки місцевості і горизонтальною площиною. Магнітне поле Землі на екваторі направлене горизонтально, біля магнітних полюсів Землі – вертикально, а в інших місцях – під деяким кутом.
3. Горизонтальна складова напруженості магнітного поля Землі, тобто величина горизонтальної складової проекції вектора магнітної напруженості земного магнетизму даної точки місцевості.

Всі ці елементи магнітного поля Землі зазнають періодичних коливань з добовим і річним ходом, а також вікових коливань. Відхилення в розподілі елементів земного магнетизму на певній ділянці земної повер-

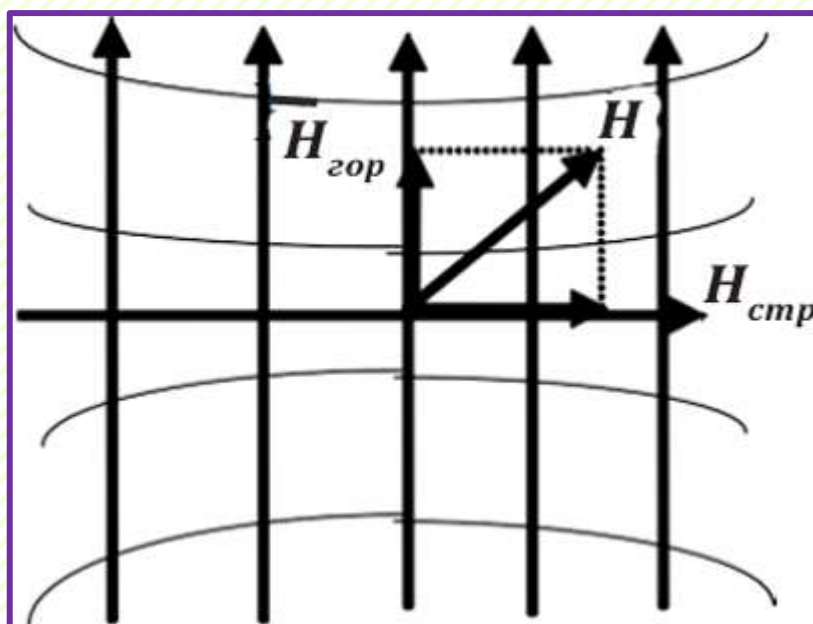
хні від деякого середнього теоретичного розподілу, прийнятого за нормальний, називається магнітною аномалією. Прилади, що служать для вимірювання елементів магнітного поля Землі, називаються магнітометрами. Магнітометр, яким визначають кут схилення, *називається магнітним теодолітом* або *деклінатором*. Магнітометрами, які вимірюють кут нахилення є *інклінатори*. Для визначення горизонтальної складової земного магнетизму використовують магнітометр Гауса, електромагнетометр, а також спеціальний гальванометр – *тангенс-гальванометр*, який іноді називають *тангенс-бусоль*.

Тангенс-бусоль являє собою вертикально встановлену круглу рамку 1, на яку намотані кілька витків ізольованого дроту (мал. 1). У центрі цієї рамки (у центрі витка) поміщені маленька магнітна стрілка 2, яка може вільно обертатись в горизонтальній площині. Досягти горизонтальності стрілки можна за допомогою трьох гвинтів 3 приладу. Для захисту від впливу повітряних течій стрілка закривається скляним ковпаком.

При вимірюванні струму тангенс-бусоллю площину її витків розташовують в площині магнітного меридіану Землі. Вектор горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі в цих умовах направлений перпендикулярно до вектора напруженості магнітного поля струму у витках приладу. Таке розміщення тангенс-бусолі забезпечує їй найбільшу чутливість. При одночасній дії магнітного поля вимірюваного струму $H_{стр}$ і горизонтальної складової напруженості



Мал. 1



Мал. 2

магнітного поля Землі $H_{гор}$ магнітна стрілка тангенс-бусолі відхиляється на деякий кут α , що визначається з мал. 2.

$$\operatorname{tg}\alpha = H_{стр}/H_{гор}. \quad (1)$$

Напруженість магнітного поля в центрі колового струму за законом Біо-Савара-Лапласа в системі СІ:

$$H_{стр} = IN/2r, \quad (2)$$

де: I – сила струму (А); N – число витків колового струму; r – радіус витка колового струму (м).

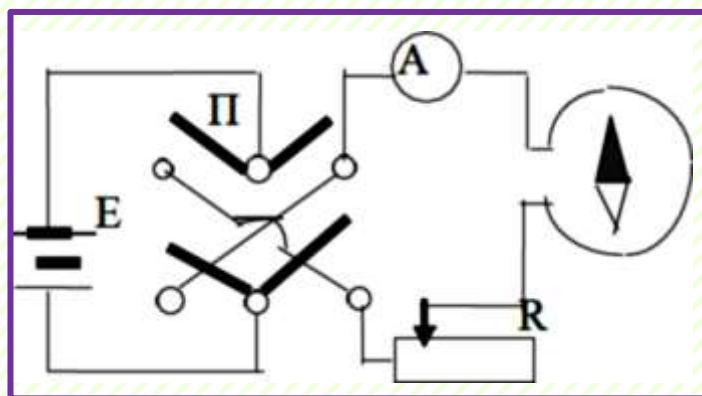
Підставляючи значення $H_{стр}$ з (1) в (2), маємо:

$$H_{гор} = IN/2r \cdot \operatorname{tg}\alpha. \quad (3)$$

За формулою (3) і визначають горизонтальну складову напруженості земного магнетизму.

Експериментальна частина

1. Зібрати схему за мал. 3.
2. За допомогою установчих гвинтів встановити тангенс-бусоль так, щоб площина колового струму збігалась з площиною магнітного меридіану, тобто, щоб магнітна стрілка оберталась строго в горизонтальній площині (в площині колового струму).



Мал. 3

3. Реостатом встановити струм, який задає керівник заняття. Визначити кут відхилення магнітної стрілки, що відповідає даному значенню струму, пропускаючи струм то в одному, то в протилежному напрямку. Зміна напрямку колового струму в тангенс-бусолі викликає відхилення стрілки в різні боки від положення рівноваги. Із відхилень стрілки ліворуч і праворуч беруть середнє значення, чим підвищують точність відліку кута відхилення стрілки.
4. Вимірюють кут α при різних значеннях струму, вказаних керівником занять. Для кожного значення кута α визначають горизонтальну складову магнітного поля Землі.

5. За отриманими результатами обчислюють похибки.

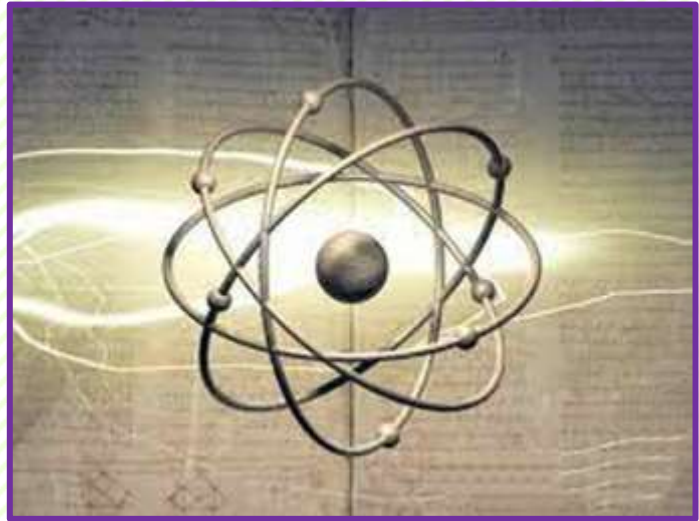
Контрольні запитання

1. *В чому полягає закон Біо-Савара-Лапласа?*
2. *Від яких елементів залежить магнітного поля Землі в даній точці?*
3. *Що таке кут схилення магнітної стрілки?*
4. *Що таке кут нахилення?*
5. *Дайте визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі.*
6. *Як визначається результуюче магнітне поле в довільній точці при наявності кількох джерел магнітних полів?*
7. *В яких одиницях вимірюється напруженість магнітного поля?*
8. *Як визначається одиниця напруженості магнітного поля в СІ?*
9. *Як змінюється горизонтальна складова напруженості магнітного поля Землі при переміщенні від магнітного полюса до екватора?*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ МЕТАЛІВ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

Мета роботи: визначити температурний коефіцієнт опору металу.

Обладнання: досліджуваний провідник, міст типу ММВ, електроплитка, термометр (термопара), провідники.



Теоретична частина

Згідно з класичною теорією провідності Друде-Лоренца частина атомів у металах дисоційована на електрони і позитивні іони, в результаті чого метали завжди мають велику кількість так званих вільних електронів. Ними є валентні електрони атомів металу, які найслабше зв'язані з ядрами атомів. Валентні електрони металів легко переходять від одного атома до іншого, вони становлять ніби спільну власність усіх суміжних атомів. В одновалентних металах на один атом в середньому припадає: один вільний електрон. Вільні електрони, або інакше, електрони провідності, розподілені по всій кристалічній ґратці металу, вузлами якої є позитивні іони. Позитивні іони здійснюють коливання навколо своїх положень рівноваги, а вільні електрони рухаються між ними хаотично, подібно до молекул ідеального газу.

Якщо до металевого провідника прикласти зовнішнє електричне поле, то електрони захоплюються ним і починають переміщатись у напрямку поля (за напрям стуму прийнято напрям, протилежний напрямку руху електронів, тобто від позитивного полюса до негативного). При своєму русі електрони зазнають безперервних зіткнень з вузлами ґратки – іонами і передають їм свою енергію. В результаті відбувається перетворення енергії електронів у джоулеве тепло. Цими зіткненнями і зумовле-

ний головним чином опір провідника струмові, що протікає по ньому. З підвищенням температури інтенсивність коливного руху іонів ґратки зростає, зіткнення вільних електронів з іонами частішають і опір металу збільшується.

Залежність опору провідника від температури можна знайти за формулою:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \dots),$$

де R_0 – опір провідника при 0°C , α_1, α_2 температурні коефіцієнти опору, які залежать від матеріалу провідника.

В межах температур від 0°C до 100°C коефіцієнти α_2, α_3 настільки малі, що ними нехтують і залежність опору від температури вважається лінійною.

Для вищих температур ці коефіцієнти стають значними і залежність $R_t = f(t)$ відхиляється від лінійної. Для високих температур її знаходять дослідним шляхом.

Вважаючи, що досліджуваному діапазоні температур залежність є лінійною можна записати:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad \alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}. \quad (1)$$

Отже, температурний коефіцієнт опору рівний відносній зміні опору провідника при підвищенні температури на 1°C .

Оскільки R_0 нам не відоме то α можна знайти зробивши два виміри:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1), \quad R_2 = R_0(1 + \alpha t_2).$$

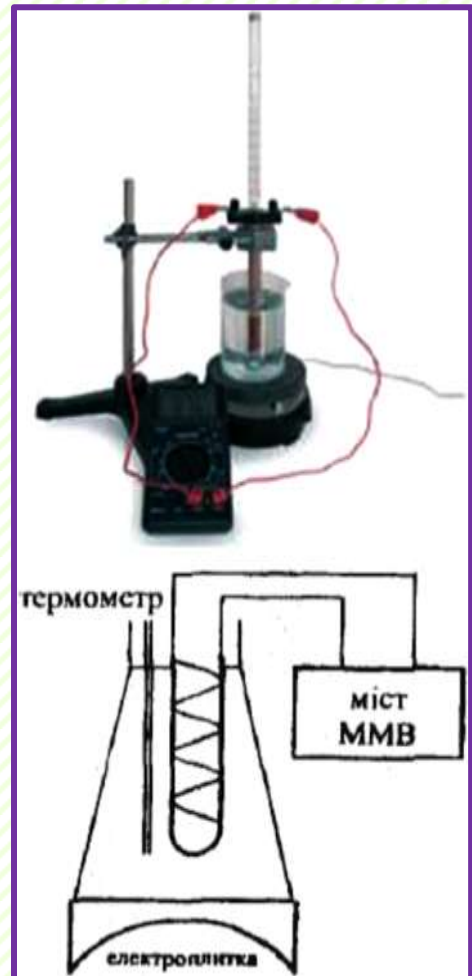
Розв'язавши дану систему рівнянь отримуємо:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{t_2 R_1 - t_1 R_2}. \quad (2)$$

Опір всіх металів зростає з підвищенням температури, значить $\alpha > 0$. Для всіх чистих металів коефіцієнт опору близький до $1/273 = 0,00367$, тобто до величини температурного розширення газів. Варто зауважити, що деякі сплави (наприклад, константан, манганін) мають дуже мале значення α . Тому їх застосовують для виготовлення еталонних опорів.

Експериментальна частина

1. Зібрати схему за мал. 1.
2. Виміряти опір провідника мостом типу ММВ при вимкненій плитці (при кімнатній температурі).
3. Ввімкнути електроплитку і через кожних 10°C вимірювати опір провідника. Довести температуру нагрівання до 60°C .
4. Побудувати графік залежності опору провідника від температури за отриманими результатами.
5. Визначити α за графіком та за формулою (2) і порівняти між собою.



Мал. 1

Контрольні запитання

1. Яка природа струму в металах?
2. В чому полягає причина опору в металах?
3. Яка залежність опору від температури в металах і чим пояснюється така залежність?
4. Поясніть призначення елементів схеми.
5. Як за квантовою теорією розподілені електрони провідності в металах по енергіях при $T = 0\text{K}$?
6. Як змінюється цей розподіл електронів провідності при підвищенні температури?
7. В чому полягає відмінність металів від діелектриків за зонною теорією?
8. Які досліді допомогли пояснити природу електропровідності металів?
9. Які гіпотези лягли в основу класичної теорії провідності металів?

ЗНЯТТЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДІОДА

Мета роботи: вивчення напівпровідників та їх властивостей; застосування напівпровідникових діодів.



Теоретична частина

Усі речовини за їх електропровідними властивостями поділяються на три групи: провідники, ізолятори та напівпровідники.

Провідники – це речовини які добре проводять електричний струм (метали та їх сплави).

Ізолятори (або діелектрики) – це речовини які не проводять електричний струм (мінерали, неорганічні аморфні тіла, синтетичні сполуки, полімери тощо).

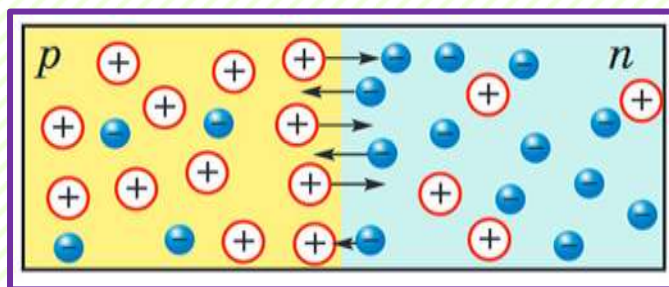
Напівпровідники – це речовини які займають проміжне місце між провідниками та діелектриками (деякі хімічні елементи, окиси металів, хімічні сполуки). В напівпровідниках можливі два механізми електропровідності: електронний, що здійснюється рухом електронів провідності, що звільнились від хімічних зв'язків і дірковий, обумовлений рухом дірок (вакансій хімічних зв'язків).

Напівпровідники, електропровідність яких зумовлена надлишковими електронами, називаються електронними або напівпровідниками n -типу.

Напівпровідники, електропровідність яких викликана наявністю дірок, називаються дірковими або напівпровідниками p -типу.

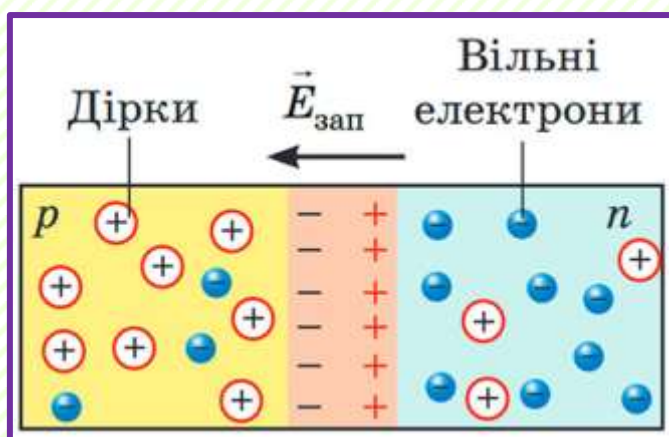
Розглянемо напівпровідник, що складається з двох частин, одна з яких має провідність n -типу, а друга – p -типу (мал. 1). У p -області основними носіями є дірки, а в n -області – електрони. І n - і p -області до утворення контакту між ними були, в цілому, електронейтральними. При

утворенні контакту внаслідок дифузії та взаємного електричного притягання певна кількість вільних електронів з n -області перейде в p -область, де є незайняті валентні рівні (дірки). Електрони займуть частину цих рівнів поблизу контакту. Дірки, в свою чергу, дифундуватимуть з p -області в n -область, де будуть рекомбінувати з вільними електронами. Завдяки цим процесам концентрація вільних електронів і дірок поблизу контакту значно зменшиться.



Мал. 1

Поряд з цим, n -область поблизу контакту зарядиться позитивно, тому що: по-перше, вона втратила частину своїх вільних електронів; а по-друге, до неї перейшла частина дірок з p -області. Аналогічно, p -область поблизу контакту зарядиться негативно.

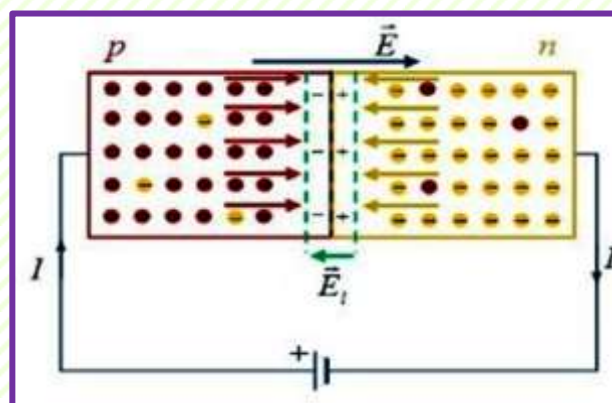


Мал. 2

Електричне поле, що виникне при цьому, перешкоджатиме подальшій дифузії носіїв заряду. В області контакту встановиться динамічна рівновага.

Таким чином, на межі контакту n - і p -напівпровідників виникає p - n -перехід (мал. 2), який має великий опір, тому що він є збідненим на носії заряду. Шар, що перешкоджає дифузії носіїв заряду, називається запираючим шаром. Його товщина залежить від концентрації носіїв заряду в областях напівпровідника.

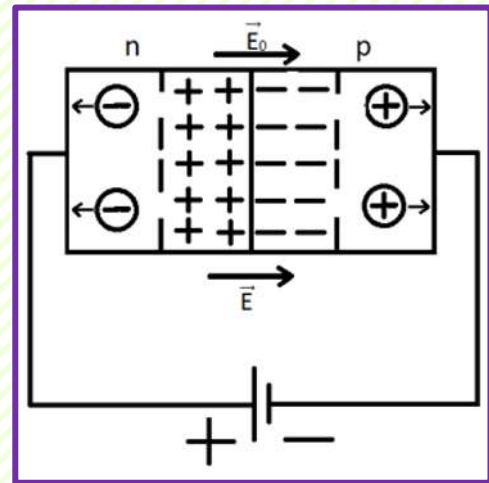
Якщо до p - n -переходу прикласти різницю потенціалів у такому напрямі, як показано на мал. 3, тобто до p -області подати позитивний потенціал, а до n -області негативний, то під дією зовнішнього



Мал. 3

поля вільні носії заряду рухатимуться до p - n -переходу; концентрація їх на переході зросте і через напівпровідник піде значний струм.

Якщо ж різницю потенціалів прикласти в протилежному напрямі, то ширина p - n -переходу зросте, тому що носії заряду будуть відходити від контактної області (мал. 4). У цьому випадку опір переходу буде великим, а струм у колі – незначним.



Мал. 4

Напряг, в якому p - n -перехід пропускає струм, називається прямим або напрямом провідності.

Протилежний напрям називають зворотнім або заперним.

Таким чином, прилади, в яких спорено p - n -перехід, пропускають струм лише у прямому напрямі. У зворотному напрямі струм дуже малий. Такі прилади називають діодами і вони використовуються для випрямлення струмів в електро- і радіотехніці. Промисловість випускає, в основному, кремнієві і германієві точкові та площинні діоди.

Для діодів введені позначення, які складаються з букв і цифр (наприклад Д7Ж): Д – означає тип приладу – діод; 7 – показує тип приладу та його застосування; Ж – різновидність приладу.

Найважливіші параметри діодів такі:

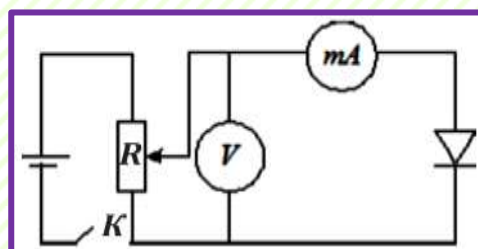
1. Найбільше значення зворотної напруги $U_{зв}$, яка може бути прикладена до діода у зворотному напрямі.
2. Прямий струм $I_{пр}$ – величина максимального струму через діод при прямому ввімкненні.
3. Найбільше значення зворотного струму $I_{зв. макс}$ величина струму через діод у зворотному напрямі (коли до нього прикладена зворотну напругу).
4. Пробивна напруга $U_{проб}$ – напруга на діоді, при якій відношення зміни напруги до зміни струму дорівнює нулю. Перевищення цього значення приводить до різкого збільшення зворотного струму і руйнування діода.

5. Найбільша амплітуда струму при перехідних процесах $I_{перехід. макс}$ – найбільше значення амплітуди струму через діод, яка не спричиняє його пошкодження протягом 1 секунди.
6. Найбільша амплітуда випрямленого струму $I_{випр. макс}$ – найбільше значення амплітуди струму через діод.
7. Прохідна ємність $C_{пр}$ – статична ємність між електродами діода.

Основною характеристикою діода є вольт-амперна характеристика, яка показує залежність величини струму, що проходить через діод, від величини прикладеної напруги.

Експериментальна частина

1. Скласти коло за схемою мал. 5.
2. Повзунок реостата поставити в положення мінімальної напруги
3. Визначити прямий і зворотній напрями вмикання діода і порівняти ці напруги з умовним позначенням на корпусі. Ввімкнути діод у схему в прямому напрямку.



Мал. 5

4. Замкнути ключ K і, змінюючи опір реостатом, зняти покази міліамперметра і вольтметра. Таких вимірів роблять 10-15.
5. Ввімкнути діод у зворотному напрямку. Змінюючи опір реостата, знову зняти покази міліамперметра і вольтметра (таких значень буде 4-5).
6. За отриманими даними побудувати графік залежності струму від напруги, тобто вольт-амперну характеристику діода.
7. Визначити коефіцієнт випрямлення за формулою.
8. Значення прямого і зворотного струмів беруться для однакових значень величин прямої і зворотної напруги.

Контрольні запитання

1. *Які речовини називають провідниками?*
2. *Які речовини називають ізоляторами?*
3. *Які речовини називають напівпровідниками?*
4. *Як проводять електричний струм напівпровідники?*
5. *Які фактори впливають на власну провідність напівпровідників?*
6. *Поясніть механізм електронної провідності напівпровідника.*
7. *Поясніть механізм діркової провідності напівпровідника?*
8. *Ще таке вольт-амперна характеристика діода?*
9. *Які конструктивні особливості точкових і площинних діодів?*

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атаманчук П.С., Поведа Т.П., Семерня О.М. Дидактичне забезпечення семінарських занять з курсу «Методика навчання фізики» (загальні питання). 2-ге вид., допов. і перероб.). Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2012. 395 с.
2. Атаманчук П.С., Ляшенко О.І., Мендерецький В.В., Ніколаєв О.М. Методика і техніка навчального фізичного експерименту в основній школі: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Кам'янець-Подільський: К-ПНУ, 2010, 292 с.
3. Атаманчук П.С., Криськов А.А., Мендерецький В.В. Збірник задач з фізики / за ред. П.С. Атаманчука. Київ: Школяр, 1996. 304 с.
4. Білий М.С. Методика викладання фізики в 7 і 8 класах. Київ: Рад. школа. 1971. 256 с.
5. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ: Вища школа, 1987, 431 с.
6. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальна фізика. Електрика і магнетизм. Київ: Вища школа, 1990. 387 с.
7. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
8. Заболотний В.Ф. Методика навчання фізики (загальні питання в схемах і таблицях з мультимедійними додатками). Вінниця: Едельвейс і К, 2009. 112 с.
9. Іваницький О. І. Сучасні технології навчання фізики в середній школі: монографія. Запоріжжя: Прем'єр, 2001. 266 с.
10. Луканець В.І. Збірник запитань і задач з фізики: навчальний посібник для учнів базової школи. Київ: Просвіт. 2015. 191 с.
11. Уроки фізики. 7-9 клас. Посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів / Бузько В.Л., Величко С.П., Сірик Е.П. Кіровоград: ПП «Ексклюзив-Систем», 2015. 212 с.
12. Божинова Ф.Я., Кирюхін М.М., Кирюхіна Є.А. Фізика. 7 кл.: [підручник]. Харків: Ранок, 2018. 192 с.
13. Божинова Ф.Я., Ненашев І.Ю., Кирюхін М.М. Фізика. 8 кл.: [підручник]. Харків: Ранок, 2018. 256 с.
14. Божинова Ф.Я., Кирюхін М.М., Кирюхіна О.О. Фізика. 9 кл.: [підручн. для загальноосвітн. навч. закладів]. Харків: Ранок, 2018. 224 с.
15. Рачковський О.М., Криськов Ц.А., Люба Т.С. Модульні лабораторні роботи з курсу загальної фізики, розділи: «Механіка», «Молекулярна фізика і термодинаміка», «Електрика і магнетизм». Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2018. 69 с.
16. Шарко В.Д. Сучасний урок фізики. Херсон: Вид-во ХДУ, 2010. 350 с.

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

Навчальне електронне видання

ПАНЧУК Олег Петрович

*кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики
Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка*

ФІЗИКА

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою Комп'ютерні науки та інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки галузі знань 12 Інформаційні системи

Електронне видання

Підписано 13.06.2023. Гарнітура «Cambria».
Об'єм даних 5,2 Мб. Обл.-вид. арк. 5,7. Зам. № 1042.

Видавець і виготовлювач Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300

Свідоцтво про внесення до державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 3382 від 05.02.2009 р.