

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Кафедра теоретичної і експериментальної фізики

Яблонь Л.С.

Загальна фізика

методичні рекомендації

для студентів напряму підготовки «*Комп'ютерна інженерія*»

Івано-Франківськ - 2016

Яблонь Л.С. Загальна фізика. Методичні рекомендації для напряму підготовки «Комп'ютерна інженерія». – Івано-Франківськ, 2016. – 150 с.

У пропонованому посібнику подано програму курсу, питання, що виносяться на самостійне опрацювання та колоквиуми, основні формули зі всіх розділів загального курсу фізики, методичні вказівки до розв'язування задач та перелік задач для самостійних і контрольних робіт, які студент напряму підготовки «Комп'ютерна інженерія» повинен виконати протягом семестру, вивчаючи курс фізики.

Рецензенти: д.т.н., проф. Новосядлий С.П.,
к.ф.-м.н., доц. Гасюк І.М.

Рекомендовано Вченою радою фізико-технічного факультету Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (протокол №1 від 8 вересня 2016 р.).

ПЕРЕДМОВА

Процес пізнання у фізиці починається із спостереження явищ у природних умовах або в спеціально поставлених експериментах. У результаті узагальнення даних спостережень будується наукове припущення про механізм явища, тобто створюється гіпотеза. Якщо гіпотеза при логічному її розвитку приводить до наслідків, які підтверджуються дослідями, вона стає науковою теорією. Математичний апарат є необхідним атрибутом для побудови теорій. При вивченні загального курсу фізики студентами спеціальності «Комп'ютерна інженерія» закладаються основи для вивчення ними загальнотехнічних і спеціальних дисциплін.

Для вивчення теоретичного курсу фізики необхідно керуватися навчальною програмою, наведеною в даному посібнику. При цьому слід пам'ятати, що обсягу інформації, викладеного під час лекційних занять, недостатньо для отримання належного обсягу знань. Передбачено, що частину знань студент отримує за рахунок самостійної роботи з підручниками, рекомендованими викладачами навчального закладу. Перелік цих підручників наведений у кінці даного посібника. Лекційні ж заняття покликані окреслити основне коло понять, явищ та законів, які необхідно вивчити в межах даної дисципліни, і дати основні напрямки для самостійної роботи.

Для отримання навичок практичних розрахунків передбачено розв'язування задач на практичних заняттях та самостійно у кількості, достатній для закріплення теоретичних знань у межах усієї навчальної програми з фізики.

ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНИХ ФОРМ РОБОТИ,

*які повинен виконати студент спеціальності «Комп'ютерна інженерія»
для засвоєння курсу «Фізика»*

Для засвоєння теоретичного матеріалу та набуття практичних навичок з курсу «Фізика» студент протягом семестру повинен виконати наступний обсяг роботи:

1. Опрацювати і засвоїти теоретичний матеріал курсу.
2. Вміти застосувати набуті теоретичні знання на практиці при розв'язуванні задач та виконанні лабораторних робіт.
3. Здати 6 колоквиумів.
4. Здати 6 контрольних робіт.

Форма контролю – екзамен, залік.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

знати

- усі важливі поняття фізики;
- методи обчислення основних величин та їх похибок;
- основні закони за всіма темами та розділами;
- методи розв'язування типових і нестандартних завдань.

вміти

- застосовувати методи розв'язування завдань;
- використовувати апарат дослідження основних законів фізики;
- застосовувати методи подання і аналізу експериментальних даних та інформації при розв'язанні практичних завдань;
- використовувати отримані результати для обґрунтування отриманих розв'язків;
- використовувати отримані знання на практиці при виконанні лабораторних робіт.

НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА

Механіка

Кінематика. Механічний рух. Способи задання механічного руху. Швидкість матеріальної точки. Прискорення матеріальної точки. Нормальне та тангенціальне прискорення. Рівномірний прямолінійний рух. Переміщення, швидкість. Рівнозмінний рух. Переміщення, швидкість, прискорення. Завдання динаміки. Перший закон Ньютона. Інерціальні системи відліку. Поняття про силу. Маса тіла. Сили в природі.

Поняття про загальну теорію відносності. Сили інерції. Закони Ньютона в неінерціальних системах відліку. Сили інерції в системі що рухається прямолінійно. Відцентрова сила інерції. Сила Коріоліса.

Динаміка матеріальної точки. Другий закон Ньютона. Імпульс. Рівняння руху матеріальної точки. Третій закон Ньютона. Центр мас. Закон руху центра маси. Закон збереження імпульсу. Поступальний та обертальний рух. Період, частота обертання. Кутове прискорення. Умова рівноваги тіла. Момент сили.

Робота та енергія. Механічна робота і потужність. Кінетична енергія механічної системи. Потенціальна енергія в зовнішньому силовому полі та полі пружних сил.

Закон збереження енергії. Застосування законів збереження для центрального удару тіл. Випадок абсолютно пружного удару. Застосування законів збереження для центрального удару тіл. Випадок абсолютно непружного удару.

Динаміка обертального руху твердого тіла. Основне завдання динаміки обертального руху. Момент імпульсу. Закон збереження моменту імпульсу. Кінетична енергія обертального руху. Гіроскоп. Гіроскопічний ефект. Його застосування.

Механіка рідин і газів. Рідини і гази. Тиск у рідинах і газах. Течія рідини. Рівняння неперервності. Рівняння Бернуллі. Підймальна сила в потоці рідини і газу. Рух в'язкої рідини. Формула Пуазейля.

Коливання і хвилі. Гармонічні коливання пружинного маятника. Гармонічні коливання математичного маятника. Фізичний маятник. Період коливань. Енергія коливального руху. Додавання гармонічних коливань. Биття. Фігури Ліссажу. Згасаючі коливання. Логарифмічний декремент згасання. Добротність. Вимушені коливання. Резонанс. Механічні хвилі. Довжина хвилі. Рівняння біжучої хвилі. Енергія хвилі. Вектор Умова-Пойтінга. Рівняння стоячої хвилі. Звукова хвиля. Інфразвук. Ультразвук. Ефект Доплера в акустиці.

Молекулярна фізика і термодинаміка

Молекулярна фізика. Уявлення про молекулярну будову речовини. Статичний і термодинамічний методи. Ідеальний газ. Закони ідеального газу. Закон Менделєєва-Клапейрона. Основне рівняння МКТ газів. Наслідки з основного рівняння МКТ газів. Розподіл енергії молекули за ступенями вільності. Розподіл молекул газу за швидкостями. Дослід Штерна. Барометрична формула. Розподіл Больцмана.

Середня довжина вільного пробігу молекул. Середнє число зіткнень молекул. Дифузія в газах. Закон Фіка. Теплопровідність газу. Закон Фур'є. Внутрішнє тертя в газах. Закон Ньютона.

Основи термодинаміки. Внутрішня енергія. Робота. Перший закон термодинаміки. Внутрішня енергія і теплоємність ідеального газу. Адіабатний процес. Рівняння Пуасона. Політропний процес. Робота газу при ізопроцесах. Оборотної і необоротної процеси. Мікро і макро стани. Статистична вага. Ентропія. Другий закон термодинаміки. Ентропія ідеального газу. ККД теплової машини. Цикл Карно.

Сили міжмолекулярної взаємодії в газах. Відхилення від законів ідеального газу. Рівняння Ван-дер-Ваальса для реального газу. Критичний стан речовини. Внутрішня енергія реального газу. Ефект Джоуля-Томсона.

Властивості рідин. Поверхневий натяг. Капілярні явища. Тиск Лапласа. Кристалічні й аморфні тіла. Кристалічні ґратки. Рідкі кристали. Сили зв'язку в твердих кристалічних тілах. Теплоємність твердих тіл. Плавлення і тверднення кристалічних і аморфних тіл. Діаграми стану. Потрійна точка.

Основи електродинаміки

Електростатика. Електризація тіл. Закон збереження електричного заряду. Взаємодія зарядів. Закон Кулона. Електростатичне поле, напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції.

Електростатичне поле. Теорема Остроградського – Гауса для поля у вакуумі. Робота сил електростатичного поля. Потенціальний характер електростатичного поля. Потенціал та різниця потенціалів електростатичного поля. Зв'язок між потенціалом і напруженістю електростатичного поля. Еквіпотенціальні поверхні.

Потенціал електростатичного поля точкового заряду, системи зарядів, сфери. Розподіл електричних зарядів на провіднику. Напруженість поля біля поверхні провідника. Залежність поверхневої густини заряду від кривизни поверхні.

Провідники і діелектрики. Електроємність провідника. Конденсатори. З'єднання конденсаторів. Енергія конденсатора. Електроємність плоского і сферичного конденсаторів.

Вільні зв'язані заряди. Полярні і неполярні молекули. Поляризація діелектриків. Вектор електричного зміщення. Теорема Остроградського – Гауса для поля в діелектрику. П'єзоелектричний ефект. П'єзоелектрика.

Постійний електричний струм. Енергія і густина енергії електростатичного поля. Магнітна, тепла хімічна і біологічна дія струму. Величина струму. Густина струму. Закон Ома для ділянки кола в інтегральній і диференціальній формі. Сторонні сили. ЕРС. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола і повного кола. Розгалуження кола. Правила Кірхгофа та їх застосування. Робота і потужність постійного струму. Закон Джоуля-Ленца.

Електричний струм в металах. Докази електронної провідності металів. Електронна теорія провідності металів. Виведення закону Ома.

Напівпровідники. Власна провідність напівпровідників. Домішкова провідність напівпровідників її залежність від температури.

p-n перехід. Напівпровідниковий діод і транзистор.

Робота виходу електрона з металу. Контактна різниця потенціалів. Термо ЕРС. Ефект Пельтьє . Ефект Томсона.

Електричний струм у вакуумі. Термоелектронна емісія. Іонізація газів. Самостійний і несамостійний газовий розряд. Основні види газових розрядів та їх застосування. Поняття про плазму. Електрична дисоціація. Електроліз. Закони електролізу. Хімічні джерела струму. Гальванічні елементи. Акумулятор.

Магнітне поле. Характеристики магнітного поля. Дія магнітного поля на електричний струм. Сила Ампера. Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітне поле прямолінійного провідника. Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітне поле колового струму. Взаємодія двох паралельних прямих струмів. Одиниця сили струму.

Магнітне поле рухомого заряду. Закон повного струму. Вихровий характер магнітного поля. Магнітне поле соленоїда. Дія магнітного поля на рухомі заряди. Сила Лоренца. Ефект Холла. Контур зі струмом у магнітному полі. Магнітний момент струму. Робота при переміщенні провідника в магнітному полі. Магнітний потік.

Магнітне поле у речовині, вектор намагніченості, магнітна проникність, магнітна сприйнятливість. Слабко намагнічувані магнетики. Діамагнетики. Парамагнетики. Феромагнетики. Доменна структура магнетиків. Магнітний гістерезис.

Явище електромагнітної індукції. Досліди Фарадея. Закон електромагнітної індукції. Правило Ленца. Самоіндукція. Взаємоіндукція. Індуктивність. Енергія магнітного поля струму. Густина енергії магнітного поля

Змінний струм. Отримання змінного струму. Діюче значення змінного струму. Активний опір, ємність та індуктивність у колі змінного струму. Закон Ома для кола змінного струму. Робота і потужність змінного струму. Фізичний принцип роботи трансформатора. Поняття про трифазний струм.

Вільні електромагнітні коливання в коливальному контурі. Аналогія з механічними коливаннями. Формула Томсона. Згасаючі електромагнітні коливання. Логарифмічний декремент затухання. Добротність. Вимушені коливання. Резонанс.

Електромагнітне поле. Струм зміщення. Система рівнянь Максвелла для електромагнітного поля та їх фізичний зміст. Електромагнітні хвилі, їх властивості. Застосування електромагнітних хвиль. Шкала електромагнітних хвиль.

Оптика

Основні властивості світла. Фотометрія. Хвильові та квантові уявлення про природу світла. Основні енергетичні і світлові величини та одиниці їх вимірювання. Джерела світла. Приймачі оптичного випромінювання.

Геометрична оптика. Закони відбивання і заломлення світла. Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах. Лінза. Формула лінзи. Побудова зображень в лінзі. Система із двох лінз. Аберації оптичних систем. Око. Оптичні прилади.

Інтерференція світла. Когерентні світлові хвилі. Оптична різниця ходу. Інтерференція від двох когерентних джерел та способи її здійснення. Інтерференція в тонких плівках і пластинках. Кільця Ньютона. Застосування інтерференції в науці і техніці. Інтерферометри.

Дифракція світла. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракція Фраунгофера на одній, двох та багатьох щілинах. Дифракційна решітка. Дифракційний спектр.

Поляризація світла. Поперечність світлових коливань. Природне і поляризоване світло. Поляризаційні пристрої. Аналіз лінійно поляризованого світла. Закон Малюса. Еліптична і колова поляризація. Застосування поляризації.

Дисперсія і поглинання світла. Нормальна і аномальна дисперсія світла. Елементи класичної теорії дисперсії. Поняття про квантову теорію дисперсії. Оптичні коливання кристалічної ґратки. Співвідношення Крамерса-Кроніґа. Дисперсія в металах. Поглинання (абсорбція) світла.

Теплове випромінювання. Випромінювальна і поглинальна здатності тіл. Закон Кірхгофа. Абсолютно чорне тіло. Формули Віна, Релея-Джинса і Планка. Ідея про кванти.

Зовнішній фотоефект. Закони фотоефекту. Рівняння Ейнштейна для фотоефекту. Фотон. Маса, енергія і імпульс фотона. Фотоефект на металах, в напівпровідниках і діелектриках. Фотоелементи та їх застосування.

Оптичні квантові генератори (лазери). Спонтанне і вимушене випромінювання. Поглинання. Основні принципи роботи лазера. Різні типи лазерів. Застосування лазерів.

Атомна і ядерна фізика

Будова атома. Моделі атома Томсона і Резерфорда. Спектральні закономірності атома водню. Постулати Бора. Досліди Франка і Герца. Спектр атома водню за Бором.

Основні поняття квантової механіки. Корпускулярно-хвильовий дуалізм властивостей речовини. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Хвильова функція і її властивості. Рівняння Шредінґера для стаціонарних станів. Рух вільної частинки. Проходження частинки через потенціальний бар'єр. Тунельний ефект.

Квантова фізика атомів і молекул. Атом водню у квантовій механіці. Квантові числа. Спін електрона. Ферміони і бозони. Принцип Паулі. Будова багатоелектронних атомів. Періодична система елементів Д.І. Менделєєва.

Елементи фізики твердого тіла. Метали, діелектрики і напівпровідники. Власна провідність напівпровідників. Домішкова провідність напівпровідників. Фотопровідність напівпровідників. Люмінесценція твердих тіл. Р-n-перехід. Напівпровідникові діоди і тріоди (транзистори).

Будова і властивості атомного ядра. Будова ядра. Ядерні сили. Дефект маси і енергія зв'язку. Зв'язок між масою і енергією. Спін ядра і його магнітний момент. Моделі атомного ядра.

Радіоактивне випромінювання і його види. Енергія розпаду і синтезу ядер. Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду. Правила зміщення. Альфа-, бета-, гама-випромінювання.

Термоядерні реакції. Енергія зірок. Керований термоядерний синтез. Проблема утилізації відходів.

КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ДО ВСІХ РОЗДІЛІВ ФІЗИКИ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

РОЗДІЛ I МЕХАНІКА

1.1. Кінематика

Основні формули

1. При русі матеріальної точки її радіус-вектор і координати змінюються і є функціями від часу:

$$\vec{r} = \vec{r}(t), \quad x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t), \quad s = s(t).$$

2. Швидкість прямолінійного руху в загальному вигляді:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

Проекції швидкості на координатні осі:

$$v_x = \frac{dx}{dt}; \quad v_y = \frac{dy}{dt}; \quad v_z = \frac{dz}{dt}.$$

Модуль швидкості:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}.$$

3. Прискорення у загальному вигляді:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}.$$

Проекції прискорення на осі координат:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}; \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}; \quad a_z = \frac{dv_z}{dt}.$$

Модуль прискорення:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

4. У випадку прямолінійного рівномірного руху:

$$v_x = \frac{s_x}{t} = \text{const}, \quad a = 0.$$

5. У випадку прямолінійного рівнозмінного руху:

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad v_x = v_{0x} + a_x t, \quad a_x = \text{const}.$$

У цих рівняннях прискорення a_x додатне при рівноприскореному русі і від'ємне при рівносповільненому.

6. При криволінійному русі повне прискорення дорівнює

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

Модуль нормальної складової прискорення:

$$a_n = \frac{v^2}{R}.$$

Модуль тангенціальної складової прискорення:

$$a_{\tau} = \left| \frac{dv}{dt} \right|.$$

7. Кінематичне рівняння рівномірного обертового руху:

$$\varphi = \varphi(t) = \omega t.$$

8. При обертовому русі у загальному випадку кутова швидкість:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

9. Кутове прискорення:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

10. При рівномірному обертальному русі ($\omega = const$) виконується співвідношення:

$$\varphi = \omega t.$$

11. Формули рівнозмінного обертального руху тіла навколо нерухомої осі ($\varepsilon = const$):

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t, \quad \varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}.$$

12. Зв'язок між кутовою швидкістю і частотою, періодом:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

13. Зв'язок між частотою, кутом повороту і кількістю обертів:

$$N = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \nu t.$$

14. Довжина дуги кола:

$$l = \varphi R.$$

15. Зв'язок між лінійною і кутовою швидкостями:

$$v = R\omega.$$

16. Тангенціальне і нормальне прискорення:

$$a_{\tau} = \varepsilon R; \quad a_n = \omega^2 R.$$

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Розв'язування задач з кінематики матеріальної точки ґрунтується на застосуванні закону руху до тієї чи іншої конкретної умови:

$$\vec{r} = \vec{r}(t), \quad x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t), \quad s = s(t).$$

У випадку рівномірного прямолінійного руху закон руху точки в інерціальних системах відліку виражається формулою

$$\Delta\vec{r} = \vec{v}t.$$

Так як при цьому модуль вектора переміщення $\Delta\vec{r}$ точки дорівнює переміщенню s , то даній формулі відповідає скалярне рівняння

$$s = vt.$$

За допомогою цього рівняння і заданих додаткових умов завжди можна представити задачу про рівномірний прямолінійний рух у вигляді декількох

простих рівнянь. Щоб правильно їх скласти, можна дотримуватись наступного порядку дій:

- прочитавши умову задачі, слід виконати схематичний малюнок, на якому потрібно відмітити систему відліку і траєкторію руху точки;
- вказати задані і невідомі відрізки переміщення, швидкості і часу руху тіл;
- за допомогою формули переміщення рівномірного руху, треба встановити зв'язок між величинами, зображеними на малюнку, і записати у вигляді рівнянь всі додаткові умови задачі, які, як правило, виражають одні інтервали часу і відрізки шляху через інші.

2. Часто в умові задають рівномірний прямолінійний рух не одного, а декількох тіл по відношенню до системи відліку, пов'язаної із Землею чи іншою системою відліку. У таких випадках розв'язування задачі спрощується, якщо розглядати всі рухи у системі відліку, пов'язаній з одним із рухомих тіл. Тіло відліку вважається нерухомим, і перше, що необхідно зробити після вибору системи відліку, – це визначити швидкості і зміщення тіл відносно тіла відліку. Потім, як звичайно, складаються рівняння рівномірного руху і записуються додаткові формули.

3. Слід виділити задачі, де тіла одночасно беруть участь у двох рухах. Аналізуючи умову, насамперед треба встановити, які із заданих кінематичних характеристик слід віднести до абсолютного, а які до переносного і які до відносного руху. Складаючи для них рівняння, необхідно слідкувати за тим, щоб початок відліку часу був однаковим для всіх тіл, що беруть участь у русі. Зв'язок між кінематичними величинами при складних рухах виражається формулами:

$$\begin{aligned}\vec{r}_a &= \vec{r}_0 + \vec{r}_n, \\ \vec{v}_a &= \vec{v}_0 + \vec{v}_n, \\ \vec{a}_a &= \vec{a}_0 + \vec{a}_n.\end{aligned}$$

1.2. Динаміка

Основні формули

1. Основне рівняння динаміки (другий закон Ньютона) виражається рівнянням

$$F dt = d(mv).$$

Якщо маса стала, то

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma.$$

2. Закон збереження імпульсу:

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = const,$$

або

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const,$$

де n – кількість тіл, що утворюють замкнуту систему.

3. Робота сили F при переміщенні s може бути виражена наступною формулою:

$$A = \int_s F_s ds .$$

У випадку сталої сили, що діє під кутом до переміщення, маємо

$$A = Fs \cos \alpha ,$$

де α – кут між напрямками векторів сили і переміщення.

4. Потужність визначається формулою

$$N = \frac{dA}{dt} .$$

У випадку незмінної потужності

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

де A – робота, що здійснюється за час t .

5. Кінетична енергія тіла масою m , що рухається з швидкістю v :

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

6. Потенціальна енергія тіла масою m , піднятого на висоту h над поверхнею Землі:

$$W_n = mgh .$$

Потенціальна енергія пружно-деформованого тіла:

$$W_n = \frac{kx^2}{2} ,$$

де k – коефіцієнт пружності, x – деформація.

7. Закон збереження енергії в замкнутій системі:

$$W_k + W_n = const .$$

8. Дві матеріальні точки притягаються одна до одної з силою:

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

де γ – гравітаційна стала, що дорівнює $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг², m_1 і m_2 – маси взаємодіючих матеріальних точок, r – відстань між ними.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Важливо пам'ятати, що другий закон Ньютона справедливий тільки в інерціальних системах відліку.

2. Для розв'язування задач з динаміки складають рівняння руху матеріальної точки, яке виражає другий закон Ньютона. При цьому рекомендується наступний порядок дій:

- зробити малюнок, на якому зобразити всі сили, що діють на дане тіло;
- записати другий закон Ньютона у векторній формі;
- якщо сили діють не вздовж однієї прямої, то вибирають дві взаємно перпендикулярні осі x і y , що лежать в площині дії сили. Спроектуючи всі вектори, що входять до рівняння, на ці осі, записують другий закон у вигляді двох скалярних рівнянь:

$$\sum F_x = ma_x, \quad \sum F_y = ma_y .$$

3. Якщо в задачі розглядається рух системи зв'язаних між собою тіл, то рівняння руху записують для кожного тіла окремо.

4. Якщо тіла зв'язані ниткою, масою якої можна знехтувати, силу натягу нитки вважають однаковою по всій її довжині.

5. Рівняння, яке виражає закон збереження імпульсу, є векторним. Тому, шукаючи вектор $\vec{p} = \sum \vec{p}_i$, треба керуватись правилом суми векторів, або вибравши осі проєкцій Ox і Oy , записати закон збереження імпульсу в скалярній формі двома рівняннями:

$$p_x = const, \quad p_y = const.$$

Якщо імпульси всіх тіл системи напрямлені вздовж однієї прямої, то, вибравши цю пряму за вісь проєкцій, одразу записують закон збереження імпульсу в скалярній формі:

$$p = const,$$

де $p = \sum p_i$ – сума проєкцій імпульсів всіх тіл системи.

6. Закон збереження механічної енергії можна використовувати для системи взаємодіючих тіл при одночасному виконанні наступних умов:

- система повинна бути замкнутою;
- всередині системи повинні бути відсутні сили тертя і сили непружних деформацій.

Інакше механічна енергія системи буде розсіюватись, перетворюючись у внутрішню енергію.

7. Вибір нульового рівня висоти h , що входить у формулу потенціальної енергії піднятого тіла над землею, довільний.

1.3. Обертний рух твердих тіл

Основні формули

1. Момент сили відносно деякої осі обертання:

$$M = F \cdot l,$$

де l – плече сили; F – дотична сила.

2. Момент імпульсу матеріальної точки відносно нерухомої точки:

$$\vec{L} = [\vec{r}, m\vec{v}],$$

модуль вектора моменту імпульсу:

$$L = mvr \sin \alpha.$$

3. Момент інерції матеріальної точки відносно деякої осі обертання:

$$J = mr^2,$$

де m – маса матеріальної точки; r – відстань від точки до осі.

4. Момент інерції твердого тіла відносно осі обертання:

$$J = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2,$$

де r_i – відстань елемента маси Δm від осі обертання.

5. Момент інерції:

- однорідного циліндра (диска):

$$J = \frac{1}{2} mR^2,$$

де R – радіус циліндра; m – його маса;

➤ товстостінного циліндра:

$$J = m \frac{R_1^2 + R_2^2}{2},$$

де R_1 і R_2 – зовнішній і внутрішній радіуси циліндра;

➤ тонкостінного циліндра:

$$J = mR^2;$$

➤ суцільної кулі:

$$J = \frac{2}{5} mR^2,$$

де R – радіус кулі;

➤ однорідного стержня довжиною l , вісь обертання якого проходить перпендикулярно до середини стержня:

$$J = \frac{1}{12} ml^2$$

6. Теорема Штейнера:

$$J = J_0 + ma^2,$$

де J_0 – момент інерції тіла відносно вісі, що проходить через центр мас; a – відстань від центра мас тіла до осі обертання.

7. Основний закон динаміки обертового руху тіла:

$$Mdt = d(J\omega),$$

або

$$M = J\varepsilon,$$

де ω – кутова швидкість обертання тіла; ε – кутове прискорення.

8. Кінетична енергія обертового руху:

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2}.$$

9. Робота постійного моменту сил:

$$A = M\varphi,$$

де φ – кут повороту.

10. Миттєва потужність при обертанні тіла:

$$N = M\omega.$$

11. Закон збереження моменту імпульсу системи тіл, що обертаються навколо нерухомої осі z :

$$L_z = J\omega_z = const,$$

$$J_1\omega_{1z} = J_2\omega_{2z},$$

де J_z – момент інерції системи тіл відносно осі z ; ω_z – кутова швидкість обертання тіл системи навколо осі z .

12. Кінетична енергія тіла, що обертається навколо нерухомої осі z :

$$W_k = \frac{J\omega_z^2}{2}.$$

13. Оскільки плоский рух твердого тіла можна уявити як рух, що складається з поступального руху центра мас і обертального руху навколо осі, яка проходить через центр мас і має незмінний напрям у просторі, то кінетична енергія тіла, що здійснює плоский рух, складається з кінетичної енергії поступального руху і кінетичної енергії обертального руху, тому повна кінетична енергія

$$W_k = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2},$$

де v_c – лінійна швидкість центра мас тіла.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Основне рівняння динаміки обертового руху використовують для розрахунків сил і прискорень у випадку рівно змінного руху твердого тіла.
2. Складний рух твердого тіла зручно розглядати як суму двох рухів: обертового відносно якої-небудь осі і поступального зі швидкістю осі. Зазвичай вісь обертання вибирають так, щоб вона проходила через центр мас.
3. При коченні однорідного циліндра (кулі) по площині, між лінійними величинами, що характеризують рух центра мас тіла, і кутовими величинами, що визначають обертовий рух тіла, існує співвідношення:

$$v_c = \omega R, \quad a_c = \varepsilon R,$$

де R – радіус циліндра (кулі).

4. Закон збереження енергії широко використовується при розв'язуванні задач на обертовий рух тіла. При цьому слід пам'ятати, що повна кінетична енергія твердого тіла складається із кінетичної енергії його поступального руху зі швидкістю центра мас і кінетичної енергії обертання навколо осі, що проходить через центр мас.

1.4. Механіка рідин і газів

Основні формули

1. Рівняння нерозривності течії:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2,$$

де S_1 і S_2 – площі поперечних перерізів трубки течії, v_1 і v_2 – відповідні швидкості течій.

2. Рівняння Бернуллі для ідеальної рідини:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2,$$

де p_1 і p_2 – статичні тиски рідини в двох перерізах трубки течії; $\frac{\rho v_1^2}{2}$ і $\frac{\rho v_2^2}{2}$ – динамічні тиски; $\rho g h_1$ і $\rho g h_2$ – гідравлічні тиски.

3. Теорема Торрічеллі:

$$v = \sqrt{2gh},$$

де v – швидкість витікання рідини з невеликого отвору в широкій посудині, який міститься на глибині h від верхнього рівня рідини в посудині.

4. Закон Стокса:

$$F = 6\pi\eta r v,$$

де η – коефіцієнт в'язкості.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Задачі, пов'язані із знаходженням тиску і сил тиску в будь-якій точці всередині рідини, що перебуває в стані спокою, розв'язують на основі закону Паскаля і його наслідків. Методика розв'язування таких задач полягає в наступному:

- необхідно зробити малюнок і зобразити всі рівноважні рівні рідини, які вона займала за умовою задачі, потім слід провести поверхню нульового рівня, від якої будуть відраховуватись висоти стовпчиків рідини;
- вказавши висоти всіх стовпчиків і відстані, на які зміщуються рівні рідини, можна приступати до складання рівнянь рівноваги рідини;
- якщо до моменту рівноваги рідина переливалась із однієї частини посудини в іншу, то до складеного рівняння додають умову нерозривності течії.

2. Розв'язок задач про плавання тіл ґрунтується на законах динаміки поступального руху твердого тіла з врахуванням архімедової сили.

1.5. Механічні коливання

Основні формули

1. Рівняння гармонічного коливального руху має вигляд:

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right) = A \sin(2\pi\nu t + \varphi) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

де x – зміщення точки від положення рівноваги; A – амплітуда коливань; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ –

кутова частота коливань; $T = \frac{1}{\nu}$ – період коливань; ν – частота; φ – початкова фаза.

2. Швидкість точки, що здійснює гармонічні коливання:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{2\pi A}{T} \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right),$$

прискорення:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{4\pi^2 A}{T^2} \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right).$$

3. Сила, під дією якої точка масою m здійснює гармонічні коливання:

$$F = ma = -\frac{4\pi^2 A}{T^2} m \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right) = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} x = -kx,$$

де $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$, звідки $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. Тут T – період коливань точки, що здійснює коливання під дією сили $F = -kx$, де k – коефіцієнт пружності, чисельно рівний силі, що зумовлює зміщення рівне одиниці.

4. Повна енергія точки масою m , що коливається:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2.$$

5. Рівняння затухаючого коливального руху має вигляд:

$$x = A e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi),$$

де δ – коефіцієнт затухання; ω – частота коливань, що затухають:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}.$$

6. Логарифмічний декремент затухання:

$$\aleph = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln \frac{A_0 e^{-\delta t}}{A_0 e^{-\delta(t+T)}} = \delta T.$$

7. Якщо на матеріальну точку масою m , коливання якої задано у вигляді:

$$x_1 = A e^{-\delta t} \sin \omega_0 t,$$

діє зовнішня періодична сила $F = F_0 \sin \omega t$, то коливання точки будуть вимушеними і рівняння її руху матиме вигляд:

$$x_2 = A \sin(\omega t + \varphi),$$

де

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}.$$

8. Резонансна частота

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}.$$

9. Період коливань математичного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

де l – довжина маятника.

10. Період коливань пружинного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

де m – маса тіла; k – жорсткість пружини.

11. Період коливань фізичного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_i}{mgl}},$$

де J_i – момент інерції тіла; l – різниця між радіусом тіла (або половиною довжини стержня) та віддаллю між центром мас і точкою підвісу.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Основні труднощі, які виникають при розв'язуванні задач першого типу, а саме на застосування рівнянь гармонічних коливань, полягають в правильному складанні цих рівнянь. Отримавши їх і уважно проаналізувавши, можна легко довести розв'язок до логічного кінця.
2. Слід звернути особливу увагу на складання рівнянь другого закону Ньютона для точки, що здійснює гармонічні коливання. Це рівняння в кінцевому випадку приводить до формули $k = m\omega^2$, в якій коефіцієнт k повинен бути виражений через ті чи інші величини, що характеризують коливальну систему.
3. Задачі другої групи, а саме задачі на математичний маятник, маятниковий годинник, потребують детального аналізу фізичного явища і глибокого розуміння основних формул.
4. Під час прискореного руху точки підвісу математичного маятника змінюється сила натягу нитки, що приводить до зміни рівнодійної сили, а отже, частоти і періоду коливань. Вивести формулу періоду коливань точки, що володіє не тільки відносним, але і переносним прискоренням, елементарними методами порівняно важко. Однак її легко отримати для кожного окремого випадку, вносячи відповідну поправку в формулу періоду математичного маятника. Якщо маятник в тому чи іншому напрямі отримує переносне прискорення \vec{a}_n , то причиною цьому служить зміна сили натягу \vec{F}_n на деяку величину $\Delta\vec{F}_n$, оскільки $m\vec{g}$ не змінюється і на маятник інші сили не діють. Прискорення \vec{a} , якого надає сила натягу нитки, при цьому дорівнює сумі прискорень $-\vec{g}$ і \vec{a}_n , тобто

$$\vec{a} = -\vec{g} + \vec{a}_n.$$

РОЗДІЛ II МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА

2.1. Фізичні основи молекулярно-кінетичної теорії

Основні формули

1. Рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона):

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

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

2. Закон Бойля-Маріотта:

$$(T = \text{const}, m = \text{const})$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

3. Закон Гей-Люссака:

$$(p = \text{const}, m = \text{const})$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},$$

або

$$V = V_0(1 + \beta t),$$

або

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T,$$

де t – температура за шкалою Цельсія; V_0 – об'єм при 0°C ; β – коефіцієнт об'ємного розширення газу при постійному тиску ідеального газу

$$\beta = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}.$$

4. Закон Шарля:

$$(V = \text{const}, m = \text{const})$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2},$$

або

$$p = p_0(1 + \gamma t),$$

або

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \gamma \Delta T,$$

p_0 – тиск при 0°C ; γ – термічний коефіцієнт тиску, для ідеального газу

$$\gamma = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}.$$

5. Об'єднаний газовий закон (рівняння Клапейрона):

$$m = \text{const}$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

6. Закон Дальтона для тиску суміші ідеальних газів:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n,$$

де p – тиск суміші газів; p_i – парціальний тиск i -ої компоненти суміші.

7. Основне рівняння кінетичної теорії газів:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{W}_0 = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2},$$

де n – число молекул в одиниці об'єму, \bar{W}_0 – середня кінетична енергія поступального руху однієї молекули, m_0 – маса молекули, $\sqrt{\bar{v}^2}$ – середня квадратична швидкість молекул.

8. Кількість молекул в одиниці об'єму:

$$n = \frac{p}{kT},$$

де k – стала Больцмана.

9. Середня кінетична енергія поступального руху однієї молекули:

$$\bar{W}_0 = \frac{3}{2} kT.$$

10. Середня квадратична швидкість молекул:

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}},$$

де $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$, N_A — число Авогадро.

11. Теплоємність газу:

$$C = \frac{dQ}{dt}.$$

12. Молярні теплоємності ідеального газу при ізохорному та ізобарному процесах відповідно:

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad C_p = \frac{i+2}{2} R,$$

де i – число ступеней вільності молекули.

13. Зв'язок між питомою і молярною теплоємностями:

$$c = \frac{C}{\mu}.$$

14. Рівняння Майєра:

$$C_p - C_V = R.$$

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Задачі на розрахунок параметрів стану газу можна поділити на дві основні групи. До першої слід віднести задачі, в яких розглядаються два чи більше стани газу сталої маси і до яких, відповідно, можна застосувати рівняння об'єднаного газового закону. Другу групу складають задачі, в умовах яких дана

маса газу чи розглядаються такі процеси, в яких маса газу змінюється. При розв'язуванні таких задач використовують рівняння Менделєєва-Клапейрона.

2. У першому випадку рекомендується наступна послідовність дій:

- прочитавши умову задачі, треба пересвідчитись, що маса газу не змінюється;
- якщо можна, зробити малюнок, вказати параметри p , V , T , що характеризують стан газу. Визначити, який із цих трьох параметрів не змінюється і якому газовому закону підкоряється даний процес. У загальному випадку можуть змінюватись всі три параметри;
- записати рівняння об'єднаного газового закону Клапейрона для даних двох станів. Якщо який-небудь параметр залишається сталим, рівняння автоматично переходить в одне із трьох рівнянь, що виражають закон Бойля-Маріотта, Гей-Люссака або Шарля;
- записати математично всі додаткові умови і розв'язати задачу відносно невідомої величини.

3. У другому випадку рекомендується розв'язувати задачі так:

- встановити які гази беруть участь у розглядуваних процесах;
- для кожного стану кожного газу (якщо їх кілька) скласти рівняння Менделєєва-Клапейрона. Якщо дано суміш газів, то рівняння записують для кожного компонента. Зв'язок між значеннями тиску окремих газів і результируючим тиском суміші встановлюється законом Дальтона;
- записати математично додаткові умови задачі і розв'язати отриману систему рівнянь відносно шуканої величини.

2.2. Фізичні основи термодинаміки

Основні формули

1. Перше начало термодинаміки:

$$dQ = dU + dA,$$

де dQ – теплота, надана системі; dU – зміна внутрішньої енергії системи; dA – робота, виконана системою при зміні об'єму.

2. Внутрішня енергія ідеального газу (зумовлена кінетичною енергією молекул):

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT.$$

3. Термодинамічна робота:

- при зміні об'єму газу

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV;$$

- при ізобарному процесі

$$A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) = P(V_2 - V_1);$$

- при ізотермічному процесі

$$A = \frac{m}{\mu} TR \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

4. Середнє значення кінетичної енергії молекули ідеального газу:

$$W = \frac{i}{2} kT.$$

5. Рівняння Пуассона:

$$pV^\gamma = \text{const}$$

або

$$TV^{\gamma-1} = \text{const},$$

де $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$ – показник адіабати.

6. Перший закон термодинаміки для адіабатного процесу:

$$dA + dU = 0.$$

7. Зв'язок між кінцевими і початковими параметрами станів при адіабатному процесі:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

8. Робота при адіабатному процесі:

$$A = \frac{m}{\mu} C_v (T_1 - T_2) = \nu C_v (T_1 - T_2)$$

або

$$A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \cdot \frac{m}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \right],$$

або

$$A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \cdot \frac{m}{\mu} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right),$$

або

$$A = \frac{pV_1}{\gamma-1} \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

9. Коефіцієнт корисної дії теплової машини:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

де Q_1 – кількість теплоти, отримана робочим тілом від нагрівника за цикл; Q_2 – кількість теплоти передана робочим тілом холодильнику.

10. Для ідеального циклу Карно:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

де T_1 – температура нагрівника; T_2 – температура холодильника.

11. Зміна ентропії системи:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T},$$

де T – абсолютна температура системи, що віддає або отримує кількість теплоти δQ .

12. Зв'язок між ентропією системи і термодинамічною ймовірністю стану W :

$$S = k \ln W.$$

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Задачі на зміну внутрішньої енергії тіл можна поділити на три групи. У задачах першої групи розглядають такі явища, де в ізольованій системі при взаємодії тіл змінюється тільки їх внутрішня енергія без виконання роботи над зовнішнім середовищем. Одні із тіл, що беруть участь у теплообміні, при цьому охолоджуються, інші – нагріваються. Правила їх розв'язку полягають у наступному:

- прочитавши умову задачі, треба встановити у яких тіл внутрішня енергія зменшується, а у яких – зростає. Особливу увагу при цьому слід звернути на те, чи відбуваються у процесі теплообміну агрегатні перетворення;
- скласти окремо рівняння для тіл, енергія яких зменшується і для тіл, енергія яких зростає; прирівняти отримані суми.

2. У задачах другої групи розглядаються явища, пов'язані з перетворенням одного виду енергії в інший при взаємодії тіл. Результат такої взаємодії – зміна внутрішньої енергії одного тіла внаслідок виконання ним чи над ним роботи. Теплообмін між тілами тут, як правило, не враховують. Аналізуючи умову задачі, слід перш за все встановити, у якого із двох взаємодіючих тіл змінюється внутрішня енергія і що є причиною цієї зміни – робота, виконана самим тілом, чи робота, виконана над тілом. Крім того переконатись, що у процесі взаємодії тіл $Q = 0$;

3. Задачі третьої групи об'єднують у собі дві попередні. У цих задачах розглядають взаємодію трьох чи більше тіл. У процесі такої взаємодії до одного тіла підводиться деяка кількість теплоти, у результаті чого змінюється його внутрішня енергія і виконується робота. Для виконання таких задач слід записати рівняння першого начала термодинаміки і дотримуватись правил розв'язування, описаних у попередніх пунктах.

Розділ 3. ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ

3.1. Електростатика

Основні формули

1. Закон Кулона:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

де ϵ – діелектрична проникність середовища, ϵ_0 – електрична стала.

2. Закон збереження електричного заряду:

$$\sum_{i=1}^n q_i = const.$$

3. Лінійна густина заряду:

$$\tau = \frac{dq}{dl}.$$

4. Поверхнева густина заряду:

$$\sigma = \frac{dq}{dS}.$$

5. Об'ємна густина заряду:

$$\rho = \frac{dq}{dV}.$$

6. Напруженість електричного поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0},$$

де F – сила, з якою діє поле на внесений в нього пробний заряд q_0 .

7. Напруженість поля, створеного точковим зарядом на відстані r від нього:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}.$$

8. Потік вектора напруженості через деяку поверхню:

$$\Phi_E = \int_S E_n dS.$$

9. Теорема Остроградського-Гаусса:

$$\int_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i.$$

10. Напруженість поля, яке створюється нескінченно довгою рівномірно зарядженою ниткою на віддалі r від її осі:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{2\tau}{r}.$$

11. Напруженість поля, яке створюється нескінченною рівномірно зарядженою площиною:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}.$$

12. Потенціал електричного поля:

$$\varphi = \frac{W_n}{q_0},$$

де W_n – потенціальна енергія пробного заряду q_0 .

13. Потенціал електричного поля, яке створене точковим зарядом q на відстані r від заряду:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}.$$

14. Зв'язок напруженості електричного поля з потенціалом:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi.$$

15. Робота, що виконується при переміщенні точкового заряду з однієї точки поля (потенціал, в якій φ_1) в іншу (з потенціалом φ_2):

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

16. Ємність відокремленого провідника:

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

17. Ємність ізольованої сфери:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R,$$

де R – радіус сфери.

18. Ємність плоского конденсатора:

$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d},$$

де S – площа пластин; d – відстань між пластинами.

19. Енергія зарядженого конденсатора:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}.$$

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Задачі з електростатики зручно поділити на дві групи. До першої групи можна віднести задачі про точкові заряди і системи, що зводяться до них; до другої групи – всі задачі про заряджені тіла, розмірами яких не можна знехтувати.

2. Розв'язок задач першої групи ґрунтується на застосуванні законів механіки з врахуванням закону Кулона і наслідків, що з нього витікають. Такі задачі рекомендується розв'язувати у наступній послідовності:

- зобразити сили, що діють на точковий заряд, поміщений в електричне поле, і записати для нього рівняння динаміки матеріальної точки;
- виразити сили електричної взаємодії через заряди і характеристики поля і підставити ці вирази у вихідне рівняння;
- якщо при взаємодії заряджених тіл між ними відбувається перерозподіл зарядів, то до складеного рівняння додають рівняння закону збереження зарядів.

3. Задачі на розрахунок полів, створених точковими зарядами, зарядженими сферами і площинами, – знаходження напруженості чи потенціалу в будь-якій

точці простору – ґрунтуються на використанні відповідних формул. Особливу увагу слід звернути на векторний характер напруженості \vec{E} і запам'ятати, що знак перед потенціалом визначається знаком заряду, що створює поле.

4. Розв'язування задач другої групи ґрунтується на використанні відповідних формул, що стосуються заряджених тіл, розмірами яких не можна знехтувати. У задачах на систему заряджених тіл (зазвичай плоских конденсаторів) насамперед необхідно встановити тип з'єднання конденсаторів.

5. При розв'язуванні задач електростатики і відповідях на окремі якісні питання корисно мати на увазі наступне:

- додатні електричні заряди, представлені самі собі, рухаються в електричному полі від точки з більшим потенціалом до точок, де потенціал менший. Від'ємні заряди рухаються у протилежному напрямку;
- напруженість електричного поля всередині статично зарядженого провідника дорівнює нулю. Цей результат не залежить від того, знаходиться провідник у електричному полі чи ні. Потенціал всіх точок, що лежать на провіднику, має при цьому однакове значення, тобто поверхня провідника є екіпотенціальною;
- при внесенні діелектрика в електричне поле модуль вектора напруженості зменшується в ϵ раз у просторі, заповненому діелектриком, і залишається незмінним у всіх інших точках поля;
- потенціал Землі і всіх тіл, з'єднаних провідником із Землею, прирівнюється до нуля;
- робота сил електростатичного поля по будь-якому замкнутому контуру рівна нулю;
- якщо дві окремих кулі з'єднати тонким і довгим провідником, то їх загальна ємність буде рівна сумі ємностей окремих куль, оскільки потенціали куль будуть однаковими, а загальний заряд системи дорівнює сумі зарядів куль.

3.2. Електричний струм

Основні формули

1. Сила струму:

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

якщо $I = const$, то

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

2. Густина електричного струму:

$$j = \frac{I}{S},$$

де S – площа поперечного перерізу провідника.

3. Опір однорідного провідника:

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

де ρ – питомий опір провідника, l – довжина провідника.

4. Закон Ома:

- для однорідної ділянки кола

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

- для замкнутого кола

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

де ε – ЕРС джерела струму, r – внутрішній опір.

5. Залежність питомого опору від температури:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha\Delta t),$$

де ρ_0 – питомий опір при 0°C ; α – температурний коефіцієнт опору.

6. Робота електричного поля на ділянці кола за деякий час:

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t.$$

7. Потужність струму:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

8. Повна потужність, що виділяється в колі:

$$P = \varepsilon I.$$

9. Послідовне з'єднання провідників:

- струм

$$I = \text{const};$$

- напруга

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots;$$

- опір

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots.$$

10. Паралельне з'єднання провідників:

- струм

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots;$$

- напруга

$$U = \text{const};$$

- опір визначається з формули:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots,$$

11. Струм при короткому замиканні ($R \rightarrow 0$):

$$I_{\text{max}} = \frac{\varepsilon_{\text{дж}}}{r}.$$

12. Перший закон Кірхгофа:

алгебраїчна сума струмів, які сходяться у вузлі, дорівнює нулю:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Струми, які входять у вузол, вважаються додатними, а які виходять з вузла – від’ємними.

13. Другий закон Кірхгофа:

у замкнутому контурі алгебраїчна сума спадів напруг на всіх ділянках контуру дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, які включені в цей контур:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i.$$

Якщо напрям струму збігається з вибраним напрямом обходу контуру, то відповідний добуток сили струму на опір входить у рівняння зі знаком «+», у протилежному випадку цей добуток входить зі знаком «-». ЕРС беруть зі знаком «+», якщо при обході контуру у вибраному напрямі перший електрод буде негативним, а другий – позитивним.

14. Закон Джоуля-Ленца:

$$dQ = I^2 R dt.$$

15. Перший закон Фарадея (електролізу):

$$m = kIt = kq,$$

де k – електрохімічний еквівалент.

16. Другий закон Фарадея (пропорційності еквівалентів):

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{Z},$$

де A – атомна маса, Z – валентність, F – число Фарадея, яке дорівнює

$$F = eN_A = 9,648 \cdot 10^7 \text{ Кл/моль.}$$

17. Сила струму у провіднику:

$$I = nevS,$$

де n – концентрація, e – заряд електрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), v – швидкість дрейфу, S – площа поперечного перерізу провідника.

Методичні вказівки до розв’язування задач

1. Задачі на рух електричних зарядів по провідниках і на явища, пов’язані з цим рухом, зручно розділити на три типи: задачі на обчислення опорів, сил струмів чи напруг на будь-якій ділянці кола; задачі на роботу, потужність чи теплову дію струму і задачі на електроліз. Із задач першого типу можна виділити додаткову групу – задачі на обчислення опорів окремих провідників і різних їх з’єднань. Розпочнемо пояснення саме з цієї групи.

2. Якщо в умові задачі вказано, з якого матеріалу виготовлено провідник, чи наводяться дані про його геометричні розміри чи масу, то для знаходження невідомої величини, від якої залежить опір провідника, треба скористатись співвідношенням між масою, густиною і об’ємом провідника. Задачі про температурну залежність опору, як правило, не викликають труднощів, їх легко можна розв’язати, використавши відповідні формули. При обчисленні опору

якого-небудь контуру, складеного із декількох провідників, необхідно насамперед встановити спосіб з'єднання провідників.

3. При розв'язуванні задач на визначення сили струму, напруги та опору на якій-небудь ділянці кола необхідно:

- накреслити схему і вказати на ній всі елементи кола: джерела струму, резистори і конденсатори;
- встановити які елементи кола включені послідовно, а які паралельно;
- вказати струми і напруги на кожній ділянці кола і записати для кожної точки розгалуження (якщо воно є) рівняння струмів і напруг;
- використовуючи закон Ома, встановити зв'язок між струмами і напругами (ЕРС). У результаті отримаємо систему рівнянь, розв'язавши яку, знайдемо шукану величину.

4. Основним розрахунковим співвідношенням для розв'язку задач на роботу, потужність та теплову дію струму є закон Джоуля-Ленца.

3.3. Електромагнетизм

Основні формули

1. Закон Біо-Савара-Лапласа:

$$\Delta B = \mu\mu_0 \frac{I\Delta l \sin \alpha}{4\pi r^2},$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-4}$ Гн/м.

2. Магнітна проникність середовища:

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

3. Індукція магнітного поля рамки, по якій тече електричний струм:

$$B = \frac{M_{\max}}{IS},$$

де M_{\max} – максимальний момент сил; S – площа, обмежена рамкою.

4. Магнітна індукція прямолінійного провідника нескінченної довжини:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi r},$$

де r – відстань від провідника зі струмом до точки в просторі, в якій шукають значення магнітної індукції.

5. Магнітне поле колового струму (в центрі витка):

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2r},$$

де r – радіус витка.

6. Магнітне поле соленоїда (в його середині):

$$B = \mu\mu_0 \frac{IN}{l},$$

де N – загальна кількість витків, l – довжина соленоїда.

7. Зв'язок індукції магнітного поля з напруженістю:

$$B = \mu\mu_0 H .$$

8. Об'ємна густина енергії магнітного поля:

$$W_0 = \frac{HB}{2} .$$

9. Потік магнітної індукції через контур:

$$\Phi = BS \cos \alpha ,$$

де S – площа поперечного перерізу контуру, α – кут між вектором магнітної індукції та нормаллю до поверхні контуру.

10. Сила Ампера:

$$dF = BI \sin \alpha dl ,$$

де α – кут між напрямом струму і магнітного поля.

11. Робота при переміщенні провідника зі струмом у магнітному полі:

$$dA = Id\Phi ,$$

де $d\Phi$ – зміна магнітного потоку через площину, обмежену контуром.

12. Сила Лоренца:

$$F = qvB \sin \alpha ,$$

де q – заряд частинки, α – кут між напрямом швидкості частинки і магнітного поля.

13. Закон Фарадея:

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} ,$$

де ε_i – ЕРС індукції в замкнутому контурі; N – кількість витків контуру; $\frac{d\Phi}{dt}$ – швидкість зміни магнітного потоку індукції через площу, обмежену контуром.

14. ЕРС самоіндукції:

$$\varepsilon_i = -L \frac{dI}{dt} ,$$

де L – індуктивність провідника; $\frac{dI}{dt}$ – швидкість зміни струму.

15. Енергія магнітного поля провідника зі струмом:

$$W = \frac{LI^2}{2} .$$

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Задачі розрахункового характеру про сили, що діють на провідники з струмом в однорідному магнітному полі, зручно розв'язувати за такою схемою:

- зробити схематичне креслення, на якому зобразити контур зі струмом і напрям ліній магнітної індукції поля. Відмітити кут між напрямом вектора індукції і окремим елементом контуру;
- використовуючи правило лівої руки, визначити напрям сил, що діють зі сторони поля на кожен елемент контуру, проставити вектори цих сил на рисунку;
- у найпростіших випадках задача полягає в тому, щоб знайти одну із величин, що входять у вираз сили Ампера;
- якщо у задачі розглядається рівновага провідника чи контуру зі струмом

у магнітному полі, то крім сили Ампера потрібно вказати і всі інші сили, прикладені до провідника, і записати умову рівноваги $\sum \vec{F} = 0$.

2. Особливе місце займають задачі на рух заряджених частинок в електричному і магнітному полях. Їх розв'язок, в основному, ґрунтується на складанні основного рівняння динаміки матеріальної точки з врахуванням сил, що діють на заряджену частинку зі сторони магнітного та електричного полів.

3. Аналізуючи умову задачі на закон електромагнітної індукції, необхідно насамперед установити причини зміни магнітного потоку, пов'язаного з контуром, і визначити, яка із величин B , S чи α , що входять у вираз для знаходження магнітного потоку, змінюється з часом. Після цього записати закон електромагнітної індукції.

3.4. Електромагнітні коливання і хвилі

Основні формули

1. Період вільних незатухаючих електромагнітних коливань у коливальному контурі (формула Томсона):

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

при $R = 0$.

2. Коливання в ідеальному контурі:

➤ заряду

$$q = q_m \cos \omega t;$$

➤ струму

$$I = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right);$$

➤ різниці потенціалів

$$U = U_m \cos \omega t;$$

➤ напруженості

$$E = E_m \cos \omega t;$$

➤ індукції

$$B = B_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

3. Циклічна частота в ідеальному контурі:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

4. Період коливань при наявності активного опору:

$$T = \frac{2\pi\sqrt{LC}}{\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}}.$$

5. Критичний опір:

$$R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

6. Коефіцієнт затухання:

$$\delta = \frac{R}{2L}.$$

7. Логарифмічний декремент затухання:

$$\aleph = \delta \cdot T.$$

8. Коливання напруги, якщо $R \neq 0$:

$$U = U_0 e^{-\delta t} \cos \omega t,$$

де

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

і

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

9. Закон Ома для змінного струму:

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{Z},$$

де I_{ef} і U_{ef} – ефективні значення сили струму і напруги, пов'язані з їх амплітудними значеннями співвідношеннями:

$$I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}},$$

а Z – повний опір кола. Якщо коло містить активний опір, ємність і індуктивність, з'єднані послідовно, то

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2},$$

де $X_L = \omega L$ – індуктивний опір; $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – ємнісний опір.

10. Рівняння плоскої монохроматичної електромагнітної хвилі, що поширюється вздовж осі OX :

$$E_y = E_{01} \sin(\omega t - kx),$$

$$H_y = -\sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu \mu_0}} E_z,$$

$$E_z = E_{02} \sin(\omega t - kx + \varphi),$$

$$H_z = -\sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu \mu_0}} E_y,$$

де $k = \frac{\omega}{v}$ – хвильове число.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Усі типові задачі цього розділу можна розв'язати, звичайно, аналітичним методом, користуючись основними формулами, наведеними вище.

2. Розв'язування задач, особливо на змінні струми, полегшується, якщо застосувати графічний метод, тобто метод векторних діаграм напруг і струмів. Векторну діаграму напруг (трикутник напруг) для кола змінного струму з

послідовно ввімкненими самоіндукцією і ємністю будують так. У певному масштабі вздовж довільної осі X відкладають вектор спаду напруги на активному опорі U_R . Напруга на індуктивному опорі випереджає за фазою струм на $\frac{\pi}{2}$, тому відкладають U_L перпендикулярно до U_R в бік збільшення

кутів. Вектор спаду напруги U_C на ємнісному опорі відстає від струму на $\frac{\pi}{2}$.

Отже, вектори U_L і U_C напрямлені в протилежні сторони. Результируючу напругу U визначають простим геометричним додаванням. З трикутника напруг легко визначити кут φ – зсув фаз між струмом і напругою (кут між U і U_R).

3. Для графічного визначення повного опору змінного струму, якщо відомі активний, індуктивний і ємнісний опори, можна побудувати прямокутний трикутник опорів. Катети цього трикутника дорівнюватимуть R і $\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$, а

гіпотенуза дорівнюватиме повному опору $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$. З трикутника опорів також можна визначити кут φ – зсув фаз між струмом і напругою:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

Розділ 4. ОПТИКА і АТОМНА ФІЗИКА

4.1. Інтерференція і дифракція світла

Основні формули

1. Оптичний шлях променя:

$$L = nS,$$

де S – геометричний шлях променя у середовищі з показником заломлення n .

2. Оптична різниця ходу двох променів, що поширюються у різних середовищах:

$$\Delta = |n_1 S_1 - n_2 S_2|.$$

3. Умова максимального підсилення світла внаслідок інтерференції:

$$\Delta = \pm k\lambda, \text{ де } k = 0, 1, 2, \dots$$

4. Умова максимального послаблення світла внаслідок інтерференції:

$$\Delta = \pm(2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \text{ де } k = 0, 1, 2, \dots$$

5. Інтенсивність світла при накладанні двох когерентних хвиль однакової частоти:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta,$$

де $\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$ – різниця фаз хвиль; тут Δ – оптична різниця ходу; λ_0 – довжина хвилі у вакуумі.

6. Ширина інтерференційної смуги:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi},$$

де φ – кутова відстань між джерелами.

7. Різниця ходу світлових хвиль, відбитих від тонкої пластинки:

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2},$$

де b – товщина пластинки; i – кут падіння хвиль.

8. Інтерференція в тонких плівках (пластинах):

➤ підсилення світла

$$2bn \cos \alpha = 2k \frac{\lambda}{2};$$

➤ послаблення світла

$$2bn \cos \alpha = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

де n – показник заломлення; α – кут заломлення.

9. Радіуси послідовних світлих кілець у відбитому світлі:

$$r_k = \sqrt{R\lambda(k - \frac{1}{2})},$$

темних

$$r_k = \sqrt{R\lambda k},$$

де R – радіус кривизни опуклої поверхні лінзи, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок інтерференції.

10. Відстань між сусідніми кільцями Ньютона:

$$\Delta r_k = r_{k+1} - r_k = \frac{\sqrt{R\lambda}}{2\sqrt{k}}.$$

11. Відстань між інтерференційними смужками на екрані, розміщеному паралельно до двох когерентних джерел:

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

де L – відстань від екрана до джерела світла, що знаходиться на відстані d ; при цьому $L \gg d$.

12. Радіус k -ої зони Френеля:

➤ для сферичного фронту

$$\rho_k = \sqrt{k \frac{Rr_0}{R + r_0}} \lambda,$$

➤ для плоского фронту

$$\rho_k = \sqrt{k r_0} \lambda,$$

де R і r_0 – відповідно відстані від джерела до отвору, і від отвору до точки спостереження, $k = 1, 2, 3, \dots$ – ціле число (номер зони Френеля).

13. Дифракція Фраунгофера (у паралельних променях) на одній щілині:

➤ умова максимумів:

$$b \sin \varphi = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k = 1, 2, 3, \dots,$$

➤ умова мінімумів:

$$b \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots,$$

де b – ширина щілини; φ – кут дифракції.

14. Дифракція на решітці:

➤ умова головних максимумів:

$$d \sin \varphi = k \lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

де $d = a + b$ – період решітки; a – ширина щілини; b – ширина непрозорих ділянок між щілинами;

➤ умова мінімумів:

$$d \sin \varphi = \left(k + \frac{P}{N} \right) \lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad P = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (N - 1),$$

де N – кількість щілин.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Задачі на інтерференцію світла можна розділити на дві групи: задачі, які пов'язані з інтерференцією світла від двох когерентних джерел, і задачі на інтерференцію в тонких плівках і пластинах. До задач першої групи відносяться випадки інтерференції, отримані за допомогою дзеркал і біпризми Френеля, білінзи Бійє, дзеркала Ллойда, а також у досліді Юнга. Для розрахунків

інтерференційної картини користуються умовами максимального підсилення та послаблення світла внаслідок інтерференції, формулою оптичного шляху променя, формулою ширини інтерференційної картини.

2. Розв'язуючи задачі другої групи, слід користуватись відповідними формулами, що описують явище інтерференції в тонких плівках і пластинках з врахуванням середовища, яке оточує пластинку. Якщо тонка пластинка оточена різними середовищами, то залежно від співвідношення між показниками заломлення середовища (n_1, n_2) і пластинки (n) можливі наступні випадки:

- $n > n_1, n > n_2$ – тільки промінь 1, відбитий від межі з оптично більш густим середовищем, «втрачає» півхвилі;
- $n < n_1, n < n_2$ – «втрачає» півхвилі тільки заломлений промінь 2;
- $n_1 < n < n_2$ – обидва промені «втрачають» півхвилі;
- $n_1 > n > n_2$ – ні один промінь не «втрачає» півхвилі.

Очевидно, що в останніх двох випадках у формулі різниці ходу світлових хвиль, відбитих від тонкої пластинки, величину $\lambda/2$ треба відкинути, оскільки «втрата» обома променями півхвилі не змінить їх різниці ходу.

3. При інтерференції світла, відомої під назвою кілець Ньютонa, роль тонкої пластинки відіграє прошарок (у більшості випадків повітряний) між поверхнею плоскопаралельної пластинки і опуклою поверхнею притиснутої до неї лінзи. Формули для визначення радіусів кілець Ньютонa виведені з припущення, що прошарок оточений однаковими середовищами, тобто пластинка і лінза мають однакові показники заломлення. Приймавши n_1, n, n_2 за показники заломлення, відповідно лінзи, прошарку і пластинки і повторивши вище наведені міркування, прийдемо до висновку, що у двох останніх випадках різниця ходу двох променів буде відрізнятися від тієї, що у перших двох випадках на $\lambda/2$. Внаслідок цього світлі темні кільця поміняються місцями.

4. При розв'язуванні задач, які стосуються дифракційних проблем Френеля, слід мати на увазі, що радіуси отвору (перегородки) і k -ої відкритої зони Френеля співпадають і визначаються за відповідними формулами.

4.2. Геометрична оптика

Основні формули

1. Закон відбивання світла:

$$r_1 = r,$$

де r – кут падіння; r_1 – кут відбивання.

2. Закон заломлення світла:

$$\frac{\sin r}{\sin k} = n_{21},$$

де k – кут заломлення; n_{21} – відносний показник заломлення другого середовища відносно першого.

3. Абсолютний показник заломлення:

$$n = \frac{c}{v},$$

де c – швидкість світла у вакуумі; v – швидкість світла у даному середовищі.

4. Повне внутрішнє відбивання:

$$\sin r_{ep} = \frac{n_2}{n_1}.$$

5. Формула лінзи:

$$\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} = (N - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right),$$

де S_1 і S_2 – відповідно відстані від об'єкта до лінзи і від лінзи до зображення;

$N = \frac{n}{n_1}$ – відносний показник заломлення речовини лінзи.

6. Формула тонкої лінзи:

$$\frac{1}{S_1} \pm \frac{1}{S_2} = \pm \frac{1}{f},$$

тут знак « \rightarrow » перед $1/f$ ставиться у випадку розсіювальних лінз, знак « \leftarrow » перед $1/S_2$ ставиться у випадку, коли зображення є уявним.

7. Формула сферичного дзеркала:

$$\frac{1}{S_1} \pm \frac{1}{S_2} = \pm \frac{1}{f},$$

де S_1 – відстань від об'єкта до дзеркала; S_2 – відстань від дзеркала до зображення; знак « \rightarrow » перед $1/f$ відноситься до дзеркала з уявним фокусом (опукле дзеркало), знак « \leftarrow » перед $1/S_2$ ставиться у випадку, коли зображення є уявним.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Задачі з геометричної оптики можна умовно поділити на три типи: задачі, пов'язані з відбиванням і заломленням світла на плоских поверхнях; задачі, пов'язані з відбиванням і заломленням світла на сферичних поверхнях; задачі, пов'язані з оптичними приладами. Задачі, в яких вимагається визначити хід світлового променя при наявності однієї або декількох заломлюючих поверхонь, розв'язують користуючись законом заломлення. Його необхідно застосовувати до кожного випадку заломлення світла на межі двох середовищ, використовуючи геометричні співвідношення, які впливають із умови задачі. Якщо за умовою промінь падає на межу двох середовищ з боку оптично більш густого, то розрахунки можуть дати значення синуса кута заломлення більше за одиницю. Це означає, що промінь не заломлюється на межі, а відбивається від неї (має місце повне відбивання).

2. При розв'язуванні задач другого типу, використовуючи формулу тонкої лінзи чи сферичного дзеркала, необхідно враховувати правило знаків.

4.3. Закони теплового випромінювання

Основні формули

1. Закон Стефана-Больцмана:

$$R_e = \sigma \cdot T^4,$$

де σ – стала Стефана-Больцмана, R_e – енергетична світність абсолютно чорного тіла.

2. Закон зміщення Віна (перший закон Віна):

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

де λ_{\max} — довжина хвилі, на яку припадає максимум енергії випромінювання; b – стала Віна ($b = 2,89 \cdot 10^{-3}$ мК).

3. Максимальна спектральна випромінювальна здатність тіла (другий закон Віна):

$$r_\lambda = CT^5$$

де $C = 1,3 \cdot 10^5$ Вт/(м³К⁵).

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. При розв'язуванні задач слід мати на увазі, що енергетична світність R_e тіла вимірюється енергетичним потоком Φ_e , який випромінюється одиницею площі світної поверхні, тобто

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S} = \frac{1}{S} \frac{dW_e}{dt},$$

де dW_e – енергія, яка випромінюється поверхнею S за час dt .

2. Спектральна густина енергетичної світності (випромінювальної здатності) $r_{\nu,T}$, яка характеризує розподіл енергії в спектрі випромінювання тіла за частотами, визначається співвідношеннями:

$$r_{\nu,T} = \frac{dR_e}{d\nu}, \quad R_e = \int_0^\infty r_{\nu,T} d\nu.$$

3. Зауважимо, що у фізичній літературі не має єдиної термінології щодо величин, які характеризують теплове випромінювання. Так, енергетичну світність ще часто називають інтегральною світністю, інтегральною випромінювальною здатністю або сумарною потужністю випромінювання. Спектральну густину енергетичної світності часто називають випромінювальною здатністю.

4.4. Квантова природа світла і хвильові властивості частинок

Основні формули

1. Енергія фотона:

$$E = h\nu,$$

де ν – частота коливань, h – стала Планка.

2. Імпульс фотона:

$$p = \frac{h\nu}{c},$$

де c – швидкість світла.

3. Маса фотона:

$$m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{p}{c}.$$

4. Формула Ейнштейна для фотоефекту:

$$h\nu = A + E_k,$$

де A – робота виходу електрона з металу, E_k – кінетична енергія електрона.

5. Червона межа фотоефекту:

$$\nu_0 = \frac{A}{h}.$$

6. Зміна довжини хвилі фотона при комптонівському розсіюванні:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right),$$

де λ_c – комптонівська довжина хвилі розсіювача; φ – кут розсіяння.

7. Співвідношення де-Бройля:

$$\lambda_B = \frac{h}{m\nu},$$

де m – маса частинки, ν – її швидкість.

Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Основним співвідношенням, яким користуються при розв'язуванні задач, пов'язаних з фотоелектричним ефектом, є формула Ейнштейна для фотоефекту.

2. Якщо енергія фотона менша 5 кеВ, то кінетична енергія електрона може бути визначена за класичною нерелятивістською формулою:

$$E_k = \frac{m\nu^2}{2}.$$

3. Якщо енергія фотона більша 5 кеВ, то для розрахунку кінетичної енергії слід скористатись релятивістською формулою:

$$E_k = (m - m_0)c^2,$$

де m – релятивістська маса рухомого електрона, m_0 – маса спокою електрона, c – швидкість світла у вакуумі.

4.5. Закони радіоактивного розпаду. Енергія зв'язку ядер. Ядерні реакції

Основні формули

1. Основний закон радіоактивного розпаду:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

де N_0 – кількість атомів у початковий момент часу; N – кількість атомів, які ще не розпалися (залишилися) на момент часу t ; λ – стала радіоактивного розпаду.

2. Кількість атомів, що розпалися за час dt :

$$dN = -\lambda N dt.$$

3. Середній час життя радіоактивного ядра:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

4. Активність радіоактивного елемента:

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

5. Енергія зв'язку ядра:

$$E_{зв} = c^2 \Delta m,$$

де c – швидкість світла у вакуумі; Δm – дефект маси атомного ядра.

6. Питома енергія зв'язку:

$$\varepsilon = \frac{E_{зв}}{A},$$

де A – масове число.

7. Дефект маси:

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{я},$$

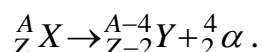
де $m_p, m_n, m_{я}$ – відповідно, маса протона, нейтрона, ядра.

8. Енергія, що поглинається або виділяється під час ядерної реакції:

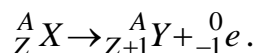
$$\Delta W = c^2 (\sum M_1 - \sum M_2),$$

де $\sum M_1$ – сума мас часток до реакції; $\sum M_2$ – сума мас часток після реакції.

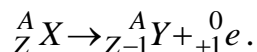
9. α -розпад:



10. β^- -розпад:



11. β^+ -розпад:



Методичні вказівки до розв'язування задач

1. Основним співвідношенням, яким користуються при розв'язуванні задач, пов'язаних з радіоактивним розпадом, є основний його закон.

2. Усі типові задачі цього розділу можна розв'язати аналітичним методом, користуючись основними формулами, наведеними вище.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Механіка

1. Точка рухається по колу радіусом $R = 4$ м. Закон її руху задано рівнянням $x = A + Bt^2$, де $A = 8$ м; $B = -2$ м/с². Знайти момент часу t , коли нормальне прискорення точки дорівнює 9 м/с²; швидкість, тангенціальне і повне прискорення точки в цей момент часу.
2. Колесо радіусом $R = 0,3$ м обертається згідно рівняння $\varphi = At + Bt^3$, де $A = 1$ рад/с; $B = 0,1$ рад/с³. Визначити повне прискорення точок на поверхні колеса в момент часу 2 с.
3. Точка рухається прямолінійно згідно рівняння $s = At + Bt^3$, де $A = 6$ м/с; $B = 0,125$ м/с³. Знайти середню швидкість точки в інтервалі часу від 2 с до 6 с.
4. Снаряд масою 10 кг у верхній точці траєкторії має швидкість 300 м/с. У цей момент він розірвався на 2 частини. Менша частина масою 2 кг отримала швидкість 500 м/с, спрямовану вперед під кутом 60° до площини горизонту. З якою швидкістю і в якому напрямку полетіла більша частина?
5. Снаряд, що має швидкість 300 м/с, розірвався на 2 частини. Менша частина масою 20% від загальної маси снаряду полетіла в протилежному напрямку зі швидкістю 200 м/с. З якою швидкістю і в якому напрямку полетіла більша частина?
6. Людина, що стоїть у човні, зробила 6 кроків і зупинилася. На скільки кроків пересунувся човен, якщо маса човна у 2 рази більша, ніж маса людини?
7. До стелі вагона, що рухається зі швидкістю 18 км/год, підвішений на нитці вантаж. На який кут відхилиться нитка при гальмуванні вагона, якщо він зупинився через 5 с після початку гальмування?
8. Тіло ковзає вздовж похилої площини, розташованої під кутом 30° до горизонту. Пройшовши відстань $0,6$ м, тіло набуло швидкості 2 м/с. Визначити коефіцієнт тертя тіла відносно площини.
9. Дві однакові гирі масами по 1 кг з'єднані ниткою, перекинутою через невагомий блок, закріплений на вершині похилої площини, що складає з горизонтом кут 30° (див. рис. 1). Знайти силу натягу нитки і прискорення гир. Коефіцієнт тертя гирі по площині дорівнює $0,1$.
10. Молот для забивання палі масою $0,6$ т падає з деякої висоти на палю масою 150 кг. Знайти к.к.д. молота, вважаючи удар непружним. Корисною вважати енергію, витрачену на заглиблення палі.
11. Вантаж масою 10 кг підвішений на нитці довжиною 2 м. У вантаж влучає і застряє в ньому куля масою 5 г. Визначити швидкість кулі до удару, якщо нитка з вантажем відхилилася від вертикалі на кут 3° .
12. Вагон масою 40 т, що рухається зі швидкістю $0,1$ м/с, вдаряється об стінку. При цьому буферні пружини стискаються на 10 см. Визначити максимальну силу стискання пружин і час повного гальмування вагона.
13. Із шахти глибиною 600 м підіймають кліть масою 3 т на канаті, кожний метр

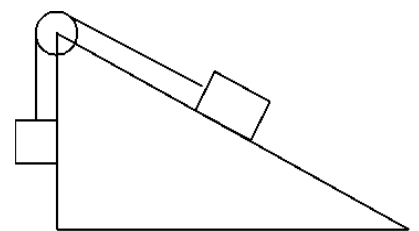


Рис. 1

- якого має масу 1,5 кг. Яка робота виконується при підніманні кліті на поверхню землі?
14. Диск радіусом $R = 0,2$ м і масою $m = 7$ кг обертається згідно з рівнянням $\varphi = A + Bt + Ct^3$, де $A = 3$ рад; $B = -1$ рад/с; $C = 0,1$ рад/с³. Визначити закон, за яким змінюється обертальний момент сил, що діє на диск. Визначити момент сил в момент часу 2 с.
 15. Суцільний циліндр котиться по горизонтальній площині зі швидкістю 10 м/с. Яку відстань пройде циліндр до зупинки? Коефіцієнт тертя 0,02.
 16. Через блок радіусом 3 см перекинаний шнур, до кінців якого підвішені вантажі масами 0,1 кг і 0,12 кг. Вантажі рухаються з прискоренням 0,3 м/с². Визначити момент інерції блока.
 17. На лаві Жуковського стоїть людина і тримає в руках стержень, розміщений вертикально вздовж осі обертання лави. Сумарний момент інерції людини і лави 6 кг·м². Довжина стержня 2,4 м, його маса 8 кг. Лава обертається з кутовою швидкістю 1 рад/с. З якою кутовою швидкістю буде обертатися лава, якщо повернути стержень у горизонтальне положення?
 18. Рівняння коливань матеріальної точки $x = A \sin \omega t$, де $\omega = 2$ с⁻¹; $A = 5$ см. У момент, коли на точку діяла повертаюча сила +5 мН, вона мала потенціальну енергію 0,1 мДж. Знайти цей момент часу і відповідне значення фази коливань.
 19. Диск радіусом 24 см коливається під дією сили тяжіння навколо горизонтальної осі, що проходить через середину одного з його радіусів перпендикулярно до площини диска. Визначити частоту коливань.
 20. Точка здійснює гармонічні коливання. У деякий момент часу зміщення точки дорівнює 5 см, її швидкість – 20 см/с, прискорення – 80 см/с². Знайти циклічну частоту, період коливань, амплітуду та фазу у цей момент часу.

Молекулярна фізика і термодинаміка

1. В озеро, яке має середню глибину 10 м і площу поверхні 20 км², кинули кристалик кухонної солі масою 0,01 г. Скільки молекул цієї солі було б у наперстку води об'ємом 0,002 л, взятій з озера, якщо вважати, що сіль, розчинившись, рівномірно розподілилася у всьому об'ємі води?
2. Скляну трубку довжиною 10 см на 1/3 занурюють у ртуть. Потім її закривають пальцем і виймають. Якої довжини стовпчик ртуті залишиться у трубці? Стовпчик ртуті у ртутному барометрі знаходиться на висоті 75 см.
3. Посередині відкачаної запаяної з обох кінців горизонтальної трубки довжиною 1 м міститься стовпчик ртуті довжиною 20 см. Якщо трубку поставити вертикально, то стовпчик ртуті зміститься на 10 см. До якого тиску було відкачано з трубки повітря? Густина ртуті $1,36 \cdot 10^4$ м.
4. У балоні об'ємом 20 л знаходиться аргон під тиском 800 кПа і при температурі 325 К. Після того, як з балону випустили деяку кількість аргону, тиск у балоні знизився до 600 кПа, а температура – до 300 К. Визначити масу аргону, випущеного з балону.
5. Обчислити густину азоту, що знаходиться в балоні під тиском 20 ат. при температурі 290 К.
6. Два однакові балони містять кисень. В одному тиск 1 МПа, температура 400 К, в другому тиск 1,5 МПа, температура 250 К. Балони з'єднали трубкою й охолодили до температури 300 К. Визначити тиск у балонах.
7. Балон об'ємом 0,01 м³ містить 7 г азоту і 1 г водню при температурі 280 К. Визначити тиск суміші газів.
8. Знайти середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули водню, а також сумарну кінетичну енергію всіх молекул одного моля водню при температурі 190 К.
9. В азоті зависли найдрібніші пилінки, кожна масою 10^{-10} г, які рухаються так, немовби вони є дуже великими молекулами. Температура газу 293 К. Визначити середні квадратичні швидкості і середні кінетичні енергії поступального руху молекул азоту і пилинок.
10. Газ займає об'єм 1 л під тиском 0,2 МПа. Визначити кінетичну енергію поступального руху всіх молекул газу.
11. Визначити молярні і питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі для кисню і аргону.
12. Визначити середню частоту зіткнень молекули водню при температурі 300 К і тиску 10^{-3} мм рт. ст.
13. Визначити густину водню, якщо середня довжина вільного пробігу молекул 1 мм.
14. Газ виконує цикл Карно. Температура нагрівача 475 К, охолоджувача 260 К. При ізотермічному розширенні газ виконав роботу 100 Дж. Визначити к. к. д. циклу, а також теплоту, віддану охолоджувачу при ізотермічному стисненні.
15. При ізотермічному розширенні 1 г водню його об'єм зріс у 2 рази. Визначити роботу розширення і теплоту, отриману газом, якщо його температура 300 К.

16. Кисень масою 2 кг займає об'єм 1 м^3 і знаходиться під тиском 0,2 МПа. При нагріванні газ розширився при сталому тиску до 3 м^3 , а потім його тиск зріс до 0,5 МПа при сталому об'ємі. Визначити отриману газом теплоту, приріст внутрішньої енергії і виконану газом роботу. Побудувати графік процесу.
17. Якою буде відносна вологість повітря у квартирі, якщо відкрити двері між сусідніми кімнатами площею 15 м^2 і 10 м^2 , відносні вологості в яких 60 % і 50 %? Температура однакова.
18. У калориметр, який містить 0,15 кг льоду при температурі $0 \text{ }^\circ\text{C}$, впустили водяну пару при температурі $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Скільки води виявилось у калориметрі після того, як весь лід розтанув, якщо температура води у калориметрі стала $30 \text{ }^\circ\text{C}$?
19. У сталеву посудину масою 300 г налили 1,5 л води при температурі $17 \text{ }^\circ\text{C}$. У воду кинули грудочку мокрої снігу, маса якої 200 г. Коли сніг розтанув, у посудині встановилася температура $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Скільки води було у грудочці снігу?
20. Яку роботу потрібно виконати проти сил поверхневого натягу, щоб видути мильну бульбашку радіусом 0,05 м?

Електрика і магнетизм

1. Три однакових кульки масами по 0,12 г кожна підвішені до однієї точки на нитках довжиною 20 см. Які заряди необхідно надати кожній кульці, щоб кожна нитка складала з вертикаллю кут 30° ?
2. Відстань між двома точковими зарядами 180 нКл і 720 нКл дорівнює 60 см. Визначити, в яку точку необхідно помістити третій заряд, щоб система зарядів знаходилася у рівновазі. Визначити величину і знак заряду.
3. У вершинах квадрата зі стороною 20 см розміщені однакові заряди по 10 нКл. Знайти силу, що діє на кожен заряд.
4. На продовженні осі тонкого стержня на відстані 10 см від його кінця знаходиться точковий заряд 0,1 мкКл. Стержень заряджений з лінійною густиною заряду 1 нКл/см, його другий кінець іде у нескінченність. Визначити силу взаємодії стержня і заряду.
5. Дві нескінченні нитки розміщені паралельно на відстані 10 см. На одній з них рівномірно розподілений заряд з лінійною густиною -2 нКл/см, на іншій – $+4$ нКл/см. Визначити напруженість електричного поля у точці, віддаленій від першої нитки на 6 см і від другої – на 8 см.
6. Три однакових краплі ртуті, заряджених до потенціалу 20 В, зливаються в одну. Який потенціал краплі, що утворилася?
7. Дві нескінченні площини розміщені паралельно на відстані 0,5 см. На одній з них рівномірно розподілений заряд з поверхневою густиною $0,3$ мкКл/м², на іншій – $+0,2$ мкКл/м². Визначити різницю потенціалів між площинами.
8. Іон атома водню H^+ пройшов різницю потенціалів 100 В, іон атома калію K^+ – різницю потенціалів 200 В. Знайти відношення швидкостей цих іонів.
9. Два конденсатори ємностями 5 мкФ і 10 мкФ заряджені до напруг 60 В і 100 В, відповідно. Визначити напругу на конденсаторах після того, як з'єднали їх обкладки, що мають однойменні заряди.
10. Плоский конденсатор, утворений двома пластинами на відстані 2 см, заряджений до напруги 6 кВ. Заряд кожної пластини 1 нКл. Визначити енергію електричного поля і силу притягання пластин.
11. До повітряного конденсатора, зарядженого до різниці потенціалів 500 В, приєднали паралельно такий же за розмірами незаряджений конденсатор зі скляним діелектриком. Після цього різниця потенціалів зменшилася до 70 В. Визначити діелектричну проникність скла.
12. Е. р. с. батареї 12 В. Максимальна сила струму від цієї батареї 6 А. Визначити максимальну потужність, яка може бути отримана на зовнішній ділянці кола.
13. Е. р. с. батареї 8 В. При силі струму 2 А к. к. д. батареї дорівнює 0,75. Визначити її внутрішній опір.
14. Сила струму у провіднику змінюється з часом за законом $I = I_0 \sin \omega t$, де $I_0 = 5$ А, $\omega = 100\pi$ с⁻¹. Визначити заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за половину періоду коливальних.
15. По провіднику, що має форму прямокутника зі сторонами 6 см і 10 см, тече струм 20 А. Визначити напруженість магнітного поля у центрі прямокутника.

16. По провіднику, що має форму кола, тече струм. Напруженість магнітного поля струму в центрі кола 20 А/м . Провіднику надали форму квадрата і ввімкнули такий самий струм. Визначити напруженість магнітного поля у центрі квадрата.
17. Котушка, що має 1500 витків площею 50 см^2 , обертається з частотою 960 об./хв у магнітному полі напруженістю 10^5 А/м . Вісь обертання лежить у площині рамки і перпендикулярна до силових ліній поля. Визначити максимальну е. р. с. індукції у рамці.
18. У магнітному полі напруженістю 2 кА/м обертається стержень довжиною 20 см з частотою 10 с^{-1} . Площина обертання перпендикулярна до силових ліній поля, а вісь обертання проходить через один із кінців стержня. Визначити різницю потенціалів на кінцях стержня.
19. Рамка площею 100 см^2 , що має опір $0,01 \text{ Ом}$, рівномірно обертається у магнітному полі з індукцією $0,05 \text{ Тл}$. Вісь обертання лежить у площині рамки і перпендикулярна до силових ліній поля. Визначити заряд, що протече через рамку, при зміні кута між нормаллю до рамки і силовими лініями: 1) від 0 до 30° ; 2) від 30° до 60° ; 3) від 60° до 90° .
20. По замкненому колу опором 23 Ом тече струм. Через 10 мс після розмикання кола, сила струму в ньому зменшилася у 10 разів. Визначити індуктивність кола.

Оптика і атомна фізика

1. Пучок паралельних променів шириною 2 см падає з повітря на поверхню скла під кутом 60° . Визначити ширину пучка у склі, якщо показник заломлення 1,6.
2. Відстань між екраном і лампою 90 см. Розташували між ними лінзу з фокусною відстанню 16 см, отримали чітке збільшене в три рази зображення нитки розжарення лампи. На скільки і куди потрібно перемістити лампу, щоб отримати зменшене зображення. Зробити малюнок.
3. У кімнаті ввімкнули дві лампи, що знаходяться на відстані 3 м одна від одної й на висоті 2 м над поверхнею стола. Визначити освітленість стола у точці, яка рівновіддалена від обох ламп і лежить у вертикальній площині, що проходить через лампи. Кожна з ламп дає потік 2500 лм.
4. На гліцеринову плівку товщиною 1 мкм падає біле світло нормально до її поверхні. Визначити довжини хвиль видимої ділянки спектру, які будуть ослаблені внаслідок інтерференції.
5. У досліді Юнга відстань від щілин до екрану 1,5 м. Визначити відстань між щілинами, якщо 8 темних інтерференційних смуг займають ширину 1 см. Довжина хвилі світла 0,6 мкм.
6. На тонкий скляний клин падає нормально світло з довжиною хвилі 600 нм. Відстань між сусідніми темними інтерференційними смугами у відбитому світлі 0,4 мм. Показник заломлення скла 1,5. Визначити кут між поверхнями клина.
7. На скляну пластину покладена опуклою стороною плоскоопукла лінза з фокусною відстанню 2 м. Радіус п'ятого темного кільця Ньютона у відбитому світлі 1,5 мм. Визначити довжину хвилі світла.
8. Дифракційна решітка, освітлена монохроматичним світлом, що падає нормально, відхиляє спектр третього порядку на 30° . На який кут вона відхиляє спектр 4-го порядку?
9. На непрозору пластину з вузькою щілиною падає нормально світло з довжиною хвилі 500 нм. Кут відхилення променів першого дифракційного максимуму 30° . Визначити ширину щілини.
10. Визначити максимальну спектральну світність абсолютно чорного тіла при температурі 2000 К, а також довжину хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності.
11. Як і в скільки разів зміниться енергетичний потік від абсолютно чорного тіла, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності, переміститься з червоної межі видимого спектру (780 нм) до фіолетової (390 нм)?
12. Червона межа фотоефекту для цезію 653 нм. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів, вибитих з цезію фіолетовим світлом довжиною хвилі 420 нм.
13. Для світла довжиною хвилі 500 нм поріг зорового відчуття людського ока становить $2,1 \cdot 10^{-13} \text{ Вт/м}^2$. Яка найменша кількість фотонів повинна потрапляти в око людини за 1 с, щоб викликати зорове відчуття? Діаметр зіниці ока прийняти 0,7 см.

14. Яку прискорюючу різницю потенціалів пройшов електрон, якщо, розпочавши рух із стану спокою, він набув швидкості 0,95 с відносно лабораторної ІСВ?
15. Визначити максимальну енергію і відповідну довжину хвилі фотона серії Пашена у спектрі випромінювання атомарного водню.
16. Атом водню, що знаходиться в основному стані, поглинає фотон з довжиною хвилі 121,5 нм. За теорією Бора обчислити радіус електронної орбіти після цього.
17. Скільки довжин хвиль де Бройля вкладається вздовж 3-ї орбіти однократно іонізованого збудженого атома гелію? Обчислити енергію ядерної реакції:

$${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1.$$
 Випромінюється чи поглинається ця енергія?
18. Визначити енергію β -розпаду ядра карбону ${}_6\text{C}^{14}$.
19. Активність препарату, який містить радіоактивний елемент, зменшилась у 8 разів протягом 12 діб. Визначити період піврозпаду елемента.
20. Корисна потужність ядерного реактора атомного підводного човна 15 МВт при термодинамічному ККД 20 %. Ядерним паливом служить збагачений уран, що містить 25 % ізотопу ${}_{92}\text{U}^{235}$. Визначити масу урану, що використовується для річного плавання човна, якщо при поділі одного ядра атома урану виділяється енергія 200 МеВ.

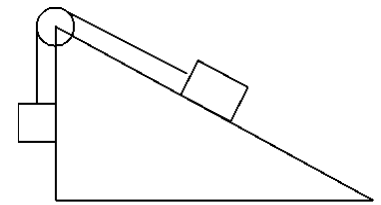
ЗАДАЧІ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Механіка

1. Матеріальна точка рухається по колу радіусом $R = 2$ м згідно з рівнянням $s = At + Bt^3$, де $A = 8$ м/с; $B = -0,2$ м/с³. Знайти швидкість; нормальне, тангенціальне і повне прискорення у момент часу 3 с.
2. Рухи двох точок визначаються рівняннями $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2$ і $x_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2$, де $A_1 = 20$ м; $B_1 = 2$ м/с, $C_1 = -4$ м/с²; $A_2 = 2$ м; $B_2 = 2$ м/с, $C_2 = 0,5$ м/с². В який момент часу швидкості точок будуть однаковими? Визначити швидкості і прискорення точок в цей момент.
3. Точка рухається прямолінійно згідно з рівнянням $s = At + Bt^3$, де $A = 3$ м/с; $B = 0,06$ м/с³. Знайти швидкість і прискорення точки у початковий момент часу та у момент часу 3 с. Визначити середні значення швидкості і прискорення за перші 3 с руху.
4. Залежність пройденого тілом шляху s від часу t задано рівнянням $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $C = 0,14$ м/с² і $D = 0,01$ м/с³. Через який час після початку руху прискорення тіла буде дорівнювати 1 м/с²?
5. Дві точки рухаються згідно рівнянь $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2$ і $x_2 = A_2 + C_2t^2$, де $A_1 = 10$ м; $B_1 = 32$ м/с; $C_1 = -3$ м/с²; $A_2 = 5$ м; $C_2 = 5$ м/с². В який момент часу швидкості точок будуть однаковими? Визначити швидкості і прискорення точок у цей момент.
6. Колесо радіусом $R = 0,2$ м обертається згідно рівняння $\varphi = A + Bt + Ct^3$, де $A = 3$ рад; $B = -1$ рад/с; $C = 0,1$ рад/с³. Визначити тангенціальне, нормальне і повне прискорення точок на поверхні колеса у момент часу 10 с.
7. Точка рухається по колу радіусом $R = 10$ м. У деякий момент часу нормальне прискорення точки 9 м/с². Вектор повного прискорення у цей момент утворює з вектором нормального прискорення кут 60°. Знайти швидкість і тангенціальне прискорення точки.
8. Точка рухається по колу радіусом $R = 0,1$ м згідно рівняння $\varphi = A + Bt + Ct^2$, де $A = 10$ рад; $B = 20$ рад/с; $C = -2$ рад/с². Знайти повне прискорення точки у момент часу 4 с.
9. Людина масою 70 кг стоїть на візку масою 210 кг, що рухається горизонтально зі швидкістю 3 м/с. Після того, як людина стрибнула у напрямку, протилежному до напрямку руху візка, швидкість візка стала рівною 4 м/с. Визначити, з якою швидкістю відносно візка стрибнула людина.
10. Кулька масою 200 г рухається зі швидкістю 10 м/с під кутом 30° до площини стінки. Після удару кулька відскочила від стінки, причому модуль її швидкості не змінився. Визначити імпульс, отриманий стінкою.
11. Кулька масою 100 г вільно падає з висоти 1 м на сталеву плиту і підстрибує на висоту 0,5 м. Визначити імпульс (за величиною і напрямком), переданий плитою кульці.
12. На залізничній платформі встановлено гармату, жорстко з'єднану з платформою. Загальна маса платформи і гармати 20 т. Гармата виконує постріл під кутом 60° до горизонту у напрямку руху. Маса снаряду 50 кг, його швидкість 500 м/с. Яку швидкість отримують платформа з гарматою

внаслідок віддачі?

13. Два однакових човни масами по 200 кг рухаються паралельними курсами назустріч з однаковими швидкостями 1 м/с. Коли вони зрівнялися, з першого човна у другий і з другого в перший одночасно перекидають вантажі масами по 20 кг. Визначити швидкості човнів після цього.
14. Човен масою 210 кг і довжиною 6 м стоїть у воді носом до берега. На кормі човна стоїть людина масою 70 кг. На яку відстань відійде човен від берега, якщо людина перейде з корми на ніс човна?
15. У човні масою 240 кг стоїть людина масою 60 кг. Човен пливе зі швидкістю 2 м/с. Людина стрибає з човна у горизонтальному напрямку зі швидкістю 4 м/с (відносно човна). Знайти швидкість човна після стрибка людини: 1) у напрямку руху човна; 2) у протилежному напрямку.
16. Тіло ковзає вздовж похилої площини, розташованої під кутом 45° відносно горизонту. Залежність пройденої відстані від часу задано рівнянням $s = Vt^2$, де $V = 1,73 \text{ м/с}^2$. Визначити коефіцієнт тертя тіла відносно площини.
17. Дві гирі масами 3 кг і 5 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через невагомий блок. Знайти силу натягу нитки і прискорення гир.
18. Дві однакові гирі масами по 1 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через невагомий блок, закріплений на краю столу, так, що одна гиря висить, а друга ковзає по столу з коефіцієнтом тертя 0,1. Знайти силу натягу нитки і прискорення гир.
19. Дві однакові гирі масами по 1 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через невагомий блок, закріплений на вершині похилої площини, що складає з горизонтом кут 30° (див. рис.1). Знайти силу натягу нитки і прискорення гир. Тертям знехтувати.
20. Камінь масою 0,2 кг кинули під кутом 60° до горизонту зі швидкістю 15 м/с. Знайти кінетичну, потенціальну і повну енергії каменя у найвищій точці траєкторії.
21. Тіло масою 1 кг ковзає з похилої площини висотою 1 м і довжиною 10 м. Знайти швидкість тіла у кінці площини і шлях, пройдений по горизонтальній ділянці шляху до зупинки. Коефіцієнт тертя на всьому шляху 0,05.
22. Тіло ковзає спочатку по похилій площині, розміщеній під кутом 8° до горизонту, а потім по горизонтальній поверхні. Визначити коефіцієнт тертя, якщо відомо, що шляхи, пройдені по похилій і по горизонтальній поверхнях, є рівними.
23. Куля масою 2 кг рухається зі швидкістю 3 м/с і зіштовхується з кулею масою 1 кг, що рухається назустріч зі швидкістю 4 м/с. Визначити швидкості куль після абсолютно пружного центрального удару.
24. Молот масою 10 кг вдаряє по шматку м'якого заліза, що лежить на ковадлі, масою 0,4 т. Визначити к. к. д. удару молота у даних умовах. Удар вважати непружним. Корисною є енергія, витрачена на деформацію заліза.
25. Куля масою 5 кг рухається зі швидкістю 2 м/с і зіштовхується з нерухомою кулею масою 3 кг. Визначити роботу деформації куль при непружному



Рис

центральному ударі.

26. Ядро атома розпадається на дві частини масами $1,6 \cdot 10^{-25}$ кг і $2,3 \cdot 10^{-25}$ кг. Визначити кінетичні енергії кожної частини, якщо сума їх кінетичних енергій $2,2 \cdot 10^{-11}$ Дж.
27. На краю плоту масою 140 кг і довжиною 3 м стоїть людина масою 70 кг. З якою найменшою швидкістю і під яким кутом до горизонту повинна стрибнути людина, щоб потрапити на протилежний край плоту?
28. Яку максимальну частину своєї кінетичної енергії може передати частинка масою $2 \cdot 10^{-25}$ кг при пружному зіткненні з нерухомою частинкою масою $8 \cdot 10^{-25}$ кг?
29. Куля масою 1,8 кг зіштовхується з нерухомою кулею. У результаті пружного центрального удару куля втратила 36 % своєї кінетичної енергії. Визначити масу нерухомої кулі.
30. Перша куля масою 10 кг рухається зі швидкістю 4 м/с, а друга куля масою 4 кг – зі швидкістю 12 м/с. Визначити швидкість куль після їх непружного зіткнення, якщо вони рухалися до удару: 1) назустріч; 2) друга куля наздоганяла першу.
31. З якою швидкістю вилетить із пружинного пістолету кулька масою 10 г, якщо пружина була стиснена на 5 см, а жорсткість пружини 200 Н/м?
32. Пружина жорсткістю 10^4 Н/м стиснена силою 200 Н. Визначити роботу зовнішньої сили, що додатково стискає цю пружину ще на 1 см.
33. Вагон масою 20 т рухався зі швидкістю 1 м/с. При зіткненні з нерухомою стінкою він зупинився, стиснувши пружину буфера на 10 см. Визначити жорсткість пружини.
34. Пружина жорсткістю 1000 Н/м була стиснена на 5 см. Яку роботу необхідно виконати, щоб стиснути пружину ще на 10 см?
35. Гиря, покладена на верхній край вертикально розміщеної пружини, стискає її на 2 мм. На скільки стисне пружину та сама гиря при її падінні на пружину з висоти 5 см?
36. Дві пружини, жорсткість яких 1 кН/м і 3 кН/м, з'єднані паралельно. Визначити потенціальну енергію даної системи при її навантаженні силою 200 Н.
37. Дві пружини, жорсткість яких 300 Н/м і 500 Н/м, з'єднані послідовно. Визначити роботу розтягнення цих пружин, якщо друга пружина була розтягнута на 3 см.
38. При пострілі з пружинного пістолету вертикально вгору куля масою 20 г піднялася на висоту 5 м. Визначити жорсткість пружини, якщо вона була стиснена на 10 см.
39. Маховик радіусом 10 см обертається навколо горизонтальної осі. На обід маховика намотаний шнур, до якого прив'язаний вантаж масою 800 г. При рівноприскореному опусканні вантаж пройшов відстань 160 см за 2 с. Визначити момент інерції маховика.
40. Суцільний циліндр скочується з похилої площини висотою 15 см. Визна-

чити швидкість поступального руху циліндра у кінці площини.

41. Тонкий стержень довжиною 40 см і масою 0,6 кг обертається навколо осі, що проходить через середину стержня перпендикулярно до нього. Закон обертання стержня $\varphi = At + Bt^3$, де $A = 1$ рад/с; $B = 0,1$ рад/с³. Визначити обертальний момент сил у момент часу 2 с.
42. Диск радіусом 20 см і масою 5 кг обертається з частотою 8 об/с. При гальмуванні він зупинився через 4 с. Визначити гальмівний момент сил.
43. Через блок масою 0,2 кг перекинута шнур, до кінців якого підвішені вантажі масами 0,3 кг і 0,5 кг. Визначити сили натягу шнура з обох сторін блока під час руху вантажів, якщо маса блока рівномірно розподілена вздовж його ободу.
44. Суцільний циліндр масою 12 кг може обертатися навколо горизонтальної осі. На циліндр намотали шнур і прив'язали гирю масою 1 кг. Визначити силу натягу шнура і прискорення гирі під час її опускання.
45. Два однакових маховика обертаються з однаковою кутовою швидкістю 63 рад/с. Внаслідок тертя один маховик зупинився через 1 хв, а другий зробив до зупинки 360 обертів. У якого маховика гальмівний момент сил більший і в скільки разів?
46. На краю горизонтальної платформи у формі диска радіусом 2 м і масою 200 кг стоїть людина масою 80 кг. Платформа може обертатися навколо вертикальної осі без тертя. З якою кутовою швидкістю буде обертатися платформа, якщо людина буде йти вздовж її краю зі швидкістю 2 м/с відносно платформи?
47. На краю горизонтальної платформи у формі диска масою 240 кг стоїть людина масою 60 кг. Платформа може обертатися навколо вертикальної осі без тертя. На який кут повернеться платформа, якщо людина пройде вздовж краю платформи і, обійшовши її, повернеться у вихідну точку? Людину вважати матеріальною точкою.
48. Кулька масою 50 г, прив'язана до кінця нитки довжиною 1 м, обертається з частотою 1 об/с, ковзаючи без тертя по горизонтальній площині. Визначити частоту обертання після того, як нитку вкоротили на 0,5 м. Яку роботу виконала сила, що вкоротила нитку?
49. На краю горизонтальної платформи у формі диска радіусом 1 м стоїть людина масою 80 кг. Момент інерції платформи $120 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Платформа обертається навколо вертикальної осі без тертя з частотою 6 об/хв. З якою частотою буде обертатися платформа, якщо людина перейде в її центр? Людину вважати матеріальною точкою.
50. На лаві Жуковського стоїть людина і ловить м'яч масою 0,4 кг, що летить горизонтально зі швидкістю 20 м/с, на відстані 0,8 м від осі обертання лави. Сумарний момент інерції людини і лави $6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. З якою кутовою швидкістю буде обертатися лава після того, як людина спіймає м'яч?
51. На нерухомій лаві Жуковського стоїть людина і тримає в руках стержень, розміщений вертикально вздовж осі обертання лави. Стержень є віссю обертання колеса, розміщеного на верхньому кінці стержня, яке обертається з частотою 10 об/с. Сумарний момент інерції людини і лави $6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, радіус

колеса 20 см. Маса колеса 3 кг розподілена вздовж його ободу. З якою кутовою швидкістю буде обертатися лава, якщо людина поверне стержень з колесом на 180° ?

52. Маховик у формі диска радіусом 40 см і масою 50 кг може обертатися навколо горизонтальної осі. На цій осі жорстко закріплений шків радіусом 10 см. По дотичній до шківів прикладена сила 500 Н. Через який час маховик розкрутиться до частоти 1 об/с?
53. У центрі горизонтальної платформи у формі диска радіусом 1,5 м і масою 180 кг стоїть людина масою 60 кг. Платформа обертається навколо вертикальної осі без тертя з частотою 10 об/хв. Яку швидкість відносно землі буде мати людина, якщо вона перейде на край платформи? Людину вважати матеріальною точкою.
54. Стержень довжиною 1 м і масою 3 кг підвішений на горизонтальній осі, що проходить через верхній кінець стержня. М'яч масою 2 кг, що летить горизонтально, влучає в нижній кінець стержня і пружно відбивається. Стержень після удару відхилився від вертикалі на кут 60° . Визначити швидкість м'яча до удару.
55. Матеріальна точка масою 100 г здійснює гармонічні коливання з амплітудою 20 см і максимальною швидкістю 40 см/с. Написати рівняння коливань і знайти максимальне значення сили, що діє на точку.
56. Стержень довжиною 40 см коливається під дією сили тяжіння навколо горизонтальної осі, що проходить через його верхній кінець. Визначити період коливань.
57. Рівняння коливань матеріальної точки масою 0,01 кг: $x = A \sin \omega t$, де $\omega = 8\pi \text{ c}^{-1}$; $A = 0,2 \text{ м}$. Знайти повертаючу силу в момент часу 0,1 с, а також повну енергію точки.
58. Рівняння коливань матеріальної точки масою 0,1 г: $x = A \sin \omega t$, де $\omega = 20 \text{ c}^{-1}$; $A = 5 \text{ см}$. Визначити максимальні значення повертаючої сили і кінетичної енергії.
59. Диск радіусом 30 см коливається під дією сили тяжіння навколо горизонтальної осі, що співпадає з однією із твірних циліндричної поверхні диска. Визначити період коливань.
60. На гладкому столі лежить вантаж масою 200 г, прикріплений до горизонтально розміщеної пружини жорсткістю 500 Н/м. У вантаж влучає куля масою 10 г, що летить уздовж осі пружини зі швидкістю 300 м/с, і застряє у ньому. Визначити амплітуду і період коливань вантажу.

Молекулярна фізика і термодинаміка

1. Обчислити густину кисню, що знаходиться у балоні під тиском 1 МПа при температурі 300 К.
2. Деякий газ знаходиться під тиском 700 кПа при температурі 308 К. Визначити його відносну молекулярну масу, якщо густина газу $12,2 \text{ кг/м}^3$.
3. У балоні об'ємом 40 л знаходиться азот при температурі 300 К. Після того, як з балону випустили частину азоту, тиск у балоні знизився на 400 кПа. Визначити масу азоту, випущеного з балону. Процес вважати ізотермічним.
4. У балоні об'ємом 50 л знаходиться кисень при температурі 300 К. Після того, як з балону випустили деяку кількість кисню, тиск у балоні знизився на 200 Па. Визначити масу кисню, випущеного з балону. Процес вважати ізотермічним.
5. Визначити густину насиченої водяної пари при температурі 300 К під тиском 26,7 мм рт. ст.
6. Густина газу під тиском 96 кПа при температурі 0°C дорівнює 1,35 г/л. Визначити молярну масу газу.
7. При температурі 35°C під тиском 708 кПа густина деякого газу $12,2 \text{ кг/м}^3$. Визначити відносну молекулярну масу газу.
8. Балон об'ємом 30 л містить суміш водню і гелію при температурі 300 К під тиском 0,8 МПа. Маса суміші 24 г. Визначити маси водню і гелію.
9. У балоні об'ємом 11,2 л міститься водень при нормальних умовах. Після того, як у балон було додано деяку кількість гелію, тиск у балоні зріс до 0,15 МПа, а температура не змінилася. Визначити масу гелію.
10. Визначити густину суміші газів, що складається з однієї масової частини водню і 8 масових частин кисню під тиском 0,1 МПа і при температурі 290 К.
11. Азот міститься у балоні об'ємом 20 л під тиском 2,5 МПа, а кисень – у балоні об'ємом 44 л під тиском 1,6 МПа. Балони з'єднали трубкою для утворення суміші. Визначити парціальні тиски компонент. Процес ізотермічний.
12. Балон об'ємом 30 л містить суміш водню і гелію при температурі 300 К під тиском 0,8 МПа. Маса суміші 24 г. Визначити маси водню і гелію.
13. Балон містить 80 г кисню і 320 г аргону при температурі 300 К під тиском 1 МПа. Визначити об'єм балону.
14. У балоні об'ємом 15 л міститься суміш: 10 г водню, 54 г водяної пари і 60 г вуглекислого газу при температурі 27°C . Визначити тиск.
15. Суміш кисню і азоту міститься у балоні під тиском 1 МПа. Маса кисню складає 20 % від маси суміші. Визначити парціальні тиски компонент.
16. Балон об'ємом 15 л містить суміш водню і азоту при температурі 300 К під тиском 1,23 МПа. Маса суміші 145 г. Визначити маси водню і азоту.
17. Визначити середню кінетичну енергію однієї молекули водяної пари при температурі 360 К.
18. Визначити температуру газу, якщо середня кінетична енергія поступального руху його молекул $2,07 \cdot 10^{-21}$ Дж.

19. Знайти середню кінетичну енергію поступального руху однієї молекули, а також сумарну кінетичну енергію всіх молекул 1 моля і 1 кг гелію при температурі 70 К.
20. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули двоатомного газу, якщо сумарна кінетична енергія молекул одного кіломоля цього газу 3,01 МДж.
21. Балон об'ємом 4 л містить 0,6 г деякого газу під тиском 0,2 МПа. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу.
22. Пляшку наповнили газом і щільно закрили пробкою, площа перерізу якої становить $2,5 \text{ см}^2$. До якої температури треба нагріти газ, щоб пробка вилетіла з пляшки, якщо сила тертя, яка утримує пробку, дорівнює 12 Н? Початковий тиск повітря у пляшці дорівнює зовнішньому тискові і становить 10 кПа, а початкова температура дорівнює $-3 \text{ }^\circ\text{C}$.
23. Визначити внутрішню енергію 0,5 моля водню, а також середню кінетичну енергію однієї молекули при температурі 300 К.
24. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули водню, а також сумарну кінетичну енергію всіх молекул 1 кг водню при температурі 300 К.
25. Обчислити теплоємність при сталому об'ємі 2-атомного газу, що займає об'єм 10 л при нормальних умовах.
26. Суміш містить 2 моля 1-атомного і 1 моль 2-атомного газів. Визначити молярні теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі суміші.
27. Визначити теплоємність при сталому об'ємі 1-атомного газу, що займає 20 л при нормальних умовах.
28. Відносна молекулярна маса газу дорівнює 4. Показник адіабати дорівнює 1,67. Визначити питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі.
29. Питомі теплоємності газу $c_v = 10,4 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ і $c_p = 14,6 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Визначити його молярні теплоємності.
30. Різниця питомих теплоємностей газу $c_p - c_v = 2,08 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Визначити молярну масу газу.
31. Газ знаходиться у балоні об'ємом 100 л під тиском 0,2 МПа при температурі 350 К. Теплоємність при сталому об'ємі газу 140 Дж/К. Визначити показник адіабати цього газу.
32. Визначити молярні і питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі для азоту і гелію.
33. Суміш містить кисень O_2 з масовою часткою 85 % і озон O_3 з масовою часткою 15 %. Визначити питомі теплоємності при сталому тиску і сталому об'ємі цієї суміші.
34. Середня довжина вільного пробігу молекул кисню при нормальних умовах 10^5 см . Обчислити середню арифметичну швидкість молекул і середню частоту зіткнень однієї молекули.
35. Знайти діаметр молекули водню, якщо при нормальних умовах середня довжина вільного пробігу молекул 112 нм.
36. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул водню при температурі

300 К і тиску 40 мкПа.

37. Балон об'ємом 10 л містить 1 г азоту. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул.
38. Балон об'ємом 5 л містить 1 г водню. Визначити середню частоту зіткнень молекули при кімнатній температурі.
39. Визначити середню довжину вільного пробігу і середню частоту зіткнень молекули гелію при температурі 400 К і тиску 1 Па.
40. Газ виконує цикл Карно. Робота ізотермічного розширення газу 5 Дж. Визначити роботу ізотермічного стиснення, якщо термічний к. к. д. циклу 0,2.
41. При виконанні циклу Карно газ віддав холодильнику теплоту 4 кДж. Робота циклу 1 кДж. Визначити температуру нагрівача, якщо температура холодильника 300 К.
42. При виконанні циклу Карно газ отримує від нагрівача теплоту 42 кДж. Яку роботу виконує газ, якщо температура нагрівача у 3 рази вища, ніж температура холодильника?
43. У циліндрі під поршнем міститься 20 г водню при температурі 300 К. Після адіабатичного розширення у 5 раз, водень був ізотермічно стиснений у 5 раз. Знайти температуру в кінці адіабатичного розширення і повну роботу, виконану газом. Зобразити процес графічно.
44. При адіабатичному стисненні 1 кг кисню виконана робота 100 кДж. Визначити кінцеву температуру, якщо до стиснення кисень мав температуру 300 К.
45. З балону, в якому знаходився водень під тиском 1 МПа при температурі 290 К, випустили половину газу. Вважаючи процес адіабатичним, визначити кінцеві температуру і тиск.
46. Повітря адіабатно стиснене від тиску 0,1 МПа до тиску 1 МПа. Визначити тиск повітря після його охолодження до початкової температури при сталому об'ємі.
47. При ізотермічному розширенні 1 моля водню при температурі 300 К витрачена теплота 2 кДж. У скільки разів збільшився об'єм газу?
48. Азот масою 20 г нагрівається від 300 К до 450 К при сталому тиску. Визначити отриману газом теплоту, приріст внутрішньої енергії і виконану газом роботу.
49. У циліндрі під поршнем знаходиться деяка маса водню при температурі 30 °С і тиску 2 ат, яка займає об'єм 8 л. На скільки знизилася температура водню, якщо об'єм його зміниться при сталому тиску на стільки, що при цьому буде виконана робота $A = 50$ Дж?
50. У посудину, в якій міститься 1,5 кг води при температурі 15 °С, впустили 200 г водяної пари при температурі 100 °С. Яка температура встановиться у посудині після конденсації пари?
51. В алюмінієвий чайник, маса якого 400 г, налили 2 кг води при температурі 10 °С і поставили на газовий пальник, що має ККД 40%. Яка потужність пальника, якщо через 10 хв вода закипіла, причому 20 г її википіло?
52. У посудину, в якій міститься 2,8 л води при температурі 20 °С, вкинули нагрітий до 460 °С кусок сталі, що має масу 3 кг. Від цього вода у посудині

- нагрілася до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, а частина її перетворилася на пару. Визначити масу води, яка перетворилася на пару. Теплоємністю посудини знехтувати.
53. Крізь воду, що має температуру $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, пропускають водяну пару при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Скільки відсотків становить маса води, яка утворилася з пари, від маси усїєї води у посудині в момент, коли її температура дорівнює $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?
 54. Скільки дров треба спалити у печі, ККД якої дорівнює 40% , щоб дістати з 200 кг снігу, взятого при температурі $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, воду при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?
 55. Скільки сталі взятої при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, можна розплавити в печі, що має ККД 50% , спаливши 2 т кам'яного вугілля?
 56. Стальний осколок, падаючи з висоти 500 м , мав біля поверхні землі швидкість 50 м/с . На скільки градусів нагрівся осколок, якщо вважати, що вся робота на подолання опору повітря була витрачена на нагрівання осколка?
 57. Свинцева куля летить з швидкістю 200 м/с і влучає в земляний вал. На скільки градусів нагріється куля, якщо 78% її кінетичної енергії перетвориться на внутрішню?
 58. З якими однаковими швидкостями повинні летіти назустріч одна одній дві однакові крижинки, температура яких $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб при ударі вони перетворилися в пару з температурою $100\text{ }^{\circ}\text{C}$? Вважати, що при ударі вся енергія витрачається на нагрівання.
 59. За час 2 год автомобіль пройшов відстань 160 км . При цьому двигун розвивав середню потужність 70 кВт при коефіцієнті корисної дії 25% . Скільки пального зекономив водій за цю поїздку, якщо норма затрат пального 36 кг на 100 км шляху?
 60. Для наближеного визначення питомої теплоти пароутворення води лаборант виконав такий дослід. На електроплитці він нагрів воду, причому виявилось, від 10 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода нагрілася за 18 хв , а $0,2$ її маси перетворилося на пару за 23 хв . Яка питома теплота пароутворення води за даними досліджу?

Електрика і магнетизм

1. Два точкових заряди q і $4q$ розміщені на відстані 60 см один від одного. У якій точці простору необхідно розмістити третій заряд для того, щоб він знаходився у рівновазі?
2. Дві однакових заряджених кульки підвішені в одній точці на однакових нитках. При цьому нитки розійшлися на деякий кут α . Після того, як кульки занурилися в масло густиною 800 кг/м^3 , кут їхнього розходження не змінився. Визначити діелектричну проникність масла. Густина речовини кульок $1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
3. У вершинах квадрата поміщені однакові заряди $3 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$. Який негативний заряд необхідно помістити у центр квадрата, щоб усі заряди знаходилися в рівновазі?
4. Дві однаково заряджені кульки, розміщені на відстані 60 см, відштовхуються з силою 70 мкН. Кульки наблизили до стану дотику, а потім знову розвели на попередню відстань. Сила їх відштовхування зросла до 160 мкН. Обчислити заряди кульок до їх дотику.
5. Точкові заряди 1 мкКл і -1 мкКл розміщені на відстані 10 см один від одного. Визначити напруженість і потенціал поля в точці, віддаленій на 6 см від першого і на 8 см від другого заряду.
6. Дві кульки, масами по 1 г кожна, підвішені на нитках довжиною по 10 см до однієї точки. Які однакові заряди необхідно надати кулькам, щоб нитки розійшлися на кут 60° ?
7. Заряди 100 нКл і -50 нКл розташовані на відстані 10 см. Визначити силу, що діє на заряд 1 мкКл, віддалений на 12 см від першого і на 10 см від другого заряду.
8. Тонкий нескінченно довгий стержень має розподілений заряд з лінійною густиною $0,2 \text{ мкКл/см}$. Визначити напруженість поля у точці на відстані 2 см від стержня.
9. Тонке півколо радіусом 10 см має рівномірно розподілений заряд $0,2 \text{ мкКл}$. Визначити напруженість поля у центрі кривизни півкола.
10. На тонкому кільці радіусом 5 см рівномірно розподілений заряд з лінійною густиною 20 нКл/см . Визначити силу, що діє на точковий заряд 40 нКл , розміщений на перпендикулярі до площини кільця на відстані 10 см від його центру.
11. Дві однакові круглі пластини площею 100 см^2 кожна розміщені паралельно. Заряд однієї пластини 100 нКл , другої – -200 нКл . Визначити силу їх взаємного притягання, якщо відстань між ними: 1) 2 мм; 2) 10 м.
12. Нескінченна вертикальна площина має рівномірно розподілений позитивний заряд. До неї прикріплена нитка, на якій висить кулька масою 40 мг з позитивним зарядом 670 пКл . Сила натягу нитки 490 мкН. Визначити поверхневу густину заряду площини.
13. З якою силою (на одиницю довжини) взаємодіють дві нескінченні паралельні нитки, відстань між якими 4 см, заряджені з однаковою лінійною густиною заряду 2 мкКл/м ?
14. Нескінченна вертикальна площина має рівномірно розподілений позитивний

- заряд 98 мкКл/м^2 . До неї прикріплена нитка, на якій висить кулька масою 10 г . Визначити заряд кульки, якщо нитка утворює з площиною кут 45° .
15. З якою силою (на одиницю площі) взаємодіють дві нескінченні паралельні площини, заряджені з поверхневою густиною заряду 2 мкКл/м^2 ?
 16. Визначити потенціальну енергію системи двох точкових зарядів 100 нКл і 10 нКл , що знаходяться на відстані 10 см .
 17. Тонкий нескінченно довгий стержень має розподілений заряд з лінійною густиною 10 пКл/м . Визначити різницю потенціалів двох точок, віддалених від стержня на 5 см і 10 см .
 18. Нескінченна площина має рівномірно розподілений позитивний заряд густиною 10 нКл/м^2 . Визначити різницю потенціалів двох точок, віддалених від площини на 5 см і 10 см .
 19. Квадратна рамка рівномірно заряджена з лінійною густиною заряду 100 пКл/м . Визначити потенціал поля у центрі рамки.
 20. При бомбардуванні нерухомого ядра атома натрію α -частинкою сила відштовхування між ними досягла 140 Н . Визначити початкову енергію α -частинки. На яку найменшу відстань вона наблизилася до ядра?
 21. Пилінка масою 1 нг , що має 5 надлишкових електронів, пройшла прискорюючи різницю потенціалів 3 МВ . Визначити її швидкість.
 22. Знайти відношення швидкостей іонів Ca^{+2} і Na^+ , що пройшли однакову різницю потенціалів.
 23. Два конденсатори ємностями 2 мкФ і 3 мкФ з'єднані послідовно і підключені до батареї з е. р. с. 30 В . Визначити заряд і різницю потенціалів на кожному конденсаторі.
 24. Конденсатори ємностями 2 мкФ , 5 мкФ і 10 мкФ з'єднали послідовно і підключили до напруги 850 В . Визначити напругу і заряд кожного конденсатора.
 25. Простір між пластинами плоского конденсатора заповнено двома шарами діелектриків: скло товщиною 1 см і парафін товщиною 2 см . Різниця потенціалів на конденсаторі 3 кВ . Визначити напруженість поля і спад напруги на кожному з діелектриків.
 26. Одна металева кулька радіусом 3 см заряджена до заряду 10 нКл , друга радіусом 2 см – до потенціалу 9 кВ . Визначити енергію розряду при з'єднанні кульок провідником.
 27. Плоский конденсатор, утворений двома пластинами площею 300 см^2 кожна, між якими скляний діелектрик товщиною 4 см , заряджений до напруги 1 кВ . Визначити енергію і густину енергії електричного поля.
 28. Конденсатор ємністю 100 пФ , заряджений до різниці потенціалів 600 В , має всередині фарфоровий діелектрик. Яку роботу необхідно виконати, щоб витягти діелектрик із конденсатора?
 29. Плоский конденсатор, утворений двома пластинами на відстані 2 см , заряджений до напруги 6 кВ . Заряд кожної пластини 1 нКл . Визначити енергію електричного поля і силу притягання пластин.
 30. Плоский конденсатор, утворений двома круглими пластинами радіусами 20 см , розміщеними на відстані $0,5 \text{ см}$, заряджений до напруги 3 кВ .

Діелектрик – скло. Визначити заряд і напруженість поля конденсатора.

31. Визначити число електронів, що проходять за 1 с через 1 мм^2 поперечного перерізу залізного провідника довжиною 10 м при напрузі на його кінцях 6 В.
32. Резистор 5 кОм і вольтметр, з'єднані послідовно, підключили до мережі напругою 120 В. При цьому вольтметр показав 80 В. Коли резистор замінили іншим, вольтметр показав 50 В. Визначити опір другого резистора.
33. Резистор і амперметр, з'єднані послідовно, підключили до джерела струму. До кінців резистора підключили вольтметр, опір якого 2 кОм. При цьому вольтметр показав 100 В, а амперметр 0,25 А. Визначити опір резистора. Якою буде відносна похибка, якщо не врахувати опір вольтметра?
34. Від батареї з е. р. с. 500 В необхідно передати потужність 10 кВт на відстань 2,5 км. Визначити мінімальні втрати потужності у мідних провідниках, якщо їх діаметр 1,5 см.
35. Е. р. с. батареї 60 В, внутрішній опір 4 Ом. Зовнішнє коло споживає потужність 125 Вт. Визначити силу струму, напругу на зовнішньому колі і його опір.
36. При зовнішньому опорі 3 Ом сила струму в колі 0,3 А, а при опорі 5 Ом – 0,2 А. Визначити силу струму короткого замикання.
37. Сила струму в провіднику змінюється з часом за законом $I = I_0 e^{-\omega t}$, де $I_0 = 10 \text{ А}$, $\omega = 10^3 \text{ с}^{-1}$. Визначити кількість теплоти, що виділилася у провіднику за час 10^3 с .
38. По двох тонких паралельних провідниках, відстань між якими 6 см, течуть однакові струми 12 А. Визначити магнітну індукцію у точці, віддаленій від кожного провідника на 6 см, якщо струми течуть: а) в одному напрямі; б) у протилежних напрямках.
39. Два довгих провідника розміщені під прямим кутом, відстань між ними 10 см. По провідниках течуть струми 60 А і 80 А. Визначити магнітну індукцію в середині спільного перпендикуляра до провідників.
40. По провіднику, що має форму рівностороннього трикутника зі стороною 30 см, тече струм 40 А. Визначити напруженість магнітного поля у центрі трикутника.
41. Струм силою 20 А тече по провіднику, зігнутому під прямим кутом. Визначити магнітну індукцію на бісектрисі цього кута на відстані 10 см від його вершини.
42. Круговий виток радіусом 10 см зі струмом силою 1,6 А розміщений вертикально у площині магнітного меридіану. Визначити кут відносно цієї площини, під яким встановиться магнітна стрілка, поміщена в центр витка. Горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі 20 мкТл.
43. У центрі кругового витка зі струмом напруженість магнітного поля 200 А/м. Магнітний момент витка $1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Визначити силу струму і радіус витка.
44. Квадратна дротяна рамка зі стороною a розміщена в одній площині з довгим прямим провідником так, що дві її сторони паралельні провіднику, а найближча до провідника сторона знаходиться від нього на відстані a . Визначити силу, що діє на рамку, якщо по ній і по провіднику течуть однакові струми 100 А.

45. По трьох паралельних прямих провідниках, перерізи яких лежать у вершинах правильного трикутника зі стороною 10 см, течуть однакові струми 100 А, причому в двох із них напрямки співпадають. Визначити силу, що діє на одиницю довжини кожного провідника.
46. Для сріблення ложок струм у 2 А протягом 5 год пропускали через розчин солі срібла. Катодом були 10 ложок, кожна з яких має поверхню 50 см². Визначити товщину шару срібла.
47. Який опір повинен мати шунт, щоб можна було ввімкнути його в амперметр з внутрішнім опором 1 Ом, якщо потрібно розширити межі вимірювання амперметра у 10 раз?
48. По контуру, що має форму квадрата зі стороною 20 см, тече струм 5 А. Контур знаходиться у магнітному полі з індукцією 0,5 Тл, напрямленому під кутом 30° до площини контуру. Яку роботу проти сил поля необхідно виконати, щоб змінити форму контуру з квадрата на коло?
49. Контур радіусом 4 см і опором 0,01 Ом знаходиться в магнітному полі з індукцією 0,2 Тл, напрямленому під кутом 30° до площини контуру. Який заряд протече по витку при вимкненні магнітного поля?
50. Рамка площею 200 см² обертається з частотою 10 с⁻¹ у магнітному полі з індукцією 0,2 Тл. Вісь обертання лежить у площині рамки і перпендикулярна до силових ліній поля. Визначити середнє значення е. р. с. індукції за час, протягом якого магнітний потік через рамку змінюється від нуля до максимального значення.
51. Замкнений мідний провідник масою 1 г утворює контур у формі квадрата, розміщений перпендикулярно до силових ліній магнітного поля з індукцією 0,1 Тл. Визначити заряд, який протече по провіднику, якщо квадрат, потягнувши за протилежні вершини, витягнути у лінію.
52. Джерело струму замкнули на котушку опором 20 Ом і індуктивністю 0,4 Гн. Через який час сила струму досягне 95 % максимального значення?
53. Соленоїд містить 600 витків площею 8 см². По соленоїду тече струм, що створює магнітне поле з індукцією 5 мТл. Визначити середнє значення е. р. с. самоіндукції, якщо струм зменшується до нуля за 0,6 мс.
54. Первинну обмотку знижувального трансформатора з коефіцієнтом трансформації 8 увімкнуто в мережу з напругою 220 В. Опір вторинної обмотки 2 Ом, струм у вторинній обмотці трансформатора дорівнює 3 А. Визначити напругу на затискачах вторинної обмотки. Втратами у первинній обмотці знехтувати.
55. Під час електричних коливань в коливальному контурі сила струму в котушці індуктивності 1 Гн змінюється за законом $I = 2\cos 100t$ (А). Чому дорівнює амплітуда коливань ЕРС самоіндукції?
56. У коливальному контурі конденсатор ємністю 200 мкФ зарядили до напруги 100 В. визначити енергію конденсатора в той момент часу, коли миттєве значення сили струму у котушці зменшиться в 5 разів порівняно з амплітудним. Затухання коливань не враховувати.
57. Через яку частину періоду від початку коливань миттєве значення сили синусоїдального змінного струму дорівнюватиме її діючому значенню?

58. Неонову лампочку, що запалюється і загасає при напрузі 200 В, ввімкнули в освітлювальну мережу 220 В. Визначити, впродовж якої частини періоду лампочка буде горіти.
59. Визначити втрату потужності на нагрівання проводів ЛЕП від знижувального трансформатора до споживачів. Лінія має довжину 200 м, виготовлена з алюмінієвого проводу площею поперечного перерізу $0,5 \text{ см}^2$ з питомим опором $2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а споживачі отримують потужність 10 кВт під напругою 220 В.
60. Антена берегового радіолокатора знаходиться на висоті 30 м над рівнем моря і випромінює імпульси частотою 1500 Гц тривалістю 10 мкс кожний. Визначити на якій найбільшій і найменшій відстанях цей радіолокатор може виявити на поверхні рятувальний круг.

Оптика і атомна фізика

1. У досліді Фізо по визначенню швидкості світла відстань між колесом, яке мало 720 зубців, і дзеркалом дорівнювала 8633 м. Перше зникнення світла відбулося при частоті обертання зубчастого колеса $12,67 \text{ с}^{-1}$. Яке значення швидкості світла отримав Фізо?
2. На призму з заломним кутом 60° падає промінь білого світла під кутом 45° . Визначити кут між крайніми променями видимого спектра при виході з призми, якщо показники заломлення їх дорівнюють 1,624 та 1,671.
3. Промінь білого світла падає на поверхню води під кутом 60° . Який кут між напрямками крайніх червоних і крайніх фіолетових променів у воді, якщо показник заломлення їх відповідно дорівнює 1,329 і 1,344?
4. Світна точка наближається до дзеркала по прямій, яка утворює з площиною дзеркала кут 30° , з швидкістю 30 см/с . З якою швидкістю зменшується відстань між світною точкою і її зображенням? За який час відстань між ними зменшиться втричі, якщо на початку руху вона становила 90 см ?
5. Людина, зріст якої $1,8 \text{ м}$, рухається з швидкістю $5,4 \text{ км/год}$. З якою швидкістю рухається тінь від її голови, створена ліхтарем, що розміщений віддалік на висоті $6,3 \text{ м}$?
6. Визначити довжину тіні, що утворилася на дні непрозорої посудини висотою 25 см , якщо у посудину налити шар води висотою 20 см ? Кут падіння променів на стінку посудини 30° . Абсолютний показник заломлення води 1,33.
7. На поверхні озера плаває круглий пліт, радіус якого 8 м . Глибина озера 2 м . Визначити радіус повної тіні від плоту на дні озера при освітленні води розсіяним світлом. Показник заломлення води рівний $4/3$.
8. На горизонтальному дні водойми глибиною $1,2 \text{ м}$ лежить плоске дзеркало. На якій відстані від місця входження променя у воду цей промінь знову вийде на поверхню води після відбивання від дзеркала? Кут падіння променя 30° , показник заломлення води $4/3$.
9. Яка товщина плоскопаралельної скляної пластинки, якщо точку, нанесену чорнилом на нижній поверхні пластинки, спостерігач бачить на відстані 5 см від верхньої поверхні? Промінь зору перпендикулярний до поверхні пластинки. Показник заломлення скла 1,6.
10. Фотограф з човна фотографує морську зірку, яка лежить на дні прямо під ним на глибині 2 м . У скільки разів зображення на плівці буде менше від предмета, якщо фокусна відстань об'єктива 10 см , відстань від об'єктива до поверхні води 50 см . Показник заломлення води $4/3$?
11. Предмет розмістили на відстані $0,1 \text{ м}$ від переднього фокуса збиральної лінзи, а екран, на якому утворено чітке зображення предмета, на відстані 40 см від фокусу, розміщеного з протилежного боку лінзи. Визначити фокусну відстань лінзи. Яке лінійне збільшення лінзи?
12. Предмет розміщений на відстані $0,6 \text{ м}$ від екрана. Використовуючи збиральну лінзу, можна утворити на екрані два чіткі зображення предмета при двох різних положеннях лінзи. Знайти відношення величин зображень, якщо відстань між цими положеннями лінзи становить $0,4 \text{ м}$.

13. Відстань між свічкою і стіною 2 м. Коли між ними розмістили збиральну лінзу на відстані 40 см від свічки, то на стіні утворилось чітке зображення свічки. Визначити фокусну відстань лінзи. Яке зображення утворилось на стіні?
14. На скляну пластину покладена опуклою стороною плоскоопукла лінза. На лінзу падає нормально світло з довжиною хвилі 600 нм. Знайти радіус кривизни лінзи, якщо радіус восьмого темного кільця Ньютона у відбитому світлі 2,4 мм.
15. На мильну плівку нормально до її поверхні падає світло з довжиною хвилі 600 нм. Відбите світло максимально підсилене внаслідок інтерференції. Визначити мінімальну товщину плівки. Показник заломлення 1,3.
16. На скляну пластинку нанесене просвітлююче покриття з показником заломлення 1,4. Світло з довжиною хвилі 540 нм падає на пластинку нормально. Визначити мінімальну товщину покриття, при якому відбиті промені мають найменшу яскравість.
17. Між двома плоскопаралельними пластинами на відстані 10 см від лінії їх дотику лежить дротина діаметром 0,01 мм, утворюючи повітряний клин. Світло з довжиною хвилі 600 нм падає на пластини нормально. Визначити ширину інтерференційних смуг у відбитому світлі.
18. Від двох когерентних джерел з довжиною хвилі 0,8 мкм промені падають на екран і утворюють інтерференційну картину. Коли на шляху одного з променів перпендикулярно до нього помістили мильну плівку ($n = 1,33$), картина змінилася на протилежну (максимуми перетворилися на мінімуми і навпаки). Визначити найменшу товщину плівки.
19. На мильну плівку ($n = 1,33$) падає нормально світло з довжиною хвилі 0,6 мкм. Відбите світло у результаті інтерференції має найбільшу яскравість. Визначити найменшу можливу товщину плівки.
20. Період дифракційної решітки у 5 раз більший, ніж довжина хвилі світла, що нормально падає на її поверхню. Визначити кут між двома першими дифракційними максимумами.
21. Період дифракційної решітки у 3,5 разів більший, ніж довжина хвилі світла, що нормально падає на її поверхню. Визначити число дифракційних максимумів, які можна спостерігати у даному випадку.
22. На дифракційну решітку з періодом 5 мкм падає нормально світло з довжиною хвилі 0,56 мкм. Максимум якого найбільшого порядку дає ця решітка?
23. На дифракційну решітку падає нормально біле світло. Спектри 2-го і 3-го порядків частково накладаються. На яку довжину хвилі у спектрі 2-го порядку накладається фіолетова межа ($\lambda = 400$ нм) спектру 3-го порядку?
24. На грань кристалу кам'яної солі падає пучок рентгенівських променів з довжиною хвилі 147 пм. Відстань між атомними площинами кристалу 280 пм. Під яким кутом до площини грані спостерігається дифракційний максимум 2-го порядку?
25. Визначити, яку довжину та яку загальну кількість штрихів повинна мати дифракційна решітка для того, щоб у спектрі 1-го порядку можна було роздільно спостерігати дві жовті лінії натрію з довжинами хвиль 589,0 нм і

589,6 нм. Відстань між штрихами решітки 10 мкм.

26. На непрозору пластину з вузькою щілиною шириною 0,05 мм падає нормально світло з довжиною хвилі 700 нм. Визначити кут відхилення променів першого дифракційного максимуму.
27. На дифракційну решітку падає нормально світло з довжиною хвилі 410 нм. Кут між напрямками на максимуми 1-го і 2-го порядків дорівнює $2^{\circ}21'$. Визначити число штрихів на 1 мм.
28. На металеву пластинку падає світло, що має довжину хвилі 413 нм. Фотострум припиняється, коли затримуюча різниця потенціалів становить 1 В. Визначити роботу виходу електрона з поверхні пластини.
29. Поверхневий стрибок потенціалу (контактний потенціал) для алюмінію становить 4,3 В. Визначити довжину хвилі червоної межі фотоефекту для алюмінію.
30. На чорну поверхню площею 100 см^2 щохвилини падає 63 Дж світлової енергії. Визначити величину світлового тиску.
31. Обчислити істинну температуру вольфрамової спіралі, якщо радіаційний пірометр показує температуру 2500 К. Поглинальну здатність вольфраму взяти рівною 0,35.
32. Визначити інтегральну світність абсолютно чорного тіла і його температуру, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності, дорівнює 600 нм.
33. Енергетичний потік від абсолютно чорного тіла 10 кВт. Довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної світності, дорівнює 0,8 мкм. Визначити площу поверхні тіла.
34. Визначити поглинальну здатність сірого тіла з істинною температурою 3200 К, якщо вимірювання температури радіаційним пірометром показало 1400 К.
35. Визначити енергію, що випромінюється за 1 хв з площі 1 см^2 поверхні сірого тіла, якщо його температура 1000 К, а поглинальна здатність 0,6.
36. Початкова температура абсолютно чорного тіла 400 К. У результаті нагрівання енергетичний потік збільшився в 10 разів. Визначити кінцеву температуру тіла.
37. Тіло масою 20 кг охолоджується за рахунок теплового випромінювання. За 5 с температура тіла зменшилася від 600°C до 590°C . Визначити питому теплоємність тіла, якщо площа його поверхні 1 м^2 , а коефіцієнт чорноти 0,6.
38. Середня енергетична світність поверхні Землі $0,54 \text{ Дж}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$. Визначити температуру поверхні Землі, якщо умовно вважати, що вона випромінює як сіре тіло з коефіцієнтом чорноти 0,25.
39. Фотон вибиває з атома водню, що знаходиться в основному стані, електрон з енергією 5 еВ. Визначити довжину хвилі фотона.
40. Електрон в атомі водню знаходиться на другому енергетичному рівні. Визначити його кінетичну, потенціальну і повну енергії (в електрон-вольтах).
41. За теорією Бора обчислити частоту обертання електрона в атомі водню, що знаходиться у другому збудженому стані.
42. В однозарядному іоні гелію електрон перейшов з другої орбіти на першу.

- Визначити довжину хвилі фотона, що був випромінений при цьому.
43. Який порядковий номер хімічного елемента у періодичній системі елементів, якщо енергія фотонів, які випромінюють його воднеподібні іони при переході з першого збудженого стану у основний, дорівнює 91,8 еВ?
 44. За теорією Бора обчислити радіус першої борівської орбіти і швидкість електрона на ній в однозарядному іоні гелію.
 45. Визначити перший потенціал збудження і енергію іонізації однозарядного іона гелію, що знаходиться в основному стані.
 46. Кінетична енергія електрона дорівнює його енергії спокою. Визначити його довжину хвилі де Бройля.
 47. У камері Вільсона, яка вміщена в однорідне магнітне поле індукцією 0,04 Тл, радіус кривизни початку траєкторії протона дорівнює 12 см. Знаючи масу протона (1,0076 а.о.м.) та його заряд ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), визначити швидкість на початку траєкторії.
 48. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_4\text{Be}^9 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_0\text{n}^1$. Звільняється чи поглинається ця енергія?
 49. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + {}_0\text{n}^1$. Звільняється чи поглинається ця енергія?
 50. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_7\text{N}^{14} + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_2\text{He}^4$. Звільняється чи поглинається ця енергія?
 51. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$. Звільняється чи поглинається ця енергія?
 52. Визначити масу ядра, яке, випромінюючи альфа-частинку з енергією 5,3 МеВ, перетворюється в ядро ${}^{206}\text{Pb}$. Маса ядер Pb і альфа-частинки рівні, відповідно, 205,9745 а.о.м. і 4,0026 а.о.м.
 53. Визначити найменшу енергію, яка необхідна для поділу ядра карбону ${}_6\text{C}^{12}$ на три однакові частини.
 54. Фотон з енергією 5 МеВ перетворився на пару електрон-позитрон. Визначити кінетичні енергії частинок, вважаючи, що вони однакові.
 55. Електрон і позитрон, що мали однакові кінетичні енергії 0,24 МеВ, при взаємодії перетворилися на 2 однакових фотони. Визначити їх довжину хвилі.
 56. Визначити активність радіоактивного препарату ${}_{38}\text{Sr}^{90}$ масою 0,1 мкг.
 57. Препарат полонію, що випромінює альфа-частинку з енергією 5,3 МеВ, поміщений в калориметр з теплоємністю 2 Дж/К. За 1 годину температура калориметра збільшилася на 22,6 К. Визначити активність препарату полонію.
 58. Середньодобове споживання потужності у деякому будинку становить 300 кВт. Яка маса урану-235 має поділитись, щоб задовольнити річну потребу такого будинку в енергії? Припускається, що при кожному акті вивільняється енергія 200 МеВ.
 59. Половинне зменшення іонізуючої дії гама-променів забезпечує шар бетону товщиною 10 см. Товщина бетону, який забезпечує половинне зниження іонізуючої дії нейтронів, становить 12 см. Деякий шар бетону довкола ядерного реактора зменшує іонізуючу дію гама-променів у 100 раз. У

скільки разів цей шар зменшує іонізуючу дію нейтронів?

60. Яку мінімальну енергію повинен мати протон, щоб він зміг розділити дейтрон і нейтрон, якщо дейтрон перебуває у спокої, а його енергія зв'язку дорівнює 2,22 MeV?

ПИТАННЯ ДО КОЛОКВІУМІВ

Механіка

1. Матеріальна точка. Відносність руху. Системи відліку. Радіус-вектор. Рівняння руху точки у векторній і координатній формах.
2. Вектори переміщення, швидкості і прискорення.
3. Тангенціальне та нормальне прискорення. Співвідношення між лінійними та кутовими величинами.
4. Перший закон Ньютона. Інерціальні системи відліку.
5. Поняття сили. Фундаментальні взаємодії.
6. Другий закон Ньютона. Маса, її вимірювання. Адитивність і закон збереження маси. Імпульс.
7. Третій закон Ньютона. Границі застосування класичної механіки.
8. Закон збереження імпульсу.
9. Центр мас. Закон руху центра мас.
10. Динаміка руху тіла змінної маси. Рівняння Мещерського. Формула Ціолковського.
11. Робота і потужність. Потенціальні і дисипативні сили.
12. Кінетична енергія.
13. Потенціальна енергія пружно-деформованого тіла.
14. Закон збереження енергії.
15. Основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла.
16. Теорема Штейнера. Кінетична енергія обертального руху.
17. Закон збереження моменту імпульсу твердого тіла, що обертається навколо закріпленої осі.
18. Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційна та інертна маси.
19. Гравітаційне поле. Напруженість гравітаційного поля.
20. Теорема Остроградського-Гаусса.
21. Робота сил поля тяжіння. Потенціальна енергія тіла в полі тяжіння. Потенціал.
22. Неінерціальні системи відліку і сили інерції. Сила Коріоліса.
23. Сила тяжіння. Вага тіла. Невагомість.
24. Потік ідеальної рідини. Стаціонарний потік. Теорема нерозривності течії.
25. Рівняння Бернуллі.
26. Течія в'язкої рідини.
27. Підіймальна сила, що діє на тіло в потоці рідини.
28. Фізичні величини, що характеризують гармонічні коливання.
29. Математичний маятник.
30. Фізичний маятник.
31. Поширення коливань в однорідному пружному середовищі. Хвильовий рух. Фронт хвилі. Хвильове рівняння.

Молекулярна фізика і термодинаміка

1. Статистичний метод в молекулярній фізиці. Суть МКТ.
2. Атоми і молекул. Кількість речовини. Молярна маса.

3. Агрегатні стани речовини.
4. Поняття про стан речовини. Параметри стану.
5. Поняття про температуру. Термометри. Температурні шкали.
6. Ідеальний газ. Закони ідеального газу.
7. Основне рівняння кінетичної теорії газів.
8. Розподіл молекул за швидкостями.
9. Основні поняття: термодинамічна система, термодинамічні параметри, термодинамічна рівновага.
10. Робота, кількість теплоти.
11. Внутрішня енергія. Перше начало термодинаміки.
12. Адіабатний процес.
13. Оборотні і необоротні процеси. Цикл Карно.
14. Друге начало термодинаміки. Ентропія. Висновки із другого начала термодинаміки.

Електрика і магнетизм

1. Електричний заряд. Властивості електричного заряду. Два види зарядів. Дискретність. Елементарний заряд. Закон збереження заряду.
2. Взаємодія зарядів. Закон Кулона.
3. Напруженість електростатичного поля. Принцип суперпозиції. Силові лінії. Властивості силових ліній.
4. Робота переміщення заряду в електричному полі. Потенціал. Різниця потенціалів.
5. Електроємність. Конденсатори.
6. Енергія і густина енергії електростатичного поля.
7. Поляризація діелектриків. Діелектрична сприйнятливість та проникність.
8. Постійний електричний струм. Сила струму. Джерела електричного струму.
9. Електрорушійна сила. Закон Ома в диференціальній формі.
10. Закони Кірхгофа для розгалужених кіл.
11. Робота і потужність постійного струму. Теплова дія електричного струму.
12. Альтернативні джерела енергії: Сонце, вітер, вода.
13. Магнітне поле і його характеристика.
14. Магнітна взаємодія струмів. Закон Ампера.
15. Контур із струмом в магнітному полі.
16. Робота при русі провідника зі струмом в магнітному полі.
17. Закон Біо-Савара-Лапласа та його застосування для розрахунку найпростіших полів. Циркуляція вектора напруженості. Вихровий характер магнітного поля.
18. Дія магнітного поля на рухомий заряд. Сила Лоренца.
19. Визначення питомого заряду електрона.
20. Ефект Холла та його застосування.
21. Досліди Фарадея. Закон Ленца. Основний закон електромагнітної індукції.
22. Явище самоіндукції. Індуктивність.
23. Основні положення теорії Максвелла.
24. Електромагнітні хвилі і їх властивості. Шкала електромагнітних хвиль.

Оптика

1. Хвильові та квантові уявлення про природу світла.
2. Когерентні світлові хвилі. Оптична різниця ходу.
3. Інтерференція від двох когерентних джерел та способи її здійснення.
4. Інтерференція в тонких плівках і пластинках.
5. Дифракція світла. Дифракція Френеля. Метод зон Френеля.
6. Дифракція Фраунгофера на одній, двох та багатьох щілинах.
7. Дифракційна решітка. Дифракційний спектр.
8. Закони відбивання і заломлення світла на плоскій і сферичній поверхнях.
9. Лінза. Формула лінзи. Побудова зображень в лінзі.
10. Випромінювальна і поглинальна здатності тіл. Закон Кірхгофа.
11. Абсолютно чорне тіло. Формули Віна, Релея-Джінса і Планка. Ідея про кванти.
12. Закони фотоефекту. Рівняння Ейнштейна для фотоефекту.
13. Фотон. Маса, енергія і імпульс фотона.

Будова атома і атомного ядра

1. Модель атома Резерфорда та її недоліки. Постулати Бора.
2. Квантово-механічна теорія будови атома. Квантові числа та їх фізичний зміст.
3. Будова багатоелектронних атомів. Принцип Паулі.
4. Будова ядра. Протони і нейтрони та їх характеристики. Ізотопи.
5. Енергія зв'язку частинок в ядрі. Дефект маси. Ядерні сили та їх характеристики.
6. Природна радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду.
7. Ядерні реакції. Штучна радіоактивність.
8. Ланцюгова реакція ділення ядер урану.
9. Будова і принцип дії ядерного реактора.
10. Термоядерні реакції, їх характеристики та перспективи використання в мирних цілях. Енергія зірок.

ПИТАННЯ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА САМОСТІЙНЕ ОПРАЦЮВАННЯ

1. Зв'язок фізики з іншими науками, зокрема з математикою.
2. Співвідношення між лінійними та кутовими величинами.
3. Границі застосування класичної механіки.
4. Динаміка руху тіл змінної маси. Рівняння Мещерського. Формула Ціолковського.
5. Закон збереження моменту імпульсу твердого тіла.
6. Затухаючий гармонічний осцилятор. Коефіцієнт затухання. Вимушені коливання затухаючого гармонічного осцилятора.
7. Висновки із другого начала термодинаміки.
8. Визначення питомого заряду електрона.
9. Альтернативні джерела енергії: Сонце, вітер, вода.
10. Дія магнітного поля на рухомий заряд. Сила Лоренца.
11. Ефект Холла та його застосування.
12. Екологічне забруднення атмосфери електричними, магнітними та електромагнітними полями.
13. Хвильові та квантові уявлення про природу світла.
14. Абсолютно чорне тіло. Формули Віна, Релея-Джінса і Планка. Ідея про кванти.
15. Термоядерні реакції, їх характеристики та перспективи використання в мирних цілях. Енергія зірок.

ОСНОВНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке системи відліку?
2. Поняття “переміщення”, “швидкість”, “прискорення”.
3. Що таке принцип незалежності рухів?
4. Рівняння рівномірного та рівноприскореного рухів.
5. Перший та другий закони динаміки.
6. Що таке внутрішні та зовнішні сили, центр мас?
7. Закони збереження в механіці.
8. Що таке поступальний та обертальний рухи твердого тіла?
9. Поняття “миттєві осі обертання”.
10. Що таке ступені вільності та зв'язки ?
11. Основне рівняння обертального руху.
12. Закони збереження у випадку обертального руху твердого тіла.
13. Основні рівняння руху рідин і газів.
14. Основні формули для сил тертя та пружності.
15. Постулати Ейнштейна в СТО.
16. Рух тіл під дією пружних і квазіпружних сил.
17. Період, частота, енергія коливальних рухів.
18. Рівняння затухаючих коливань.
19. Автоколивання.
20. Поздовжні та поперечні хвилі.
21. Інтерференція хвиль, енергія і потік енергії хвилі.
22. Основні властивості звуку.
23. Основні положення МКТ та їх зміст.
24. Шкали температур.
25. Ідеальний газ. Основне рівняння МКТ газів.
26. Стала Больцмана. Рівняння Клапейрона-Менделєєва.
27. Газові закони.
28. Що таке термодинамічна система? Параметри стану.
29. Колові процеси (цикли). Цикл Карно.
30. Реальні гази, відхилення властивостей газів від ідеальності.
31. Рівняння Ван-дер-Ваальса.
32. Особливості рідкого стану, поверхневий натяг рідини, змочування, капілярні явища.
33. Аморфні та кристалічні тіла, класифікація кристалів за типом зв'язків.
34. Дефекти у кристалах, рідкі кристали.
35. Поняття фази, фазові переходи.
36. Фазові переходи першого та другого роду.
37. Рівновага рідини і газу.
38. Електричний заряд та його властивості.
39. Елементарний заряд. Закон збереження заряду.
40. Взаємодія зарядів. Закон Кулона. Електричне поле.
41. Напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції.
42. Потік вектора напруженості. Теорема Остроградського - Гаусса.

43. Робота сил електричного поля, потенціал.
44. Провідники в електричному полі, розподіл зарядів та напруженість.
45. Електризація, електроємність, конденсатори.
46. Діелектрики, полярні та неполярні молекули, поляризація, вільні та пов'язані заряди.
47. Енергія та густина енергії електростатичного поля.
48. Електричний струм. Закони Ома.
49. Електрорушійна сила, робота і потужність струму.
50. Розгалужені кола, правила Кірхгофа.
51. Електричні явища в контактах. Контактна різниця потенціалів.
52. Термоелектричні явища та генератори.
53. Електричний струм у вакуумі та газах.
54. Електричний струм у рідинах.
55. Магнітна взаємодія струмів. Закон Ампера.
56. Індукція і напруженість магнітного поля.
57. Закон Біо-Савара-Лапласа.
58. Сила Лоренца.
59. Постійне магнітне поле в речовині. Магнітні кола.
60. Електромагнітна індукція. Досліди Фарадея.
61. Самоіндукція, взаємоіндукція, індуктивність.
62. Квазістаціонарні струми. Діючі та середні значення струму і напруги.
63. Опір, індуктивність і ємність у колі змінного струму. Трансформатори.
64. Електромагнітне поле. Система рівнянь Максвелла.
65. Енергія електромагнітних хвиль.
66. Особливості електромагнітних хвиль у довгих лініях.
67. Електромагнітна природа світла. Фотометричні величини.
68. Основні закони геометричної оптики.
69. Когерентність, інтерференція та її застосування.
70. Дифракція Френеля і Фраунгофера.
71. Поляризація та дисперсія світла.
72. Поглинання і розсіювання світла.
73. Швидкість світла. Досліди Фізо і Майкельсона.
74. Експериментальні основи СТО.
75. Квантова теорія фотоефекту.
76. Фотоелементи та їх застосування.
77. Фотонна теорія світла.
78. Теплове випромінювання та його використання.
79. Досліди Резерфорда, постулати Бора.
80. Дослід Франка і Герца.
81. Періодична система елементів Д. І. Менделєєва.
82. Будова молекул, хімічний зв'язок, валентність.
83. Квантові явища у твердих тілах.
84. Експериментальні методи ядерної фізики.
85. Склад ядра.
86. Заряд і масове число.

87. Енергія зв'язку ядер, дефект мас.
88. Радіоактивність, ядерні реакції.
89. Ядерна енергетика, термоядерний синтез.
90. Систематика елементарних частинок.
91. Фундаментальні взаємодії, сучасна фізична картина світу.

ОПИС ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Основні правила безпеки роботи в лабораторії

При виконанні лабораторних робіт слід дотримуватись таких правил:

1. Виконувати вимоги внутрішнього розпорядку, встановленого в лабораторії. Дотримуватись правил техніки безпеки під час роботи з електричними приладами і установками.
2. Вмикати прилади і установки в електричну мережу і розпочинати виконання досліду лише з дозволу викладача або лаборанта після перевірки готовності студента до виконання лабораторної роботи.
3. Забороняється залишати без нагляду вимірювальні прилади і установки, ввімкнені в електричну мережу.
4. Забороняється під час заняття:
 - загромождувати робоче місце сторонніми предметами;
 - ходити без потреби по лабораторії;
 - торкатись вузлів приладів та інших предметів, які не відносяться до даної лабораторної роботи;
 - виносити з лабораторії прилади, інструменти тощо.
5. Про всі помічені недоліки в роботі приладів негайно повідомляти викладачу.

Елементарна теорія похибок

Фізичні величини та їх вимірювання

Фізична величина – це кількісна міра процесу або властивостей тіла.

В процесі фізичного експерименту ми повинні виміряти фізичну величину – тобто порівняти її з іншою фізичною величиною, прийнятою за одиницю вимірювання в лабораторних умовах.

Всі вимірювання діляться на прямі та непрямі.

Прямими вимірюваннями називають такі, при яких значення фізичної величини знаходять безпосередньо за показами вимірювального приладу.

Непрямими вимірюваннями вважають такі значення фізичної величини, при яких її знаходять як функцію інших величин. Наприклад, вимірювання об'єму кулі знаходять за величиною діаметра; значення опору резистора – за величиною спаду напруги на ньому та струму, що протікає через нього.

Розрізняють істинне та дійсне значення фізичної величини. **Істинне** значення фізичної величини – це значення величини, яке ідеально відображає відповідну властивість об'єкта або процесу.

Дійсне значення фізичної величини – значення, знайдене експериментально і яке можна використовувати взамін істинного.

Відхилення результату, одержаного на досліді, від істинного значення, тобто

$$x_{\text{вим.}} - x_{\text{ист.}} = \Delta x$$

називають похибкою окремого виміру.

Похибки вимірювання бувають систематичні, випадкові та промахи.

Систематичні похибки – похибки, величина і знак яких від досліду до досліду зберігаються або змінюються закономірно. Їх можна поділити на декілька груп.

1. Похибки, природа і величина яких відома. Їх можна врахувати введенням поправок.
2. Похибки відомого походження, але невідомої величини.
3. Похибки, про існування яких ми не здогадуємось.

Повторні вимірювання не зменшують вклад систематичних похибок.

Випадкові похибки – похибки, величина і знак яких змінюються непередбаченим чином від досліду до досліду. Випадкові похибки, як правило обумовлені одночасною дією різних факторів, характер впливу яких на результат вимірювання з часом змінюється, що призводить до одержання різних значень вимірюваної величини.

Промахи – отримані значення вимірюваної величини, які суттєво відрізняються від очікуваного. Уникнути їх можна, виконавши повторні виміри. Цей вид похибок до уваги не приймається.

В лабораторних умовах беруть до уваги чотири види похибок вимірювання фізичної величини; поправки на систематичні, випадкові, похибки приладу та похибки округлення.

Визначення похибок при прямих вимірюваннях

Знаходження дійсного значення фізичної величини, яка найбільш наближена до істинного значення ґрунтується на відомій теоремі із теорії імовірності, що границя середнього значення випадкової величини, яка підкоряється розподілу Гауса, при прямуванні числа вимірів n до ∞ прямує до істинного значення фізичної величини.

Середнє значення фізичної величини знаходимо за формулою:

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}{n} = \frac{1}{n} \sum A_i.$$

Кожне значення вимірювання повинне бути повторене декілька раз.

Різницю між середнім значенням \bar{A} вимірюваної величини і значенням A_i , отриманих при окремих вимірах, називають **похибками окремого виміру**.

$$\bar{A} - A_i = \Delta A_i.$$

Абсолютна похибка окремого виміру може бути як додатна, так і від'ємна.

При обрахунках визначають **середню абсолютну похибку вимірюваної фізичної величини**, тобто

$$\Delta A = \frac{|\Delta A_1| + |\Delta A_2| + \dots + |\Delta A_n|}{n} = \frac{\sum |\Delta A_i|}{n}.$$

Мірою точності вимірюваної фізичної величини є відносна похибка, яка визначається відношенням середньої абсолютної похибки виміру до середнього значення:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A}.$$

Цю величину виражають в основному у відсотках

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%.$$

Істинне значення фізичної величини знаходиться в інтервалі $\bar{A} - \Delta A \leq A \leq \bar{A} + \Delta A$.

Визначення похибок при вимірах зручно виконувати по наступній таблиці

№ виміру	A_i	ΔA_i	$\frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%$
1	A_1	ΔA_1	
2	A_2	ΔA_2	
3	A_3	ΔA_3	
.....	
n	A_n	ΔA_n	
Середнє значення	$\frac{\sum A_i}{n} = \bar{A}$	$\frac{ \Delta A_i }{n} = \Delta A$	$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%$

Визначення похибок при непрямих вимірюваннях

Якщо фізична величина є функцією інших фізичних величин, отриманих при прямих вимірюваннях $A = \phi(x, y, z)$, то згідно відомої теореми її середнє значення є функцією середніх значень величин, отриманих при прямих вимірюваннях, тобто

$$\bar{A} = \phi(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}).$$

Середню абсолютну похибку ΔA знаходять за правилами диференціювання функції багатьох змінних, замінивши знак диференціала d значком похибки Δ і вибравши значення таким чином, щоб величина похибки була максимальною, тобто

$$dA = \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial x} dx + \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial y} dy + \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial z} dz,$$

$$\Delta A = \left| \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial z} \Delta z \right|.$$

У тому випадку, коли фізична величина є функцією однієї змінної, остання формула набуде вигляду:

$$\Delta A = \left| \frac{dN}{dx} \Delta x \right|.$$

Відносну похибку оцінюємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\% = \frac{\Delta A}{\phi(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} \cdot 100\%.$$

Оскільки відносна похибка в граничному випадку задається виразом:

$$\varepsilon = \frac{dA}{A},$$

а диференціал натурального логарифма рівний

$$d(\ln A) = \frac{dA}{A} \approx \frac{\Delta A}{A},$$

то при непрямих вимірюваннях її можна визначити за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \approx d \ln A.$$

Якщо фізична величина є функцією однієї змінної, то

$$\varepsilon \approx d[\ln A(x)] = [\ln A(x)]' dx \approx [\ln A(x)]' \Delta x.$$

Обробка результатів непрямих вимірювань фізичної величини, яка є функцією однієї змінної

Приклад 1. Вирахувати об'єм кулі діаметром D .

Для знаходження об'єму кулі скористаємось відомою формулою $V_k = \frac{1}{6}\pi D^3$, де діаметр D отримуємо в результаті прямих вимірювань. Результати вимірювань заносимо у таблицю.

№ п/п	D_i , мм	ΔD_i , мм	\bar{V}_k , мм ³	ΔV_k , мм ³	ε , %
1					
2					
3					
4					
5					
Середнє значення	$\bar{D} =$	$\Delta D =$	$\bar{V}_k =$	$\Delta V_k =$	$\varepsilon =$

Порядок обчислення:

1. Знаходимо середнє арифметичне значення діаметра \bar{D} за формулою:

$$\bar{D} = \frac{\sum D_i}{n}.$$

2. Обчислюємо абсолютні похибки окремих вимірів ΔD_i і абсолютну похибку виміру діаметра ΔD .

3. Знаходимо середнє значення об'єму кулі: $\bar{V}_k = V(\bar{D}) = \frac{1}{6}\pi \bar{D}^3$.

4. Знаходимо абсолютну похибку виміру об'єму:

$$\Delta V \approx dV(D) = d\left(\frac{1}{6}\pi D^3\right) = \frac{3}{6}\pi D^2 dD \approx \frac{1}{2}\pi \bar{D}^2 \Delta D.$$

5. Знаходимо відносну похибку отриманого результату згідно формули

$$\begin{aligned} \varepsilon \approx d \ln V(D) &= (\ln V(D))' dD \approx \left[\ln\left(\frac{1}{6}\pi D^3\right) \right]' dD = \left(\ln \frac{1}{6} + \ln \pi + 3 \ln D\right)' dD = \\ &= (0 + 0 + 3 \frac{1}{D}) dD \end{aligned}$$

Прийнявши $D = \bar{D}$, а $dD \approx \Delta D$, одержимо робочу формулу для знаходження відносної похибки $\varepsilon = \frac{3}{\bar{D}} \Delta D$.

6. Кінцевий результат запишемо у вигляді

$$\bar{V} - \Delta V \leq V \leq \bar{V} + \Delta V.$$

Обробка результатів вимірювання фізичної величини, яка є функцією багатьох змінних

Приклад 2. Продемонструємо цей випадок на прикладі знаходження величини опору за спадом напруги на ньому та струму, який протікає в ньому.

Величини U_i та I_i , отримані прямими вимірюваннями, заносимо у таблицю.

№ п/ п	$U_i, \text{В}$	$\Delta U_i, \text{В}$	$I_i, \text{А}$	$\Delta I_i, \text{А}$	$\bar{R}, \text{Ом}$	$\Delta R, \text{Ом}$	$\varepsilon, \%$
1							
2							
3							
...							
n							
середнє значення	$\bar{U} = \frac{\sum U_i}{n}$	$\Delta \bar{U} = \frac{\sum \Delta U_i}{n}$	$\bar{I} = \frac{\sum I_i}{n}$	$\Delta \bar{I} = \frac{\sum \Delta I_i}{n}$	$\bar{R} = \frac{\bar{U}}{\bar{I}}$	$\Delta R =$	$\varepsilon =$

Порядок обчислення:

1. Знаходимо середнє арифметичне значення вимірюної напруги та величини струму.

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i}{n}, \quad \bar{I} = \frac{\sum I_i}{n}.$$

2. Знаходимо значення похибок окремих вимірів ΔU_i та ΔI_i , та відповідні абсолютні похибки.

3. Обчислюємо середнє значення опору $\bar{R} = \frac{\bar{U}}{\bar{I}}$.

4. Виводимо формулу для знаходження абсолютної похибки вимірюваного опору.

$$dR(I, U) = \frac{\partial R(I, U)}{\partial I} dI + \frac{\partial R(I, U)}{\partial U} dU = \frac{\partial}{\partial I} \left(\frac{U}{I} \right) dI + \frac{\partial}{\partial U} \left(\frac{U}{I} \right) dU =$$

$$= -\frac{U}{I^2} dI + \frac{1}{I} dU.$$

Замінюємо диференціали на прирости фізичної величини, мінуси на плюси. В отриманій формулі для знаходження ΔR значення струму і напруги замінюємо відповідними середніми значеннями

$$\Delta R = \frac{\bar{U}}{\bar{I}^2} \Delta I + \frac{\Delta U}{\bar{I}}.$$

5. Знаходимо відносну похибку $\varepsilon = \frac{\Delta R}{\bar{R}}$.

Зауваження. Пункти 4 та 5 можна виконати наступним чином.

4.1. Знаходимо вираз для обчислення відносної похибки, згідно наближеної формули $\varepsilon \approx d \ln R(U, I)$:

а) логарифмуємо розрахункову формулу $\ln R(U, I) = \ln\left(\frac{U}{I}\right) = \ln U - \ln I$ і

диференціюємо її $d \ln R(U, I) = d \ln U - d \ln I = \frac{dU}{U} - \frac{dI}{I}$

б) замінюємо всі мінуси на плюси, диференціали d міняємо на прирости Δ , а значення U та I на їх середні значення. В отриману формулу $\varepsilon = \frac{\Delta U}{\bar{U}} + \frac{\Delta I}{\bar{I}}$ підставляємо відповідні числові значення.

Обчислюємо абсолютну похибку ΔR за формулою:

$$\Delta R = \varepsilon \cdot \bar{R}.$$

Кінцевий результат записуємо у вигляді

$$(\bar{R} - \Delta R) \leq R \leq (\bar{R} + \Delta R).$$

Загальні вимоги до виконання лабораторних робіт

1. На першому занятті студенти ознайомлюються з переліком і послідовністю виконання лабораторних робіт та проходять інструктаж з техніки безпеки, про що робиться відповідний запис у спеціальному журналі.

2. Студент допускається до виконання лабораторних робіт тільки після перевірки готовності викладачем:

- знання теоретичного матеріалу по темі лабораторної роботи;
- знання будови лабораторної установки чи приладів;
- знання порядку виконання і методики обробки експериментальних даних;
- наявності протоколу виконуваної лабораторної роботи;
- наявності правильно підготовленого звіту попередньої лабораторної роботи.

3. Отримані дослідні дані заносяться в таблицю і підписується викладачем на занятті.

4. Результати обробки експериментальних даних проводяться на занятті і

представляються викладачеві для перевірки.

5. По закінченню виконання лабораторної роботи необхідно вимкнути установку, прибрати робоче місце і здати лаборанту прилади і інструменти.

6. Непідготовлений студент не допускається до занять і виконує роботу в спеціально призначений час.

Лабораторна робота № 1

Тема роботи. Вимірювання об'ємів тіл правильної форми.

Мета роботи. Освоїти метод лінійного ноніуса та метод мікрометричного гвинта на прикладі визначення об'ємів тіл. Освоїти методику обробки результатів експерименту при непрямих вимірюваннях.

Прилади та матеріали: штангенциркуль, мікрометр, деталі для вимірювання (куля, циліндр).

Короткі теоретичні відомості

При визначенні об'ємів тіл та їх густин необхідно вимірювати їх лінійні розміри. Для підвищення точності вимірів користуються вимірювальним приладом, який побудований за принципом методу збігів.

Ноніус – невелика додаткова шкала до основної шкали вимірювального приладу, яка дає можливість підвищити точність вимірювання. Ця шкала ковзає вздовж основного масштабу (рис. 1.1)

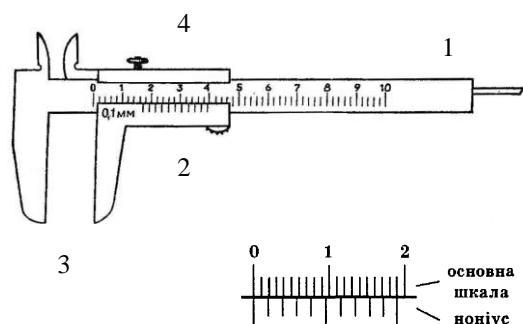


Рис. 1.1.
1 – стальна лінійка з міліметровими поділками
2 – рамка з ноніусом
3 – ніжки
4 – гвинт

Поділки на основній шкалі та шкалі ноніуса наносять так, що $(n - 1)$ поділка основної співпадає з останньою поділкою ноніуса. Якщо $\Delta\alpha_n$ і $\Delta\alpha_m$ відповідно ціни поділок ноніуса і основної шкали, то

$$n\Delta\alpha_n = (n - 1)\Delta\alpha_m, \quad (1.1)$$

звідки точність ноніуса, тобто різницю ціни поділок ноніуса та основної шкали можна визначити так

$$n\Delta\alpha_n = n\Delta\alpha_m - \Delta\alpha_m. \quad (1.2)$$

Розділимо рівність на n :

$$\Delta\alpha_n = \Delta\alpha_m - \Delta\alpha_m / n,$$

звідки

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_m - \Delta\alpha_n = \Delta\alpha_m / n. \quad (1.3)$$

Точність ноніуса рівна відношенню ціни найменшої поділки основної шкали до числа поділок ноніуса.

Ноніус для вимірювання з точністю до 0,1 мм – це шкала довжиною 9 мм, поділена на десять рівних частин. Ноніус для вимірювання з точністю до 0,05 мм має 20 поділок на довжині 19 мм.

Штангенциркуль – прилад для вимірювання лінійних розмірів з точністю від 0,1 до 0,02 мм. Будова штангенциркуля зображена на рис. 1.1.

Мікрометр – прилад для вимірювання лінійних розмірів з точністю до 0,01 мм. Будова мікрометра зображена на рис. 1.2.

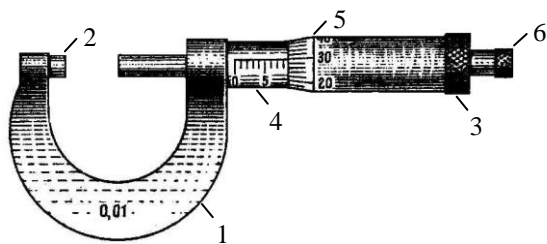


Рис. 1.2

- 1 – стальна скоба
- 2 – нерухома опорна п'ята
- 3 – мікрометричний гвинт
- 4 – стебло із основною шкалою
- 5 – обід барабана із поділками
- 6 – тріскачка

Дія мікрометра ґрунтується на властивості гвинта здійснювати при повороті його поступальне переміщення, яке пропорційне куту повороту. Деталь затискається лише п'ятою та мікрометричним гвинтом.

По шкалі стебла визначають ціле число (нижня шкала) і половини (верхня шкала) міліметрів. Відлік сотих часток міліметра здійснюють за поділками на барабані.

Порядок виконання роботи

I. Визначення об'єму кулі

Об'єм кулі визначаємо за формулою:

$$V_k = \frac{\pi D^3}{6}, \quad (1.4)$$

де D – діаметр кулі.

1. Мікрометром провести ряд вимірів діаметра кулі. Визначити середнє значення діаметра \bar{D} і абсолютну похибку ΔD . У випадку незмінних значень вимірів діаметра кулі абсолютна похибка рівна похибці мікрометра. Отримані дані записати в табл. 1.1.

2. За формулою

$$\bar{V}_k = \frac{\pi \bar{D}^3}{6} \quad (1.5)$$

визначити середнє значення об'єму кулі.

3. Абсолютну похибку визначення об'єму кулі знаходимо за формулою

$$\Delta V_k = \frac{3\pi \bar{D}^2}{6} \Delta D. \quad (1.6)$$

4. Відносну похибку вимірювання об'єму кулі проводять згідно формули

$$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{V}_k}{\bar{V}_k} \cdot 100\%. \quad (1.7)$$

Таблиця 1.1

№ п/п	$D_i, \text{мм}$	$\Delta D_i, \text{мм}$	$V_k, \text{мм}^3$	$\Delta V_k, \text{мм}^3$	$\varepsilon, \%$
1					
2					
3					
	$\bar{D}_i =$	$\Delta \bar{D}_i =$	$\bar{V}_k =$	$\Delta \bar{V}_k =$	$\varepsilon =$

II. Визначення об'єму циліндра

Середнє значення об'єму циліндра

$$\bar{V}_y = \frac{\pi \bar{D}^2 \bar{H}}{4}, \quad (1.8)$$

де \bar{H} – середнє значення висоти циліндра, \bar{D} – середнє значення його діаметра.

Абсолютну похибку ΔV_y знаходимо за формулою

$$\Delta V_y = \frac{\pi \bar{H} \bar{D} \Delta D}{2} + \frac{\pi \bar{D}^2 \Delta H}{4}, \quad (1.9)$$

де ΔD – абсолютна похибка вимірювання діаметра циліндра, ΔH – абсолютна похибка вимірювання висоти циліндра.

1. За допомогою штангенциркуля провести ряд повторних вимірювань діаметра D та висоти H циліндра. Знайти їх середні значення та відповідно абсолютні похибки. Результати записати в табл. 1.2.

2. За формулою (1.8) визначити середнє значення об'єму циліндра.

3. За формулою (1.9) визначити абсолютну похибку визначення об'єму.

4. Оцінити відносну похибку виміру об'єму за формулою (1.10)

$$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{V}_y}{\bar{V}_y}. \quad (1.10)$$

Таблиця 1.2

№П/П	D_i , мм	ΔD_i , мм	H_i , мм	ΔH_i , мм	V_y , мм	ΔV_y , мм	ε , %
1							
2							
3							
	$\bar{D}_i =$	$\Delta \bar{D}_i =$	$\bar{H}_i =$	$\Delta \bar{H}_i =$	$\bar{V}_y =$	$\Delta \bar{V}_y =$	$\varepsilon =$

Контрольні запитання

1. Будова ноніуса. Як визначити похибку ноніуса?
2. Як побудувати ноніус для підвищення точності вимірювання за даним масштабом в n разів?
3. Яка будова і правила користування штангенциркулем та мікрометром?
4. Похибки вимірювань. Випадкові, систематичні похибки та промахи.
5. Обробка результатів при прямих вимірюваннях фізичної величини.
6. Обробка результатів при непрямих вимірюваннях фізичної величини.

Лабораторна робота № 2

Тема роботи. Визначення швидкості звуку в повітрі методом додавання взаємно перпендикулярних коливань.

Мета роботи. Ознайомитися з одним із способів визначення швидкості звуку в повітрі.

Прилади та матеріали: звуковий генератор із телефоном, вимірювальна лінійка, осцилограф, мікрофон.

Короткі теоретичні відомості

Швидкість звуку у повітрі можна визначити із співвідношення

$$v = \lambda \nu,$$

де v – швидкість звуку, λ – довжина звукової хвилі у повітрі, ν – частота звукових коливань.

На відрізку z (рис. 2.1) різницю фаз коливань $\Delta\varphi$ можна представити співвідношенням:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{z}{\lambda}, \quad \lambda = 2\pi \frac{z}{\Delta\varphi},$$
$$z = \Delta\varphi \frac{\lambda}{2\pi}.$$

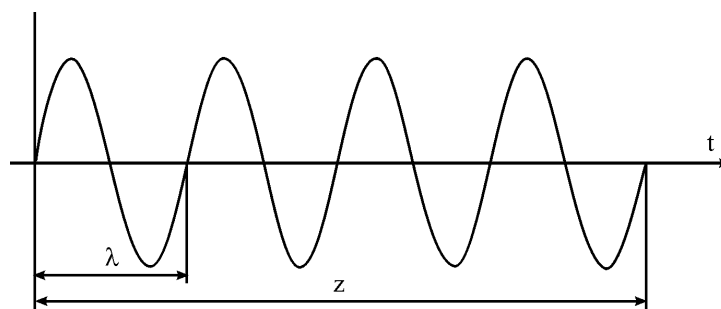


Рис. 2.1

Таким чином, довжину хвилі можна виміряти за відстанню між двома точками хвилі і за різницею фаз між ними.

Різницю фаз коливань у двох точках звукової хвилі можна визначити, користуючись методом додавання двох взаємно перпендикулярних коливань. При додаванні таких коливань з однаковими амплітудами і періодами вигляд траєкторій результуючого коливання залежить від різниці фаз цих коливань.

Якщо електричні коливання від виходу генератора подати на горизонтально відхиляючі пластини осцилографа (“Вхід X”), а від мікрофона, що знаходиться на певній відстані від гучномовця (під’єданого до тих же виводів генератора), – на вертикально відхиляючі пластини (“Вхід Y”), то електронний промінь на екрані осцилографа рухатиметься у двох взаємно перпендикулярних напрямках, описуючи при цьому різноманітні фігури, названі фігурами Ліссажу.

Нехай частинка здійснює два взаємно перпендикулярні коливання з однаковими частотами. В напрямку осі Ox рівняння коливань має вигляд:

$$x = A_1 \sin \omega t; \quad (2.1)$$

а в напрямку осі OY

$$y = A_2 \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (2.2)$$

де A_1, A_2 – амплітуди коливань, ω – частота, φ_0 – зсув фаз цих коливань.

З рівняння (2.1)

$$\frac{x}{A_1} = \sin \omega t. \quad (2.3)$$

Тоді

$$\cos \omega t = \sqrt{1 - \frac{x^2}{A_1^2}}. \quad (2.4)$$

Тут використано відоме співвідношення: $\sin^2 \omega t = 1 - \cos^2 \omega t$.

Запишемо рівняння (2.2) у вигляді

$$\frac{y}{A_2} = \cos(\omega t + \varphi_0) = \cos \omega t \cos \varphi_0 - \sin \omega t \sin \varphi_0. \quad (2.5)$$

Підставивши (2.3) і (2.4) в рівняння (2.5), отримаємо

$$\frac{y}{A_2} = \sqrt{1 - \frac{x^2}{A_1^2}} \cos \varphi_0 - \frac{x}{A_1} \sin \varphi_0.$$

Перенесемо $\left(-\frac{x}{A_1} \sin \varphi_0\right)$ в ліву частину рівняння і піднесемо обидві частини

рівняння до квадрату:

$$\frac{y^2}{A_2^2} + 2 \frac{xy}{A_1 A_2} \sin \varphi_0 + \frac{x^2}{A_1^2} \sin^2 \varphi_0 = \cos^2 \varphi_0 - \frac{x^2}{A_1^2} \cos^2 \varphi_0,$$

або

$$\frac{x^2}{A_1^2} + 2 \frac{xy}{A_1 A_2} \sin \varphi_0 + \frac{y^2}{A_2^2} = \cos^2 \varphi_0. \quad (2.6)$$

Рівняння (2.6) є рівнянням еліпса.

Якщо $\varphi_0 = 0, \pi, 2\pi, \dots$ (початкові фази однакові), то рівняння (2.6) також залишається рівнянням еліпса

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1,$$

приведеного до координатних осей. Якщо $A_1 = A_2$, то еліпс перетворюється у коло. У решти випадків різниці фаз дають рівняння еліпсів, що не приведені до вибраних осей.

Якщо $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots$, то

$$y = \pm \frac{A_1}{A_2} x.$$

У нашому випадку вигляд траєкторії залежатиме від різниці фаз електричних коливань, що подаються від мікрофона і від звукового генератора. Різниця фаз у свою чергу залежить від відстані l між динаміком і мікрофоном. Якщо цю відстань змінювати, пересуваючи мікрофон, то форма траєкторії буде

змінюватися (повертатися). При збільшенні відстані між динаміком і мікрофоном на довжину звукової хвилі різниця фаз коливань, що подаються на осцилограф, збільшується на 2π . Таким чином, траєкторія при цьому зробить один повний оберт. Мінімальне значення відстані l_{\min} між двома положеннями мікрофона, при якому на екрані осцилографа траєкторія зробить повний оберт, є довжиною звукової хвилі у вакуумі.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати експериментальну установку, підключивши генератор, осцилограф, акустичну головку та мікрофон.

2. Визначити, які необхідно виконати прямі вимірювання для визначення швидкості звуку у повітрі при заданій температурі. Скласти таблицю.

3. Ввімкнути звуковий генератор і встановити відповідну частоту.

4. Пересуваючи мікрофон від динаміка, а потім у напрямку до динаміка, визначити середню довжину звукової хвилі, добиваючись на екрані осцилографа однакових фігур Ліссажу у двох послідовних положеннях. Вимірювання виконати по три рази для частот 1500, 1700 і 2000 Гц. Результати вимірювань записати у таблицю.

5. Виконати обробку результатів вимірювання. Порівняти отримане значення швидкості поширення звуку із табличним значенням при температурі вимірювання.

Таблиця 2.1

№п/п	ν , Гц	$\Delta\nu$, Гц	l , м	Δl , м	v , м/с	Δv , м/с	ε , %
1							
2							
3							
Сер. зн.							
1							
2							
3							
Сер. зн.							
1							
2							
3							
Сер. зн.							

Контрольні запитання

1. Джерела звуку. Акустичні коливання.
2. Додавання коливань одного напрямку методом векторних діаграм.
3. Рівняння руху частинки, яка здійснює коливання у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Фігури Ліссажу.
4. Методика визначення швидкості поширення звуку у повітрі методом додавання взаємно перпендикулярних коливань.

Лабораторна робота № 3

Тема роботи. Дослідження сил лобового опору в повітрі.

Мета роботи. Дослідним шляхом визначити силу лобового опору та встановити її залежність від розмірів та форми тіл.

Прилади та матеріали: аеродинамічна труба, аеродинамічні терези, набір тіл різної форми, аерометр, штангенциркуль

Короткі теоретичні відомості

На тіла, що рухаються в реальних газах, діє сила лобового опору (опору рухові), а за певних умов і підймальна сила. Процеси, які зумовлюють появу цих сил, виникають у тонкому завихреному пограничному шарі. Його товщина, як відмічав М.Є. Жуковський, залежить від швидкості потоку; якщо швидкість мала, його товщина значна, а якщо швидкість велика, товщина мала. У пограничному шарі відбувається різке збільшення швидкості від $v_0 = 0$ на поверхні тіла до величини порядку швидкості набігаючого потоку.

При невеликих швидкостях потоку в пограничному шарі – ламінарний режим течії (потік плавно обтікає тіло) – результуюча сила тиску на поверхню, наприклад кулі, дорівнює нулю, оскільки лінії течії симетричні. Сила, яка діє на кулю з боку газу, є силою внутрішнього тертя. Її визначають за законом Стокса $F_x \sim v$.

При збільшенні швидкості потоку картина обтікання різко змінюється, позаду тіла з'являються вихори, які взагалі нерегулярно відриваються від тіла і виносяться потоком, утворюючи вихрову доріжку. Тому у збуреній ділянці за тілом, в якій є вихори, тиск стає меншим за тиск в незбуреному потоці перед тілом. Взагалі, згідно з принципом відносності Галілея, сили, що виникають при взаємодії тіла з газом, не залежать від того, чи рухається тіло, а газ – нерухомий, чи газ – рухомий, а тіло – нерухоме. Це покладено в основу аеродинамічних досліджень в аеродинамічній трубі.

Різниця тисків перед фронтом тіла і позаду нього призводить до появи опору рухові. Силу опору F_x визначають за формулою Ньютона

$$F_x = C_x \rho S v^2, \quad (3.1)$$

де C_x – коефіцієнт лобового опору; ρ – густина газу; S – міделів переріз (найбільша площа перерізу тіла площиною, перпендикулярною до потоку); v – швидкість потоку. Коефіцієнт лобового опору істотно залежить від форми тіла та його орієнтації відносно потоку. Він також є функцією від числа Рейнольдса (Re)*.

При обтіканні рідиною симетричного тіла підймальна сила не виникає. Для її виникнення необхідно, щоб тіло, яке обтікається рідиною, було несиметричне, або знаходилось несиметрично відносно напрямку потоку. В системі крило – повітря внутрішні сили взаємодії, тобто сили в'язкого тертя і сили

* Число Рейнольдса ($Re = \frac{\rho v_0}{\eta}$) визначає відносну роль інерції і в'язкості рідини під час течії.

тиску, не можуть змінити загальний момент імпульсу. Якщо він до утворення вихорів дорівнював нулю, то, за законом збереження моменту імпульсу, після утворення вихорів, момент імпульсу не повинен змінитися. З цього випливає, що одночасно з утворенням вихорів повинна виникнути циркуляція повітря навколо крила у напрямі, протилежному напрямку обертання вихорів. Внаслідок дії сил в'язкості при несиметричному обтіканні повітрям тіла (крила літака) навколо нього виникає циркуляція повітря, яку називають приєднаним вихором. В результаті цього швидкість повітря над крилом буде більша, ніж під крилом, і згідно рівняння Бернуллі при циркуляції повітря статичний тиск над крилом зменшується, а під ним збільшується, що зумовлює виникнення підіймальної сили крила, яка напрямлена вгору.

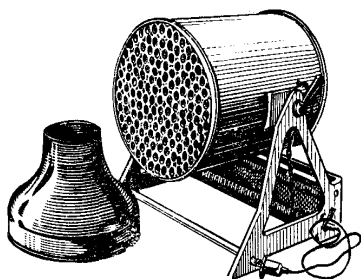


Рис. 3.

Завдання роботи – перевірити залежність F_x від форми тіла та швидкості потоку повітря і оцінити коефіцієнт C_x для деяких тіл.

Силу лобового опору визначають за допомогою аеродинамічної труби та аеродинамічних терезів. Аеродинамічна труба (рис. 3.1) являє собою циліндр, на кінці якого розміщений вентилятор (компресор), що створює сильний потік повітря через трубу і компенсує витрати енергії струменя. Для створення рівномірності потоку повітря об'єм труби заповнено системою паралельних трубок діаметра 2,5 см кожна, закінчується вона дещо звуженим дифузором. Швидкість потоку регулюється силою струму в електродвигуні, яка змінюється реостатом.

Для вимірювання сили лобового опору F_x , а також підіймальної сили F_y використовують двокомпонентні аеродинамічні терези. При вимірюванні F_x або F_y коромисло терезів CD переміщується відповідно в горизонтальному і вертикальному напрямках, а модель досліджуваного тіла здійснює тільки поступальний рух (рис. 3.2). Такі сукупні переміщення забезпечуються



Рис. 3.2

особливою конструкцією терезів (шарнірне з'єднання рухомих частин коромисла; A, B, C, D – шарніри; $BD = BK$ і $AC = BD$). При рівновазі терезів момент сили F_x зрівноважується моментом сили P_1 (рис. 3.2, а). При цьому дія сили P зрівноважується реакцією опори коромисла в шарнірах A і B , якщо кут $\alpha = 90^\circ$. Робоче положення терезів для вимірювання F_x показано на рис. 3.3. Модель досліджуваного тіла закріплюється в затискачі 4. Вантаж 1 призначений для

компенсації ваги моделі (при цьому стрілка терезів розміщена проти нуля шкали). Тягарцем 2 змінюють чутливість терезів. Для забезпечення стійкого положення рівноваги терезів тягарець 2 рекомендується поміщати в найнижче положення. При дії потоку повітря на модель нове положення рівноваги терезів досягається накладанням різноважок на шальку терезів 3. Швидкість потоку повітря вимірюють за допомогою аерометра.

Виведення робочої формули

Терези знаходяться у рівновазі, якщо момент сили лобового опору F_x , що діє на тіло з боку потоку повітря, зрівноважується моментом сили P_1 , що діє на тягарець:

$$M_{оп} = M_{тяж}$$

або

$$F_x L = P_1 l,$$

де L – відстань від точки кріплення тіла до його середини, l – відстань від нульової позначки терезів до центра мас тягарця. Оскільки $F_x = C_x \rho S v^2$, а $P_1 = mg$ (де m – маса тягарця), то

$$C_x \rho S v^2 L = mgl.$$

Враховуючи, що $S = \pi d^2/4$, отримаємо $C_x \rho \pi d^2 v^2 L/4 = mgl$, звідки остаточно отримаємо вираз для знаходження коефіцієнта лобового опору:

$$C_x = \frac{4mgl}{\rho \pi d^2 v^2 L}.$$

Порядок виконання роботи

1. Встановити аеродинамічну трубу, модель досліджуваного тіла і аерометр на однаковому горизонтальному рівні.

2. Увімкнути електродвигун і створити в трубі найменшу швидкість потоку (реостат увімкнено на повний опір). Внести в потік повітря аерометр і виміряти швидкість потоку на виході труби. Потім по черзі вносити в потік повітря моделі досліджуваних тіл, прикріплені до терезів (кругла пластина, куля, найкраще обтічне тіло), і виміряти силу лобового опору F_x . Досліди повторити не менше 3-5 разів. Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю. Зробити висновок про залежність C_x від форми тіла і швидкості потоку.

3. Виміряти міделеві перерізи моделей досліджуваних тіл і за формулою (3.1) визначити коефіцієнт лобового опору C_x при відповідних значеннях Re .

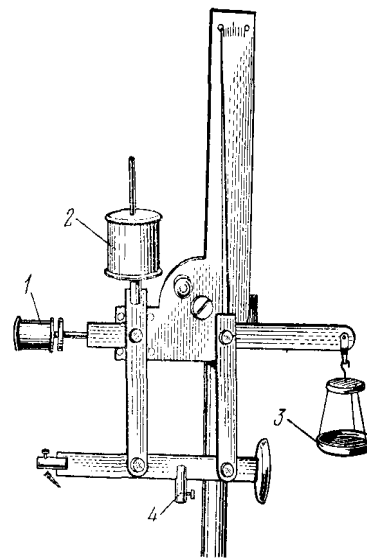


Рис. 3.3

Здобуті результати занести в таблицю. Зробити висновки про залежність C_x від форми тіла і швидкості потоку.

Таблиця 3.1

Форма тіла	№ п/п	m , кг	l , м	Δl , м	L , м	ΔL , м	d , м	Δd , м	v , м/с	C_x
Куля	1									
	2									
	3									
	Сер. зн.									
Півкуля	1									
	2									
	3									
	Сер. зн.									
Добре обтічне тіло	1									
	2									
	3									
	Сер. зн.									

Контрольні запитання

1. Який режим течії називають ламінарним; турбулентним?
2. Який фізичний зміст числа Рейнольдса?
3. Які основні прилади і установки експериментальної аеродинаміки?
4. Чим зумовлена поява лобового опору?
5. Що таке коефіцієнт лобового опору? Від чого він залежить?
6. Поясніть методику визначення коефіцієнта лобового опору у повітрі.

Лабораторна робота № 4

Тема роботи. Дослідна перевірка рівняння Бернуллі.

Мета роботи. Перевірити дослідним шляхом справедливість рівняння Бернуллі.

Прилади та матеріали: експериментальна установка, мензурка, секундомір.

Короткі теоретичні відомості

Опис експериментальної установки

Установка для дослідної перевірки рівняння Бернуллі є трубкою змінного перерізу. Від кожного перерізу відходять вертикальні манометричні трубки. Міліметрова лінійка дає можливість відррахувати різницю рівнів рідини в обох вертикальних трубках (рис. 4.1).

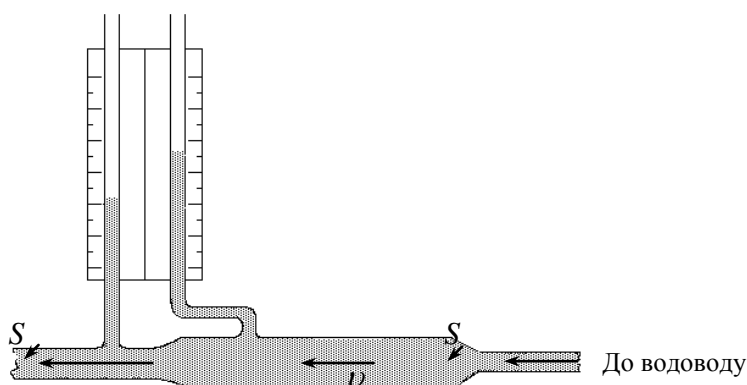


Рис. 4.1

Виведення робочої формули

Перевірка справедливості рівняння Бернуллі здійснюється шляхом порівняння об'ємної витрати води, визначеної за різницею тисків у перерізах труби S_1 та S_2 (рис. 4.1) (на основі рівняння Бернуллі) з об'ємною витратою води, виміряною при допомозі мензурки та секундоміра.

Згідно рівняння Бернуллі, для лінії течії при стаціонарному потоці ідеальної рідини сума статичного, гідростатичного і динамічного тисків є величина стала:

$$P + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const, \quad (4.1)$$

де P – статичний тиск, ρgh – гідростатичний тиск, $\frac{\rho v^2}{2}$ – динамічний тиск, ρ – густина рідини, h – висота, на якій визначається швидкість стаціонарного потоку рухомої рідини, v – швидкість потоку рідини.

Нехай площі поперечних перерізів трубки рівні S_1 і S_2 , відповідні їм швидкості стаціонарного руху води v_1 та v_2 , статичні тиски – P_1 і P_2 . Тоді рівняння Бернуллі для горизонтальної трубки та умова нерозривності потоку запишеться:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}; \quad (4.2)$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ або } S_1^2 v_1 = S_2^2 v_2,$$

де D_1 і D_2 – діаметри трубок.

Розв'язавши систему рівнянь (4.2) відносно v_2 , отримаємо:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(\frac{1 - D_2^4}{D_1^4} \right)}}. \quad (4.3)$$

Витрата води (об'єм води, який проходить через поперечний переріз за одну секунду) визначається за формулою

$$Q = S_2 v_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(1 - \frac{D_2^4}{D_1^4} \right)}}. \quad (4.4)$$

Різниця тисків, виміряна за допомогою манометра, дорівнює

$$P_1 - P_2 = \rho g \Delta h, \quad (4.5)$$

де ρ – густина води, Δh – різниця висот стовпів води у манометричних трубках.

Беручи до уваги, що $D_1^4 \gg D_2^4$, отримаємо першу робочу формулу для підрахунку витрат води:

$$Q = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{2g \Delta h}. \quad (4.6)$$

Діаметр $D_2 = 7$ мм. Другу робочу формулу

$$Q' = \frac{V}{t}. \quad (4.7)$$

отримаємо безпосередньо вимірюванням об'єму води V , що натікає в мензурку за час t .

Порівнюючи величину витрати води Q з величиною Q' , отриманою за формулою (6), переконуємося у справедливості рівняння Бернуллі.

Порядок виконання роботи

1. Частково відкрити водопровідний кран, пустити воду в установку. Забезпечити стаціонарний потік води.
2. Зробити відлік різниці рівнів Δh води в обох колінах манометра.
3. Вставити водозливний шланг у мензурку, включивши одночасно секундомір; виключити секундомір у момент відведення шланга від мензурки. Вимірювання повторити 3 рази.
4. Аналогічні виміри провести для трьох різних значень швидкості потоку, яка регулюється краном.

5. Результати вимірювань занести у таблицю; розрахувати витрати води Q та Q' та порівняти їх для кожного із значень швидкості потоку. Обчислити похибку експерименту. Зробити висновки про співпадіння обчислених значень у межах похибки вимірювань.

Таблиця 4.1

№ n/n		$\Delta h,$ м	t, с	$Q,$ м ³ /с	$\Delta Q,$ м ³ /с	$\varepsilon,$ %	$Q',$ м ³ /с	$\Delta Q',$ м ³ /с	$\varepsilon,$ %
v_1	1								
	2								
	3								
	с/3								
v_2	1								
	2								
	3								
	с/3								
v_3	1								
	2								
	3								
	с/3								

Контрольні запитання

1. Яку рідину називають ідеальною? Що таке лінія течії, трубка течії, поле швидкостей, стаціонарна течія?
2. Сформулюйте теорему про нерозривність струменя рідини.
3. Тиск у рухомій рідині, вимірювання тиску рухомої рідини.
4. Сформулюйте і виведіть рівняння Бернуллі.
5. Що таке питома кінетична енергія рідини, питома потенціальна енергія рідини, питома енергія тиску?
6. Схема установки для перевірки рівняння Бернуллі.
7. Виведення робочої формули.

Лабораторна робота № 5

Тема роботи. Зміна ентропії в реальних системах.

Мета роботи. Навчитись визначати зміну ентропії та показати її залежність від маси та питомої теплоємності тіла.

Прилади та матеріали: штатив, три термометри, три калориметри, нагрівач, посудина з водою, три зразки однакової маси, але різної густини (залізо, алюміній, латунь), три зразки різної маси, але однакової густини (латунь), гачок для виймання зразків.

Короткі теоретичні відомості

Якщо в калориметр, що містить деяку кількість води при кімнатній температурі (T_1) опустити тіло, нагріте до вищої температури (T_2), то відбувається теплообмін і встановлюється деяка спільна температура.

Наявність зовнішньої посудини калориметра робить систему майже адіабатно ізольовану, а ступінь оборотності процесу визначають за зміною ентропії:

$$dS = mc \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (5.1)$$

де c – питома теплоємність тіла (для рідин і твердих тіл $C_V = C_P = c$), T_1 і T_2 – початкова і кінцева температури відповідно.

Якщо система складається з декількох тіл, то зміна ентропії всієї системи рівна зміні ентропії всіх складових:

$$dS = \sum_{i=1}^n dS_i, \quad (5.2)$$

де dS_i – зміна ентропії одного тіла, n – кількість тіл.

У даній роботі система складається:

1) з калориметричної посудини масою m_k , питомою теплоємністю c_k та початковою температурою T_0 ;

2) води в калориметрі масою m_b , питомою теплоємністю c_b та початковою температурою T_0 ;

3) тіла масою m_t , питомою теплоємністю c_t і початковою температурою T_1 (температура пари води, що кипить).

Після закінчення процесу теплообміну і вирівнювання температур до деякого значення T запишемо:

$$dS = dS_1 + dS_2 + dS_3, \quad (5.3)$$

$$dS_1 = m_k c_k \ln \frac{T}{T_0},$$

$$dS_2 = m_b c_b \ln \frac{T}{T_0},$$

$$dS_3 = m_t c_t \ln \frac{T}{T_1}.$$

Отже, зміна ентропії всієї системи рівна:

$$dS = (m_K c_K + m_B c_B) \ln \frac{T}{T_0} + m_T c_T \ln \frac{T}{T_1}. \quad (5.4)$$

Порядок виконання роботи

I.

1.1. Налити у три калориметри по 100 мл (0,1 кг) води. Записати в таблиці 5.1-5.3 значення T_0 .

1.2. Увімкнути нагрівач, на якому знаходиться посудина з водою, попередньо опустивши туди три зразки однакової маси, але різної густини (алюміній, залізо, латунь).

1.3. Після того, як закипить вода (T_1), зачекати не менше трьох хвилин. Потім за допомогою гачка зразки опустити по одному в калориметри.

1.4. За показами трьох термометрів слідкуйте за зростанням температур. Зафіксуйте максимальні значення температур (T) і запишіть їх в таблиці 5.1-5.3.

Таблиця 5.1

(система: калориметр + вода + алюміній)

№	T_0, K	T_1, K	T, K	$dS,$ Дж/К	$\varepsilon, \%$	$\Delta(dS),$ Дж/К
1						

Таблиця 5.2

(система: калориметр + вода + залізо)

№	T_0, K	T_1, K	T, K	$dS,$ Дж/К	$\varepsilon, \%$	$\Delta(dS),$ Дж/К
1						

Таблиця 5.3

(система: калориметр + вода + латунь)

№	T_0, K	T_1, K	T, K	$dS,$ Дж/К	$\varepsilon, \%$	$\Delta(dS),$ Дж/К
1						

Взяти до відома:

Речовина	Маса, кг	Питома теплоємність, Дж/(кг·К)
вода	0,1	4187
алюміній	$30,75 \cdot 10^{-3}$	879
залізо	$30,8 \cdot 10^{-3}$	498
латунь	$30,4 \cdot 10^{-3}$	384

Маси калориметрів рівні і дорівнюють: $m_K = 68,42 \cdot 10^{-3}$ кг.

II.

2.1. Налити у три калориметри по 150 мл (0,15 кг) води.

2.2. Повторити операції, перераховані в пунктах I.2-I.4, для трьох зразків різної маси, але однакової густини (латунь).

2.3. Значення T_0 , T_1 , T занести в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4

(система: три калориметри + вода + 3 зразки різної маси)

№	T_0 , К	T_1 , К	T , К	dS , Дж/К	ε , %	$\Delta(dS)$, Дж/К
1						
2						
3						

Взяти до відома:

Маси тіл: $m_1 = 160 \cdot 10^{-3}$ кг;

$m_2 = 65,1 \cdot 10^{-3}$ кг;

$m_3 = 30,4 \cdot 10^{-3}$ кг;

$m_b = 150 \cdot 10^{-3}$ кг.

1. За робочою формулою (5.4) обчислити значення dS .
2. Вивести формулу для знаходження відносної похибки ε , % і обчислити її.
3. Побудувати графіки залежності dS від m_t і c_t .
4. Записати кінцевий результат для всіх випадків у формі $dS = dS_{сер} \pm \Delta(dS)$, Дж/К та висновок.

Контрольні запитання

1. Поняття про оборотні та необоротні процеси.
2. Цикл Карно.
3. Перший та другий закони термодинаміки.
4. Поняття про ентропію.
5. Теорія методу визначення зміни ентропії:
 - при нагріванні зразків різної маси, але однакової густини;
 - при нагріванні зразків однакової маси, але різної густини.
6. Вивести робочу формулу.

Лабораторна робота № 6

Тема роботи. Фазовий перехід першого роду на прикладі переходу води в пару при температурі кипіння.

Мета роботи. Ознайомлення з одним із способів дослідного визначення питомої теплоти фазового переходу в пару при температурі кипіння.

Прилади та матеріали: джерело струму, провідники, вольтметр, амперметр, штатив, кип'ятильник з водою, холодильник, гумові трубки, склянка для води.

Короткі теоретичні відомості

Питомою теплотою переходу рідини в пару λ (Дж/кг) називається величина, яка чисельно рівна кількості теплоти, яку потрібно надати одиниці маси рідини для перетворення її в пару при постійній температурі кипіння. Теплота, яка підводиться до рідини при ізотермічному випаровуванні, іде на роботу по подоланню сил молекулярного притягання і на роботу проти сил зовнішнього тиску.

Через деякий час після закипання води встановиться приблизно однакова різниця температур колби і навколишнього середовища і пара, проходячи через конденсор, буде перетворюватись в рідину.

Кількість теплоти, яку отримує спіраль при проходженні по ній електричного струму за деякий час, рівна роботі цього струму:

$$Q = A = I_1 U_1 t, \quad (6.1)$$

де U_1 – напруга на кінцях спіралі, I_1 – сила струму, що проходить по спіралі за час t .

Теплота Q , отримана водою від нагрітої спіралі, рівна тій кількості теплоти Q_1 , яка витрачається на перетворення води масою m_1 в пару і нагрівання навколишнього середовища, тобто теплову втрату (Q_0):

$$Q = Q_1 + Q_0. \quad (6.2)$$

Враховуючи, що

$$Q_1 = m_1 \lambda, \quad (6.3)$$

де λ – питома теплота переходу води в пару, рівність (6.2) матиме вигляд:

$$I_1 U_1 t = m_1 \lambda + Q_0. \quad (6.4)$$

Теплові втрати Q_0 визначити експериментально важко. Тому дослід повторюють при іншій потужності електричного струму, вважаючи, що теплові втрати такі самі, як і в першому досліді:

$$I_2 U_2 t = Q_2 + Q_0. \quad (6.5)$$

Із формул (6.4) і (6.5) знаходимо λ :

$$I_1 U_1 t - I_2 U_2 t = m_1 \lambda - m_2 \lambda, \quad (6.6)$$

звідки

$$\lambda = \frac{(I_1 U_1 - I_2 U_2)t}{m_1 - m_2}. \quad (6.7)$$

Порядок виконання роботи

1. Увімкнути джерело струму. Повернути ручку регулятора так, щоб напруга становила $U_1 = 80$ В. Значення напруги U_1 та покази амперметра I_1 занести в таблицю.
2. Зачекати, щоб вода в кип'ятильнику почала кипіти.
3. Зважити склянку для води порожньою (m_n).
4. Після того як почне крапати з холодильника конденсат, підкласти склянку. Увімкнути секундомір. Набирати конденсат протягом 3 хв.
5. Зважити склянку з конденсатом (m_6). Знайти масу конденсату

$$m_1 = m_6 - m_n.$$

Значення m_1 занести в таблицю.

6. Вимкнути джерело струму, щоб вода у кип'ятильнику перестала кипіти.
7. Через деякий час повторити операції зазначені у пунктах 1-6 при іншому значенні напруги $U_2 = 60$ В. Значення U_2 , I_2 та m_2 занести в таблицю.

Таблиця 6.1

№	U_1 , В	I_1 , А	m_1 , кг	U_2 , В	I_2 , А	M_2 , кг	t , с	λ , Дж/кг	ε , %	$\Delta\lambda$, Дж/кг
1										

8. Обчислити за робочою формулою (7) значення питомої теплоти переходу води у пару.
9. Вивести формулу для обчислення відносної похибки вимірювання (λ).
10. Записати кінцевий результат у вигляді $\lambda = \lambda_{сер} \pm \Delta\lambda$, Дж/кг та висновок.

Контрольні запитання

1. Поняття фази. Фазові перетворення.
2. Випаровування. Кипіння. Прихована теплота кипіння та її залежність від температури. Стан динамічної рівноваги рідини і пари. Насичена пара, потужність насиченої пари.
3. Теорія методу. Виведення робочої формули.

Лабораторна робота № 7

Тема роботи. Визначення в'язкості рідин методом Стокса.

Мета роботи. Ознайомитись з одним із способів визначення в'язкості гліцерину та мастила. Ознайомитись з принципом будови і дії віскозиметра.

Прилади та матеріали: скляні циліндри, в'язкі рідини, дріб свинцевий, мікрометр, секундомір.

Короткі теоретичні відомості

На кульку, що вільно падає в рідині, діють такі сили:

Сила тяжіння:

$$P = m_k g, \quad (7.1)$$

де m_k – маса кульки.

Врахувавши, що

$$m_k = \rho_k V = \rho_k \frac{4}{3} \pi r^3, \quad (7.2)$$

де r – радіус кульки, матимемо:

$$P = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_k g. \quad (7.3)$$

Виштовхувальна сила (сила Архімеда):

$$F_A = m_{pid} g, \quad (7.4)$$

де $m_{pid} = \rho_{pid} \frac{4}{3} \pi r^3$ – маса витісненої кулькою рідини, r – радіус кульки.

Отже,

$$P = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{pid} g. \quad (7.5)$$

Сила внутрішнього тертя (сила Стокса, в'язкість):

$$F = 6\pi\eta r v, \quad (7.6)$$

де η – коефіцієнт динамічної в'язкості, v – швидкість падіння кульки, яку визначають через шлях l , пройдений кулькою за час t між двома зафіксованими мітками циліндра $v = l/t$.

Спочатку рух кульки прискорений, потім (при зрівноваженні архімедової сили, сили Стокса та сили тяжіння) рух кульки стає рівномірним.

Запишемо рівнодійну всіх сил, що діють на кульку:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_k g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{pid} g - 6\pi\eta r v = 0, \quad (7.7)$$

звідки

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{(\rho_k - \rho_{pid})}{v}. \quad (7.8)$$

Враховуючи, що $v = l/t$, маємо:

$$\eta = \frac{2}{9} (\rho_k - \rho_{pid}) g \frac{r^2 t}{l}. \quad (7.9)$$

Порядок виконання роботи

1. Виміряти мікрометром радіуси r шести кульок.
2. Зорієнтувати по осі циліндра кульку і опустити її в рідину. Секундоміром визначити проміжок часу t , протягом якого кулька проходить відстань l між двома мітками на циліндрі.
3. Дослід провести три рази для циліндра, заповненого гліцерином і три рази для циліндра, заповненого мастилом.
4. Дані r , t , l занести у таблиці (для гліцерину і для мастила).

Таблиця 7.1

№	$r \cdot 10^{-3}$, м	l , м	t , с	η , Па·с	ε , %	$\Delta\eta = \eta_{сер} \cdot \varepsilon$, Па·с
1						
2						
3						
сер.						

Взяти до відома:

$$\rho_{гліцер.} = 1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{мастила} = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{кульки} = \rho_{свинцю} = 11,35 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

1. За формулою (7.9) обчислити η для гліцерину і мастила.
2. Вивести формули та обчислити значення відносної похибки.
3. Записати кінцевий результат у вигляді $\eta = \eta_{сер} \pm \Delta\eta$, Па·с та висновок.

Контрольні запитання

1. Природа внутрішнього тертя в рідинах.
2. Коефіцієнт в'язкості рідин та його фізичний зміст.
3. Теорія методу Стокса для визначення коефіцієнта в'язкості рідин. Виведення робочої формули.

Лабораторна робота № 8

Тема роботи. Визначення вологості повітря. Гігрометри та психрометри.

Мета роботи. Ознайомлення з деякими фізичними основами метеорології.

Прилади та матеріали: психрометр, гігрометр, ефір, термометр, скляний екран, піпетка, барометр.

Короткі теоретичні відомості

I. Робота з гігрометром

Температура, при якій водяна пара стає насиченою, називається “точкою роси”. Для визначення “точки роси” достатньо охолодити металевий предмет з блискучою поверхнею. Температура, при якій на поверхні з’являється “легкий серпанок” водяної пари у вигляді роси, і буде температурою точки роси. У гігрометрі поверхню металевого дзеркала камери охолоджують швидким випаровуванням налитого в камеру ефіру, крізь який продувають повітря.

Знаючи температуру “точки роси” (t_p), за гігрометричною таблицею знаходять кількість водяної пари (у грамах), яка є в 1 м^3 повітря у момент спостереження, тобто абсолютну вологість повітря (m) та пружність (p) цієї пари (у мм рт. ст.).

Для визначення відносної вологості повітря треба ще знайти кількість водяної пари (m_1), необхідної для насичення повітря при кімнатній температурі. Значення m_1 та пружності насиченої пари P (при кімнатній температурі $t_{\text{кім}}$) беруть з гігрометричної таблиці (додаток А).

Відношення кількості водяної пари m , що є в повітрі в момент спостереження (“точки роси”), до тієї кількості (m_1), яка необхідна для повного насичення і є відносною вологістю:

$$\varphi = \frac{m}{m_1} 100 \% . \quad (8.1)$$

На практиці частіше визначають абсолютну вологість не за кількістю водяної пари в грамах, що міститься в 1 м^3 повітря, а за її пружністю, вираженою в мм рт. ст.:

$$\varphi = \frac{p}{P} 100 \% . \quad (8.2)$$

II. Робота з психрометром

Внаслідок продування повітря, що прискорює випаровування ефіру з батисту, мокрий термометр показуватиме температуру нижчу ніж сухий. Чим менша вологість навколишнього повітря, тим інтенсивніше випаровування і тим нижчі покази мокрого термометра. За різницею показів сухого (t_c) та мокрого (t_m) термометрів за допомогою психрометричної таблиці (додаток Б) можна знайти відносну вологість повітря (φ).

Температура вологого термометра буде знижуватися до тих пір, поки кількість теплоти Q_1 , яка поступає до термометра з навколишнього середовища за одиницю часу, стане рівною кількості теплоти Q_2 , яка необхідна для випаровування:

$$Q_1 = Q_2. \quad (8.3)$$

Кількість теплоти Q_1 знаходимо за законом Ньютона:

$$Q_1 = aS(t_c - t_m), \quad (8.4)$$

де a – коефіцієнт теплообміну, S – площа поверхні батисту.

Запишемо рівняння теплового балансу (8.3) у вигляді:

$$aS(t_c - t_m) = q_m \lambda S, \quad (8.5)$$

де λ – питома теплота випаровування, q_m – швидкість випаровування $\frac{dm}{dt}$ з одиниці поверхні.

Із рівності (8.5) отримаємо:

$$(t_c - t_m) = \frac{q_m \lambda}{a}. \quad (8.6)$$

Швидкість випаровування q_m знаходимо за законом Дальтона:

$$q_m = a_m (p_m - p) \frac{760}{p_{атм}}, \quad (8.7)$$

де p_m – пружність насиченої водяної пари при температурі мокрого термометра, p – тиск пари в навколишньому повітрі (абсолютна вологість), $p_{атм}$ – атмосферний тиск, a_m – коефіцієнт випаровування.

Підставивши у (8.6) значення q_m із (8.7), маємо:

$$(t_c - t_m) = (p_m - p) \frac{760 a_m \lambda}{p_{атм} a}. \quad (8.8)$$

Ввівши позначення $A = \frac{a}{760 a_m \lambda}$, рівність (8.8) матиме вигляд:

$$p = p_m - p_{атм} (t_c - t_m) A. \quad (8.9)$$

У даній роботі із формули (8.9) визначають не абсолютну вологість, а стали приладу A за значеннями абсолютної вологості, знайденої при роботі з гігрометром:

$$A = \frac{p_m - p}{p_{атм} (t_c - t_m)}. \quad (8.10)$$

Порядок виконання роботи

I. Робота з гігрометром

1. У камеру гігрометра налити декілька крапель ефіру і вкласти у ефір термометр.
2. Відокремити гігрометр від себе скляним екраном.

3. За допомогою гумової груші нагнати повітря в гігрометр. У момент появи легкого серпанку – роси на нікельованій поверхні припинити накачування повітря і зафіксувати покази термометра (t_1).
4. Зафіксувати температуру (t_2) у момент зникнення серпанку.
5. За значеннями t_1 і t_2 знайдіть температуру точки роси: $t_p = (t_1 + t_2)/2$.
6. Дослід повторити тричі у різних місцях кімнати.
7. За допомогою гігрометричної таблиці (див. в додатку А) знайти пружність насиченої пари p (абсолютну вологість) і пружність насиченої пари P при кімнатній температурі $t_{кім}$.
8. Визначити відносну вологість повітря φ за формулою (2).
9. Значення $t_1, t_2, t_p, t_{кім}, p, P, \varphi$ занести у таблицю.

Таблиця 8.1

№	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_p, ^\circ\text{C}$	$p,$ мм рт. ст.	$P,$ мм рт. ст.	$\varphi, \%$
1						
2						
3						
сер.						

II. Робота з психрометром

1. За допомогою піпетки змочити батист вологого термометра.
2. Заведіть вентилятор не більше трьох-чотирьох обертів завідного ключа.
3. Після припинення роботи вентилятора зафіксуйте покази сухого (t_c) та мокрого (t_m) термометрів.
4. За різницею ($t_c - t_m$) за допомогою психрометричної таблиці (додаток Б) визначити відносну вологість повітря φ . Значення занести в таблицю.

Таблиця 8.2

№	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$t_c - t_m, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$
1				
2				
3				
сер.				

III. Визначення сталої приладу

1. З таблиці 8.2 взяти середні значення температур t_c, t_m .
2. За допомогою гігрометричної таблиці знайти пружність пари (P_m), що насичує простір при температурі мокрого термометра (t_m).
3. З таблиці 8.1 взяти значення пружності водяної пари в повітрі, тобто абсолютної вологості (p).
4. Значення атмосферного тиску ($P_{атм}$) визначити за показами барометра.
5. За формулою (8.10) знайти сталу психрометра A . Дані занести у таблицю.

Таблиця 8.3

$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$p,$ мм рт. ст.	$P_m,$ мм рт. ст.	$P_{атм},$ мм рт. ст.	$A, (^{\circ}\text{C})^{-1}$

Контрольні запитання

1. Поняття абсолютної та відносної вологості повітря
2. Принцип будови та дії гігрометрів. Точка роси та її визначення.
3. Психрометри: будова та принцип дії:
 - а) визначення вологості повітря психрометром Ассмана;
 - б) визначення сталої приладу.

Лабораторна робота №9

Тема роботи. Дослідження електростатичного поля та перевірка теореми Остроградського-Гаусса.

Мета роботи. Побудувати екіпотенціальні поверхні і за їх допомогою провести перевірку теореми Остроградського-Гаусса.

Прилади та матеріали: цифровий гальванометр, потенціометр, вольтметр, циліндричні та дисковий електроди.

Короткі теоретичні відомості

Навколо будь-якого статичного (нерухомого) заряду існує електростатичне поле, яке є одним із видів існування матерії, що здійснює взаємодію між частинками речовини. Силовою характеристикою електростатичного поля є його напруженість. Напруженість – це фізична величина, яка вимірюється відношенням сили, діючої на позитивний пробний заряд, до величини цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (9.1)$$

Напруженість – величина векторна. Із (9.1) видно, що напрям напруженості електричного поля в будь-якій точці збігається з напрямом сили, що діє в цій точці на позитивний пробний заряд.

Електростатичне поле зображають за допомогою силових ліній, які в кожній даній точці поля вказують напрямом напруженості поля.

Енергетичною характеристикою поля є потенціал – фізична величина, яка вимірюється відношенням роботи, виконаної при перенесенні додатного заряду з нескінченності в дану точку поля, до величини цього заряду:

$$\varphi = \frac{A}{q_0}. \quad (9.2)$$

Електричний потенціал визначає потенціальну енергію одиничного заряду.

Між потенціалом і напруженістю поля існує тісний зв'язок. Для будь-якого поля зв'язок між напруженістю і потенціалом виражається так:

$$\vec{E} = -\frac{dU}{dr} d\vec{r} = -grad\bar{\varphi}, \quad (9.3)$$

де dU/dr – градієнт потенціалу. Градієнт потенціалу – це швидкість зміни потенціалу в напрямку силової лінії, яка чисельно дорівнює зміні потенціалу, що припадає на одиницю довжини силової лінії. Градієнт потенціалу – є вектор, який напрямлений в бік найбільшого зростання потенціалу.

В електростатичному полі можна побудувати поверхні, які є геометричним місцем точок з однаковими потенціалами – екіпотенціальні поверхні. Екіпотенціальні поверхні і лінії напруженості є ортогональними між собою. З формули (9.3) видно, що напруженість – це похідна від потенціалу по нормалі до екіпотенціальної поверхні, тобто в напрямі швидкої зміни потенціалу. Як правило, електростатичне поле графічно зображається так, щоб при переході

від однієї екіпотенціальної поверхні до іншої приріст потенціалу був такий самий. При цьому в місцях, де поверхні найближче підходять одна до одної, напруженість поля максимальна.

Дана робота полягає у графічному поданні картини електростатичного поля за допомогою екіпотенціальних поверхонь і ліній напруженості. Взагалі, дослідження розподілу потенціалів у електростатичному полі досить складне, однак, практично виконати його можна. Вивчення електростатичного поля замінюється дослідженням стаціонарного електричного поля постійного струму між електродами в однорідному середовищі за допомогою зонда.

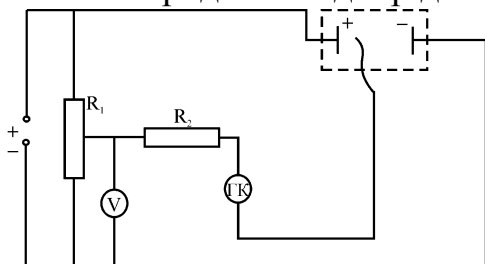


Рис. 9.1

На рис. 9.1 наведено схему установки для моделювання електростатичного поля в розчині електроліту. На дні ванни нанесено координатну сітку. Металеві електроди *A* і *B* занурюють в електроліт на кінцях координатного поля ванни. Напруга подається на електроди через знижувальний трансформатор. У вимірювальну частину схеми входять вольтметр, потенціометр,

цифровий гальванометр.

Рухомим контактом потенціометра можна встановити різні значення потенціалу відносно електродів. Переміщуючи зонд в електричному полі доти, поки гальванометр покаже рівність потенціалів у точках, знаходимо координати точки по координатній сітці ванни і переносимо їх на заздалегідь накреслену координатну сітку на папері. При незмінному положенні рухомого контакту переміщуємо зонд електродів і шукаємо нові точки з таким самим потенціалом, відповідно відмічаючи координати цих точок на папері. З'єднуючи отримані точки кривою, одержуємо екіпотенціальну поверхню.

Змінюючи положення контакту на потенціометрі, дістанемо сім'ю екіпотенціальних поверхонь для даної пари електродів.

Метод фізичного моделювання дає змогу на моделі плоского електростатичного поля експериментально перевірити теорему Остроградського-Гаусса. Спрощений запис теореми Остроградського-Гаусса для випадку електричного поля, яке створюється мідним кільцевим електродом:

$$\frac{r \langle v_n \rangle}{\langle d \rangle} = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}},$$

де r – радіус контуру, $\langle v_n \rangle$ – середнє значення швидкості у всій області вимірювань різниці потенціалів між двома точками на середині елемента кривої в напрямі нормалі до нього, d – відстань між контактами електродів подвійного зонда, U – напруга між цими електродами, r_1 і r_2 – радіуси центрального і кільцевого електродів.

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло за схемою рисунка з циліндричними електродами.

2. Поставити зонд-щуп на відстані 2 см від одного із електродів, перемістити повзунок реостата у положення, коли через гальванометр проходить мінімальний струм. Переміщуючи зонд, визначити ряд точок що відповідають цьому потенціалу (їх повинно бути не менше 6-8). Координати точок занести в таблицю.

Таблиця 9.1

$\varphi_1 = 1,2$ В		$\varphi_1 = 1,8$ В		$\varphi_1 = 2,4$ В		$\varphi_1 = 3$ В		$\varphi_1 = 3,6$ В		$\varphi_1 = 4,2$ В	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y

3. Перемістити зонд на 1,5-2 см у напрямі другого електрода і повторити вимірювання як у п.2. Координати точок занести в таблицю.

4. На міліметровому папері нанести координатну сітку і накреслити систему екіпотенціальних поверхонь. Побудувати систему ліній напруженості поля. Біля кожної лінії, що відповідають певній екіпотенціальній поверхні на графіку записати відповідні значення напруги.

5. Замінити електроди і виконати вимірювання пп. 2-4.

6. Подати напругу 3 В на кільцевий і дисковий електроди.

7. Виміряти різницю потенціалів U_n в напрямі, перпендикулярному до елемента контуру, не менше як 5-10 раз по всьому контуру і взяти середнє значення.

8. Перевірити рівність теореми Остроградського-Гаусса.

9. Проаналізувати можливі джерела похибок.

Контрольні запитання

1. Речовина і поле. Електростатичне поле, як форма існування матерії. Концепція близько- і далекодії.
2. Точкові заряди. Взаємодія точкових електричних зарядів.
3. Напруженість і потенціал електростатичного поля точкового електричного заряду.
4. Силкові лінії і екіпотенціальні поверхні поля точкового заряду.
5. Вплив середовища на взаємодію зарядів. Діелектрична проникність.
6. Принцип роботи установки для дослідження електростатичного поля. Робоча формула.
7. Теорема Остроградського-Гаусса.
8. Одиниці вимірювання напруженості і потенціалу.

Лабораторна робота № 10

Тема роботи. Перевірка закону Ома для неоднорідної ділянки кола.

Мета роботи. Глибше зрозуміти закон Ома для неоднорідної ділянки кола і для повного кола; перевірити справедливість закону Ома.

Прилади та матеріали: джерела постійного струму, міліамперметр, вольтметр, магазини опорів, ключ.

Короткі теоретичні відомості

Закон Ома для однорідної ділянки кола, тобто такої, яка не має стрибків потенціалу за рахунок контактних явищ або дії електрорушійних сил: $I = \frac{U}{R}$, де U – напруга на кінцях ділянки, R – опір ділянки.

Розглянемо неоднорідну ділянку кола (рис. 10.1). Різниця потенціалів φ_{AM} між точками A і M на кінцях неоднорідної ділянки рівна сумі різниць потенціалів на кожній із частин ділянки:

$$\varphi_{AM} = \varphi_{AB} + \varphi_{BC} + \varphi_{CD} + \varphi_{DK} + \varphi_{KL} + \varphi_{LM}$$

Якщо джерела ЕРС увімкнуті так як показано на схемі, то відповідні різниці потенціалів:

$$\varphi_{AB} = \varepsilon_2; \quad \varphi_{KL} = \varepsilon_1$$

(Якщо вони будуть ввімкнуті в протилежний бік, то різниці потенціалів будуть рівні від'ємним значенням відповідних ЕРС).

При проходженні по ділянці кола електричного струму на резисторах також виникає різниця потенціалів, яка визначається законом Ома для однорідної ділянки. Оскільки внутрішній опір r амперметра не є малим порівняно з опорами резисторів, необхідно врахувати також падіння потенціалу і на ньому. Якщо напрям струму такий як показано на схемі, то відповідні різниці потенціалів:

$$\varphi_{BC} = IR_2, \quad \varphi_{CD} = IR_3, \quad \varphi_{DK} = Ir, \quad \varphi_{LM} = IR_1.$$

Отже:

$$\varphi_{AM} = I(R_1 + R_2 + R_3 + r) + \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

або:

$$I(R_1 + R_2 + R_3 + r) = \varphi_{AM} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

Отже, для випадку увімкнення, показаного на електричній схемі, маємо такий вираз для сили струму:

$$I = \frac{U - E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r},$$

де $U = \varphi_{AL}$ – напруга на кінцях неоднорідної ділянки кола.

В загальному ж випадку сила струму на неоднорідній ділянці кола визначається законом Ома для неоднорідної ділянки кола:

$$I = \frac{U + \sum_{i=1}^k E_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

Для того щоб правильно розставити знаки в даній формулі, потрібно вибрати напрямок струму. Нехай вибрано такий напрям, як показано на схемі. Якщо потенціал точки A більший, ніж потенціал точки L , то перед U ставимо знак “+”, якщо навпаки – то знак “-”. Якщо в напрямку проходження струм спочатку зустрічає негативний полюс джерела ЕРС, а потім позитивний, то перед ЕРС ставимо знак “+”, якщо навпаки – то знак “-”.

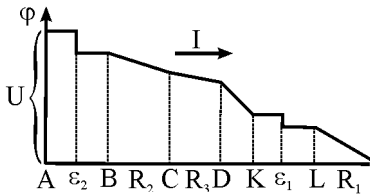


Рис. 10.2

Зміну потенціалу в неоднорідному колі даної електричної схеми можна наочно проілюстрували так, як показано на рис. 10.2.

З наведеного графіка видно, що потенціал точки A більший, ніж потенціал точки L ; струм іде від точки A до точки L , тому на резисторах відбуваються відповідні падіння потенціалу; на джерелах ЕРС також відбуваються падіння потенціалу в напрямку проходження струму (якщо б джерело ЕРС було ввімкнено з протилежною полярністю, то потенціал на ньому би зростав).

Порядок виконання роботи

1. Перед ввімкненням схеми необхідно вивести опір на магазинах опорів на максимум!!!

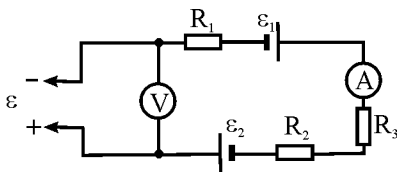


Рис. 10.3

2. Перевірити правильність з'єднання схеми.

3. Ввімкнути схему (рис. 10.3).

4. Підібрати опори на магазинах таким чином, щоб стрілка амперметра відхилилась у другу половину шкали.

5. Записати величини опорів, електрорушійних сил джерел, напругу, яку показує вольтметр, та силу струму, яку показує амперметр. Дані занести в таблицю.

6. Обчислити силу струму за законом Ома для неоднорідної ділянки кола і порівняти її з вимірною: $\Delta I = I_{\text{вимір}} - I_{\text{обчисл}}$ Результати обчислень занести в таблицю.

7. Побудувати графік зміни потенціалу на ділянці кола з дотриманням масштабу на міліметровому папері.

8. Зробити висновки.

Таблиця 10.1

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	r , Ом	ε_1 , В	ε_2 , В	U , В	I , мА (вимір)	I , мА (обчисл)	ΔI , мА

Контрольні запитання

1. Однорідна ділянка кола.
2. Неоднорідна ділянка кола.
3. Закон Ома для однорідної ділянки кола.
4. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола.
5. Закон Ома для повного кола.
6. Закон Ома для досліджуваної ділянки кола.
7. Записати робочу формулу для досліджуваної електричної схеми.
8. Як правильно вибрати знаки перед ЕРС у законі Ома для неоднорідної ділянки кола?
9. Судячи з наведеного на рисунку графіка зміни потенціалу, розставити за величиною опору і ЕРС.
10. Записати закон Ома для заданої викладачем неоднорідної ділянки кола.
11. Пояснити наведений на рисунку графік зміни потенціалу для неоднорідної ділянки кола.
12. Зобразити графік зміни потенціалу для заданої викладачем неоднорідної ділянки кола.
13. Вивести робочу формулу.

Лабораторна робота № 11

Тема роботи. Дослідження магнітного поля на осі соленоїда.

Мета роботи. Удосконалити теоретичні знання про магнітне поле струму; ознайомитись з одним із методів вимірювання напруженості магнітного поля; вияснити, як розподілене магнітне поле по осі соленоїда.

Прилади та матеріали: досліджуваний соленоїд з індикаторною котушкою, діод, гальванометр, масштабна лінійка, міліметровий папір, амперметр, автотрансформатор.

Короткі теоретичні відомості

Струм, що тече по прямому довгому провіднику на відстані r від нього, створює індукцію магнітного поля:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}, \quad (11.1)$$

де μ_0 – магнітна стала, I – сила струму.

Величину індукції магнітного поля, створюваного струмом, що тече по довільному провіднику, знаходять за допомогою закону Біо-Савара:

$$dB = \frac{\mu_0 Idl}{4\pi r^2},$$

де r – відстань від елемента dl , dl – елемент провідника до точки вимірювання магнітної індукції.

Повна індукція дорівнює:

$$B = \int_0^l \frac{\mu_0 Idl}{4\pi r^2}.$$

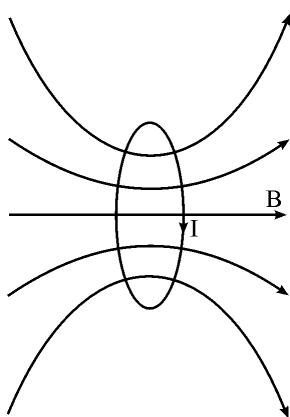


Рис. 11.1

Для замкнутого провідника зі струмом

$$B = \oint_L \frac{\mu_0 Idl}{4\pi r^2}.$$

Індукція й напруженість магнітного поля зв'язані співвідношенням:

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}.$$

Силкові лінії індукції магнітного поля не мають ні початку, ні кінця, тобто вони або замкнуті, або йдуть на нескінченність (рис. 11.1). Причина: не існує магнітних зарядів. Такі поля називають **вихровими**.

Соленоїд – циліндрична котушка, яка складається і великої кількості витків дроту, впритул намотаних на каркас. Його можна вважати системою кругових витків однакового радіуса, які мають спільну вісь. Напруженість магнітного поля на осі соленоїда рівна сумі напруженостей полів кожного витка. Якщо довжина соленоїда l набагато більша за його діаметр D , то всередині соленоїда створюється однорідне магнітне поле, напруженість якого:

$$H = \frac{IN}{l} = In_0,$$

де N – загальна кількість витків, n_0 – кількість витків на одиницю довжини.

Якщо врахувати скінченні розміри соленоїда, то для напруженості магнітного поля на осі соленоїда посередині його довжини можна одержати такий вираз:

$$H = \frac{In_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{2R}{l}\right)^2}}.$$

З формули видно, що напруженість магнітного поля на осі соленоїда посередині його довжини пропорційна до сили струму, який проходить через соленоїд:

$$H = KI,$$

де $K = \frac{n_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{2R}{l}\right)^2}}$ – константа соленоїда.

Якщо через соленоїд пропускати змінний електричний струм, то в ньому виникне змінне в часі магнітне поле. Його величину можна зафіксувати за допомогою невеликої індикаторної котушки, вставленої всередину соленоїда. Потік вектора магнітної індукції Φ , який пронизує індикаторну котушку, змінюється в часі з такою ж частотою, як і магнітне поле соленоїда. Згідно **закону електромагнітної індукції Фарадея** в індикаторній котушці виникає змінна ЕРС індукції:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt},$$

і вона викликає виникнення змінного індукційного струму в колі індикаторної котушки. Величина струму пропорційна до напруженості магнітного поля у місці розміщення індикаторної котушки і фіксується гальванометром. Але оскільки гальванометр може фіксувати тільки постійний струм, то в коло індикаторної котушки ввімкнено діод, який випрямляє струм.

Порядок виконання роботи

1. Підрахувати число витків соленоїда N .

2. Виміряти довжину соленоїда l .

3. Обчислити середнє значення числа витків соленоїда на одиницю довжини

$$n_0 = \frac{N}{l}.$$

4. Обчислити діаметр дроту обмотки соленоїда $d = \frac{l}{N}$.

5. Обчислити радіус витків соленоїда $R = \frac{D-d}{2}$, $D = 72$ мм – зовнішній діаметр соленоїда.

6. Обчислити константу соленоїда $K = \frac{n_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{2R}{l}\right)^2}}$.

7. Результати обчислень занести в таблицю 11.1.

8. Встановити індикаторну котушку посередині соленоїда.

9. Увімкнути трансформатор і встановити реостатом у колі соленоїда струм 0,2 А.

10. Записати в таблицю 11.2 покази гальванометра (кількість поділок на верхній шкалі) k .

11. Провести аналогічні вимірювання для інших струмів.

12. Для кожного значення струму обчислити відповідну напруженість магнітного поля на осі соленоїда і занести результати в таблицю 11.2.

13. Побудувати на міліметровому папері графік залежності $H = f(k)$.

14. За графіком $H = f(k)$ визначити ціну поділки гальванометра в одиницях напруженості А/м.

15. Вивести індикаторну котушку на позначку "0", тобто на край соленоїда.

16. Переміщуючи індикаторну котушку від одного краю соленоїда до протилежного при струмі у колі соленоїда $I = 0,6$ А, занести покази гальванометра в таблицю 11.3.

17. За графіком $H = f(k)$ визначити значення напруженості магнітного поля, що відповідають кожному із занесених у таблицю 11.3 показів гальванометра, і занести їх у таблицю 11.3.

18. Побудувати на міліметровому папері графік залежності $H = f(k)$.

19. У висновку пояснити вигляд залежності $H = f(k)$.

Таблиця 11.1

N	$l, \text{ м}$	$n_0, \text{ м}^{-1}$	$d, \text{ м}$	$D, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$K, \text{ м}$

Таблиця 11.2

$I, \text{ А}$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
k									
$H, \text{ А/м}$									

Таблиця 11.3

$x, \text{ см}$	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5	7	9	12	15	18	21	23	25	26	27	28	28,5	29	29,5	30	
k																								
$H, \text{ А/м}$																								

Контрольні запитання

1. Яке магнітне поле називається однорідним?
2. Назвати й показати елементи схеми на стенді і на рисунку.
3. Одиниці вимірювання сили струму, напруженості, індукції магнітного поля, потоку вектора індукції.
4. Зв'язок між індукцією й напруженістю магнітного поля.
5. Яка частота змінного магнітного поля всередині досліджуваного соленоїда?
6. Чому рівна відносна магнітна проникність всередині досліджуваного соленоїда?
7. Закон Біо-Савара у векторній і скалярній формах.
8. Що таке потік вектора індукції магнітного поля? Формула магнітної індукції.
9. Закон електромагнітної індукції Фарадея.
10. Чи зміниться величина ЕРС індукції в індикаторній котушці, якщо її повернути під кутом до осі соленоїда?
11. Визначити напрям вектора напруженості магнітного поля всередині соленоїда, якщо відомо напрям струму, який проходить по ньому.
12. Зобразити силові лінії магнітного поля соленоїда.
13. Чи зміниться величина ЕРС індукції в індикаторній котушці, якщо всередину вставити залізне осердя?
14. Яким чином в індикаторній котушці виникає струм?
15. Пояснити напрям ЕРС індукції в індикаторній котушці в залежності від характеру зміни магнітного поля всередині соленоїда.
16. Якою повинна бути залежність $H = f(k)$? Пояснити.

Лабораторна робота № 12

Тема роботи. Вимірювання магнітного поля Землі.

Мета роботи. Ознайомитись з основними кількісними характеристиками магнітного поля Землі і методом їх вимірювання.

Прилади та матеріали: тангенс-бусол, міліамперметр, реостат, вимикач, випрямляч.

Короткі теоретичні відомості

Вертикальна площина, що проходить через вільно підвішену магнітну стрілку, називається **площиною магнітного меридіана**, а її переріз із поверхнею Землі – **магнітним меридіаном**. Оскільки кінець магнітної стрілки, що вказує на північ, названо північним, у північній півкулі Землі знаходиться південний геомагнітний полюс, а в південній півкулі – північний геомагнітний полюс. Геомагнітні полюси не співпадають з географічними, тому магнітні меридіани не співпадають з географічними. Вільно підвішена магнітна стрілка визначає напрям вектора напруженості та індукції геомагнітного поля.

Кут нахилу вільної магнітної стрілки до горизонталі називається **кутом магнітного нахилу**. Кут між геомагнітним і географічним меридіанами, що проходять через задану точку земної поверхні, називається **кутом магнітного схилення**.

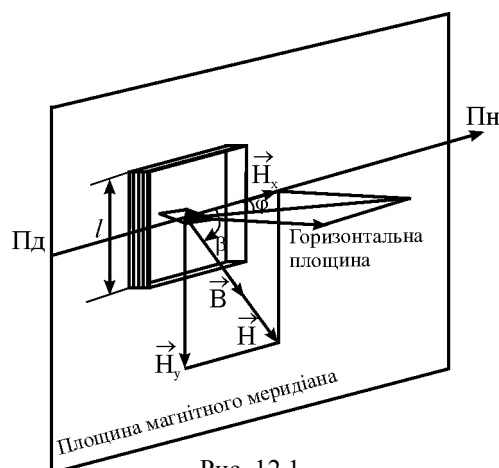
Проекція вектора напруженості геомагнітного поля на горизонталь, що лежить у площині магнітного меридіана, називається **горизонтальною складовою напруженості магнітного поля Землі**.

Горизонтальна складова напруженості геомагнітного поля, кути магнітного нахилу і схилення є основними елементами земного магнетизму.

Кут магнітного нахилу можна знайти за допомогою магнітної стрілки, яка вільно обертається відносно горизонтальної осі. Вісь, в свою чергу, може обертатись у вертикальній площині. Кут магнітного нахилу вимірюється по лімбу з поділками за допомогою лупи.

Горизонтальна складова H_x напруженості геомагнітного поля може бути виміряна за допомогою тангенс-бусолі, яка являє собою квадратну (чи круглу) рамку зі струмом, в центрі якої розміщується магнітна стрілка, яка може обертатись навколо вертикальної осі, з кутомірною шкалою.

На рис. 12.1 схематично представлено вигляд установки зверху. Для підсилення магнітного поля струму береться не один, а N витків. Якщо витки розмістити в площині магнітного меридіана, використовуючи магнітну стрілку бусолі, то після ввімкнення струму магнітна стрілка повернеться на кут φ . Як видно з рис. 12.1,



$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H_1}{H_x}, \quad (12.1)$$

де H_1 – напруженість магнітного поля струму витків у центрі рамки, де знаходиться магнітна стрілка. Для квадратної рамки

$$H_1 = \frac{2\sqrt{2}NI}{\pi l}. \quad (12.2)$$

З (12.1) і (12.2) випливає:

$$H_x = \frac{2\sqrt{2}NI}{\pi l \operatorname{tg}\varphi}. \quad (12.3)$$

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Вимірювання горизонтальної складової напруженості геомагнітного поля.

1. Скласти електричне коло, яке складається з випрямляча, тангенс-бусолі, міліамперметра, реостата і вимикача.

2. Розмістити витки в площині магнітного меридіана з допомогою бусолі, що поміщена в центрі рамки. Поворотом лімба, добитись того, щоб при відсутності струму у витках обидва кінці магнітної стрілки розмістились проти нульової поділки лімба.

3. Ввімкнувши спочатку весь опір реостата, впевнитись в тому, що стрілка відхиляється при ввімкненні струму. Оскільки відносна похибка вимірювання H_x :

$$\varepsilon = \frac{\Delta H_x}{H_x} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta\varphi}{\sin 2\varphi} \quad (12.4)$$

мінімальна при $\varphi = \pi/4$, потрібно підібрати таку силу струму, при якій відхилення стрілки були б близькі до $\pi/4$. Кут φ можна знайти як середнє арифметичне відхилень північного і південного кінців стрілки. Вимірявши кут φ для одного напрямку струму, змінити його напрям, не змінюючи значення, і виміряти відхилення стрілки в іншу сторону.

4. Для кожного значення сили в якості кута φ брати середнє арифметичне із відхилень в одну і другу сторону.

5. Для кожної пари значень I та φ розрахувати H_x . Значення N і l вказані на приладі.

6. За формулою (12.4) розрахувати максимальну відносну похибку для кожного вимірювання. Величину Δl , зумовлену різною l для різних шарів намотки, взяти рівною 5 мм.

7. Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю 12.1.

Таблиця 12.1

I, A	$\varphi_1, ^\circ$	$\varphi_2, ^\circ$	$\varphi, ^\circ$	$H_x, \text{A/м}$	$\Delta I, \text{A}$	$\frac{\Delta I}{I}$	$\frac{\Delta l}{l}$	$\Delta \varphi, ^\circ$	$\sin 2\varphi$	$\Delta H_x, \text{A/м}$	$\varepsilon, \%$

Завдання 2. Знаходження модуля напруженості геомагнітного поля.

1. За допомогою стрілки магнітного відхилення виміряти кут магнітного відхилення β за положеннями північного і південного полюсів стрілки, взявши середнє арифметичне.

2. Обчисліть модуль напруженості магнітного поля Землі.

Завдання 3. Знаходження індукції магнітного поля Землі.

1. Обчисліть модуль індукції геомагнітного поля B , відносна магнітна проникність повітря дорівнює одиниці.

2. Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю 12.2.

Таблиця 12.2

$\beta, ^\circ$	$\cos \beta$	$H, \text{А/м}$	$B, \text{Тл}$

Контрольні запитання

1. На чому ґрунтується твердження, що вільно підвішена магнітна стрілка вказує напрям вектора напруженості магнітного поля?
2. Які кути магнітного відхилення: на геомагнітному екваторі; на геомагнітному полюсі?
3. Як дізнатись напрям струму у витках за відхиленням стрілки?

Лабораторна робота № 13

Тема роботи. Вивчення мікроскопа.

Мета роботи. Ознайомитися з будовою і принципом дії мікроскопа та визначити збільшення мікроскопа різними методами.

Прилади та матеріали: мікроскоп з освітлювачем, окулярний і об'єктивний мікрометри, міліметровий масштаб (міліметровий папір), міліметровий масштаб на вертикальному штативі, дзеркальна насадка, масштабна лінійка, металева пластинка з отвором.

Короткі теоретичні відомості

Для отримання великих збільшень при розгляді близько розміщених предметів або мікродеталей предметів застосовують мікроскоп. Таким чином **мікроскоп – це оптичний інструмент, в якому утворюється збільшене зображення дрібних (мікроскопічних) об'єктів.**

В сучасних мікроскопах можна виділити дві частини: механічну і оптичну (рис. 13.1). До механічної частини належать основа 1, тубусотримач 9, гвинт 10 для грубого фокусування мікроскопа, предметний столик 4, тубус 7, ірисова діафрагма 3 для регулювання освітлення об'єкта, револьвер 6 із закріпленим в ньому об'єктивами. Оптична частина мікроскопа складається з окуляра 8 та змінних об'єктивів 5 і дзеркала 2.

Дзеркало 2 з внутрішнім срібленням має дві сторони, одна з них – плоска відбиваюча поверхня, а друга – вгнута. Вгнуте дзеркало використовують у мікроскопах слабого збільшення без конденсора, а плоске – разом з конденсором. Дзеркало разом з конденсором складають освітлювальну систему, основне призначення якої є створення рівномірно освітленого поля зору мікроскопа.

Окуляр являє собою складну лупу, до якої входить верхня окулярна лінза і нижня збиральна лінза. Лінзи розміщені на відстані, що дорівнює півсумі їх фокусних відстаней. Обидві лінзи закріплені в короткій циліндричній трубці (оправі), що встановлюється у верхній отвір тубуса. Окремі окуляри за безпечуються окулярним мікрометром – прозорою пластинкою, на яку нанесено шкалу з певною ціною поділки. Окулярний мікрометр розміщують поблизу фокальної площини окуляра. Окуляр виготовляють з фокусною відстанню від 0,85 до 12 см із збільшенням від 2 до 25.

Об'єктив, який являє собою багатолінзову оптичну систему (до 12-13 лінз), поміщають в оправу. Передня, так звана фронтальна лінза, є головною і дає збільшене зображення. Інші лінзи частково або зовсім усувають недоліки зображення утвореного лінзою і називаються корегуючими. В сучасних мікроскопах застосовують два види об'єктивів: **ахромати** і **апохромати**.

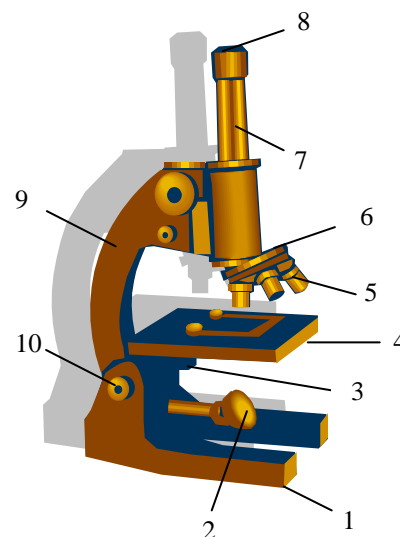


Рис. 13.1

Ахромат – об’єктив, в якому усуваються сферичні і хроматичні аберації. Інші недоліки зображення послаблюються. **Апохромати** – це об’єктиви високої точності, в яких недоліки зображення послаблюються в більшій мірі ніж в ахроматах. Об’єктиви обох типів поділяються на сухі та імерсійні. Сухим називається об’єктив, коли між ним і покривним склом є повітряний прошарок. Коли ж між фронтальною лінзою і препаратом є рідина, то такий об’єктив називають імерсійним. Найчастіше як рідинне середовище використовують воду (водяна імерсія), кедрове масло (масляна імерсія) і т.д.

Імерсійні об’єктиви мають кращі якості ніж сухі. У мікроскопі з сухим об’єктивом (рис. 13.2, а) не всі промені виходитимуть із покривного скла.

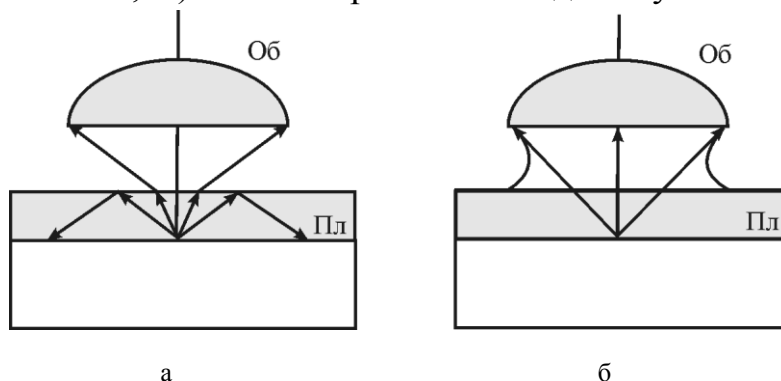


Рис. 13.2

Частина променів, для яких кут падіння більший від граничного, на межі скло – повітря, повністю відбиватимуться. Тому зображення предмета буде не досить яскравим. Коли між покривним склом і об’єктивом розмістити краплю рідини (рис. 13.2, б) то розсіяння світла від об’єктива зменшиться, а його зображення стане яскравішим. Причому яскравість зображення зростає із зростанням коефіцієнта заломлення світла імерсійної рідини.

Об’єктиви мікроскопів – короткофокусні ($f = 1,5$ мм і більше), а їх збільшення лежить в межах від 10 до 100.

Конденсор складається з 2-3 лінз, за допомогою яких відбите від дзеркала світло концентрується сильнозбіжним пучком на об’єкті.

Принципова схема побудови зображення в мікроскопі подана на рис. 13.3.

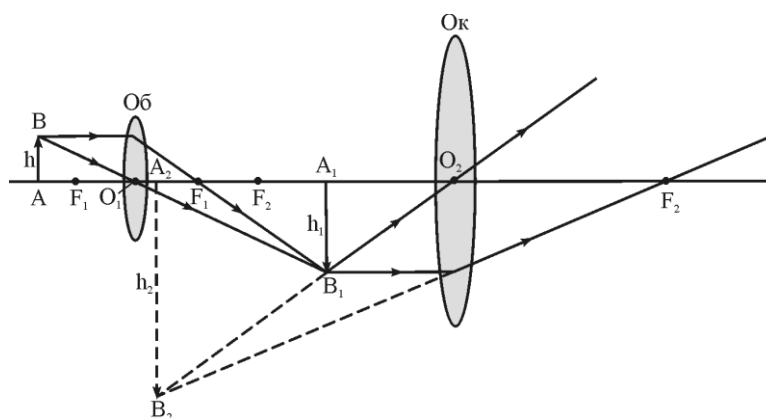


Рис. 13.3

Досліджуваний предмет AB розміщують недалеко за фокусом об’єктива F_1 . Його натуральна лінійна величина h . Об’єктив дає збільшене перевернуте дійсне зображення предмета A_1B_1 за подвійним фокусом об’єктива. Величина

зображення h_1 . По відношенню до окуляра зображення A_1B_1 є предметом. Окуляр розміщують так, щоб зображення A_1B_1 попадало між його оптичним центром і фокусом.

Отже, кінцеве зображення предмета AB буде уявним і відносно самого предмета є перевернутим і збільшеним. Зображення A_2B_2 знаходиться на відстані найкращого бачення (25 см).

Основними характеристиками мікроскопа є його **збільшення, роздільна здатність і апертура**.

Збільшення мікроскопа визначається як добуток збільшення об'єктива і окуляра. Тобто

$$\beta = \beta_{об} \beta_{ок}. \quad (13.1)$$

Збільшення об'єктива визначається відношенням (рис. 13.3)

$$\beta_{об} = \frac{h_1}{h} = \frac{A_1O_1}{AO_1}, \quad (13.2)$$

а збільшення окуляра

$$\beta_{ок} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{A_2O_2}{A_1O_2}. \quad (13.3)$$

Формула (13.1) із врахуванням (13.2) і (13.3) набуде такого вигляду:

$$\beta_{ок} = \frac{h_2}{h} = \frac{A_1O_1}{AO_1} \frac{A_2O_2}{A_1O_2}. \quad (13.4)$$

Щоб збільшення мікроскопа було по можливості максимальним, беруть $AO_1 = f_1$ а $A_1O_2 = f_2$. При цьому $A_1O_1 = f_1 + \Delta$, де Δ – відстань між головними фокусами об'єктива і окуляра, яка практично рівна довжині тубуса мікроскопа. Позначимо відстань найкращого бачення $A_2O_2 = L$ (для нормального ока $L = 25$ см). Оскільки $f_1 \ll \Delta$, то можна вважати $A_1O_1 = \Delta$ – оптична довжина тубуса мікроскопа. Враховуючи сказане, формула збільшення мікроскопа (13.4) набуде такого вигляду:

$$\beta = \frac{\Delta \cdot L}{f_1 f_2} = \frac{25\Delta}{f_1 f_2}, \quad (13.5)$$

де f_1 і f_2 – відповідно фокусні відстані об'єктива і окуляра.

Для даного мікроскопа величина 25Δ є стала, тому для великого збільшення треба брати окуляр і об'єктив з малими фокусними відстанями. У мікроскопів з великим збільшенням $F_{об}$ порядку кількох сотих міліметрів, а $F_{ок} \cong 2$ см. Сучасні оптичні мікроскопи дають найбільше збільшення порядку 2500. Збільшення мікроскопа можна визначити суб'єктивним методом за допомогою дзеркальної насадки, рисувального пристрою і окулярного мікрометра.

Роздільна здатність мікроскопа визначається найменшою відстанню між двома точками розглядуваного предмета, які видно роздільно. Чим менша ця відстань, тим більша роздільна здатність. Точки, які знаходяться на

більш близькій відстані, мікроскопом не “розділяються”, тобто вони спостерігаються як одна точка.

Роздільна здатність мікроскопа, як і всіх оптичних приладів, обмежена хвильовою природою світла (дифракційними явищами) і залежить лише від довжини світлової хвилі λ і числової апертури об’єктива A . Числова апертура об’єктива A визначається вихідною зіницею об’єктива, яка обмежує конус променів, що входять в об’єктив. Враховуючи, що площина зображення, яке створює об’єктив, лежить на відстані, значно більшій, ніж діаметр об’єктива, промені в просторі зображення можна вважати паралельними. Застосовуючи формули Фраунгоферової дифракції на апертурній діафрагмі об’єктива, дістають вираз для роздільної здатності мікроскопа:

$$R = \frac{0,61\lambda}{A}, \quad (13.6)$$

де $A = n \sin \varphi$ – числова апертура мікроскопа, n – показник заломлення.

Отже, як впливає із (13.6), роздільну здатність мікроскопа можна підвищити, збільшуючи числову апертуру об’єктива A або зменшуючи довжину хвилі λ . Якщо між об’єктивом і фронтальною лінзою є повітря, то n в формулі $A = n \sin \varphi$ дорівнює 1. Часто для збільшення апертури об’єктива простір між об’єктивом і фронтальною лінзою заповнюють імерсійною рідиною (наприклад, імерсійне масло $n = 1,515$, вода, розчин гліцерину). При цьому апертура збільшується в n разів. Іноді для збільшення роздільної здатності мікроскопа використовують ультрафіолетове освітлення.

Оскільки роздільна здатність мікроскопа обмежена, то і його збільшення також обмежене певним максимумом, який називають корисним збільшенням. Розрахунки показують, що корисне збільшення мікроскопів не може перевищувати 1000.

Порядок виконання роботи

I. Визначення збільшення мікроскопа методом дзеркальної насадки

1.1. Покласти на предметний столик об’єктивний мікрометр – скляну пластинку зі шкалою і відомою ціною поділки і добитись виразного її зображення.

1.2. Поруч з мікроскопом на відстані 25 см від його осі поставити вертикальну міліметрову шкалу.

1.3. Надіти на окуляр мікроскопа дзеркальну насадку і розмістити її напівпрозоре дзеркало під кутом 45° до осі мікроскопа. Розмістити око так, щоб одночасно бачити зображення шкали об’єктивного мікрометра окулярної сітки в мікроскопі і вертикальної міліметрової шкали.

1.4. Вибрати дві такі точки, де поділки однієї шкали збігатимуться з поділками другої шкали. Порахувати кількість поділок обох шкал між цими точками і визначити збільшення мікроскопа за формулою:

$$\beta = \frac{N_1 a_1}{N_2 a_2},$$

де a_1 і N_1 – відповідно ціна поділки і кількість поділок вертикальної шкали, a_2 і N_2 – відповідно ціна поділки і кількість поділок шкали окулярної сітки. Результати вимірювання записати у звіт.

II. Визначення числової апертури і роздільної здатності мікроскопа

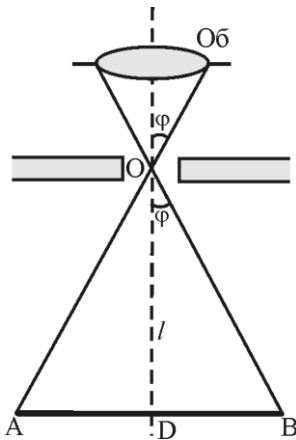


Рис. 13.4

2.1. Покласти на предметний столик мікроскопа тонку металічну пластинку з малим отвором O (рис. 13.4). Переміщати тубус мікроскопа так, щоб утворилось виразне зображення отвору, потім вийняти з тубуса окуляр.

2.2. Відхилити у бік освітлювальне дзеркало і конденсор. Під предметним столиком на відстані $l = OD$ розмістити папір. Олівцем по діаметру кола, яке спостерігається через тубус оком, відмітити крайні точки. Виміряти відстань між ними. Повторити це декілька разів і знайти середнє значення

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{N_1 - N_2}{2l},$$

де $l = OD$, а, $N_1 - N_2$ – відстань між точками A і B . Із даного виразу визначити числову апертуру $A = n \sin \varphi$ (для повітря $n = 1$).

Обчислити роздільну здатність мікроскопа для різних довжин хвиль.

Контрольні запитання

1. Накреслити хід променів у мікроскопі.
2. Вивести формулу збільшення мікроскопа.
3. Що називають роздільною здатністю і числовою апертурою мікроскопа?
4. Як пов'язана роздільна здатність мікроскопа з апертурою?
5. Як визначається гранична роздільна здатність мікроскопа? Порівняти роздільну здатність ока і мікроскопа.
6. Що таке корисне збільшення мікроскопа?
7. Які вимоги ставляться до об'єктива і окуляра мікроскопа?
8. Як збільшити роздільну здатність мікроскопа?
9. Чому при переході від "сухих" систем до імерсійних роздільна здатність мікроскопа збільшується?
10. Якими методами можна визначити збільшення мікроскопа?
11. Чи можна за допомогою оптичного мікроскопа виявити частинки, розмір яких менший за довжину світлової хвилі?

Лабораторна робота № 14

Тема роботи. Визначення довжини світлової хвилі і радіуса кривизни лінзи за допомогою кілець Ньютона.

Мета роботи. Ознайомитись із теорією виникнення кілець Ньютона і визначити радіус кривизни лінзи та довжину світлової хвилі за допомогою даного методу.

Прилади та матеріали: мікроскоп, плоско-опукла лінза великого радіуса кривизни, плоскопаралельна скляна пластинка, джерело світла ОИ-24, набір світлофільтрів, препаративодій СТ-12.

Короткі теоретичні відомості

Вперше експериментально кільцеві інтерференційні смуги спостерігав Гук в середині XIX ст. Ньютон встановив зв'язок між радіусом кілець r_k і кривизною лінзи R , і лише в XIX ст. Юнг повністю пояснив природу цих кілець, які були названі **кільцями Ньютона**, і використав їх для визначення довжини хвилі світла, що інтерферує.

Кільця Ньютона – це інтерференційна картина в повітряному прошарку між плоско-опуклою лінзою великого радіуса кривизни і добре відполірованою поверхнею плоскопаралельної пластинки. Товщина повітряного прошарку (він може бути заповнений іншою речовиною) поступово і нелінійно збільшується із збільшенням відстані від точки дотику опуклої поверхні лінзи і поверхні плоскопаралельної пластинки до країв (рис. 14.1).

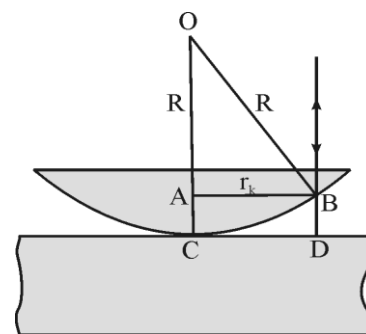


Рис. 14.1

Якщо на таку систему падає пучок монохроматичного світла, то на верхній поверхні повітряного прошарку (наприклад в точці В) відбувається поділ на дві когерентні хвилі, з яких одна відбивається і повертається назад, а друга проходить крізь повітряний прошарок і в точці D відбивається від верхньої грані плоскопаралельної пластинки. Ці хвилі інтерферують, утворюючи смуги однакової товщини. При нормальній падінні монохроматичного світла ці смуги мають вигляд концентричних кілець з темною плямою в центрі, при падінні світла під кутом смуги мають вигляд дещо спотворених еліпсів. Темна пляма в центрі картини, де різниця геометричного ходу дорівнює нулю, виникає тому, що хвиля, яка відбивається на межі скло-повітря в точці дотику, не губить півхвилі ($n_{\text{пов}} < n_{\text{скла}}$), а хвиля, що відбивається на межі повітря-скло, губить півхвилі (змінює фазу на π), і, інтерферуючи, ці хвилі дають мінімум освітленості.

В прохідному світлі центральна смуга – світла, а кільця, які у відбитому світлі були світлими, стають темними, а ті, які були темними, стають світлими. В разі освітлення системи білим світлом кільця, як і в інших випадках двопрменевої інтерференції, будуть кольоровими.

Із рис. 14.1 визначимо розміри і положення кілець Ньютона, коли світло падає на систему нормально. Оптична різниця ходу Δ інтерферуючих променів, відбитих від верхньої і нижньої поверхонь прошарку повітря товщиною t_k , рівна

$$\Delta = 2t_k + \frac{\lambda}{2}, \quad (14.1)$$

де $\lambda/2$ – втрата півхвилі в точці D при відбиванні хвилі від оптично густішого середовища. Відомо, що умовою максимуму інтерференції хвиль є

$$\Delta = k\lambda, \quad (14.2)$$

а умовою мінімуму

$$\Delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}. \quad (14.3)$$

Якщо скористатися рівняннями (14.1) і (14.3), то умова виникнення темних кілець Ньютона запишеться так:

$$2t_k = k\lambda. \quad (14.4)$$

Визначимо радіус k -ого темного кільця r_k . Це можна зробити, скориставшись рис. 14.1. Із рис. 14.1 маємо:

$$R^2 = r_k^2 + (R - t_k)^2,$$

звідки

$$r_k^2 = 2Rt_k - t_k^2. \quad (14.5)$$

Оскільки $t_k \ll R$, то членом t_k^2 в (14.5) можна знехтувати. Тоді

$$r_k^2 = 2Rt_k. \quad (14.6)$$

Підставивши в (14.6) значення t_k із (14.4), отримаємо:

$$r_k^2 = kR\lambda \quad \text{або} \quad R = \frac{r_k^2}{k\lambda}. \quad (14.7)$$

Аналогічно для радіуса світлого кільця:

$$r_k^2 = (2k - 1)\frac{\lambda}{2}R. \quad (14.8)$$

За експериментально знайденим радіусом темного чи світлого кільця із (14.7) або (14.8) можна знайти R або k . Але оскільки практично не вдається досягти щільного прилягання пластинки до лінзи, то більш точний результат можна отримати при визначенні R (або λ) за різницею радіусів двох довільних кілець r_m і r_k . Записавши формулу для радіуса m -того темного кільця

$$r_m^2 = mR\lambda, \quad (14.9)$$

і віднявши почленно формулу (14.9) від формули (14.7) отримаємо

$$r_k^2 - r_m^2 = (k - m)\lambda R,$$

звідки

$$\lambda = \frac{r_k^2 - r_m^2}{(k - m)R}, \quad (14.10)$$

або

$$R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{\lambda(m - k)}. \quad (14.11)$$

Відрахунок темних кілець починається з $k = 0$, тобто від самого центра інтерференційної картини. Відрахунок світлих кілець починається з $k = 1$.

Порядок виконання роботи

1. Обойму з лінзою і плоскопаралельною пластинкою помістити на середину предметного столика мікроскопа. Переміщенням тубуса мікроскопа дістати різке зображення кілець Ньютона.

2. Злегка зміщуючи обойму навести поле зору мікроскопа на центральний темний круг. Обертаючи барабани мікрометричних гвинтів взаємно перпендикулярних переміщень предметного столика мікроскопа, навести перехрестя ниток в окулярі на центр темного круга. Записати покази шкал барабанів.

3. Виміряти радіуси 5 – 6 темних кілець, починаючи з третього, в одному напрямку (напрямку x). Оскільки кільця мають скінченну ширину, то треба обрати однаково розміщену точку для наведення перехрестя ниток в окулярі (найкраще – закінчення темної смуги). Радіус кільця дорівнюватиме різниці показів шкали барабана. Аналогічні вимірювання виконати для другого напрямку (напрямку y) для тих самих кілець. Обчислити середнє значення радіуса кожного кільця.

4. Обчислити радіус кривизни поверхні лінзи згідно з формулами (14.7) і (14.11). Замінити світлофільтр і повторити все знову. За значеннями радіусів 5 – 7 кілець побудувати графік $r^2 = f(k)$.

5. Освітити установку світлом гелій-неонового лазера. Визначити радіуси темних кілець, як і у попередніх випадках. Довжину світлової хвилі обчислити за формулами (14.7) і (14.10) і порівняти їх із значенням довжини світлової хвилі взятої із паспорта гелій-неонового лазера.

6. Дані занести у звітні таблиці, які розробити самостійно.

Контрольні запитання

1. Чому для спостереження кілець Ньютона лінза повинна мати великий радіус кривизни поверхні?
2. Чому ширина кілець Ньютона і відстань між ними зменшуються із збільшенням порядку інтерференції?
3. Чому у відбитому світлі центр кілець Ньютона темний, а в прохідному – світлий?
4. Чим може бути спричинене спотворення кілець?
5. Як можна використати кільця Ньютона для оцінки чистоти поверхні?

6. Як зміниться вигляд кілець Ньютона, якщо простір між лінзою і пластинкою заповнити прозорою речовиною з показником заломлення більшим за показник заломлення повітря (наприклад – водою)?
7. Який вигляд матиме інтерференційна картина, якщо одну половину (по діаметра) установки освітити червоним, а другу – зеленим світлом?
8. Чим відрізняються смуги рівної товщини від смуг рівного нахилу?
9. Чому інтерференційні кільця на периферії розміщуються густіше ніж в центрі?
10. Виведіть формулу для радіусів світлого і темного кілець Ньютона.

Лабораторна робота № 15

Тема роботи. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля.

Мета роботи. Визначити довжину хвилі червоного та зеленого світла за допомогою біпризми Френеля.

Прилади та матеріали: оптична лава, джерело світла (ртутна лампа або електрична лампочка з конденсором), щілина, світлофільтри, біпризма Френеля, двоопукла лінза з фокусною відстанню $f = 10 - 20$ см, вимірювальний мікроскоп з окулярним мікрометром.

Короткі теоретичні відомості

Біпризма Френеля являє собою оптичну систему з двох призм з малим кутом заломлення, складених основами. Якщо промені від джерела світла, яке має форму щілини, розміщеної паралельно ребру призми, падають на біпризму Френеля, то внаслідок заломлення вони поділяються на два перехресні когерентні пучки променів. Продовження цих пучків перетинаються в точках, які є уявними зображеннями щілинного джерела світла. В області перетину променів можна спостерігати інтерференційну картину у вигляді світлих і темних смуг (рис. 15.1).

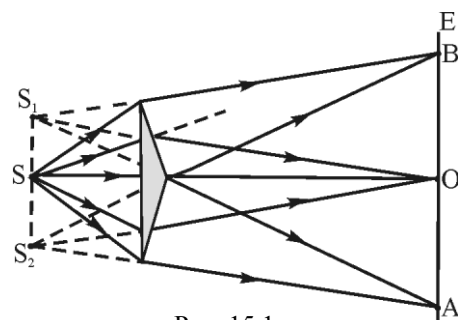


Рис. 15.1

Розрахунок інтерференційної картини від біпризми Френеля аналогічний розрахунку для визначення довжини монохроматичної хвилі при спостереженні інтерференційної картини від двох когерентних джерел світла, тобто

$$\lambda = \frac{b}{l} \Delta x, \quad (15.1)$$

де Δx – відстань між двома сусідніми світлими або темними смугами, b – відстань між когерентними джерелами S_1 і S_2 , l – відстань від джерел S_1 і S_2 до екрана.

Для визначення b і l (рис. 15.2) використовують двоопуклу лінзу L з відомою фокусною відстанню f , яка розміщується між біпризмою і мікроскопом. Якщо за допомогою лінзи спроектувати джерела S_1 і S_2 на площину окулярного мікрометра мікроскопа, то на шкалі безпосередньо можна визначити відстань b_1 між S'_1 і S'_2 (S'_1 і S'_2 – зображення S_1 і S_2).

Із рис. 15.2 маємо:

$$\frac{b}{b_1} = \frac{x}{x_1}. \quad (15.2)$$

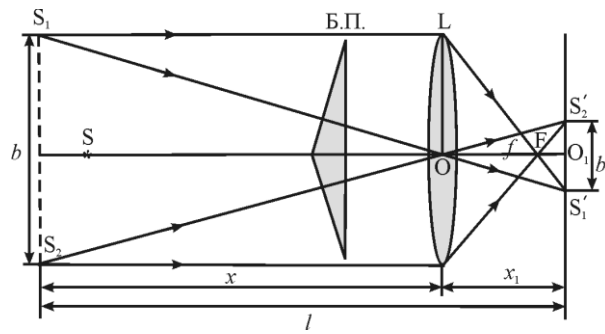


Рис. 15.2

Відстань b між джерелами S_1 і S_2 знаходиться із подібності трикутників LOF і FS'_2O_1 :

$$b = \frac{b_1 f}{x_1 - f}. \quad (15.3)$$

Із (15.2) і (15.3) маємо:

$$\frac{x}{x_1} = \frac{f}{x_1 - f}. \quad (15.4)$$

Враховуючи, що $x = l - x_1$, маємо:

$$l = \frac{x_1^2}{x_1 - f}. \quad (15.5)$$

Підставивши b і l із (15.3) і (15.5) в (15.1), отримаємо:

$$\lambda = \frac{b_1 f}{x_1^2} \Delta x. \quad (15.6)$$

Вимірвальна установка складається з розміщених на оптичній лаві джерела світла, вертикальної щілини, яка має два установчі гвинти для зміни ширини щілини. Між джерелом світла і діафрагмою розміщено світлофільтр. За діафрагмою поміщена біпризма на відстані від лінзи, більшій за подвійну фокусну відстань лінзи. Інтерференційна картина спостерігається в мікроскопі. Біпризма розміщується на відстані 79 – 80 см від щілин так, щоб її заломні ребра були вертикальними. На відстані 40 – 50 см від призми встановлюють окулярний мікрометр.

Порядок виконання роботи

1. Встановити всі прилади на оптичній лаві на однаковому рівні по вертикалі так, щоб оптичні осі біпризми, діафрагми і мікрометра збігалися. Розсунути діафрагму на 3 – 4 мм. Промені світла при цьому повинні проходити через діафрагму, біпризму і падати на окулярний мікрометр.

2. Змінюючи ширину діафрагми і пересуваючи мікрометр вздовж оптичної лави добитися, щоб інтерференційні смуги були яскраві при досить значній відстані між ними (0,15 – 0,28 мм).

3. Визначити відстань Δx між смугами.

4. Між біпризмою і мікрометром розмістити двоопуклу лінзу L з фокусною відстанню 8 см, яка дає два дійсних зображення щілини S .

5. Переміщувати лінзу доти, доки не отримаються виразні зображення щілин в окулярному мікроскопі. Зображення щілин лежать в площині, в якій спостерігається інтерференційна картина.

6. За допомогою окулярного мікрометра виміряти відстань b_1 між зображеннями щілин і s'_1 і s'_2 .

7. Виміряти відстань x_1 між двоопуклою лінзою і окуляром. Результати вимірювань Δx , b_1 , x_1 підставити в формулу (15.6) і обчислити довжину хвилі.

8. Одержані результати занести у звітну таблицю, яку скласти самому.

Контрольні запитання

1. Чому тупий кут біпризми має бути близьким до 180° ?
2. Виведіть формулу для знаходження довжини світлової хвилі, відстані між світлими смугами, ширини інтерференційної картини і числа смуг на екрані у випадку інтерференції за допомогою біпризми Френеля.
3. Яка точність вимірювання довжини хвилі темно-зеленої лінії в спектрі ртуті ($\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м).
4. Як впливає на інтерференційну картину: а) ширина щілини; б) відстань між уявними джерелами; в) відстань між джерелами та точкою спостереження?
5. Чим визначається кількість видимих інтерференційних смуг?
6. Як зміниться інтерференційна картина, якщо змінити світлофільтр (змінити λ)?
7. Що найбільше впливає на точність вимірювання в даній роботі?

Взяти до відома: ціна поділки мікрометричного окуляра 0,01 см; фокусна відстань двоопуклої лінзи $f = 8$ см.

Лабораторна робота № 16

Тема роботи. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки.

Мета роботи. Вивчення явища дифракції світла і визначення довжини світлової хвилі.

Прилади та матеріали: дифракційна решітка, гоніометр, джерело світла.

Короткі теоретичні відомості

Найпростішою дифракційною решіткою є відполірована скляна пластинка, на поверхні якої за допомогою ділильної машини нанесено ряд паралельних рівновіддалених непрозорих штрихів. Прозорі проміжки на склі між штрихами називаються **щілинами**. Нехай на дифракційну решітку падає паралельний пучок монохроматичного світла. Промені, які дифрагують на окремих щілинах будуть інтерферувати у фокальній площині тонкої лінзи L . Якщо світло з довжиною хвилі λ падає на решітку перпендикулярно, то внаслідок дифракції промені за щілинами поширюються в різних напрямках. Розглянемо промені, які утворюють кут φ з нормаллю до решітки.

Різниця ходу променів 1 і $1'$ від двох сусідніх щілин дорівнює AC . З рис. 16.1

$$AC = (a + b) \sin \varphi, \quad (16.1)$$

де a – ширина щілини, b – ширина непрозорого проміжку між щілинами. Величина $a + b = d$ – стала дифракційної решітки.

Промені, що йдуть від окремих щілин в напрямку φ мають однакову інтенсивність і сталу різницю ходу $AC = d \sin \varphi$. У фокальній площині лінзи вони інтерферують. Внаслідок інтерференції утвориться ряд головних дифракційних максимумів, які виникають за умови, що $AC = k\lambda$. З (16.1) випливає, що головні максимуми утворюються при значеннях кутів, що задовольняють умову

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (16.2)$$

де $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$. Якщо кількість щілин решітки N , то між головними максимумами розмістяться $N - 1$ дифракційних мінімумів, умовою утворення яких є

$$d \sin \varphi = \left(k + \frac{P}{N}\right)\lambda, \quad (16.3)$$

де $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots$; $P = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots \pm(N - 1)$.

Між дифракційними мінімумами розміщені вторинні дифракційні максимуми, інтенсивність яких значно менша від інтенсивності головних максимумів (рис. 16.2). При $k = 0$ на екрані утворюється дифракційний максимум, який називається нульовим. При $k = \pm 1$ по обидві сторони від нульового максимуму симетрично виникають два дифракційні максимуми першого порядку, при $k = \pm 2$ – дифракційні максимуми другого порядку, і т.д. З (16.2) видно, що

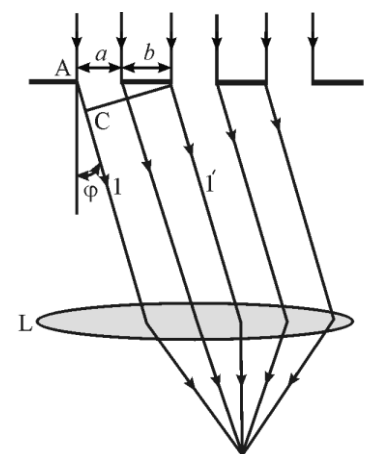


Рис. 16.1

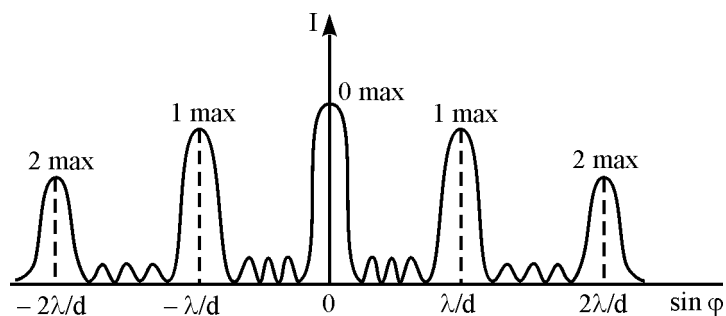


Рис.16.2

положення максимумів залежать від довжини хвилі, інакше кажучи, дифракційна решітка є спектральним приладом, який розкладає біле світло в спектр. Цей спектр називають **дифракційним спектром**. Внутрішнім краєм дифракційного спектра є фіолетові, а зовнішнім – червоні промені.

Основними характеристиками дифракційної решітки є її **дисперсія і роздільна здатність**.

Дисперсію розрізняють **кутову і лінійну**. Кутова дисперсія D_φ – це кутова відстань між двома спектральними лініями з різницею довжин хвиль $d\lambda$ (рис. 16.3), тобто

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda}. \quad (16.4)$$

Диференціюючи (6.2) матимемо:

$$d \cos \varphi d\varphi = kd\lambda.$$

Тоді

$$D_\varphi = \frac{k}{d \cos \varphi}. \quad (16.5)$$

Лінійні розміри спектра оцінюють за лінійною дисперсією решітки, яка виражається

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda}, \quad (16.6)$$

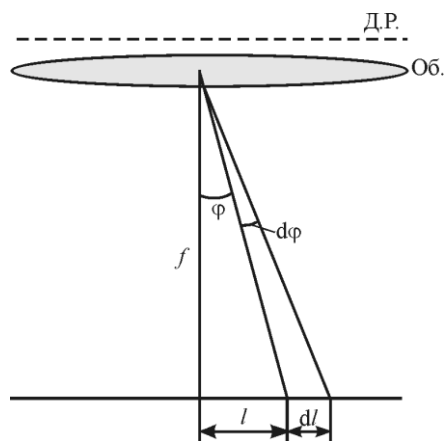


Рис.16.3

де dl – лінійна відстань між двома спектральними лініями в міліметрах. При невеликих кутах φ із рис. 16.3 видно, що

$$d\lambda \cong f d\varphi.$$

Тоді

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda} = f \frac{d\varphi}{d\lambda}. \quad (16.7)$$

Враховуючи (6.4), формула (16.7) набуде вигляду

$$D_l = f D_\varphi, \quad (16.8)$$

де f – фокусна відстань об'єктива.

Роздільною силою ($R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$) називають найменшу різницю довжин хвиль

$d\lambda$ двох спектральних ліній, при якій ці лінії видно роздільно.

Роздільну силу (здатність) дифракційної решітки можна визначити користуючись критерієм Релея, згідно якого дві спектральні лінії з довжинами хвиль λ і λ' вважаються розділеними, якщо головний максимум дифракційної картини для однієї довжини хвилі співпадає за своїм положенням з певним дифракційним мінімумом в тому ж порядку для другої довжини хвилі (рис. 16.4).

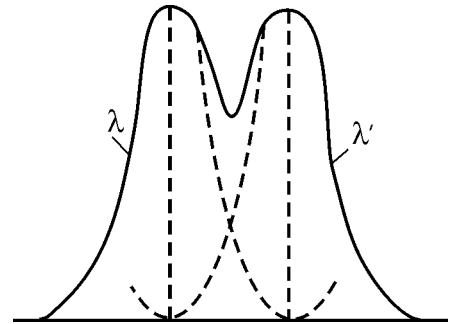


Рис. 16.4

Умовою k -ого максимуму першої хвилі є

$$d \sin \varphi_{\max} = k\lambda. \quad (16.9)$$

Умовою найближчого зліва до головного максимуму другої хвилі мінімуму буде

$$d \sin \varphi_{\min} = k\lambda' - \frac{\lambda'}{N}. \quad (16.10)$$

Згідно критерію Релея, щоб дві лінії k -ого максимуму були розділеними, необхідно, щоб k -ий максимум першої хвилі співпадав із найближчим мінімумом до k -ого максимуму другої хвилі. Тобто

$$\varphi_{\max}^{\lambda} = \varphi_{\min}^{\lambda'},$$

або

$$k\lambda = k\lambda' - \frac{\lambda'}{N} \Rightarrow kN = \frac{\lambda'}{\lambda' - \lambda} = \frac{\lambda'}{\delta\lambda},$$

де $\delta\lambda = \lambda' - \lambda$. Тоді

$$R = \frac{\lambda'}{\delta\lambda} = kN. \quad (16.11)$$

Максимальне значення роздільної здатності R_{\max} решітки можна знайти за умови, що $\sin \varphi = 1$. Тоді із (16.9) маємо:

$$k_{\max} = \frac{d}{\lambda}. \quad (16.12)$$

Підставляючи значення k_{\max} в (16.11), отримаємо

$$R_{\max} = \frac{d \cdot N}{\lambda}. \quad (16.13)$$

Таким чином, для підвищення роздільної здатності необхідно або збільшувати число штрихів, або підвищувати порядок інтерференції. Перший шлях використовується у дифракційних решітках, другий – в інтерференційних приладах.

Основною частиною установки для вивчення дифракційної решітки і ви значення довжини світлової хвилі є гоніометр з дифракційною решіткою.

Оптична система гоніометра складається з автоколімаційної зорової труби, коліматора та відрахункового пристрою. Зорова труба і коліматор являють собою телескопічні системи з внутрішнім фокусуванням. Відрахунковий пристрій крім елементів оптичної системи має скляний лімба, пару нерухомих і пару рухомих клинів, шкалу і окуляр. На поверхні лімба нанесена шкала з поділками. Лімба розділений на 1080 поділок. Ціна поділки 20'. Оцифровка поділок – через 1°. Переміщуючи клини в прямому і зворотному напрямках, можна сумістити або розвести зображення штрихів діаметрально протилежних частин лімба. Шкала розрахована таким чином, що при переміщенні її на 600 поділок верхнє зображення штрихів лімба зміщується відносно нижнього на 10. Кожна поділка шкали відповідає 1/600 від 10. Поле зору відрахункового "мікроскопа" показано на рис. 16.5. У лівому вікні видно зображення діаметрально протилежних частин лімба і вертикальний індекс для відрахунку градусів, в правому вікні – поділки шкали оптичного мікрометра і горизонтальний індекс для відрахунку хвилин і секунд. Щоб зняти відлік на лімбі, необхідно повернути маховичок оптичного мікрометра настільки, щоб верхні і нижні зображення штрихів лімба у лівому вікні були точно суміщені. Число градусів дорівнює видимій найближчій лівій від вертикального індекса цифрі. Число десятків хвилин дорівнює числу, що знаходиться між верхнім штрихом, який відповідає відрахованому числу градусів, і нижнім оцифрованим штрихом, що відрізняється від верхнього на 1800.

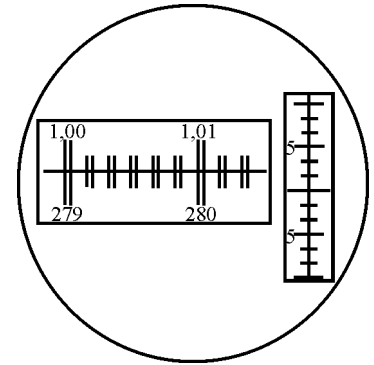


Рис. 16.5

Число одиниць хвилин відраховується по шкалі мікрометра в правому вікні по лівому ряду чисел. Число десятків секунд – в тому ж вікні по правому ряду чисел. Число одиниць секунд дорівнює числу поділок між штрихами, що відповідають відліку десятків секунд, і нерухомих горизонтальним індексом. Положення, показане на рис. 16.5, відповідає відліку $0^{\circ}15'35''$. Детальніше з будовою і роботою гоніометра Г 1.5 треба ознайомитися по заводській інструкції.

Дифракційна решітка розміщується на столику гоніометра перпендикулярно до паралельного пучка променів, які виходять з коліматора. Штрихи решітки повинні бути паралельними щілині коліматора, перед якою розміщено джерело світла.

Порядок виконання роботи

1. Перед розсунутою щілиною коліматора засвітити лампу.
2. Встановити зорову трубу так, щоб добре було видно щілину коліматора а в центрі щілини перехрестя ниток.
3. Між лампою і коліматором поставити жовтий світлофільтр.
4. Поставити на середину столика дифракційну решітку перпендикулярно до осі коліматора.

5. Навести зорову трубу на перше яскраве зображення щілини праворуч від нульового максимуму, а потім ліворуч і відмітити ці положення за допомогою гоніометра. Різниця цих відліків дає кут 2φ .

6. Аналогічні виміри виконати при наведенні зорової труби на дифракційні максимуми 2-го, 3-го порядків і т. д.

7. Замінити жовтий світлофільтр зеленим і зробити подібні виміри для зеленого світла, а потім замінити зелений світлофільтр синім і все повторити для синього світла.

8. Користуючись отриманими експериментальними даними за допомогою формули (6.2) обчислити довжини хвиль жовтого, зеленого і синього світла.

9. Користуючись формулою (6.13) визначити роздільну силу решітки попередньо визначивши загальну кількість штрихів $N = l/d$, де l – лінійна довжина решітки.

Контрольні запитання

1. Що називають дифракцією світла?
2. Виведіть умову максимумів інтенсивності світла дифрагованого на одновимірній дифракційній решітці.
3. В чому перевага спектрів низьких порядків при використанні решітки в якості диспергуючого елемента?
4. Яку дифракційну решітку називають амплітудною, а яку – фазовою?
5. Що таке дифракційний спектр і чим він відрізняється від призматичного?
6. Чому порядок дифракційного спектра обмежений? Чим він обмежується? Запишіть умову, з якої це обмеження випливає.
7. Що називають кутовою (лінійною) дисперсією дифракційної решітки? Який її фізичний зміст? Виведіть формулу кутової (лінійної) дисперсії дифракційної решітки.
8. Що називають роздільною здатністю дифракційної решітки і чим вона визначається?

ДОДАТКИ

Додаток 1

Фундаментальні фізичні константи

Назва	Позначення	Числове значення
Гравітаційна стала	G	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Універсальна газова стала	R	8,315 Дж/(моль · К)
Стала Больцмана	k	$1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Швидкість світла	c	$2,99792 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Елементарний заряд	e	$1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Електрична стала	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнітна стала	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Стала Планка	h	$6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Стала Планка	$\hbar = h/2\pi$	$1,05459 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Атомна одиниця маси	а.о.м.	$1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою електрона	m_e	$9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Маса спокою протона	m_p	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою нейтрона	m_n	$1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Стала Ридберга	R_∞	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Стала Ридберга	R'_∞	$3,28 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$
Борівський радіус	a	$0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Стала Стефана-Больцмана	σ	$5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Стала Віна	b	$2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	λ_c	$2,4263 \cdot 10^{-12} \text{ м}$

Властивості деяких твердих тіл

Речовина	Густина, кг/м ³	Темпера- тура плав- лення, К	Питома теплоєм- ність Дж/(кг·К)	Питома теплота плавлен- ня, Дж/кг	Коефіцієнт теплового розширен- ня, К ⁻¹
Алюміній	$2,7 \cdot 10^3$	932	$9,2 \cdot 10^2$	$3,8 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Залізо	$7,8 \cdot 10^3$	1803	$4,6 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Цинк	$7,1 \cdot 10^3$	692	$4,0 \cdot 10^2$	$1,18 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Мідь	$8,9 \cdot 10^3$	1356	$3,8 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Латунь	$8,5 \cdot 10^3$	1173	$3,8 \cdot 10^2$	–	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Олово	$7,3 \cdot 10^3$	505	$2,5 \cdot 10^2$	$5,8 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Свинець	$1,14 \cdot 10^4$	600	$1,2 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Срібло	$1,05 \cdot 10^4$	1233	$2,5 \cdot 10^2$	$8,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Платина	$2,15 \cdot 10^4$	2043	$1,25 \cdot 10^2$	$1,13 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^{-6}$
Скло	$2,5 \cdot 10^3$	–	$8,4 \cdot 10^2$	–	$9 \cdot 10^{-6}$
Цегла	$1,8 \cdot 10^3$	–	$7,5 \cdot 10^2$	–	$(3-9) \cdot 10^{-6}$
Лід	$0,9 \cdot 10^3$	273	$2,09 \cdot 10^3$	$3,35 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^{-6}$

Пружні властивості деяких речовин

Речовина	Границя міцності, Н/м ²	Модуль Юнга, Н/м ²
Алюміній	$1,1 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Бетон	–	$\sim 2 \cdot 10^{10}$
Залізо	$2,94 \cdot 10^8$	$19,6 \cdot 10^{10}$
Мідь	$2,45 \cdot 10^8$	$11,8 \cdot 10^{10}$
Свинець	$0,2 \cdot 10^8$	$1,57 \cdot 10^{10}$
Срібло	$2,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^{10}$
Сталь	$7,85 \cdot 10^8$	$21,6 \cdot 10^{10}$
Цегла	–	$\sim 2,8 \cdot 10^{10}$

Теплопровідність деяких речовин (Вт/м·К)

Алюміній	210	Сухий пісок	0,325
Залізо	58,7	Цегла силікатна	1,1
Мідь	390	Бетон із гравієм	1,5
Срібло	460	Шлакобетон	0,15 – 0,4
Деревина (сосна)	0,1	Ебоніт	0,174
Скло	0,8 – 1	Войлок	0,046

Властивості деяких рідин при 20°C

Рідина	Густина, кг/м ³	Питома теплоємність, Дж/(кг·К)	Коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м	Динамічна в'язкість, Па·с
Вода	1 000	4 190	0,072	0,001
Ацетон	792	–	0,024	0,00033
Спирт етиловий	790	2 510	0,022	0,0012
Гліцерин	1 200	2 430	0,059	1,5
Бензол	880	1 720	0,03	0,00065
Гас	800	2 140	0,024	–
Бензин	700	–	0,029	0,00065
Касторове масло	900	1 800	0,033	1,0
Ртуть	13 600	138	0,47	16

Параметри критичного стану деяких речовин

Речовина	T _к , К	p _к , Па	ρ _к , кг/м ³
Водяна пара	647	22·10 ⁶	329
Азот	126	3,4·10 ⁶	311
Аргон	151	4,87·10 ⁶	531
Водень	33	1,3·10 ⁶	31
Вуглекислий газ	304	7,4·10 ⁶	464
Гелій	5,2	0,23·10 ⁶	69
Кисень	154	5,07·10 ⁶	430
Спирт етиловий	516	6,4·10 ⁶	–

Діелектрична проникність деяких речовин

Гас	2	Слюда	6
Парафін	2	Фарфор	6
Ебоніт	2,6	Скло	6-10
Кварц	2,7	Вода	81

Електричні властивості матеріалів при 20°C

Матеріал	Питомий опір, $10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$	Темпер. коефіц. опору, K^{-1}	Матеріал	Питомий опір, $10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$	Темпер. коефіц. опору, K^{-1}
Алюміній	2,7	0,0038	Константан	48	0,00002
Мідь	1,72	0,0043	Нікелін	40	0,000017
Срібло	1,6	–	Ніхром	100	0,00026
Залізо	9,8	0,0062	Ртуть	94	0,0009
Сталь	12	0,006	Свинець	22	0,0042
Вольфрам	5,5	0,0051	Графіт	800	–

Робота виходу електронів з металу

Метал	A, eV	Метал	A, eV	Метал	A, eV
Вольфра	4,5	Магній	3,5	Срібло	4,5
Залізо	4,5	Мідь	4,5	Тантал	4,1
Золото	4,7	Молибде	4,2	Цинк	4,0
Калій	2,0	Нікель	5,0	Рубідій	2,13
Літій	2,4	Платина	5,3	Цезій	1,97

Абсолютні показники заломлення видимого світла

Алмаз	2,42	Повітря	1,00029
Вода	1,33	Скло	1,5
Лід	1,31	Скипидар	1,47
Кварц	1,54	Сірковуглець	1,63

Атомні маси деяких атомних ядер, а.о.м.

H ¹	1,007825	Si ³¹	30,975350
H ²	2,014108	P ³¹	30,973762
H ³	3,016028	Ca ⁴⁴	43,95549
He ³	3,016045	Ti ⁵⁰	49,944736
He ⁴	4,002596	Ti ⁵¹	50,949858
Li ⁶	6,015110	Ra ²²⁶	226,025279
Li ⁷	7,016046	Th ²³²	232,038112
Be ⁷	7,016925	U ²³⁸	238,050637
B ¹¹	11,009304	U ²³⁹	239,054149
C ¹⁴	14,003217	Pu ²³⁹	239,052037

Періоди піврозпаду деяких ізотопів

C ¹⁴	5 730 років	Ra ²²⁶	1 620 років
Co ⁵⁸	71 доба	Th ²³²	1,41·10 ¹⁰ років
Sr ⁹⁰	28 років	U ²³⁸	4,5·10 ⁹ років
Po ²¹⁰	140 діб	U ²³⁹	23,5 хвилини
Rn ²²²	3,82 доби	Pu ²³⁹	24 390 років

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H¹₁ водень	Періодична система елементів Д.І. Менделєєва						
2	Li^{6,9}₃ літій	Be⁹₄ берилій	B^{10,8}₅ бор	C¹²₆ вуглець	N¹⁴₇ азот	O¹⁶₈ кисень	F¹⁹₉ фтор	Ne²⁰₁₀ неон
3	Na²³₁₁ натрій	Mg²⁴₁₂ магній	Al²⁷₁₃ алюміній	Si²⁸₁₄ кремній	P³¹₁₅ фосфор	S³²₁₆ сульфур	Cl^{35,5}₁₇ хлор	Ar⁴⁰₁₈ аргон
4	K³⁹₁₉ калій	Ca⁴⁰₂₀ кальцій	Sc⁴⁵₂₁ скандій	Ti⁴⁸₂₂ титан	V⁵¹₂₃ ванадій	Cr⁵²₂₄ хром	Mn⁵⁵₂₅ марганець	Fe⁵⁶₂₆ залізо
5	Cu⁶⁴₂₉ мідь	Zn⁶⁵₃₀ цинк	Ga⁷⁰₃₁ галій	Ge⁷³₃₂ германій	As⁷⁵₃₃ арсен	Se⁷⁹₃₄ селен	Br⁸⁰₃₅ бром	Kr⁸⁴₃₆ криптон
6	Rb⁸⁵₃₇ рубідій	Sr⁸⁸₃₈ стронцій	Y⁹⁰₃₉ ітрій	Zr⁹¹₄₀ цирконій	Nb⁹³₄₁ ніобій	Mo⁹⁶₄₂ молибден	Tc⁹⁸₄₃ технецій	Ru¹⁰¹₄₄ рутеній
7	Ag¹⁰⁸₄₇ срібло	Cd¹¹²₄₈ кадмій	In¹¹⁵₄₉ індій	Sn¹¹⁹₅₀ олово	Sb¹²²₅₁ стибій	Te¹²⁸₅₂ телури	I¹²⁷₅₃ йод	Xe¹³¹₅₄ ксенон
8	Cs¹³³₅₅ цезій	Ba¹³⁷₅₆ барій	La¹³⁹₅₇ лантан	Hf¹⁷⁸₇₂ hafnium	Ta¹⁸¹₇₃ тантал	W¹⁸⁴₇₄ вольфрам	Re¹⁸⁶₇₅ реній	Os¹⁹⁰₇₆ осмій
9	Au¹⁹⁷₇₉ золото	Hg²⁰¹₈₀ ртуть	Tl²⁰⁴₈₁ талій	Pb²⁰⁴₈₂ свинець	Bi²⁰⁹₈₃ бісмут	Po²⁰⁹₈₄ полоній	At²¹⁰₈₅ астат	Rn²²²₈₆ радон
10	Fr²²³₈₇ францій	Ra²²⁶₈₈ радій	Ac²²⁷₈₉ актиній	Db²⁶¹₁₀₄ дубній	Jl²⁶²₁₀₅ дзолювій	Rf²⁶³₁₀₆ рефторцій		Pt¹⁹⁵₇₈ платина

* Лантаноїди (f-елементи)

La¹³⁹₅₇ лантан	Ce¹⁴⁰₅₈ церій	Pr¹⁴¹₅₉ прасмідій	Nd¹⁴⁴₆₀ ніобій	Pm¹⁴⁵₆₁ прометій	Sm¹⁵⁰₆₂ самарій	Eu¹⁵²₆₃ европій	Gd¹⁵⁷₆₄ гадолій	Tb¹⁵⁹₆₅ тербій	Dy¹⁶³₆₆ дісмій	Ho¹⁶⁵₆₇ гольмій	Er¹⁶⁷₆₈ ербій	Tm¹⁶⁹₆₉ тмім	Yb¹⁷³₇₀ йтербій	Lu¹⁷⁵₇₁ лютецій
--	---	---	--	--	---	---	---	--	--	---	---	--	---	---

** Актиноїди (f-елементи)

Th²³²₉₀ торій	Pa²³¹₉₁ протактиній	U²³⁸₉₂ уран	Np²³⁷₉₃ нептуній	Pu²⁴⁴₉₄ плутоній	Am²⁴³₉₅ амеріцій	Cm²⁴⁷₉₆ курій	Bk²⁴⁷₉₇ беркелій	Cf²⁵¹₉₈ каліфорній	Es²⁵⁴₉₉ езерій	Fm²⁵⁷₁₀₀ фермій	Md²⁵⁸₁₀₁ менделєвій	No²⁵⁹₁₀₂ нобелій	Lr²⁶⁰₁₀₃ лоуренцій
---	---	---	--	--	--	---	--	--	--	---	---	--	--

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Б.К.Остафійчук, М.А.Рувінський, М.М.Яцура. Курс загальної фізики. Оптика: хвилі, промені, кванти. – Івано-Франківськ: Гостинець, 2003.
2. Остафійчук Б.К., Яцура М.М., Гамарник А.М. Фізика. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – Івано-Франківськ: Гостинець, 2005.
3. Остафійчук Б.К., Яцура М.М., Гамарник А.М. Фізика. Електрика і магнетизм. – Івано-Франківськ: Гостинець, 2004.
4. Остафійчук Б.К., Яцура М.М., Гасюк І.М., Гамарник А.М. Фізика. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. – Івано-Франківськ: Гостинець, 2004.
5. Остафійчук Б.К., Рувінський М.А., Яцура М.М. Практикум розв'язування задач з курсу загальної фізики. Оптика. – Івано-Франківськ: Плай, 2001.
6. М.М.Яцура, І.М.Гасюк, А.М.Гамарник, Л.С.Яблонь. Курс загальної фізики. Оптика. Завдання для синтезів, контрольних і модульних робіт та семестрового іспиту. – Івано-Франківськ: СПД Семко Я.Ю., 2007.
7. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс фізики, тт. 1 – 3. М.: Высшая школа, 1979
8. Сивухин Д.В. Общий курс фізики, тт. 1 – 5. М.: Наука, 1980
9. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей фізики, тт.1 – 3 . М.: Наука, 1974.
- 10.Стрелков С.П. Механика. М.: Наука, 1975.
- 11.Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная фізика. М., Наука, 1976.
- 12.Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1977.
- 13.Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. М.: Высшая школа, 1986.
- 14.Матвеев А.Н. Молекулярная фізика. М.: Высшая школа, 1981.
- 15.Матвеев А.Н. Электродинамика. М.: Высшая школа, 1980.
- 16.Виноградов А.Г. Загальна фізика. Черкаси, ЧПБ, 2005.
- 17.Бушок Г.Ф. та ін. Курс фізики, кн. 1 – 3 . К.: Вища школа, 2002.
- 18.Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики, тт. 1 – 3. К.: Техніка, 1999.
- 19.Трофимова Т.И. Курс фізики. М.: Высшая школа, 2001.
- 20.Савельев И.В. Курс общей фізики, тт.1 – 3. М.: Наука, 1987
- 21.Богацька І.Г., Головка Д.Б. та ін. Загальні основи фізики, кн. 1 – 2 . К.: Либідь, 1998.
- 22.Лопатинський І.Є., Зачек І.Р. та ін. Курс фізики. Львів: Афіша, 2003.
- 23.Чолпан П.П. Основи фізики. К.: Вища школа, 1995.
- 24.Загальний курс фізики: Збірник задач (за ред. І.П. Гаркуші). К.: Техніка, 2003.
- 25.Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу фізики. М.: Наука, 1985.
- 26.Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М.: Высшая школа, 1981.
- 27.Загальна фізика: Збірник задач (за ред. І.Т. Горбачука). К.: Вища школа, 1993.
- 28.В.М.Бойчук, Л.С.Яблонь. Курс загальної фізики. Задачі і методи їх розв'язку. – Івано-Франківськ, 2008. – 88 с.

ЗМІСТ

Передмова	3
Перелік навчальних форм роботи	4
Навчальна програма	5
Короткі відомості до всіх розділів фізики та методичні вказівки до розв'язування задач	10
Розділ 1. Механіка	10
Розділ 2. Молекулярна фізика і термодинаміка	20
Розділ 3. Електрика і магнетизм	25
Розділ 4. Оптика і атомна фізика	35
Задачі для самостійної роботи	42
Задачі для контрольних робіт	48
Питання до колоквиумів	65
Питання, що виносяться на самостійне опрацювання	68
Основні питання для самоконтролю	69
Опис лабораторних робіт	72
Основні правила безпеки роботи в лабораторії	72
Елементарна теорія похибок	72
Загальні вимоги до виконання лабораторних робіт	77
Лабораторна робота №1. Вимірювання об'ємів тіл правильної форми . .	79
Лабораторна робота №2. Визначення швидкості звуку в повітрі мето- дом додавання взаємно перпендикулярних коливань	82
Лабораторна робота №3. Дослідження сил лобового опору в повітрі . . .	86
Лабораторна робота №4. Дослідна перевірка рівняння Бернуллі	90
Лабораторна робота №5. Зміна ентропії в реальних системах	93
Лабораторна робота №6. Фазовий перехід першого роду на прикладі переходу води в пару при температурі кипіння	96
Лабораторна робота №7. Визначення в'язкості рідин методом Стокса . .	98
Лабораторна робота №8. Визначення вологості повітря. Гігрометри та психрометри	100
Лабораторна робота №9. Дослідження електростатичного поля та пе- ревірка теореми Остроградського-Гаусса	104

Лабораторна робота №10. Перевірка закону Ома для неоднорідної ділянки кола	107
Лабораторна робота №11. Дослідження магнітного поля на осі соленоїда	110
Лабораторна робота №12. Вимірювання магнітного поля Землі	114
Лабораторна робота №13. Вивчення мікроскопа	117
Лабораторна робота №14. Визначення довжини світлової хвилі і радіуса кривизни лінзи за допомогою кілець Ньютона	122
Лабораторна робота №15. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою біпризми Френеля	126
Лабораторна робота №16. Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки	129
Додатки	134
Рекомендована література	141

Любов Степанівна Яблонь

Загальна фізика

методичні рекомендації

для студентів напряму підготовки «*Комп'ютерна інженерія*»