

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**КЛАПЧЕНКО В.І., АЗНАУРЯН І.О.
ТАРАСЕВИЧ В.І., КРАСНЯНСЬКИЙ Г.Ю.**



ФІЗИКА

ЗБІРНИК ЗАДАЧ

КИЇВ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет будівництва і архітектури

ФІЗИКА

збірник задач

(видання друге, виправлене та доповнене)

*Рекомендовано вченою радою Київського національного
університету будівництва і архітектури як навчальний посібник
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти*

Київ 2025

УДК: 53(075)

Ф-50

Автори: В.І. Клапченко, канд. тех. наук, доцент;
І.О. Азнаурян, доцент;
В.І. Тарасевич, канд. тех. наук, доцент,
Г.Ю. Краснянський, канд. фіз.-мат. наук, доцент

Рецензенти: *В.І. Григорук*, д-р фіз.-мат. наук, професор, КНУ
ім. Тараса Шевченка;
Л.Ю. Благодаренко, д-р пед. наук, професор, НПУ
ім. М.П. Драгоманова;
В.В. Гайдайчук, д-р тех. наук, професор, КНУБА

*Затверджено на засіданні вченої ради Київського національного
університету будівництва і архітектури, протокол № 30 від
28 лютого 2025 року.*

Фізика. Збірник задач: навчальний посібник, 2-ге вид. випр. та
Ф-50 доп. / В.І. Клапченко та ін. – Київ.: КНУБА, 2025. – 328 с.

ISBN

Містить програму дисципліни «Фізика» та коротку теоретичну довідку, методику розв'язування задач та приклади їх розв'язання і оформлення, вимоги до оформлення індивідуальних завдань та збірник самих завдань.

Призначений для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти усіх спеціальностей денної та заочної форми навчання КНУБА.

УДК: 53(075)

© В.І. Клапченко, І.О. Азнаурян,
Г.Ю. Краснянський та ін, 2009
© В.І. Клапченко, І.О. Азнаурян,
В.І. Тарасевич та ін, 2025
© КНУБА, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Програма навчальної дисципліни «ФІЗИКА»	10
Методика розв’язування задач з фізики	18
Приклади розв’язання та оформлення задач	25
Вимоги до оформлення індивідуальних завдань.....	52
ГЛАВА 1. МЕХАНІКА	55
1.1. Коротка теоретична довідка	55
1.2. Задачі до модуля «Механіка»	63
ГЛАВА 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА.....	128
2.1. Коротка теоретична довідка	128
2.2. Задачі до модуля «Молекулярна фізика».....	136
ГЛАВА 3. ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ.....	173
3.1. Коротка теоретична довідка	173
3.2. Задачі до модуля «Електрика та магнетизм»	183
ГЛАВА 4. КОЛИВАЛЬНІ ТА ХВИЛЬОВІ ПРОЦЕСИ, ОПТИКА	232
4.1. Коротка теоретична довідка	232
4.2. Задачі до теми «Коливальні та хвильові процеси. Оптика»	246
ГЛАВА 5. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ ТА ФІЗИКИ ЯДРА	282
5.1. Коротка теоретична довідка	282
5.2. Задачі до модуля «Основи квантової фізики та фізики ядра»	292
ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ.....	312
ЛІТЕРАТУРА	325

ВСТУП

Пройшло більше 15 років з моменту першого видання даного посібника [22]. За цей час було достатньо нагод для перевірки якості посібника та його всебічної оцінки. В цілому він з честю витримав випробування часом. Проте вже давно увагу авторів привертала деякі методичні помилки та неточності, а також неповнота та неоднозначність формулювань окремих задач. І назрівав час для їх виправлення.

Вказаний період в повній мірі може іменуватись буремними роками, коли епідемія Ковід-19 та широкомасштабна агресія проти нашої країни різко змінили ритм і стиль життя людей та умови роботи і навчання. Переважною стала дистанційна форма роботи, в освіті відбулась корекція програм, обсягів та способів організації навчального процесу. Все це потрібно врахувати та оновити при підготовці дидактичних матеріалів, які видаються для забезпечення навчального процесу. Тобто, зовнішні обставини стали додатковим аргументом до перевидання посібника.

Тому до другого видання посібника ми оновили робочу навчальну програму з дисципліни «Фізика» відповідно до сучасних вимог. Автоматично це привело до необхідності оновити й короткі теоретичні відомості до всіх 5 змістовних модулів програми. З тієї ж причини з'явилась потреба в доповненні другого видання новими літературними джерелами [23-27], тим більше, що окремі з тих, які рекомендовані до першого видання [1-21], застаріли або не використовуються з інших міркувань. Перевагою нових видань є те, що вони автоматично отримують електронні версії та розміщуються на інформаційних ресурсах КНУБА [28].

Враховуючи, що найближчим часом дистанційна форма навчання буде переважним способом організації навчального процесу, ми переробили «Додатки» в «Довідкові таблиці», надавши їм номери та назви, щоб полегшити посилання на них. Це зроблено для покращення самостійної роботи студентів з посібником. Ми передбачаємо, що переважною формою роботи з посібником буде

використання його в вигляді електронної версії. В зв'язку з чим, для покращення сприйняття графічних матеріалів посібника, ми переробили деякі з них з додаванням кольорів. Крім того, доповнили розділ «Приклади розв'язування задач» іншими задачами, в яких графічні матеріали виконані аналогічним чином.

Незмінними ми залишили поради та рекомендації щодо розв'язування задач, їх оформлення та оформлення самої контрольної роботи. Вони сформульовані в першому виданні посібника і передбачали виконання та здачу контрольних робіт в паперовому вигляді. Зараз ми хочемо попередити студентів, що вимоги до оформлення залишаться незмінними, проте потрібно бути готовим до аналогічного виконання контрольної роботи та формування з неї електронної версії, яку необхідно висилати в відповідний навчальний курс, підготовлений вашим викладачем.

Основною підготовчою роботою над перевиданням посібника все ж таки була ліквідація методичних та технічних помилок, а також термінологічних неточностей. До технічних помилок відносяться неправильні числові значення в умовах задач, відсутність необхідних числових значень або їх надлишок. Крім того, в окремих задачах зустрічались неточності в формулюваннях або в використанні термінів. Наприклад, задане рівняння руху для координати назване рівнянням для залежності шляху від часу. Ці технічні помилки та неточності ліквідуються досить просто.

Більше проблем створюють задачі з методичними помилками. Це такі суттєві недоліки, ліквідація яких часто приводить до докорінного перегляду умови задачі. Окрему групу складають задачі з неоднозначністю при формулюванні умови. Наприклад, в умові йдеться про залежність швидкості від часу та середню швидкість на третій секунді і ставиться запитання «...визначити цю? швидкість для $t = 10$ с?». Невизначеність перша: «швидкість?» чи «середня швидкість?». Невизначеність друга: «на кінець десятої секунди?» чи «за десятую секунду?», а може «за всі десять секунд?». І тут настає найбільш кропітка та найменш помітна частина роботи, тому що потрібно перебрати всі можливі варіанти, оцінити красоту розв'язку

кожного з них та прийняти рішення про вибір одного єдиного варіанту. І тільки тоді сформулювати умову задачі так, щоб її сприйняття будь-ким було однозначним.

Максимальну увагу автори проявили по виявленню та виправленню фізично некоректних задач, тобто, таких, які не піддаються фізичному моделюванню. Інакше кажучи, такі задачі експериментально нездійсненні. Це надзвичайно важливо для підготовки майбутніх інженерів, при навчанні яких ми завжди робимо наголос на фізичному моделюванні явищ. Прикладом подібного типу задач є така: «Камінь, прикріплений до мотузки довжиною $l = 0,5$ м обертають зі сталою (?) кутовою швидкістю в горизонтальній площині ...». Але такий рух в умовах дії сил земного тяжіння неможливий! Проте достатньо змінити мотузку на жорсткий невагомий стрижень і задача знову стає фізично коректною.

Треба зауважити, що даний навчальний посібник може бути використаним як на практичних аудиторних заняттях, так і для самостійної роботи студентів при виконанні ними таких видів навчального навантаження як «Контрольна робота» та «Розрахунково-графічна робота» відповідно до робочих програм спеціальностей.

Чи повністю ми ліквідували всі недоліки першого видання, покаже час. В цілому такі малі та великі правки торкнулись більше 350 задач попереднього видання. Тому, підводячи підсумки, авторський колектив вважає підготовлене друге видання посібника, в першу чергу, *виправленим*, і лише в другу чергу, *оновленим* та *доповненим*. А всім майбутнім користувачам перевиданого посібника автори бажають міцного здоров'я та насолоди від роботи з ним.

Передмова до першого видання

Найбільш ефективною перевіркою засвоєння студентом знань з фізики є вміння застосувати ці знання до розв'язування задач. Навчити майбутнього інженера переводити реальні ситуації, що виникають на виробництві та в повсякденному житті, на мову фізичних законів та знаходити їхнє вирішення – головна мета вивчення дисципліни «Фізика» в технічному навчальному закладі. Тому підготовці методичних та дидактичних матеріалів для проведення практичних занять та виконання контрольних (індивідуальних) робіт кафедра фізики завжди приділяла значну увагу.

Зокрема, були видані методичні вказівки для виконання індивідуальних контрольних робіт студентами заочної форми навчання, відповідно рівень завдань було дещо спрощено [1-5]. Наступне видання збірника задач з фізики [6] було зорієнтоване на прив'язку курсу фізики до будівельного виробництва. Задачі цього посібника формувались на основі конкретних пристроїв і процесів, які безпосередньо застосовувались на виробництві та в будівельному матеріалознавстві. Необхідність описувати реальні пристрої призводила до різкого зростання текстів-формулювань самих задач, ускладнюючи тим самим розуміння фізичної суті. Тому, подібні задачі в навчальному процесі ми використовували частково.

Видання збірників завдань 2000 - 2002 рр. [7; 9] було зорієнтоване на покращення засвоєння студентами фізики і містило задачі з підвищеним рівнем складності. Значна кількість завдань була евристичного характеру. Використання цих посібників у наступні роки показало чимало складності наших студентів з виконання із завдань самостійно. Відсутність вступного екзамену з фізики в технічні ВНЗ почало даватися взнаки. Наші студенти задовільно можуть впоратися хіба що із завданнями видання [8] для підготовчих відділень.

Входження нашої країни в болонський процес обумовило багато особливостей у підходах до навчального процесу. Зокрема, це стосується тих видів навчальної роботи, на які орієнтований даний

посібник. Тобто, тепер ми повинні здійснити підбір задач, *орієнтованих на майбутнього інженера, здатного до чіткого виконання розрахунків при розумінні фізичної суті*. Така основна мета даного видання. Підкреслимо, що посібник формувався з урахуванням усіх попередніх доробок кафедри фізики, отже вибір задач був досить широкий. Деякі дуже прості задачі (задачі-запитання) та складні задачі евристичного характеру, були вилучені та замінені новими.

Входження в болонський процес обумовило і деякі особливості в структурі збірника завдань. Ми врахували, що даний посібник розрахований на використання його як студентом, так і викладачем. Викладач використовує його під час підготовки та проведення практичних занять, у той час як студенту він необхідний значно частіше: на практичних заняттях; індивідуальних заняттях під контролем викладача (ІРК); під час самопідготовки; виконання індивідуальної контрольної роботи. Тому структуру посібника ми намагались зробити максимально простою, зрозумілою і корисною студентові.

По-перше, наведено робочу програму дисципліни «Фізика», що поділена на змістовні модулі та теми відповідно до вимог болонського процесу. По-друге, щоб максимально допомогти студентові, наведено два розділи, орієнтовані виключно на нього. Якщо студент має бажання, то уважно вивчивши та виконавши рекомендації розділів «Як навчитись розв'язувати ...» та «Як правильно оформляти задачі та контрольну роботу...», він може засвоїти всі основні «секрети фізичної кухні» розв'язування задач.

І по-третє, п'ять глав – це п'ять основних змістовних модулів. У першому розділі відповідної глави наведений короткий теоретичний довідник до кожного модуля. Звісно, цей матеріал недостатній для повного засвоєння відповідного модуля, тому що в ньому дано лише основні поняття, закони та рівняння, які необхідно знати при розв'язуванні задач. У такому разі при самопідготовці до практичних занять студентові необхідно використовувати один з рекомендованих посібників або підручників, наведених у списку

літератури [1-21]. Другим розділом кожної глави є, власне, збірник завдань для індивідуальної контрольної роботи з відповідного змістовного модуля. Є, правда, одна особливість: у модулі 4 «Коливальні та хвильові процеси, оптика» виділено теоретичний матеріал та задачі на окрему тему – «Геометрична оптика та оптичні вимірювання», яка для напрямів підготовки «Інженерна геодезія», «Землевпорядкування та кадастр» може бути виділена в окремий модуль.

Традиційно для збірників задач наш посібник також завершується довідковими таблицями фізичних величин, властивостей матеріалів, характеристик процесів тощо, знання яких необхідне при розв'язуванні окремих задач.

Крім простоти в структурі, ми намагались забезпечити простоту в користуванні посібником ще й тим, що ліквідували складну нумерацію формул та рисунків і, відповідно, посилання на них.

Деякі елементи спрощення структури посібника мають особливе методичне навантаження. Зокрема, задачі в межах одного змістовного модуля не поділені на окремі теми і мають нумерацію з двох чисел: перше число від 1 до 5 – це номер модуля, а друге є наскрізним номером задачі в межах даного модуля. Це зручно при комп'ютерному формуванні варіантів контрольних робіт. А от виділення тем було б незручністю і додатковою підказкою, а ми орієнтуємо студента на те, щоб фізику явища він визначав виключно за умовою задачі. Крім того, при формулюванні задач ми намагались якомога менше вживати літерні позначення фізичних величин, називаючи лише фізичні терміни та наводячи їхні величини. Це також є елементом активізації вивчення фізики, побудованому на засвоєнні термінології та лексики навчальної дисципліни. Щоб ліквідувати спроби розв'язування задач без розуміння їхнього фізичного змісту (наприклад, методом підбору для отримання числової відповіді), ми не наводимо відповідей до тих задач, що входять у другий розділ кожної глави і використовуються для контрольних робіт.

Програма навчальної дисципліни «ФІЗИКА»

Модуль 1. МЕХАНІКА

Кінематика. Вступ до курсу фізики. Предмет фізики. Зв'язок фізики з іншими науками. Взаємозв'язок фізики та техніки. Структура та мета викладання курсу фізики. Методи фізичних досліджень. Міжнародна система одиниць.

Предмет механіки. Класична, релятивістська та квантова механіки. Матеріальна точка, абсолютно тверде тіло (АТТ), суцільне середовище. Простір та час. Система відліку. Траєкторія, переміщення, шлях. Миттєва швидкість, лінійне прискорення. Нормальне та тангенціальне прискорення. Рівняння руху матеріальної точки. Поступальний та обертальний рухи. Ступені свободи руху АТТ. Рівняння руху точки по колу. Кутова швидкість та кутове прискорення. Зв'язок лінійних та кутових характеристик при русі по колу. Класифікація простих рухів.

Динаміка. Уявлення про масу. Поняття сили. Імпульс тіла. Перший закон Ньютона, другий закон Ньютона, третій закон Ньютона. Інерціальні системи відліку. Динаміка тіл сталої маси. Сили інерції. Закон динаміки системи матеріальних точок. Центр мас. Закон збереження імпульсу. Рівняння Мещерського для реактивного руху. Момент сили. Момент інерції. Момент імпульсу АТТ. Теорема Штейнера. Закон динаміки обертального руху. Умови рівноваги АТТ. Центр тяжіння. Закон збереження моменту імпульсу. Уявлення про гіроскопи.

Енергія, робота та потужність. Поняття енергії. Механічна енергія. Робота в механіці та потужність. Кінетична енергія поступального та обертального рухів. Потенціальна енергія пружної деформації. Гравітаційна взаємодія. Закон всесвітнього тяжіння. Напруженість та потенціал гравітаційного поля. Зв'язок напруженості гравітаційного поля з потенціалом. Потенціальна енергія гравітаційної взаємодії. Потенціальні сили та консервативні

системи. Закон збереження механічної енергії. Пружний та непружний удари тіл та частинок.

Елементи механіки суцільних середовищ. Механічні властивості твердих тіл. Деформація розтягу, пружність та повзучість. Закон Гука. Сили пружності. Лінії та трубки течії. Циркуляція поля швидкостей течії. Ламінарна та турбулентна течії. Сили в'язкого тертя. Рівняння нерозривності та рівняння Бернуллі. Формула Пуазейля. Рух тіл в рідинах та газах. Критерій Рейнольдса.

Основи спеціальної теорії відносності. Принцип відносності класичної механіки. Перетворення координат Галілея та їх інваріанти. Передумови СТВ. Принцип відносності СТВ. Принцип інваріантності СТВ. Перетворення координат Лоренца. Релятивістська формула додавання швидкостей. Скорочення довжин та сповільнення плину часу. Основний закон релятивістської динаміки. Релятивістський імпульс. Зростання маси рухомих тіл. Взаємозв'язок маси та енергії.

Модуль 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

Елементи статистичної фізики. Статистичний метод дослідження молекулярних явищ. Молекулярно-кінетична теорія речовини. Ідеальний газ. Рівняння стану ідеального газу в статистичній фізиці. Термодинамічний метод дослідження молекулярних явищ. Газові закони. Рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона). Енергія молекул та її розподіл за ступенями свободи руху. Абсолютна температура. Розподіл Максвелла молекул за їх швидкостями. Характеристичні швидкості молекул. Барометрична формула. Розподіл Больцмана частинок в силовому полі. Статистика Максвелла-Больцмана. Зіткнення молекул, модель зіткнень. Середня довжина вільного пробігу молекул. Технічний вакуум. Поведінка газів за умов низького тиску. Вакуумна техніка. Явища переносу. Способи теплопередачі – теплопровідність, конвекція, випромінювання. Фізична кінетика.

Основи термодинаміки. Внутрішня енергія системи. Теплота та робота. Розрахунок роботи в молекулярній фізиці. Теплоємність. Кількість теплоти. Перше начало термодинаміки. Термодинамічні діаграми. Ізопроцеси в газах: ізохоричний процес, ізобаричний процес, ізотермічний процес, адіабатичний процес. Рівняння адіабати. Формула Майєра. Теплоємність газів та її температурна залежність.

Оборотні та необоротні процеси. Термодинамічні цикли, цикли теплових машин. Тепловий двигун. Цикл Карно та його ККД. Ефективність теплових машин. Ентропія. Друге начало термодинаміки. Статистичне тлумачення другого начала термодинаміки. Формула Больцмана для ентропії. Ентропія та інформація. Теорема Нернста (третє начало термодинаміки).

Реальні молекулярні системи. Реальні гази. Рівняння Ван дер Ваальса. Ізотерма Ван дер Ваальса. Метастабільні стани. Сімейство ізотерм Ван дер Ваальса. Критичний стан та критична температура. Зрідження газів. Вологість повітря та її вимірювання: гігрометр, аспіраційний психрометр.

Сили та потенціальна енергія міжмолекулярної взаємодії. Агрегатні стани речовини. Поняття фази в молекулярній фізиці. Фазові переходи першого роду. Фазові діаграми. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Потрійна точка. Фазові переходи другого роду.

Рідини та аморфні тіла. Поверхневий натяг. Коефіцієнт поверхневого натягу. Змочування. Краєвий кут змочування. Капілярний тиск (формула Лапласа). Капілярні явища. Уявлення про адсорбцію та поверхнево-активні речовини. Полімери. Розчини та сплави. Закон Генрі, закон Рауля, закон Вант Гоффа. Кристали. Типи кристалічних решіток. Дефекти кристалічних решіток. Рідкі кристали. Композиційні матеріали. Старіння та довговічність матеріалів.

Модуль 3. ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ

Електростатика. Електризація тіл. Два види електрики. Закон Кулона. Електростатична індукція. Діелектрична проникність середовища. Напруженість електричного поля, принцип суперпозиції. Поле точкового заряду. Силкові лінії поля. Однорідне поле. Потік вектора напруженості електростатичного поля. Теорема Гаусса. Застосування теореми Гаусса. Потенціал електростатичного поля. Потенціал точкового заряду. Еквіпотенціальні поверхні. Різниця потенціалів. Робота по перенесенню заряду. Потенціальний характер електростатичного поля. Зв'язок напруженості електростатичного поля з потенціалом.

Електричний диполь. Диполь в однорідному полі. Диполь в неоднорідному полі. Полярні та неполярні діелектрики. Діелектрики в електричному полі. Характеристики поляризованого стану діелектриків. Вектор електричного зміщення. Особливості сегнетоелектриків. Провідники в електростатичному полі. Електроємність провідника. Ємність конденсатора. З'єднання конденсаторів. Енергія зарядженого конденсатора. Густина енергії електростатичного поля.

Електричний струм. Сила та густина струму. Постійний електричний струм. ЕРС джерела струму. Закон Ома для однорідної ділянки кола. Опір провідників. З'єднання резисторів. Закон Ома для замкнутого кола. Батареї елементів живлення. Розгалужені електричні кола. Правила Кірхгофа. Правила застосування правил Кірхгофа.

Робота та потужність електричного струму. Закон Джоуля-Ленца. Струм через електроліти. Закони електролізу. Струм в газах. Типи газових розрядів. Уявлення про плазму. Авто- та термоелектронна емісія. Електровакуумні прилади.

Магнітостатика. Магнітне поле та його характеристики. Закон Ампера. Вектор магнітної індукції. Магнітний момент контуру зі струмом. Контур зі струмом в однорідному полі. Контур зі струмом в неоднорідному полі. Принцип роботи електродвигунів.

Діа- та парамагнетики. Магнетики в магнітному полі. Характеристики намагніченого стану. Напруженість магнітного поля. Особливості феромагнетиків.

Сила Лоренца. Рух заряджених частинок в однорідному полі. Використання магнітних полів. Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітне поле прямолінійного провідника зі струмом. Магнітне поле колового провідника. Взаємодія струмів. Закон повного струму. Застосування закону повного струму. Вихровий характер магнітного поля.

Електромагнітні явища. Потік вектора магнітної індукції. Робота по переміщенню контура зі струмом в магнітному полі. Закон Фарадея для явища електромагнітної індукції. Правило Ленца. Генератори електричного струму. Закон Генрі для явища самоіндукції. Індуктивність контура. Процеси в колах з індуктивністю. Взаємоіндукція. Трансформатори. Енергія контура зі струмом. Об'ємна густина енергії магнітного поля.

Гіпотези Максвелла. Рівняння Максвелла в інтегральній формі. Рівняння Максвелла в диференціальній формі. Диференціальне рівняння електромагнітної хвилі.

Модуль 4. КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ, ОПТИКА

Механічні та електромагнітні коливання. Коливальні процеси та системи. Пружинний маятник, фізичний маятник, електричний коливальний контур. Приведене диференціальне рівняння коливань. Диференціальне рівняння гармонічних коливань. Перетворення енергії при гармонічних коливаннях. Подання гармонічних коливань в комплексній формі. Додавання однонаправлених коливань. Биття. Додавання взаємо ортогональних коливань. Фігури Ліссажу.

Диференціальне рівняння вільних згасаючих коливань та його розв'язок. Характеристики згасання: декремент згасання та логарифмічний декремент згасання. Аперіодичні процеси. Вимушені коливання. АЧХ вимушених коливань. Явище резонансу та його

роль в техніці. Автоколивання. Блок-схема автоколивальної системи.

Механічні та електромагнітні хвилі. Загальні закономірності хвильових процесів. Поздовжні та поперечні хвилі. Рівняння плоскої монохроматичної синусоїдальної хвилі. Швидкість механічних хвиль в газах, рідинах та твердих тілах. Потік енергії хвилі (вектор Умова). Стоячі хвилі. Ефект Доплера. Звукові хвилі, їх основні характеристики (гучність, тон, тембр, поріг чутливості, поріг больових відчуттів). Область чутності (діаграма чутності). Закон Вебера-Фехнера. Ультразвук та інфразвук. Явище реверберації. Диференціальне рівняння електромагнітної хвилі. Дослідження Герца. Вектор Пойнтинга.

Геометрична оптика. Закони геометричної оптики. Явище повного внутрішнього відбивання. Волоконна оптика. Оптичні деталі (плоске дзеркало, сферичне дзеркало, плоскопаралельна пластина, призма, тонка лінза). Характеристичні точки, лінії та поверхні лінзи. Графічні елементи системи тонкої лінзи. Формула тонкої лінзи. Найпростіші оптичні прилади: лупа, проєкційний апарат.

Хвильова оптика. Інтерференція світла. Дифракція світла. Почасова когерентність. Просторова когерентність. Інтерференція на пластині та клині. Інтерферометри. Застосування інтерференції. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Френеля та Фраунгофера. Метод зон Френеля. Формула дифракційної решітки. Дифракція на кристалічній решітці (формула Вульфа-Бреггів). Роздільна здатність оптичних приладів. Уявлення про голографію.

Поляризація світла. Плоскополяризоване світло. Поляризація при відбиванні та заломленні світла. Закон Брюстера. Подвійне променезаломлення в кристалах. Поляризаційні пристрої (стопа Столетова, призма Ніколя, поляроїдні плівки). Закон Малюса. Штучна анізотропія. Ефект Керра. Застосування поляризованого світла в техніці.

Модуль 5. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ ТА ФІЗИКИ ЯДРА

Квантова оптика. Теплове випромінювання та люмінесценція. Спектр випромінювання АЧТ. Випромінюваність, спектральна поглинальна та спектральна випромінювальна здатність. Абсолютно чорне тіло (АЧТ). Закони теплового випромінювання: закон Кірхгофа, закон Стефана-Больцмана та закон зміщення Віна. Утруднення класичної теорії теплового випромінювання.

Квантова гіпотеза Планка та формула Планка для спектра АЧТ. Оптична пірометрія. Зовнішній фотоефект. Закони Столетова. Рівняння Ейнштейна для фотоефекту. Використання фотоефекту в техніці. Маса та імпульс фотона. Світловий тиск. Ефект Комптона та його пояснення. Корпускулярно-хвильовий дуалізм електромагнітного випромінювання (КХД).

Теорія атома. КХД матерії: гіпотеза та формула де Бройля. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга та хвильові властивості мікрочастинок. Границі застосовності класичної механіки. Рівняння Шредінгера. Хвильова функція та її фізичний зміст. Приклади розрахунку поведінки електрона в найпростіших полях. Теорія Бора.

Застосування рівняння Шредінгера до атома водню. Квантові числа та їх фізичний зміст: головне квантове число, орбітальне квантове число, магнітне квантове число, спінове квантове число. Спектр атома водню та воднеподібних атомів. Принцип Паулі. Магічні числа. Принципи побудови таблиці елементів Менделєєва.

Оптичні та глибинні електрони. Рентгенівські спектри атомів. Формула Мозлі для характеристичного рентгенівського спектру. Фізична природа хімічного зв'язку. Енергетичні рівні та спектри молекул. Резонансне поглинання, спонтанне випромінювання, вимушене резонансне випромінювання. Принцип дії лазерів, їхні типи та практичне використання.

Основи електроніки. Елементи зонної теорії твердих тіл. Статистика Фермі-Дірака та Бозе-Ейнштейна. Рівень Фермі.

Температура виродження. Заповнення енергетичних зон. Провідники, діелектрики та напівпровідники з точки зору зонної теорії. Електропровідність напівпровідників. Донорна та акцепторна провідність.

Контакти напівпровідників різних типів та напівпровідників з металами. Напівпровідникові прилади. Діод. Уні- та біполярні транзистори. Основи мікро- та наноелектроніки. Надпровідність та її пояснення. Теорія БКШ. Куперівські пари. Ефект Мейснера. Ефекти Джозефсона.

Ядро та ядерні процеси. Склад ядра. Символічне зображення ядер. Розмір ядер. Ізотопи. Ядерні сили. Моделі ядер. Ядерні реакції. Механізми та класифікація ядерних реакцій. Закони збереження в ядерних реакціях. Використання радіоактивних ізотопів. Радіоактивний розпад. Закон радіоактивного розпаду. Активність нукліду. Закономірності альфа- та бета-розпадів. Нейтрино. Частинки та античастинки. Сучасна фізична картина світу.

Ядерна енергетика та безпека. Дефект маси ядер та енергія зв'язку ядер. Два шляхи одержання внутрішньоядерної енергії. Ланцюгова реакція поділу ядер. Ядерні реактори. Реактори-брідери. Реакції синтезу атомних ядер (ТЯС). Проблеми керованого термоядерного синтезу. Переваги та недоліки ядерної енергетики.

Взаємодія радіоактивних випромінювань з речовиною та біологічними об'єктами (радіаційна стійкість матеріалів, біологічна дія іонізуючих випромінювань). Закон поглинання. Поглинута доза, експозиційна доза та біологічна еквівалентна доза опромінення. Методи реєстрації радіоактивних випромінювань.

Методика розв'язування задач з фізики

Необмежені можливості для розвитку інженерного мислення надає студентіві процес навчання розв'язуванню задач з фізики, стимульований його *бажанням* навчитись робити це самостійно.

Методиці розв'язування фізичних задач присвячено багато спеціальних посібників, зокрема [11] і при бажанні студенти можуть до них звернутись. А ми спробуємо простою мовою, без вживання спеціальної термінології з теорії пізнання, донести до студента особливості методики розв'язування задач з фізики.

Існують три основні прийоми пошуку розв'язання задач: аналітико-синтетичний, алгоритмічний, евристичний. Ці наукові назви насправді мають досить простий зміст.

Перший з них походить від поєднання двох термінів: «аналіз» (розклад цілого на окремі складові елементи) та «синтез» (об'єднання елементів в єдине ціле).

Другий походить від поняття «алгоритм», що означає скінчений набір правил та дій (свого роду інструкцію), що дозволяє чисто механічно вирішити будь-яку конкретну задачу з певного класу однотипних задач.

Ну а *третій* має походження від слова «еврика» (вигук радості Архімеда «Я знайшов!») оснований на знаходженні розв'язку проблеми за допомогою придумування нового, особливого підходу, який не впливає з умов задачі. Тобто, цей прийом передбачає, що в якийсь момент аналізу задачі мають прозвучати слова: «Є ідея...».

Звичайно *аналітико-синтетичний* прийом є найпоширенішим при вирішенні будь-яких задач, фізичних та інженерних проблем. Його застосування до окремого класу однотипних задач дає змогу узагальнити та сформулювати *алгоритмічний* прийом. Тому більшість задач даного посібника (95%) вирішуються саме за допомогою них. І лише тому, що деякі інженерні чи побутові проблеми в явному вигляді не мають підказки до свого вирішення, а вимагають застосування *евристичних* прийомів, у посібнику збережено близько 5% подібних задач.

Наведемо оптимальну послідовність дій, які бажано виконувати при розв'язанні задач. Цю послідовність можна подати у вигляді окремих *етапів* роботи, які є обов'язковими і, фактично, однаковими для всіх трьох прийомів.

Перший етап. Запис умови задачі та засвоєння її змісту. Цей етап вважається виконаним повністю, якщо студент, не підглядаючи в записи, може своїми словами передати зміст задачі, не зациклюючись на числових значеннях. Але обов'язково намагатись дати відповідь на таке. Які об'єкти описані в задачі? Які характеристики цих об'єктів відомі? Що потрібно визначити в задачі? Запис умови задачі одночасно є і елементом оформлення задачі при виконанні контрольної роботи.

Другий етап. Аналіз фізичної суті задачі. Тобто мова йде про розпізнання за умовою задачі того фізичного явища, яке розглядається в задачі, визначення розділу та теми курсу фізики, де воно описане.

Фактично це є пошук відповіді на запитання: що необхідно знати, щоб дати відповідь на запитання задачі? Для цього необхідно (за допомогою підручника чи короткого теоретичного довідника) виділити особливості явища, виписати закони, рівняння та інші співвідношення, що його описують, та занести їх до чернетки.

При оформленні роботи цього важливого етапу в явній формі не видно. А це якраз основна аналітична робота по осмисленню фізичної суті задачі та пошуку тих знань, які приведуть до вирішення задачі.

Наприклад, маємо задачу: куля , що летіла горизонтально зі швидкістю 400 м/с, попадає в брусок, підвішений на нитці довжиною 4 м і застрягає в ньому. Визначити кут, на який відхилиться брусок, якщо маса кулі 20 г, маса бруска 5 кг.

Опис ситуації досить простий, об'єкти відомі, параметри задані (брусок на початку був нерухомий). Потрібно визначити кут відхилення такого балістичного маятника. Яка фізична суть явища? Коротка швидкоплинна взаємодія кулі та бруска в фізиці називається *ударом*. Удари розглядаються в механіці, в темі застосування законів

збереження. Ідеалізуючи удари, їх ділять на абсолютно пружні та абсолютно непружні. Якщо куля застрягла (тобто між кулею та брусом існувало тертя і після зіткнення вони рухаються як одне ціле), то це абсолютно непружний удар і описується він *законом збереження імпульсу*. Подальший рух бруска відбувається без тертя і тому справедливий *закон збереження механічної енергії*. Таким чином, при розв'язанні задачі потрібно буде застосувати ці два закони збереження.

Третій етап. Короткий запис та модель задачі. Під час виконання двох попередніх етапів у студента повинна виникнути повна картина явища, яку можна подати у вигляді графічного представлення. Це може бути рисунок, схема, діаграма, графік залежності характеристик тощо.

Графічні представлення є бажаними, тому що стимулюють введення позначень фізичних величин. Використовуючи умову задачі та позначення величин, згаданих у задачі, виписують значення величин, які відомі. При оформленні роботи короткий запис виділяють словом «Дано:» (див. приклади розв'язання задач у наступному розділі). Шукані величини відділяють рисою від заданих.

При формуванні короткого запису важливо дуже уважно ще раз проаналізувати умову задачі та виявити приховані або неявно задані параметри.

Наприклад, у задачі: визначити гальмівний шлях автомобіля, який почав гальмування при швидкості 72 км/год, маючи коефіцієнт тертя ковзання на асфальтовому покритті 0,7.

Тут явно задані значення двох величин. Цього замало для розв'язання задачі. Але знаючи, що гальмівним шляхом називають відстань від початку гальмування до повної зупинки, знаходимо неявно задане значення кінцевої швидкості – вона дорівнює нулеві. Крім того, гальмування є сповільненим рухом, найпростішим випадком якого є рівносповільнений. Якщо немає інших вказівок, то ми отримуємо прихований параметр процесу – це рух зі сталим прискоренням гальмування.

Четвертий етап. Формування фізико-математичної моделі задачі. При оформленні задачі цей етап починається після слова «Розв’язання». Це і є серцевина фізичної задачі. Тут зібрано в логічній послідовності все, що було зроблено на трьох попередніх етапах: названі словами ті закони та рівняння, що описують фізичні явища задачі, наведені самі рівняння з використанням позначень короткого запису та графічного відображення задачі, введені додаткові умови та зв’язки між величинами, якщо це обумовлено умовою задачі.

Власне, це – сформована система математичних рівнянь, що описує фізичні явища конкретної задачі.

П’ятий етап. Розв’язок задачі в загальному вигляді. Цей етап, як і всі наступні, є традиційним і, фактично, стандартним за процедурою.

Потрібно правильно розв’язати отриману систему рівнянь, послідовність окремих рівнянь чи якесь одне складне рівняння.

Шукані величини мають бути виражені формулою через літерні позначення відомих у задачі величин або загальновідомих фізичних констант.

Шостий етап. Перевірка розмірності або одиниць вимірювання. При оформленні задач цей етап завжди відмічають якраз тими словами, які виписані в назві етапу. Для визначення розмірності (або одиниць вимірювання) шуканих у задачі величин у розрахункову формулу для неї підставляють розмірність (без числових значень) відомих величин, через які вона визначена. Приклади, можна подивитись у наступному розділі.

Сьомий етап. Розрахунки числових значень шуканих величин. При оформленні задачі цей етап починається словами «Підставимо значення:». Зауважимо, що перед тим як підставляти фізичні величини у відповідну формулу, їх обов’язково виражають в одиницях міжнародної системи одиниць СІ. При цьому, у формулу підставляють лише числові значення величин без їхніх одиниць вимірювання. Приклади можна подивитись у наступному розділі.

Восьмий етап. Аналіз результатів. Цей етап не є обов'язковим, бо іноді така перевірка здійснюється автоматично, майже підсвідомо, як тільки отриманий результат вражає своєю неадекватністю.

Наприклад, у задачі визначена швидкість руху електрона, прискореного в електричному полі, значення якої – $5 \cdot 10^9$ м/с. Це більше, ніж швидкість світла у вакуумі, тому очевидно, що задача вирішена невірно.

Але в деяких випадках такий аналіз є доцільним або необхідним.

Наприклад, якщо в задачі на динаміку руху тіл при наявності сил тертя отримано результат для прискорення системи зі знаком мінус, це не означає, що виникла помилка при виборі напрямку руху і потрібно вважати результат вірним, тільки змінити його напрям. У цьому випадку задачу потрібно розв'язати заново, вибравши протилежний напрямок можливого руху. Результат обов'язково буде іншим, можливо, також зі знаком мінус. Це вказуватиме на те, що рух не виникне взагалі.

Для подібних складних випадків іноді в задачах присутня пряма вказівка: проаналізувати отриманий результат. Тоді при оформленні задачі цей етап стає обов'язковим.

Дев'ятий етап. Відповідь. Після тієї великої роботи, яку ви провели на попередніх етапах, залишилось красиво подати результат. Сформулюйте, які величини ви отримали, їхні значення та одиниці вимірювання. Якщо є якісь особливі зауваження – зробіть їх.

Які ж особливості в розглянутій послідовності дій при розв'язуванні задач накладає використання *алгоритмічного* прийому? При оформленні задач – ніяких, при розв'язуванні – значні спрощення.

Наприклад, ціла група задач кінематики на рух в полі сили тяжіння дозволяє розгляд їх за простою інструкцією, пропускаючи всю роботу перших чотирьох етапів:

а) зробіть традиційний вибір системи координат xOy : Ox по горизонталі в напрямку руху, Oy вертикально вгору;

б) врахуйте, що вектор прискорення вільного падіння g орієнтований вертикально донизу;

в) запишіть систему рівнянь для координат та швидкостей:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}; \\ v_x = v_{0x} + a_x t; v_y = v_{0y} + a_y t. \end{cases}$$

г) користуючись умовою задачі та власним вибором розташування системи координат, визначте ті величини, що відомі і входять у систему рівнянь;

д) розв'яжіть систему рівнянь відносно невідомих величин. А далі все так як в шостому – дев'ятому етапах. Під час проведення практичних занять викладачі намагаються, в першу чергу, розв'язати типові задачі, тобто підготувати свого роду інструкції, шаблони для значної кількості задач, які зустрінуться в контрольних роботах.

Ще раз підкреслимо, що і ті задачі, які вимагають застосування *евристичних* прийомів при розв'язуванні, розглядаються за тією ж послідовністю дій, тобто включають усі наведені вище етапи. Особливість цих задач проявляється лише в тому, що на четвертому етапі, крім наведення необхідних рівнянь і законів, має бути сформульована ідея, особливий підхід пошуку рішення. У студента може виникнути запитання: як йому дізнатись, що він має справу з подібною задачею? Про потрібність особливого підходу можна здогадатись ще на третьому етапі. Це завжди буде у випадках, коли неможливо уявити повну модель задачі, тобто, всі стадії процесу, або повну геометрію, або готову схему, або єдиний кінцевий результат.

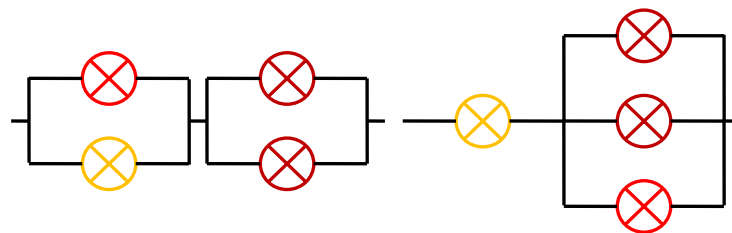
Наведемо приклад подібної задачі. У мережу з напругою 220 В необхідно ввімкнути лампи, розраховані на напругу 110 В: дві лампи потужністю 25 Вт, одну – 50 Вт і одну – 100 Вт (позначені на схемі відповідним кольором). За якою схемою їх потрібно ввімкнути в мережу, щоб вони працювали в номінальному режимі?

Очевидна необхідність застосування евристичного прийому закладена в формулюванні задачі: готова схема з'єднання невідома. Тому, навіть скрупульозно виконавши всі необхідні дії перших

чотирьох етапів, вписавши формули для потужності, що виділяється на лампі, формули для розрахунку послідовних та паралельних з'єднань, розв'язок знайти неможливо.

Потрібна *ідея пошуку розв'язку*. Для цієї задачі вона така. Щоб отримати з напруги 220 В напругу 110 В потрібно її прикласти до послідовного з'єднання двох однакових опорів. Тобто схема включення ламп має складатись з двох груп, з'єднаних послідовно. А щоб забезпечити номінальну напругу 110 В на кожній лампі, в межах однієї групи, лампи мають з'єднуватись паралельно.

Отримаємо всього дві можливі схеми:



Тепер можна продовжити розв'язування за традиційною схемою. Використовуючи формулу для потужності, що виділяється на кожній лампі, отримаємо величини їхніх опорів. Співвідношення опорів таке: одна лампа має опір R , ще одна – $2R$ і дві з опором $4R$. Легко перевірити, що єдиною можливою схемою є наведена праворуч, в якій окремо включена лампа 100 Вт і три інших – паралельно.

У наступному розділі наведені приклади розв'язування та оформлення типових задач. Найбільшого навчального ефекту від цих прикладів можна досягти, використавши умови наведених там задач та провівши самостійний розв'язок відповідно до запропонованої схеми. А після цього – порівняти розв'язки.

Приклади розв'язання та оформлення задач

Задача 1. Снаряд випущений під кутом 45° до горизонту з початковою швидкістю 600 м/с . Визначити максимальну висоту підйому, час польоту снаряда, дальність польоту, швидкість снаряда в момент падіння на Землю та рівняння траєкторії. Опором повітря знехтувати.

Дано:

$$\alpha = 45^\circ$$

$$v_0 = 600 \text{ м/с}$$

$$H = ?$$

$$t_{\text{пол}} = ?$$

$$L = ?$$

$$v_k = ?$$

$$y = f(x) = ?$$

Розв'язання

Зробимо схематичне креслення за умовою задачі (рис. 1).

Виберемо декартову систему координат таким чином, щоб початок координат співпадав з місцем вильоту снаряда; вісь OY направимо вертикально вгору; вісь OX – горизонтально (рис. 1). Площину XOY виберемо так, щоб вектори початкової швидкості $\vec{v}_0$ та прискорення $\vec{g}$ лежали в цій площині.

Оскільки на снаряд діє тільки сила тяжіння, то рух снаряда можна розглядати як суперпозицію двох незалежних рухів: рівномірного вздовж осі OX та рівноприскореного вздовж осі OY .

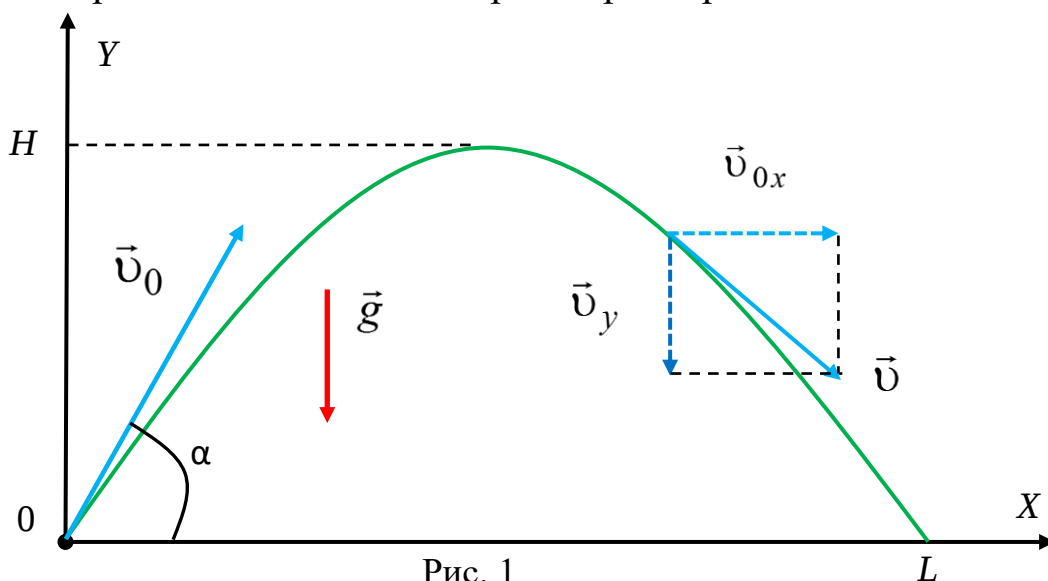


Рис. 1

Відлік часу почнемо у момент пострілу ($t_0 = 0$). Рух снаряда описується системою кінематичних рівнянь

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; & v_x = v_{0x} + a_x t; \\ y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}; & v_y = v_{0y} + a_y t. \end{cases}$$

У вибраній системі координат

$$\begin{aligned} x_0 = 0, & \quad a_x = 0, & \quad v_{0x} = v_0 \cos \alpha; & \quad y_0 = 0, \\ & \quad a_y = -g, & \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha, \end{aligned}$$

отже рівняння для координат та швидкостей запишуться

$$\begin{cases} x(t) = v_0 t \cos \alpha; & v_x = v_0 \cos \alpha = \text{const}; \\ y(t) = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}; & v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \end{cases}$$

Так як на максимальній висоті вертикальна складова швидкості v_y дорівнює нулю, то

$$v_y(t_{\text{в}}) = v_0 \sin \alpha - gt_{\text{під}} = 0, \text{ де } t_{\text{під}} - \text{час підйому снаряда.}$$

$$\text{Звідси} \quad t_{\text{під}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}; \quad t_{\text{під}} = \frac{600 \cdot \sin 45}{9,81} = 43,3 \text{ с.}$$

Максимальна висота підйому снаряда H визначається

$$y(t_{\text{в}}) = H = v_0 t_{\text{в}} \sin \alpha - \frac{gt_{\text{в}}^2}{2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g};$$

$$H = \frac{600^2 \cdot (\sin 45)^2}{2 \cdot 9,81} = 9174,3 \approx 9,2 \text{ км.}$$

Оскільки час руху снаряда вгору рівний часу його руху вниз, то час польоту буде $t_{\text{пол}} = 2t_{\text{під}} = 2 \cdot 43,3 = 86,6 \text{ с.}$ За цей же час вздовж осі OX снаряд пролетить відстань L , тобто дальність польоту дорівнює

$$x(t_{\text{п}}) = L = v_0 t_{\text{п}} \cos \alpha = \frac{v_0 \sin \alpha \cdot v_0 \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g};$$

$$L = \frac{600^2 \cdot \sin(2 \cdot 45)}{9,81} = 36697,247 \text{ м} \approx 37 \text{ км.}$$

Швидкість тіла в будь-який момент часу напрямлена по дотичній до траєкторії і легко визначається як векторна сума горизонтальної $\vec{v}_x$ та вертикальної $\vec{v}_y$ складових швидкостей.

Вектор повної швидкості

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_x(t) + \vec{v}_y(t);$$

Модуль вектора повної швидкості визначається як

$$v = \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2(t)} = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + (v_0 \sin \alpha - gt)^2}.$$

Наприкінці польоту величину повної швидкості v_k визначимо при підстановці $t = t_{\text{пол}}$

$$v_k = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + (v_0 \sin \alpha - 2v_0 \sin \alpha)^2};$$

$$v_k = \sqrt{600^2 \cos^2 45 + (600 \sin 45 - 2 \cdot 600 \sin 45)^2} = 600 \text{ м},$$

таким чином, при падінні снаряд має таку ж за величиною швидкість, що і при пострілі.

Рівняння траєкторії, легко отримати із рівнянь для координат. Визначивши час з рівняння $x(t)$ та підставивши його у рівняння для координати $y(t)$, отримаємо

$$\begin{cases} t = \frac{x(t)}{v_0 \cos \alpha}; \\ y(x) = v_0 \sin \alpha \frac{x}{v_0 \cos \alpha} - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} = Ax - Bx^2, \end{cases}$$

де

$$A = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 45 = 1;$$

$$B = \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} = \frac{9,81}{2 \cdot 600^2 \cos^2 45} = 0,00002725 \approx 2,8 \cdot 10^{-5}.$$

$$y(x) = x - 2,8 \cdot 10^{-5} x^2 \text{ — це рівняння параболи.}$$

Відповідь:

1. Максимальна висота підйому $H = 9,2$ км;
2. Час польоту снаряда $t = 86,6$ с;
3. Дальність польоту $L = 37$ км;
4. Модуль швидкості в момент падіння на землю $v_k = 600$ м/с;
5. Рівняння траєкторії снаряду – парабола

$$y(x) = x - 2,8 \cdot 10^{-5} x^2$$

Задача 2. Через нерухомий блок у вигляді суцільного однорідного диска масою 1 кг перекинута невагома і нерозтяжна нитка, до кінців якої підвішені вантажі масами 2 та 3 кг. Знайти прискорення руху вантажів та силу натягу нитки.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$m_1 = 2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 3 \text{ кг}$$

$$a - ?$$

$$T - ?$$

Розв'язання

Зробимо схематичне креслення за умовою задачі (рис. 2), де покажемо вибраний напрямок координатної осі OY ; сили, що діють на систему вантажів та блок; вектори прискорення, з яким рухаються вантажі.

Рівняння динаміки для кожного вантажу згідно з другим законом Ньютона

$$\begin{cases} \vec{T}_1 + m_1 \vec{g} = m_1 \vec{a}_1; \\ \vec{T}_2 + m_2 \vec{g} = m_2 \vec{a}_2. \end{cases}$$

Оскільки нитка невагома та нерозтяжна, то прискорення обох вантажів будуть однаковими: $a_1 = a_2 = a$.

Застосуємо основний закон динаміки обертального руху до нерухомого блоку, оскільки його масою не можна знехтувати

$$\vec{\varepsilon} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^N \vec{M}_i.$$

де ε – кутове прискорення блока;
 I – момент інерції блока відносно осі

обертання; $\sum_{i=1}^N \vec{M}_i$ – результуючий

момент сил, що діють на блок:

$$\vec{M} = \vec{M}_{T_1} + \vec{M}_{T_2},$$

або

$$M = T_2 R - T_1 R,$$

де R – радіус блока (плече сил натягу ниток).

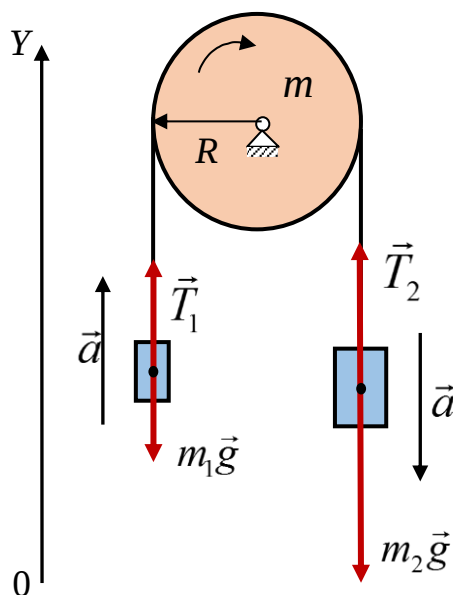


Рис. 2

Для блоку у вигляді однорідного диска, що обертається навколо осі, що проходить через центр мас, момент інерції

$$I = \frac{mR^2}{2}.$$

Спроектуємо вектори сил, що діють на вантажі та вектори їхніх прискорень на вісь OY , та складемо систему рівнянь для вантажів та блоку

$$\begin{cases} T_1 - m_1 g = m_1 a; \\ T_2 - m_2 g = -m_2 a; \\ (T_2 - T_1) \cdot R = I \cdot \varepsilon. \end{cases}$$

Для блоку у вигляді однорідного диска, що обертається навколо осі, що проходить через центр мас, момент інерції

$$I = \frac{mR^2}{2}.$$

Кутове прискорення ε пов'язане з тангенціальним прискоренням точок на ободі диска a (що співпадає з прискоренням вантажів) співвідношенням

$$\varepsilon = \frac{a}{R}.$$

Враховуючи останні вирази та розв'язуючи останню систему відносно a , T_1 та T_2 , отримаємо

$$\begin{aligned} a &= \frac{g(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2 + m/2}, & a &= \frac{9,81(3-2)}{2+3+1/2} \approx 1,78 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right); \\ T_1 &= m_1 g \frac{2m_2 + m/2}{m_1 + m_2 + m/2}, & T_1 &= 2 \cdot 9,8 \frac{2 \cdot 3 + 1/2}{2+3+1/2} \approx 23,2 \text{ (Н)}; \\ T_2 &= m_2 g \frac{2m_1 + m/2}{m_1 + m_2 + m/2}, & T_2 &= 3 \cdot 9,8 \frac{2 \cdot 2 + 1/2}{2+3+1/2} \approx 24,1 \text{ (Н)}. \end{aligned}$$

Зробимо перевірку одиниць вимірювання отриманих величин:

$$a = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times \text{кг}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad T = T_2 = \text{кг} \times \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times \frac{\text{кг}}{\text{кг}} = \text{кг} \times \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$$

Відповідь: прискорення вантажів $1,78 \text{ м/с}^2$, а натяги нитки по різні боки від блока дорівнюють відповідно $23,3 \text{ Н}$ і $24,1 \text{ Н}$.

Задача 3. Людина і візок рухаються назустріч один одному. Вага людини 64 кг, вага візка 32 кг. Швидкість людини 5,4 км/год, швидкість візка 1,8 км/год. Людина стрибає на візок і зупиняється. Визначити швидкість візка разом із людиною. Тертям знехтувати.

<i>Дано:</i>	<i>Розв'язання</i>
$m_1 = 64$ кг	Зробимо схематичне креслення за умовою задачі, спрямувавши горизонтальну вісь OX в напрямку руху людини (рис. 3).
$m_2 = 32$ кг	
$v_1 = 5,4$	Це класичний випадок абсолютно непружного удару, коли після зіткнення тіла рухаються як одне ціле. Для таких ударів завжди застосовний закон збереження імпульсу
км/год	
$v_2 = 1,8$	
км/год	$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}.$
$v - ?$	

У проекціях на горизонтальну вісь OX , маємо:

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v,$$

де m_1 – маса людини, v_1 – її швидкість до стрибка, m_2 – маса візка, v_2 – швидкість візка; v – загальна швидкість візка і людини після зупинки її на візку.

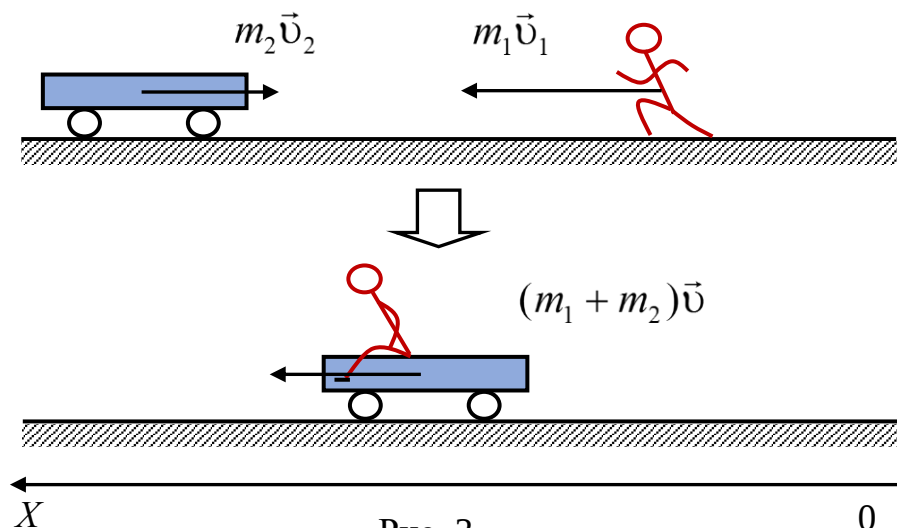


Рис. 3

Із останнього рівняння отримаємо

$$v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Відмітимо, що внаслідок однорідності останньої формули байдуже, в яких одиницях вимірювання підставляти маси m_1 та m_2 ; необхідно лише, щоб ці одиниці були однаковими. Перевіримо це для останньої формули

$$v = \frac{\text{кг} \times \text{км/год}}{\text{км/год}} = \text{км/год}.$$

Отже, підставляючи швидкості людини та візка а також відповідно їхні маси отримаємо значення швидкості візка із людиною в км/год

$$v = \frac{64 \cdot 5,4 - 32 \cdot 1,8}{64 + 32} = 3,0 \text{ км/год}.$$

Відповідь: швидкість візка разом із людиною 3,0 км/год.

Задача 4. На краю горизонтальної платформи каруселі, що має форму диска радіусом 5 м, стоїть людина. Маса платформи 200 кг, маса людини 80 кг. Платформа може обертатися навколо вертикальної осі, яка проходить через її центр. Нехтуючи тертям, знайти з якою кутовою швидкістю буде обертатися платформа, якщо людина почне йти вздовж її краю зі швидкістю 2 м/с відносно платформи.

Дано:

$$R = 5 \text{ м}$$

$$M = 200 \text{ кг}$$

$$m = 80 \text{ кг}$$

$$v = 2 \text{ м/с}$$

$$\omega - ?$$

Розв'язання

До системи «людина-платформа» застосуємо закон збереження моменту імпульсу. Порівняно зі розмірами платформи, людину будемо вважати матеріальною точкою.

До початку руху людини тіла системи були нерухомі $L_1 = 0$.

Після початку руху людини платформа почала обертатись з кутовою швидкістю ω .

Момент імпульсу платформи

$$L_{\text{пл}} = I_{\text{пл}} \cdot \omega,$$

де $I_{\text{пл}} = \frac{1}{2}MR^2$ – момент інерції платформи.

Швидкість людини відносно платформи

$$u = \omega \cdot R - v.$$

Кутова швидкість людини відносно землі

$$\omega_{\text{л}} = \omega - \frac{v}{R}.$$

Момент імпульсу людини

$$L_{\text{л}} = I_{\text{л}} \cdot \omega_{\text{л}} = mR^2 \left(\omega - \frac{v}{R} \right),$$

де $I_{\text{л}} = mR^2$ – момент інерції людини відносно осі обертання.

Тоді момент імпульсу системи під час руху людини

$$L_2 = L_{\text{пл}} + L_{\text{л}} = \frac{1}{2}MR^2 \cdot \omega + mR^2 \left(\omega - \frac{v}{R} \right).$$

Оскільки система «людина-платформа» є замкненою (тертям нехтуємо), то закон збереження моменту імпульсу

$$L_1 = L_2, \quad \text{або} \quad 0 = \frac{1}{2}MR^2 \cdot \omega + mR^2 \left(\omega - \frac{v}{R} \right).$$

Звідки

$$\frac{1}{2}M\omega + m\omega - \frac{mv}{R} = 0.$$

Тоді шукана кутова швидкість платформи

$$\omega = \frac{mv}{R \left(\frac{1}{2}M + m \right)}.$$

Розрахуємо

$$\omega = \frac{80 \cdot 2}{5 \left(\frac{1}{2} 200 + 80 \right)} = 1,7777 \approx 1,8 \text{ рад/с.}$$

Відповідь: кутова швидкість, з якою буде обертатися платформа дорівнює 1,8 рад/с.

Задача 5. У балоні об'ємом 10 л знаходиться гелій під тиском 1 МПа і при температурі 300 К. Після того, як з балона було взято 10 г гелію, температура в балоні знизилася до 290 К. Визначити тиск гелію, який залишився у балоні.

Дано:

$$V = 10 \text{ л} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\mu = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$p_1 = 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$$

Па

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

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

$$T_2 = 290 \text{ К}$$

$$p_2 = ?$$

Розв'язання

Маса гелію m , взятого з балона дорівнює різниці між масою m_1 гелію в початковому стані масою m_2 в кінцевому стані газу

$$m = m_1 - m_2.$$

Скористаємося рівнянням Клапейрона-Менделєєва, застосувавши його до початкового та кінцевого станів газу

$$p_1 V = \frac{m_1}{\mu} RT_1;$$

$$p_2 V = \frac{m_2}{\mu} RT_2.$$

Звідси маси газу в обох станах

$$m_1 = \frac{p_1 V \mu}{RT_1},$$

$$m_2 = \frac{p_2 V \mu}{RT_2}.$$

Підставимо

$$m = \frac{p_1 V \mu}{RT_1} - \frac{p_2 V \mu}{RT_2}; \quad p_2 = \left(\frac{\mu p_1 V}{RT_1} - m \right) \frac{RT_2}{\mu V}$$

,

або, розкриваючи дужки

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} p_1 - \frac{m RT_2}{\mu V}.$$

Перевіримо, чи дає остання формула одиницю тиску. Для цього в її праву частину замість символів величин підставимо їхні одиниці. У правій частині формули два доданки. Очевидно, що перший з них

дає одиницю тиску, так як складається з двох множників, перший з яких T_2 / T_1 – безрозмірний, а другий є тиском.

Перевіримо другий доданок

$$p = \frac{mRT}{\mu V} = \frac{\text{кг} \times \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \times \text{К}}}{\text{кг/моль} \times \text{м}^3} = \frac{\text{кг} \times \text{моль}}{\text{кг}} \times \frac{\text{Дж} \times \text{К}}{\text{м}^3 \times \text{моль} \times \text{К}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н} \times \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

Паскаль є одиницею тиску.

Виконаємо обчислення

$$p_2 = \left(\frac{290}{300} \cdot 10^6 - \frac{10^{-2} \cdot 8,31 \cdot 290}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}} \right) = 0,364 \cdot 10^6.$$

Відповідь: тиск гелію, що залишився у балоні становить $p_2 = 0,364 \text{ МПа}$.

Задача 6. Теплова машина працює за оборотним циклом Карно. Температура нагрівника 500 К. Визначити термічний ККД циклу та температуру холодильника теплової машини, якщо за рахунок 1 кДж теплоти, отриманої від нагрівника, машина здійснює роботу 350 Дж.

<i>Дано:</i>	<i>Розв'язання</i>
$Q_1 = 1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж}$ $T_1 = 500 \text{ К}$ $A = 350 \text{ Дж}$	Термічний ККД (η) теплової машини показує, яка частка теплоти, отриманої від нагрівника, перетворюється в механічну роботу
$\eta - ?$ $T_2 - ?$	$\eta = \frac{A}{Q_1},$ де A – робота, яку виконало робоче тіло теплової машини; Q_1 – теплота, отримана від нагрівника.

Оскільки теплова машина працює за оборотним циклом Карно, то температуру холодильника T_2 можна визначити з формули Карно

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

де T_1 – температура нагрівника; T_2 – температура холодильника.

Тоді

$$T_2 = T_1(1 - \eta).$$

Зробимо перевірку одиниць вимірювання. З формули ККД видно що $\eta = Q_2 / Q_1 = 1$ є величина безрозмірна, а тому справедливність розмірності другої формули очевидна.

Виконаємо обчислення

$$\eta = \frac{350}{1000} = 0,35,$$

$$T_2 = 500_1(1 - 0,35) = 325 \text{ К.}$$

Відповідь: к.к.д. циклу теплової машини, яка працює по оборотному циклу Карно дорівнює 0,35, а температура холодильника 325 К.

Задача 7. Електричне поле створене довгим циліндром радіусом 1 см, рівномірно зарядженим з лінійною густиною 25 нКл/м. Визначити різницю потенціалів двох точок цього поля, що знаходяться на відстані 0,5 см і 2 см від поверхні циліндра в середній його частині.

Дано:

$$\begin{aligned} R &= 1 \text{ см} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ \tau &= 25 \text{ нКл/м} = 25 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м} \\ a_1 &= 0,5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ a_2 &= 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} \end{aligned}$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = ?$$

Розв'язання

Для визначення різниці потенціалів скористаємось співвідношенням між напруженістю поля і просторовим розподілом потенціалу

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

Для поля з осьовою симетрією, яким є поле циліндра, це можна записати у вигляді

$$E = -\frac{d\varphi}{dr},$$

$$d\varphi = -E dr.$$

або

Проінтегруємо останній вираз та знайдемо вираз для різниці потенціалів між двома точками, віддалених на відстані r_1 і r_2 від осі циліндра

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = - \int_{r_1}^{r_2} E dr.$$

З теореми Гаусса напруженість електричного поля, створеного нескінченною прямою рівномірно зарядженою ниткою (циліндром)

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r},$$

де $\tau = q/l$ – лінійна густина заряду. Підставимо вираз напруженості електричного поля в інтеграл та проведемо інтегрування

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = - \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r} dr = - \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r};$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = - \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1};$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{r_1}{r_2}.$$

Зробимо перевірку одиниць вимірювання

$$[\varphi_1 - \varphi_2] = \frac{\text{Кл/м}}{\text{Ф/м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{Ф}}{\text{Ф}} = \text{В}.$$

Оскільки величини r_1 і r_2 входять у формулу у вигляді відношення, їх можна виразити у будь-яких однакових одиницях

$$r_1 = R + a_1 = (1.0 + 0.5) \text{ см} = 1,5 \text{ см},$$

$$r_2 = R + a_2 = (1.0 + 2.0) \text{ см} = 3 \text{ см}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{25 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \ln \frac{3}{1,5} \approx 312 \text{ В}.$$

Відповідь: різниця потенціалів між заданими точками поля дорівнює 312 В.

Задача 8. Акумулятор з ЕРС 12 В заряджається від мережі постійного струму з напругою 15 В. Визначити напругу на клемі акумулятора. Розглянути випадки, коли опір з'єднання між акумулятором і мережею дорівнює 0,5 Ом і коли цей опір дорівнює внутрішньому опору акумулятора 1 Ом.

Дано:

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$U = 15 \text{ В}$$

$$r = 1 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 0,5$$

$$\text{Ом}$$

$$R_2 = 1 \text{ Ом}$$

$$U_{a1} - ?$$

$$U_{a2} - ?$$

Розв'язання. Зробимо схематичне креслення за умовою задачі (рис. 4).

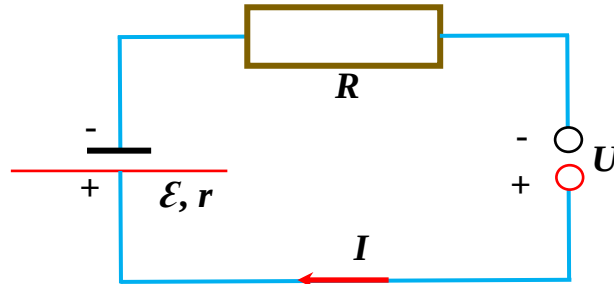


Рис. 4

Замкнені кола подібного типу варто вважати неоднорідним замкненим колом. Застосуємо закон Ома для замкненого кола у випадку протікання зарядного струму

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

де I – сила струму у колі; U – напруга на затискачах зовнішнього джерела струму. ЕРС акумулятора тоді буде мати знак "-" тому, що акумулятор увімкнений у режимі зарядки, тобто напрямки струмів, які створюються зовнішнім джерелом та акумулятором, протилежні; r – внутрішній опір акумулятора; R – опір зовнішньої ділянки кола.

Напругу на клемі акумулятора U_a можна знайти як різницю між напругою в мережі та спадом напруги на зовнішній ділянці кола

$$U_a = U - IR.$$

Підставивши в цю формулу вираз для величини струму, отримаємо

$$U_a = U - \frac{U - \varepsilon}{R + r} R;$$

$$U_a = \frac{UR + Ur - UR + \varepsilon R}{R + r};$$

$$U_a = \frac{Ur + \varepsilon R}{R + r}.$$

Тоді у випадку, коли $R_1 = 0,5$ Ом

$$U_{a1} = \frac{15 \cdot 1 + 12 \cdot 0,5}{1 + 0,5} = 14 \text{ В.}$$

У випадку коли цей опір дорівнює внутрішньому опору акумулятора ($R = r$)

$$U_a = \frac{Ur + \varepsilon R}{R + r};$$

$$U_a = \frac{UR + \varepsilon R}{R + R};$$

$$U_a = \frac{U + \varepsilon}{2}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо

$$U_{a2} = \frac{15 + 12}{2} = 13,5 \text{ В.}$$

Відповідь: напруга на клеммах акумулятора, коли опір з'єднання між акумулятором і мережею дорівнює 0,5 Ом і коли цей опір дорівнює внутрішньому опору акумулятора, становить відповідно 14 В та 13,5 В.

Задача 9. Сила струму у провіднику опором 20 Ом лінійно зростає за 2 с від нуля до 6 А. Визначити кількість теплоти, яка виділяється у провіднику за першу секунду.

Дано:

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$I_0 = 0 \text{ А}$$

$$I_{\max} = 6 \text{ А}$$

$$t_1 = 0 \text{ с}; t_2 = 1 \text{ с},$$

$$t_3 = 2 \text{ с}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

Закон Джоуля-Ленца слухний для постійного струму

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

Якщо сила струму змінюється з часом, то закон виконується для нескінченно малого інтервалу часу

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

де сила струму I є деякою функцією часу.

Враховуючи лінійну зміну сили струму, можна записати

$$I = I_0 + kt ,$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

За умовою задачі при $t_1 = 0$ с початковий струм $I = I_0$, а при $t_3 = 2$ с струм $I = I_{\max}$.

Підставляючи ці значення в останню формулу, отримаємо значення коефіцієнта пропорційності

$$k = \frac{I_{\max}}{t_3} = \frac{6}{2} = 3 \text{ А/с.}$$

Тоді кількість теплоти, яка виділяється у провіднику буде

$$dQ = (I_0 + kt)^2 R dt ;$$

$$dQ = (I_0 + 3t)^2 R dt ;$$

$$dQ = 9t^2 R dt .$$

Проінтегруємо останній вираз

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} 9t^2 R dt ; \quad Q = 9R \int_{t_1}^{t_2} t^2 R dt ;$$

$$Q = 9R \frac{1}{3} (t_2^3 - t_1^3) .$$

Підставивши числові дані, отримуємо

$$Q = \frac{9 \cdot 20}{3} (1^3 - 0) ;$$

$$Q = \frac{9 \cdot 20}{3} (1^3 - 0) = 60 \text{ Дж.}$$

Відповідь: Кількість теплоти, яка виділяється у провіднику за першу секунду проходження струму, дорівнює 60 Дж.

Задача 10. Довгим прямим тонким дротом тече електричний струм силою 20 А. Визначити індукцію магнітного поля, створеного провідником зі струмом у точці, віддаленій від нього на відстань 4 см.

Дано:

$$I = 20 \text{ А}$$

$$R = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$$

$B - ?$

Розв'язання

Для розв'язання задачі, треба скористатись законом Біо-Савара-Лапласа, який дозволяє розрахувати магнітне поле, створене елементом струму (рис. 5):

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{[Id\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3}.$$

Виберемо на провіднику елемент струму $Id\vec{l}$. Напрямок вектора $d\vec{B}$ визначається за правилом правого гвинта і є дотичною до кола відповідного радіуса (рис. 5).

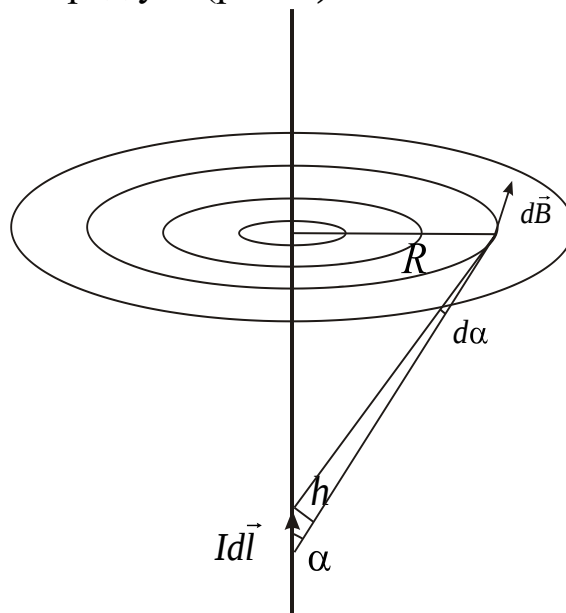


Рис. 5

Так як вектор індукції магнітного поля визначається векторним добутком $d\vec{l}$ та $\vec{r}$, то модуль цього вектора визначається за формулою

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha,$$

де α – кут між векторами $d\vec{l}$ та $\vec{r}$.

Виразимо dl та r через кут α . З рисунку 5 видно, що

$$r = \frac{R}{\sin \alpha}.$$

Оскільки

$$\frac{h}{dl} = \frac{rd\alpha}{dl} = \sin \alpha, \text{ то}$$

$$dl = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha} = \frac{Rd\alpha}{\sin^2 \alpha}.$$

Отже

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{\left(\frac{R}{\sin \alpha}\right)^2} \frac{Rd\alpha}{\sin^2 \alpha} \sin \alpha;$$

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \sin \alpha d\alpha$$

Згідно з принципом суперпозиції, магнітне поле, яке створюється всім провідником, можна знайти за принципом суперпозиції, враховуючи що магнітне поле кожного елемента струму напрямлене однаково, можна записати

$$B = \int dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R};$$

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R}.$$

Зробимо перевірку одиниць вимірювання

$$B = \frac{\mu_0 I}{R} = \frac{\text{Гн/м} \times \text{А}}{\text{м}} = \frac{\text{Гн} \times \text{А}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{20}{4\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} \text{Тл} = 10^{-4} = 0,1 \text{ мТл}.$$

Відповідь: Магнітна індукція поля, створеного провідником у точці, віддаленій від нового на відстані 4 см, дорівнює 0,1 мТл.

Задача 11. Електрон, прискорений різницею потенціалів 400 В, потрапив у однорідне магнітне поле напруженістю 1 кА/м. Визначити радіус кривини траєкторії електрона у магнітному полі. Вектор швидкості перпендикулярний до ліній поля.

Дано:	Розв'язання
$U = 400 \text{ В}$ $H = 1 \text{ кА/м} = 1000 \text{ А/м}$	Радіус кривини електрона визначається з наступних міркувань: на електрон, що рухається у магнітному полі, діє сила Лоренца: $\vec{F} = q[\vec{v} \times \vec{B}].$
$R = ?$	

Сила Лоренца перпендикулярна вектору швидкості і надає електрону нормальне прискорення (рис. 6). Згідно з другим законом Ньютона $F = ma_n$, де m – маса електрона, a_n – його нормальне прискорення.

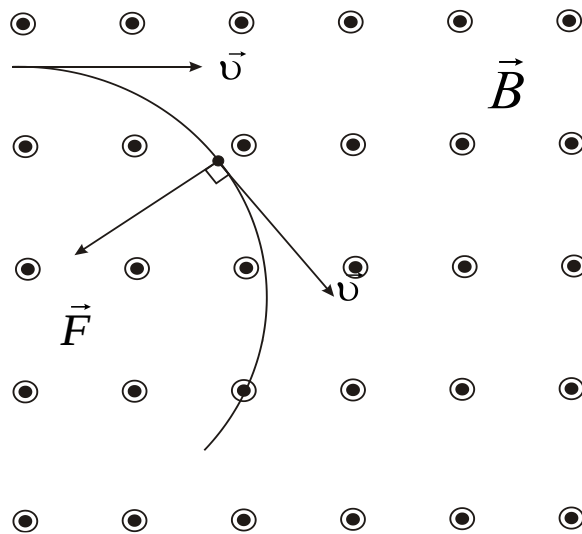


Рис. 6

Отже

$$e v B \sin \alpha = \frac{m v^2}{R},$$

де e – заряд електрона, R – радіус кривини траєкторії, v – швидкість електрона, α – кут між векторами $\vec{B}$ і $\vec{v}$.

Згідно з умовою задачі $\alpha = 90$, $\sin \alpha = 1$.

Звідки

$$R = \frac{mv}{eB}.$$

Електрон, який подолав різницю потенціалів U , отримує кінетичну енергію, яку можна виразити таким чином

$$W_K = \frac{(mv)^2}{2m}.$$

Або

$$mv = \sqrt{2mW_K}.$$

В свою чергу електричне поле виконує над електроном роботу

$$W_K = eU.$$

Тоді

$$mv = \sqrt{2meU}.$$

Згадаємо, що індукція магнітного поля зв'язана з його напруженістю

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

Отже, остаточно маємо формулу для розрахунку радіусу кривини траєкторії електрона у магнітному полі

$$R = \frac{\sqrt{2meU}}{\mu_0 e H}.$$

Перевіримо одиниці вимірювання для R :

$$\begin{aligned} R &= \frac{\sqrt{\text{кг} \times \text{Кл} \times \text{В}}}{\text{Гн/м} \times \text{Кл} \times \text{А/м}} = \frac{\text{м}^2}{\text{Гн} \times \text{А} \times \text{Кл}} \sqrt{\frac{\text{кг} \times \text{Кл} \times \text{Дж}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{А} \times \text{м}^2}{\text{Вб} \times \text{А} \times \text{Кл}} \sqrt{\text{кг} \times \text{Дж}} = \\ &= \frac{1}{\text{Тл} \times \text{Кл}} \times \sqrt{\text{кг} \times \text{Н} \times \text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\frac{\text{кг} \times \text{м}}{\text{Н}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\frac{\text{кг} \times \text{м} \times \text{с}^2}{\text{кг} \times \text{м}}} = \text{м}. \end{aligned}$$

Підставимо числові дані:

$$R = \frac{\sqrt{2 \cdot 9 \cdot 11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 400}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-9}} \text{ м} = 5,37 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 5,37 \text{ см}.$$

Відповідь: Радіус кривини траєкторії електрона у магнітному полі 5,37 см.

Задача 12. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа дорівнює 1 см, окуляра 3 см, відстань між ними (довжина тубуса мікроскопа l) 20 см. На якій відстані від об'єктива треба помістити предмет, щоб його зображення було віддалене від ока спостерігача на 25 см (відстань найкращого бачення L_0)? Яким при цьому буде реальне збільшення мікроскопа? Чому дорівнюватиме оптична сила такої оптичної системи?

Дано:

$$F_1 = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$$

$$F_2 = 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$$

$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$L_0 = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м}$$

$$d_1 = ?$$

$$\Gamma = ?$$

$$D = ?$$

Розв'язання. Розглядатимемо мікроскоп як оптичну систему з двох тонких лінз на скінченній відстані одна від одної (рис. 7).

Зауважимо, що розв'язати подібну задачу можна без детального розгляду ходу променів через лінзи об'єктива Л_1 та окуляра Л_2 , якщо добре розуміти принцип його роботи. Тоді схема мікроскопа виглядала б значно простіше, ніж на рисунку 7.

Використаємо рисунок 7 для нагадування принципу роботи мікроскопа. Об'єктив Л_1 розглядає предмет B , розміщений близько до передньої фокальної площини цієї лінзи (всі фокальні площини позначені чорними штрихованими лініями) і формує дійсне збільшене його зображення B_1 . Після цього окуляр Л_2 , як лупа, розглядає зображення B_1 як предмет та дає його уявне збільшене зображення B_2 .

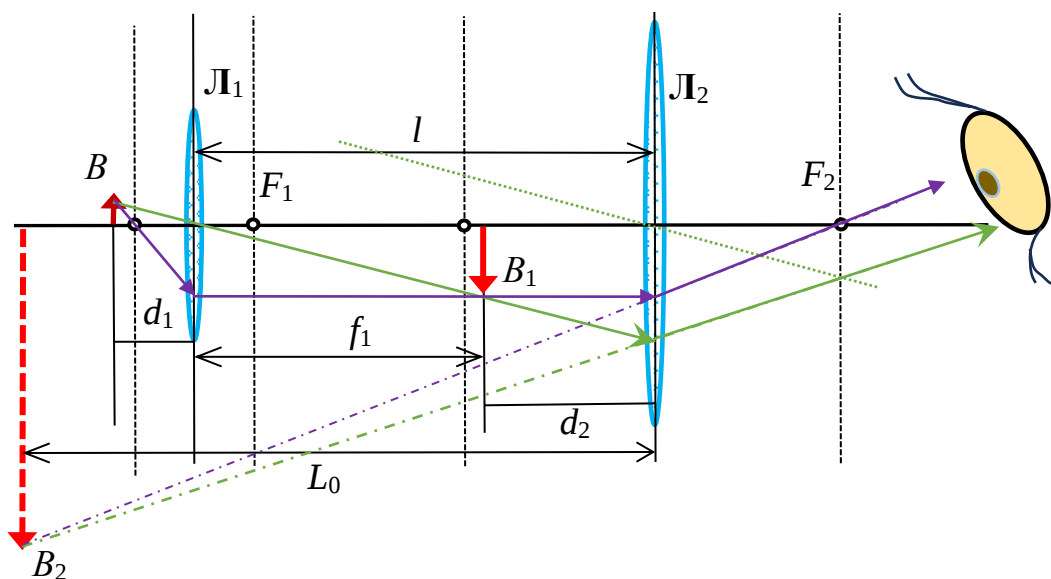


Рис. 7

Щоб краще запам'ятати цей принцип, достатньо один раз провести через подібну систему всього два променя – фіолетовий (через фокус лінзи L_1) та зелений (через оптичний центр лінзи L_1). Що ми й зробили на рисунку 7. Надзвичайно просто провести фіолетовий промінь. При проведенні зеленого променя необхідно використати додаткову побудову (паралельна зелена пунктирна лінія через оптичний центр лінзи L_2) та врахувати властивості фокальної площини цієї лінзи.

Тоді стають зрозумілими геометричні параметри оптичної системи, для розрахунків якої необхідно застосувати формулу тонкої лінзи (для обох лінз) та зв'язати параметри, що входять в ці формули, з довжиною тубуса мікроскопа.

Отримаємо систему чотирьох рівнянь

$$\begin{aligned}\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} &= \frac{1}{F_1}; & \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} &= \frac{1}{F_2}; \\ f_1 &= l - d_2; & f_2 &= -L_0.\end{aligned}$$

Друге та четверте рівняння системи дають величину d_2

$$d_2 = F_2 \cdot L_0 / (F_2 + L_0).$$

Тоді перше та третє, враховуючи вираз для d_2 дають шукану нами величину d_1

$$d_1 = F_1 \cdot (l - d_2) / (l - d_2 - F_1).$$

Тепер можна знаходити реальне збільшення, яке дає мікроскоп

$$\Gamma = \left(\frac{f_1}{d_1} \right) \cdot \left(\frac{f_2}{d_2} \right),$$

та визначити оптичну силу мікроскопа як еквівалентної лінзи

$$D = D_1 + D_2 - l \cdot D_1 \cdot D_2 = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} - \frac{l}{F_1 \cdot F_2}.$$

Проведемо розрахунки.

$$d_2 = 0,03 \cdot 0,25 / (0,03 + 0,25) = 2,679 \text{ см};$$

$$f_1 = l - d_2 = 20 - 2,679 = 17,321 \text{ см};$$

$$f_2 = -L_0 = -25 \text{ см (з урахуванням правила знаків)}.$$

Звідси відстань від предмета до площини лінзи об'єктива L_1

$$d_1 = 0,01 \cdot (0,2 - 2,679) / (0,2 - 2,679 - 0,03) = 1,061 \text{ см.}$$

Далі визначаємо реальне збільшення мікроскопа

$$\Gamma = \left(\frac{f_1}{d_1} \right) \cdot \left(\frac{f_2}{d_2} \right) = \left(\frac{17,321}{1,061} \right) \cdot \left(\frac{-25}{2,679} \right) \approx -152.$$

Знаходимо оптичну силу мікроскопа як еквівалентної лінзи

$$D = \frac{1}{0,01} + \frac{1}{0,03} - \frac{0,2}{0,01 \cdot 0,03} = -533,3 \text{ дптр.}$$

Примітка. Ми визначили та розрахували всі розшукувані величини. Зауважимо, що в задачах на геометричну оптику здебільшого зникає необхідність перевіряти розмірність величин. Тому що в формулах присутні лише величини з розмірністю м, м⁻¹ або їх відношення.

Крім того, отримане в задачі реальне збільшення системи $\Gamma = 152$ можна порівняти з тим збільшенням, яке дають рекомендовані в літературі формули для таких кутових збільшень оптичних.

Зокрема для мікроскопа рекомендована формула

$$\Gamma \approx \left(\frac{l \cdot L_0}{F_{об} \cdot F_{ок}} \right)$$

Підстановка значень для нашого випадку дає величину

$$\Gamma \approx \left(\frac{20 \cdot 25}{1 \cdot 3} \right) \approx 167$$

що на 10% дає завищений результат порівняно з реальним збільшенням.

Відповідь. 1. Відстань, на якій необхідно розмістити предмет від об'єктива $d_1 = 1.061$ см.

1. При цьому реальне збільшення його складатиме 152. Знак «-» вказує на те, що зображення буде перевернутим.
2. Оптична система мікроскопа представляє собою еквівалентну розсіювальну лінзу з оптичною силою -533,3 дптр.

Задача 13. На скляний клин з малим кутом нормально до його грані падає паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі 0,6 мкм. На 1 см клину спостерігається 10 інтерференційних смуг. Показник заломлення скла прийняти рівним 1,5. Визначити кут клину.

Дано:

$$\lambda = 0,6 \text{ мкм} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$l = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$$

$$k = 10$$

$$n = 1,5$$

$$\alpha = ?$$

Розв'язання. Паралельний пучок світла, що падає нормально на клин, відбивається як від верхньої, так і від нижньої граней.

Кут клину малий, а відбиті від граней промені когерентні, що й приводить до появи інтерференційних смуг (рис. 8).

Темні інтерференційні смуги (смуги однакової товщини)

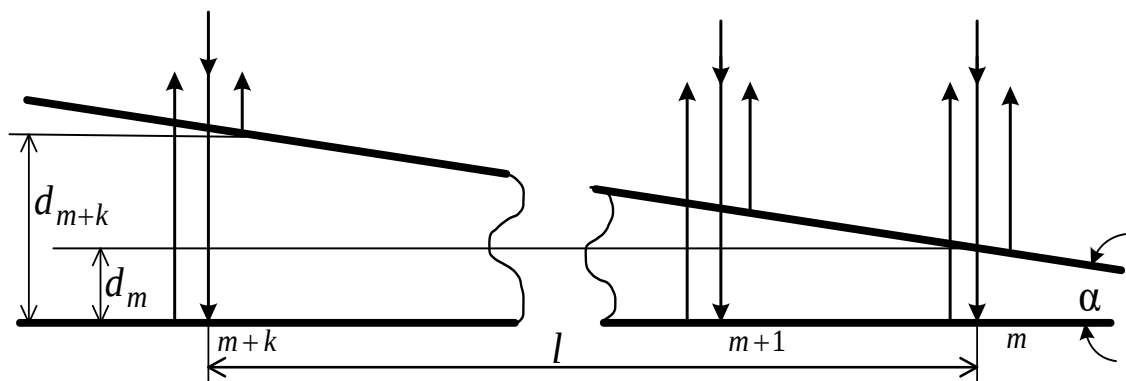


Рис. 8

будуть спостерігатися там, де оптична різниця ходу променів Δ кратна непарній кількості півхвиль

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

де порядок інтерференційної смуги $m = 0, 1, 2 \dots$

Різниця ходу складається із різниці оптичних довжин шляхів відбитих променів і доданка $\lambda/2$. Цей доданок зумовлений тим, що при відбиванні від оптично більш щільного середовища виникає додатковий зсув фаз на π .

Оскільки промені падають нормально, то оптична різниця ходу променів становить $2nd_m$, де n – показник заломлення матеріалу

клину, а d_m – товщина клину у місці локалізації m -го інтерференційного мінімуму

$$\Delta = 2nd_m + \frac{\lambda}{2}.$$

Якщо m -ій смузі відповідає товщина клину d_m , то $m+k$ -ій смузі відповідатиме товщина d_{m+k} .

Тоді, прирівнюючи різниці ходу, виражені через довжину хвилі та через товщину клину, матимемо

$$(2m+1)\frac{\lambda}{2} = 2nd_m + \frac{\lambda}{2},$$

звідки для товщини клину d_m

$$d_m = \frac{m\lambda}{2n},$$

а для товщини клину d_{m+k}

$$d_{m+k} = \frac{(m+k)\lambda}{2n}.$$

З рисунку 8 випливає, що коли k інтерференційних смуг вкладається на довжині l , то:

$$\sin \alpha = \frac{(d_{m+k} - d_m)}{l}.$$

Оскільки кут клину малий, то можна прийняти, що $\sin \alpha \approx \alpha$.

Підставимо вирази для d_{m+k} та d_m , врахувавши, $\sin \alpha \approx \alpha$

$$\alpha = \frac{(m+k)\lambda - m\lambda}{2n \cdot l}; \quad \alpha = \frac{k\lambda}{2n \cdot l}.$$

Перевіримо одиниці вимірювання для α :

$$\alpha = \frac{\text{м}}{\text{м}} = \text{рад}$$

Підстановка значень фізичних величин дає:

$$\alpha = \frac{k\lambda}{2n \cdot l} = \frac{10 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

Відповідь: кут клину становить $\alpha = 2 \cdot 10^{-4}$ рад.

Задача 14. У результаті нагрівання абсолютно чорного тіла (АЧТ), довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної випромінювальної здатності, змістилась з 2,7 мкм до 0,9 мкм. Визначити, у скільки разів змінилась випромінюваність АЧТ.

Дано:

$$\lambda_{\max 1} = 2,7 \text{ мкм} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\lambda_{\max 2} = 0,9 \text{ мкм} = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = ?$$

Розв'язання

Скористаємось законом Стефана - Больцмана для випромінюваності АЧТ:

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

де σ - стала Стефана -Больцмана;

T – абсолютна температура.

Тоді відношення випромінюваностей абсолютно чорного тіла до і після нагрівання буде дорівнювати відношенню абсолютних температур у четвертому степені

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^4,$$

де T_1, T_2 – температури тіла до і після нагрівання.

Закон зміщення Віна для АЧТ

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad \text{де } b \text{ – стала Віна.}$$

Тоді відношення

$$\frac{\lambda_{\max 2}}{\lambda_{\max 1}} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Остаточнo маємо

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{\lambda_{\max 2}}{\lambda_{\max 1}} \right)^4.$$

Підставимо значення

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{2,7 \cdot 10^{-6}}{0,3 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 81.$$

Відповідь: випромінюваність абсолютно чорного тіла збільшилась у 81 раз.

Задача 15. Визначити початкову активність радіоактивного препарату ^{27}Mg масою $0,2 \cdot 10^{-9}$ кг, а також його активність через 6 годин.

Дано:

$$m = 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ кг}$$

$$t = 6 \text{ год} = 2,16 \cdot 10^4$$

с

$$T_{1/2} = 10 \text{ хв} = 600 \text{ с}$$

$$\mu = 24 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$A_0 - ?$$

$$A - ?$$

Розв'язання

Активність радіоактивного препарату визначається за формулою:

$$A = |\lambda N|.$$

Згідно закону радіоактивного розпаду:

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

Отже $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$

Початкову активність препарату отримаємо при $t = 0$:

$$A_0 = \lambda N_0.$$

Початкову кількість ядер ^{27}Mg знайдемо, знаючи його масу за формулою:

$$N_0 = \frac{m}{\mu} N_A.$$

Стала радіоактивного розпаду:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}.$$

Тоді формули для активностей A_0 та A набувають вигляду:

$$A_0 = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A,$$

$$A = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}.$$

Перевіримо розмірність:

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{1}{T_{1/2}} N_A = \text{моль} \times \frac{1}{\text{с}} \times \frac{1}{\text{моль}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Бк}$$

Підставимо значення в останні формулу:

$$A_0 = \frac{0,2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}} \frac{0,693}{600} 6,02 \cdot 10^{23} = 5,13 \cdot 10^{12} \text{ Бк.}$$

$$A = 5,13 \cdot 10^{12} \cdot e^{-\frac{0,693}{600} 2,16 \cdot 10^4} = 81,3 \text{ Бк.}$$

Відповідь: початкова активність радіоактивного препарату ^{27}Mg
 $A_0 = 5,13 \cdot 10^{12}$ Бк, а його активність через 6 годин становить
 $A = 81,3$ Бк.

Задача 16. У якого ядра ^6_3Li чи ^7_3Li питома енергія зв'язку нуклонів більша?

Дано:

$$m_p = 1,00728 \text{ а.о.м.}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ а.о.м.}$$

$$m_{\text{Li}(6)} = 6,01703 \text{ а.о.м.}$$

$$m_{\text{Li}(7)} = 7,01601 \text{ а.о.м.}$$

$$\varepsilon_{\text{зв}}(^6_3\text{Li}) - ?$$

$$\varepsilon_{\text{зв}}(^7_3\text{Li}) - ?$$

Розв'язання

Питома енергія зв'язку нуклонів ядер

$$\varepsilon_{\text{зв}} = \frac{W_{\text{зв}}}{A}.$$

де $W_{\text{зв}}$ – енергія зв'язку; A – число нуклонів в ядрі.

$$\text{Енергія зв'язку ядра } W_{\text{зв}} = \Delta m c^2,$$

де Δm – дефект маси ядра

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m_a.$$

Виконаємо розрахунки:

$$\Delta m(^6_3\text{Li}) = [3 \cdot 1,00728 + (6 - 3) \cdot 1,00867] - 6,01703 = 0,03082 \text{ а.о.м.}$$

$$W_{\text{зв}}(^6_3\text{Li}) = 0,03082 \cdot 931,5 = 28,70883 \approx 28,71 \text{ Мев};$$

$$\varepsilon_{\text{зв}}(^6_3\text{Li}) = 28,70883 / 6 = 4,78 \text{ Мев/нукл};$$

$$\Delta m(^7_3\text{Li}) = [3 \cdot 1,00728 + (7 - 3) \cdot 1,00867] - 7,01601 = 0,04051 \text{ а.о.м.}$$

$$W_{\text{зв}}(^7_3\text{Li}) = 0,04051 \cdot 931,5 = 37,735065 \approx 37,74 \text{ Мев};$$

$$\varepsilon_{\text{зв}}(^7_3\text{Li}) = 37,735065 / 7 = 5,39 \text{ Мев/нукл.}$$

Відповідь: Питома енергія зв'язку нуклонів у ^7_3Li більша за енергію зв'язку нуклонів ^6_3Li .

Вимоги до оформлення індивідуальних завдань

Студенти повинні знати, що кожна контрольна чи розрахунково графічна робота (загальна назва – індивідуальна контрольна робота ІКР) є обов'язковим елементом освітньої програми (окремий елемент оцінювання) та документом строгої підзвітності (тобто, вона архівується та зберігається на весь час навчання). Кількість та обсяг таких (ІКР) залежить від навчальної дисципліни. Тому існують загальні вимоги та рекомендації щодо її виконання, оформлення та пред'явлення.

ІКР є цілісним документом, який включає титульний аркуш (макет якого приведено на наступній сторінці) та окремих аркушів правильно вирішених та оформлених завдань (в нашому випадку – задач). Прикладам розв'язання та правильного оформлення кожної задачі контрольної роботи ми присвятили окремий розділ. Титульну сторінку завжди можна скопіювати в електронному вигляді та роздрукувати (або приєднати до файлу Word Вашої ІКР, якщо буде призначено надсилання її в електронному вигляді).

Ми рекомендуємо як *основний спосіб паперового варіанту* оформлення контрольної роботи на аркушах паперу А4, зібраних в фізичний файл, де титульна сторінка та кожна задача займає окремий аркуш. Інші варіанти (наприклад, використання шкільного зошита) – за домовленістю з викладачем.

Заповнення титульного аркуша починається з того практичного заняття (на початку семестру), на якому викладач, що проводить цей вид навчальної діяльності, видає варіанти контрольних завдань кожному студентові. При цьому студент отримує: номер контрольної роботи, номер та назву модуля (або модулів, якщо кількість контрольних робіт менша за кількість обов'язкових модулів), назву збірника завдань, номери задач його варіанту, дату видачі та кінцеву дату здачі контрольної роботи. Все це заносяться у відповідні клітинки титульного аркуша разом з назвою групи, ПІБ студента та ПІБ викладача, який буде здійснювати перевірку та оцінювання роботи.

Умова кожної задачі обов'язково чітко виписується (або друкується) в верхній частині виділеного для даної задачі аркуша. Далі – розв'язання задачі, яке виконується вручну, з усіма вимогами та рекомендаціями. Такими як:

- Кожну задачу починати розв'язувати з нової сторінки, вказуючи її номер.
- Скласти коротку умову задачі.
- Перевести всі значення фізичних величин в систему СІ.
- Рішення задач слід супроводжувати короткими, але вичерпними поясненнями; при необхідності приводиться креслення, виконане за допомогою креслярського приладдя.
- Розв'язок задачі рекомендується подавати у загальному вигляді, тобто необхідно виразити шукану величину через символи (буквені позначення) величин, заданих в умові. При такому способі рішення значення проміжних величин не обчислюють.
- Отримавши розрахункову формулу, для перевірки її правильності слід виконати перевірку розмірності, тобто підставити в праву частину позначення одиниць всіх величин, провести над ними необхідні дії згідно отриманих формул і переконатися в тому, що отримана при цьому одиниця відповідає шуканій величині.
- При підстановці в розрахункову формулу, а також при записі відповіді числові значення величин слід записувати в Е-представленні (тобто, як добуток числа на 10 в відповідній степені).
- Обчислення за розрахунковою формулою треба проводити з дотриманням правил округлення, остаточну відповідь слід записувати з трьома значущими цифрами.

Завершує розв'язання кожної задачі пункт «Відповідь:». На кінцевій стадії студент збирає воєдино титульний аркуш та, послідовно, окремі аркуші з вирішеними задачами і здає викладачеві (або висилає в електронному вигляді в відповідний курс фізики на навчальному сайті КНУБА: org2.knuba.edu.ua).

Макет титульної сторінки контрольної роботи студента:

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Кафедра фізики**

Індивідуальна контрольна робота № ...

(номер, назва модуля (ів))

Студента _____

(прізвище, ім'я)

(група)

Варіант № _____ з посібника

Дата видачі роботи: _____

Дата подання роботи: _____

Дата захисту роботи: _____

Номери задач:

№ п/п	№ задачі згідно варіанта	Резолюція до задачі
1		
2		
3		
4		
5		

(Оцінка роботи)

№ п/п	№ задачі згідно варіанта	Резолюція до задачі
6		
7		
8		
9		
10		

(прізвище викладача та підпис)

ГЛАВА 1. МЕХАНІКА

1.1. Коротка теоретична довідка

Кінематика

- Кінематичне рівняння рівнозмінного поступального руху матеріальної точки у векторному поданні

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{at^2}{2},$$

- Радіус-вектор матеріальної точки у декартовій системі координат

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k},$$

де x, y, z – координати точки;

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – одиничні вектори напрямків (орти) координатних осей.

- Модуль радіус-вектора

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

- Миттєва швидкість є похідною від радіус-вектора тіла за часом, завжди орієнтована по дотичній до траєкторії в даній точці

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k},$$

де $v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$, $v_z = \frac{dz}{dt}$ – проекції вектора миттєвої швидкості на координатні осі.

- Модуль миттєвої швидкості

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

- Для рівнозмінного ($\vec{a} = \text{const}$) прямолінійного руху з початковою швидкістю $\vec{v}_0$

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

- Середня шляхова швидкість нерівномірного руху на всьому шляху за весь час руху

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

де ΔS – весь шлях, який тіло пройшло та за весь час Δt .

- Повне миттєве лінійне прискорення матеріальної точки

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k},$$

де $a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$, $a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$, $a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$ – проекції вектора прискорення на координатні осі.

- Модуль миттєвого прискорення

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

- Вектор повного прискорення при криволінійному русі може бути розкладеним на дві складові:

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau,$$

де $\vec{a}_\tau = \frac{d\vec{v}}{dt}\vec{\tau}$ – тангенціальне прискорення; $\vec{a}_n = \frac{v^2}{R}\vec{n}$ – нормальне (доцентрове) прискорення; $\vec{\tau}$ – одиничний вектор (орт) напрямлений вздовж дотичної до траєкторії в бік руху; R – радіус кривизни траєкторії у даній точці; $\vec{n}$ – одиничний вектор (орт) напрямлений до її центру кривизни по нормалі до траєкторії.

- Модуль повного прискорення

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

- Кінематичне рівняння рівнозмінного руху матеріальної точки по колу радіуса $R = \text{const}$ (або обертального руху абсолютно твердого тіла (АТТ))

$$\vec{\phi} = \vec{\phi}_0 + \vec{\omega}_0 t + \frac{\vec{\epsilon} t^2}{2},$$

де ϕ – кут повороту радіус-вектора матеріальної точки навколо осі в момент часу t .

- Миттєва кутова швидкість

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\phi}}{dt}.$$

- Миттєве кутове прискорення

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

- Для рівнозмінного обертального руху ($\vec{\varepsilon} = \text{const}$) з початковою швидкістю $\vec{\omega}_0$

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon}t.$$

- Кутові та лінійні характеристики при обертальному русі пов'язані співвідношеннями

$$\vec{v} = [\vec{\omega} \times \vec{r}];$$

$$\vec{a}_\tau = [\vec{\varepsilon} \times \vec{r}]; \quad \vec{a}_n = -\omega^2 \vec{r}.$$

- Закон додавання швидкостей в класичній механіці

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u},$$

де $\vec{v}$ – швидкість тіла відносно нерухомої системи відліку K (*абсолютна швидкість*); $\vec{v}'$ – швидкість тіла відносно рухомої системи відліку K' (*відносна швидкість*); $\vec{u}$ – швидкість рухомої системи K' відносно нерухомої системи K (*переносна швидкість*).

Динаміка

- Основний закон динаміки поступального руху матеріальної точки (II закон Ньютона)

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i,$$

де $\vec{p} = m\vec{v}$ – імпульс (кількість руху) матеріальної точки масою m ; $\sum \vec{F}_i$ – векторна сума сил (*рівнодійна*), що діють на матеріальну точку.

- Для випадків, при яких маса $m = \text{const}$, II закон Ньютона

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i, \quad \text{де } \vec{a} \text{ – прискорення.}$$

- Сила пружності, що виникає під час лінійної деформації тіла вздовж осі ox (для області Гука)

$$F = -k\Delta x,$$

де k – коефіцієнт пружності (у випадку з пружиною – жорсткість);

Δx – абсолютна деформація.

- Гравітаційна сила F , яка діє між двома матеріальними точками, визначається законом всесвітнього тяжіння (Ньютона)

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

де γ – гравітаційна стала; m_1, m_2 – маси взаємодіючих тіл; r – відстань між їхніми центрами.

- Сила тертя ковзання

$$F = \mu N,$$

де μ – коефіцієнт тертя; N – сила нормального тиску між поверхнями тіл (реакція опори).

- Закон збереження імпульсу: сумарний імпульс замкненої системи, що складається з N матеріальних точок, залишається незмінним

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \text{const}.$$

- Радіус-вектор центра мас системи матеріальних точок

$$\vec{r}_c = \sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i / \sum_{i=1}^N m_i,$$

де m_i і $\vec{r}_i$ – маса і радіус-вектор i -ї матеріальної точки системи.

- Рівняння Мещерського для руху тіл змінної маси

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} - \vec{u} \frac{dm}{dt},$$

де $\vec{u}$ – швидкість витоку газів.

- Формула Ціолковського для визначення швидкості ракети наприкінці стадії розгону

$$v = u \ln \frac{m_0}{m},$$

де v – кінцева швидкість ракети, m_0/m – відношення мас ракети на старті та в кінці розгону.

- Момент зовнішньої сили відносно центра обертання

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}]; M = F \cdot r \cdot \sin(\vec{r}, \vec{F}),$$

де $\vec{r}$ – радіус-вектор, проведений від центра до точки прикладання сили; $d = r \cdot \sin(\vec{r}, \vec{F})$ – плече сили відносно центра.

- Момент імпульсу тіла відносно нерухомої осі обертання

$$\vec{L} = [\vec{r} \times \vec{p}] = [\vec{r} \times m\vec{v}]; L = p \cdot r \cdot \sin(\vec{r}, \vec{p}),$$

де $\vec{r}$ – радіус-вектор, проведений від осі обертання до тіла.

- Закон динаміки обертального руху АТТ

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum_{i=1}^N \vec{M}_i,$$

де M_i – моменти зовнішніх сил, що діють на АТТ.

- Момент інерції системи N матеріальних точок відносно осі обертання

$$I = \sum_{i=1}^N m_i \cdot r_i^2,$$

де m_i – маса матеріальної точки; r_i – її відстань від осі обертання.

- Для випадків, при яких момент інерції $I = \text{const}$, закон динаміки обертального руху має вигляд

$$I \cdot \ddot{\varphi} = \sum_{i=1}^N \vec{M}_i.$$

- Закон збереження моменту імпульсу: сумарний момент імпульсу замкненої системи, що складається з N тіл, залишається незмінним

$$\sum_{i=1}^N \vec{L}_i = \text{const}.$$

- Зв'язок моменту імпульсу та кутової швидкості

$$\vec{L} = I\vec{\omega}.$$

- Моменти інерції тіл правильної геометричної форми

а) стрижня довжиною l та масою m відносно осі, що проходить через центр мас перпендикулярно до стрижня

$$I = \frac{1}{12} ml^2;$$

б) диска радіусом R відносно осі, що проходить через центр диска і перпендикулярної до його площини

$$I = \frac{1}{2} mR^2;$$

в) кулі радіусом R відносно осі, що проходить через його центр

$$I = \frac{2}{5} mR^2.$$

Статика

- Умови рівноваги твердого тіла: векторна сума всіх зовнішніх сил F_i , що діють на тіло, а також усіх моментів цих сил M_i , відносно вибраної осі обертання, рівні нулеві

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = 0; \quad \sum_{i=1}^N \vec{M}_i = 0.$$

Енергія, робота та потужність

- Зміна енергії тіла визначається роботою сили

$$dA = (\vec{F} \cdot d\vec{r}),$$

де $d\vec{r}$ – вектор переміщення тіла.

- Потужність – робота, що виконується за одиницю часу

$$P = \frac{dA}{dt} = (\vec{F} \cdot \vec{v}).$$

- Закон збереження механічної енергії: в замкнених консервативних системах тіл повна механічна енергія зберігається з часом

$$W = \sum_{i=1}^N W_i^{\text{кін}} + \sum_{i=1}^N W_i^{\text{пот}} = \text{const}.$$

- Кінетична енергія поступального руху тіла

$$W_{\text{Кпост}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}.$$

- Кінетична енергія обертального руху тіла

$$W_{\text{Коб}} = \frac{I\omega^2}{2}.$$

- Потенціальна енергія пружно деформованої пружини

$$W_{\text{П}} = \frac{k\Delta x^2}{2}.$$

- Потенціальна енергія гравітаційної взаємодії двох тіл

$$W_{\text{П}} = -\gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r}.$$

Елементи механіки суцільних середовищ

- Рівняння Бернуллі для стаціонарної нерозривної ламінарної течії ідеальної нестисливої рідини

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const},$$

де ρ – густина рідини; v – швидкість рідини в певному перерізі труби; h – висота, на якій розміщено переріз; p – тиск на стінку труби.

- Рівняння нерозривності течії нестисливої рідини

$$Sv = \text{const},$$

де S – площа перерізу в будь-якому місці труби; v – швидкість руху рідини в цьому перерізі.

- Формула Пуазейля для визначення об'єму в'язкої рідини, що протікає горизонтальною трубкою

$$V = \frac{\pi r^4 t}{8l\eta} \Delta p,$$

де r – радіус трубки; t – час; l – довжина трубки; η – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини; Δp – різниця тисків на кінцях трубки.

- Формула Стокса для сили в'язкого тертя, що діє на сферичне тіло в потоці рідини (газу)

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

де r – радіус кульки; v – швидкість рівномірного руху кульки відносно рідини.

- Число (критерій) Рейнольдса

$$R_e = \frac{\rho v l}{\eta},$$

де ρ – густина речовини; v – швидкість течії; l – характерний розмір в потоці; η – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини.

Основи СТВ

- Релятивістське скорочення довжини тіла

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2},$$

де l_0 – довжина тіла в нерухомій (лабораторній) системі відліку;

$\beta = v/c$; v – швидкість руху тіла; c – швидкість світла у вакуумі.

- Інтервал часу між подіями, виміряний у рухомій системі відліку

$$\tau = \tau_0 \sqrt{1 - \beta^2},$$

де τ_0 – час, виміряний у нерухомій (лабораторній) системі відліку.

- Релятивістський імпульс

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \text{де } m_0 \text{ – маса спокою тіла.}$$

- Релятивістська маса тіла

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

- Повна енергія тіла в релятивістській механіці

$$W = mc^2.$$

- Енергія спокою тіла

$$W_0 = m_0 c^2.$$

- Кінетична енергія тіла

$$W_K = W - m_0 c^2.$$

- Зв'язок між повною енергією W та імпульсом p в релятивістській

механіці $W = c \sqrt{p^2 + (m_0 c)^2}; \quad p = \frac{1}{c} \sqrt{W^2 - (m_0 c^2)^2}.$

1.2. Задачі до модуля «Механіка»

- 1.1. Рівняння руху матеріальної точки вздовж осі ox має вигляд $x = A + Bt + Ct^3$, де $A = 2$ м, $B = 1$ м/с, $C = 0,5$ м/с³. Знайти координату x , швидкість v та прискорення a точки в момент часу 2 с.
- 1.2. Вздовж прямої лінії рухаються дві матеріальні точки згідно з рівняннями: $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^3$ та $x_2 = A_2 + B_2t + C_2t^3$, де $B_1 = 1$ м/с, $C_1 = 0,04$ м/с³, $B_2 = 2$ м/с, $C_2 = 0,01$ м/с³. В який момент часу швидкості цих точок будуть однаковими? Знайти прискорення та цих точок в момент часу 3 с.
- 1.3. Точка рухається вздовж прямої згідно з рівнянням $x = At + Bt^3$, де $A = 6$ м/с, $B = -0,125$ м/с³. Визначити середню швидкість точки в інтервалі часу від 2 с до 6 с.
- 1.4. Матеріальна точка рухається прямолінійно. Рівняння руху має вигляд $x = At + Bt^3$, де $A = 3$ м/с, $B = 0,06$ м/с³. Знайти швидкість v та прискорення a точки в моменти часу 0 та 3 с. Які середні значення швидкості $\langle v \rangle$ та прискорення $\langle a \rangle$ за перші 3 с руху?
- 1.5. Дві матеріальні точки рухаються згідно з рівняннями: $x_1 = A_1t + B_1t^2 + C_1t^3$ та $x_2 = A_2t + B_2t^2 + C_2t^3$, де $A_1 = 4$ м/с, $B_1 = -5,6$ м/с², $C_1 = 1,6$ м/с³, $A_2 = 2$ м/с, $B_2 = -2$ м/с², $C_2 = 1$ м/с³. В який момент часу t прискорення обох точок будуть однаковими? Знайти відповідно швидкості v_1 та v_2 точок у цей момент.
- 1.6. Катер пройшов першу половину шляху із середньою швидкістю в 2 рази більшою, ніж другу. Середня швидкість на всьому шляху становила 4,0 км/год. Яка середня швидкість катеру на першій та другій половинах шляху?
- 1.7. Човен рухається під кутом 60° до берега зі швидкістю 2,0 м/с. Швидкість річки 0,5 м/с. Визначити швидкість руху човна відносно річки.
- 1.8. Тіло вільно падає з висоти 270 м. Поділити цю висоту на три частини h_1 , h_2 , h_3 так, щоб на проходження кожної із них затрачався один і той же час.

- 1.9. Рух точки заданий рівнянням $x = 12t - 2t^2$ (x виражено в метрах, t в секундах). Визначити середню швидкість руху точки в інтервалі часу від 1,0 с до 4,0 с.
- 1.10. Прямолінійний рух описується рівнянням $x = 1 + 3t - 2t^2$ (x виражено в метрах, t в секундах). Де знаходилась точка в початковий момент часу? Як змінюється її швидкість із часом? Коли точка опиниться на початку системи координат?
- 1.11. З даху падають краплі води. Проміжок часу між відривами крапель 0,1 с. На якій відстані одна від одної через час 1,0 с після початку падіння першої краплі будуть знаходитися наступні три?
- 1.12. Автомобіль, рухаючись рівноприскорено, через час 10 с після початку руху досягнув швидкості 36 км/год. Визначити прискорення, з яким рухався автомобіль. Який шлях він при цьому пройшов? Який шлях автомобіль пройшов за останню секунду?
- 1.13. Перший автомобіль рухається рівномірно зі швидкістю 57,6 км/год. У момент проходження ним пункту A із цього пункту починає рухатися другий автомобіль у тому ж напрямку з постійним прискоренням $2,0 \text{ м/с}^2$. Через який час другий автомобіль наздожене перший? На якій відстані від пункту A це відбудеться? Яка буде швидкість другого автомобіля в цей момент?
- 1.14. Мотоцикліст за перші 2 год проїхав шлях 90 км, а наступні 3 год рухався зі швидкістю 50 км/год. Яка середня швидкість на всьому шляху?
- 1.15. Першу чверть шляху потяг пройшов зі швидкістю 60 км/год. Середня швидкість на всьому шляху дорівнювала 40 км/год. З якою швидкістю потяг пройшов решту шляху?
- 1.16. Автомобіль проходить першу половину шляху з середньою швидкістю 70 км/год, а іншу – з середньою швидкістю 30 км/год. Визначити середню швидкість на всьому шляху.
- 1.17. Швидкість автомобіля за 20 с зменшилася від 20 м/с до 10 м/с. З яким середнім прискоренням рухався автомобіль?

- 1.18. Тіло, рухаючись рівноприскорено зі стану спокою, проходить за четверту секунду від початку руху шлях 7,0 м. Який шлях пройде тіло за десятю секунду? Яку швидкість воно набуде на кінець десятої секунди від початку руху?
- 1.19. Літак для зльоту має набути швидкість 250 км/год. Скільки часу триває розгін, якщо ця швидкість досягається в кінці злітної смуги довжиною 1 км? Яке прискорення літака? Яка середня швидкість літака на цій ділянці? Рух літака вважати рівноприскореним.
- 1.20. При якій швидкості літаки можуть приземлитися на смугі аеродрому довжиною 800 м при гальмуванні з прискоренням $2,7 \text{ м/с}^2$?
- 1.21. Тіло, що вільно падає зі стану спокою, у кінці першої половини шляху досягає швидкості 20 м/с. Яка швидкість тіла у момент падіння? Який час воно падає і з якої висоти?
- 1.22. Автомобіль проходить першу третину шляху зі швидкістю v_1 , а частину шляху, що залишилась – зі швидкістю 50 км/год. Визначити середню швидкість на першому відрізку шляху, якщо середня швидкість на всьому шляху 37,5 км/год.
- 1.23. У круту прірву упав камінь. Людина, яка стоїть у тому місці, звідки впав камінь, почула звук його падіння через 6,0 с. Знайти висоту прірви. Швидкість звуку у повітрі 340 м/с.
- 1.24. З гелікоптера викинули без початкової швидкості два вантажі, причому другий на 1,0 с пізніше першого. Визначити відстань між вантажами через 2,0 с та 40 с після початку руху першого вантажу. Опором повітря знехтувати.
- 1.25. Тіло падало з деякої висоти і останні 196 м пройшло за час 4,0 с. Який час і з якої висоти воно падає?
- 1.26. З яким прискоренням рухається тіло, якщо за восьму секунду після початку руху воно пройшло шлях 30 м? Знайти шлях за п'ятнадцяту секунду падіння.
- 1.27. Тіло рухається зі швидкістю 10 м/с і прискоренням $-2,0 \text{ м/с}^2$. Визначити, який шлях тіло пройде за 6,0 с та 8,0 с.

- 1.28. У початковий момент часу потяг мав швидкість 10 м/с , а в момент часу $5,0 \text{ с}$ швидкість 18 км/год . Визначити прискорення потягу та його середню швидкість.
- 1.29. Першу половину часу свого руху автомобіль мав швидкість 80 км/год , а другу половину – 40 км/год . Яка середня швидкість руху автомобіля?
- 1.30. Пароплав рухається по річці від пункту A до пункту B зі швидкістю 16 км/год , а в зворотному напрямку 10 км/год . Знайти середні швидкості пароплава і течії річки.
- 1.31. Швидкість течії річки 1 м/с , швидкість човна відносно води 2 м/с . Знайти швидкість човна відносно берега в трьох випадках: він пливе за течією, проти течії та під кутом 90° до течії.
- 1.32. Літак летить відносно повітря зі швидкістю 800 км/год . Із заходу на схід дме вітер зі швидкістю 15 м/с . З якою швидкістю літак буде рухатися відносно землі і під яким кутом до меридіану треба тримати курс, щоб він рухався на південь, північ, захід і схід?
- 1.33. Літак летить з пункту A до пункту B , розташованому на відстані 300 км на схід. Визначити тривалість польоту за відсутності вітру; якщо вітер дме з півдня на північ та із заходу на схід. Швидкість вітру 20 м/с . Швидкість літака відносно повітря 600 км/год .
- 1.34. Човен рухається перпендикулярно до берега зі швидкістю $7,2 \text{ км/год}$. Течія відносить його на 150 м вниз по річці. Знайти швидкість течії річки та час, необхідний човну, щоб досягнути протилежного берега річки. Ширина річки $0,5 \text{ км}$.
- 1.35. Вертикально кинуте вгору тіло повернулось на землю через 3 с . Якою була початкова швидкість? На яку висоту піднялось тіло? Опір повітря не враховувати.
- 1.36. Камінь підкинули вгору на висоту 10 м . Через який час він упаде на землю? На яку висоту підніметься камінь, якщо початкову швидкість його збільшити удвічі? Опір повітря не враховувати.

- 1.37. З аеростата, що знаходиться на висоті 300 м, упав камінь. Через який час камінь досягне землі, якщо: аеростат піднімався зі швидкістю 5 м/с; аеростат опускався зі швидкістю 5 м/с.
- 1.38. Накреслити графік залежності висоти h та швидкості v від часу t для тіла, кинутого вертикально вгору з початковою швидкістю 10 м/с. Побудувати графік для інтервалу часу від 0 до 2 с, тобто $0 \leq t \leq 2$ с через кожні $\Delta t = 0,2$ с. Опором повітря знехтувати. Прискорення вільного падіння обрати рівним 10 м/с^2 .
- 1.39. Тіло падає вертикально вниз з висоти 19,6 м зі стану спокою. Який шлях пройде тіло за час 0,1 с на початку і в кінці свого руху. Опором повітря знехтувати.
- 1.40. Тіло падає вертикально вниз з висоти 19,6 м зі стану спокою. За який час тіло пройде перший та останній метр свого шляху. Опором повітря знехтувати.
- 1.41. Тіло, що вільно падає, в останню секунду свого падіння проходить половину всього шляху. Визначити, з якої висоти падає тіло та тривалість його падіння.
- 1.42. Тіло A кинуто вертикально вгору з початковою швидкістю v_1 , тіло B падає вниз з висоти h з початковою швидкістю v_2 . Знайти залежність відстані між тілами A і B від часу, якщо відомо, що тіла почали рухатись одночасно.
- 1.43. Відстань між двома станціями метрополітену 1,5 км. Першу половину цієї відстані потяг проходить рівноприскорено, другу – рівносповільнено з тим самим прискоренням. Максимальна швидкість потяга 50 км/год. Знайти прискорення та час руху потяга між станціями.
- 1.44. Потяг рухається зі швидкістю 36 км/год. Якщо вимкнути тягу, потяг, рухаючись рівносповільнено, зупиниться через 20 с. Знайти прискорення гальмування потяга та визначити, на якій відстані до зупинки треба вимкнути тягу.
- 1.45. Швидкість потяга, що рухається рівносповільнено, при гальмуванні зменшується протягом 1 хв від 40 км/год до

- 28 км/год. Знайти прискорення гальмування потяга та відстань, яку проходить потяг за час гальмування.
- 1.46. Вагон рухається рівносповільнено з прискоренням $0,5 \text{ м/с}^2$, його початкова швидкість 54 км/год . Через який час і на якій відстані від початкової точки вагон зупиниться?
 - 1.47. Тіло A , яке має початкову швидкість v_{01} , рухається з постійним прискоренням a_1 . Одночасно з тілом A починає рухатись тіло B з початковою швидкістю $v_{02} > v_{01}$ та з постійним від'ємним прискоренням a_2 . Через який час після початку руху обидва тіла будуть мати однакову за величиною швидкість? Продемонструвати розв'язок графічно.
 - 1.48. Тіло A починає рухатись з початковою швидкістю 2 м/с та з постійним прискоренням $a > 0$. Через 10 с після початку руху тіла A з цієї ж точки і в тому ж напрямі починає рухатись тіло B з початковою швидкістю 12 м/с і з тим же прискоренням. Визначити найменше значення цього прискорення a , при якому тіло B не зможе наздогнати тіло A . Приведіть графічне обґрунтування розв'язку.
 - 1.49. Залежність координати тіла x від часу t описується рівнянням $x = At - Bt^2 + Ct^3$, де $A = 2 \text{ м/с}$, $B = 3 \text{ м/с}^2$ та $C = 4 \text{ м/с}^3$. Знайти залежність швидкості та прискорення від часу; шлях, пройдений тілом; швидкість та прискорення тіла через 2 с після початку руху. Побудувати графіки для координати, швидкості та прискорення для $0 \leq t \leq 3 \text{ с}$ через $0,5 \text{ с}$.
 - 1.50. Залежність координати тіла x від часу t задається рівнянням $x = A - Bt + Ct^2$, де $A = 6 \text{ м}$, $B = 3 \text{ м/с}$ та $C = 2 \text{ м/с}^2$. Знайти середні швидкості та прискорення тіла в інтервалі $1 \dots 4 \text{ с}$. Побудувати графіки для координати, швидкості та прискорення для $0 \leq t \leq 5$ через 1 с .
 - 1.51. Залежність пройденого шляху від часу описується рівнянням $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $C = 0,14 \text{ м/с}^2$ та $D = 0,01 \text{ м/с}^3$. Через який час після початку руху прискорення тіла буде рівне 1 м/с^2 . Чому дорівнює середнє прискорення тіла за цей проміжок часу?

- 1.52. У скільки разів нормальне прискорення точки, що лежить на ободі колеса, більше її тангенціального прискорення для моменту, коли вектор повного прискорення цієї точки складає кут 30° з вектором її лінійної швидкості?
- 1.53. Тіло обертається навколо нерухомої осі за законом $\varphi = A + Bt + Ct^2$, де $A = 10$ рад, $B = 20$ рад/с; $C = -2$ рад/с². Знайти повне прискорення точки, що знаходиться на відстані 0,1 м від осі обертання для моменту часу 4 с.
- 1.54. Точка обертається по колу з радіусом 1,2 м. Рівняння руху точки $\varphi = At + Bt^3$, де $A = 0,5$ рад/с; $B = 0,2$ рад/с³. Визначити тангенціальне a_τ , нормальне a_n та повне a прискорення точки в момент часу 4 с.
- 1.55. Визначити повне прискорення в момент 3 с точки, що знаходиться на ободі колеса радіусом 0,5 м, що обертається за законом $\varphi = At + Bt^3$, де $A = 2$ рад/с, $B = 0,2$ рад/с².
- 1.56. Точка обертається по колу радіусом 8 м. У деякий момент часу нормальне прискорення точки 4 м/с², вектор повного прискорення утворює у цей момент з вектором нормального прискорення кут 60° . Знайти швидкість та тангенціальне прискорення точки.
- 1.57. Диск радіусом 0,2 м обертається за законом $\varphi = A + Bt + Ct^2$, де $A = 3$ рад, $B = -1$ рад/с; $C = 0,1$ рад/с². Визначити тангенціальне, нормальне та повне прискорення точок на ободі диска для моменту часу 10 с.
- 1.58. Точка рухається по колу радіусом 4 м. Закон її руху визначається рівнянням $x = A + Bt^2$, де $A = 8$ м, $B = -2$ м/с². Знайти момент часу, коли нормальне прискорення точки 9 м/с², швидкість, тангенціальне та повне прискорення точки в цей момент часу.
- 1.59. Тіло кинуто зі швидкістю 100 м/с під кутом 60° до горизонту. Знайти значення та напрямок швидкості тіла через 5 с після початку руху. Опором повітря знехтувати.
- 1.60. Ракета рухається рівносповільнено по колу радіусом 10 км та проходить шлях 16 км, маючи швидкість в початковій точці

- 900 м/с та в кінцевій 100 м/с. Визначити повне лінійне прискорення ракети на початку та у кінці шляху.
- 1.61. Колесо радіусом 10 см обертається так, що залежність лінійної швидкості точок на ободі колеса, від часу має вигляд: $v = At + Bt^2$, де $A = 3 \text{ м/с}^2$, $B = 1 \text{ м/с}^3$. Знайти кут між вектором повного прискорення та радіусом колеса в момент часу 2 с.
- 1.62. Визначити обумовлену обертанням Землі навколо своєї осі швидкість та доцентрове прискорення точок поверхні Землі на широті Києва (50°). Радіус Землі вважати 6370 км.
- 1.63. Тіло рухається рівносповільнено по закругленій частині шляху з радіусом кривизни 100 м за законом $S = A + Bt + Ct^2$, де $A = 50 \text{ м}$; $B = 26 \text{ м/с}$; $C = -1,5 \text{ м/с}^2$. Знайти швидкість тіла, його тангенціальне, нормальне та повне прискорення через 2 с після початку руху.
- 1.64. В який момент часу у тіла, кинутого горизонтально з початковою швидкістю 19,6 м/с, тангенціальне прискорення дорівнюватиме нормальному?
- 1.65. Визначити швидкість тіла через 3,0 с після того, як його кинули горизонтально зі швидкістю 10 м/с.
- 1.66. Тіло кинуто під кутом 60° до горизонту з початковою швидкістю 10 м/с. Визначити момент часу, коли швидкість напрямлена під кутом 45° до горизонту.
- 1.67. Камінь кинули зі швидкістю 12 м/с під кутом 60° до горизонту. Визначити радіус кривизни його траєкторії у верхній точці та в момент падіння на землю.
- 1.68. З обриву у горизонтальному напрямку кидають камінь зі швидкістю 20 м/с. Визначити точку траєкторії, радіус кривизни в якій у вісім разів більший за радіус кривизни в початковій точці траєкторії. Прискорення вільного падіння вважати рівним 10 м/с^2 . Розв'язок супроводити рисунком.
- 1.69. З гелікоптера, що летить на висоті 125 м зі швидкістю 180 км/год скинули вантаж. На якій висоті його швидкість буде напрямлена під кутом 45° до горизонту? Опором повітря знехтувати.

- 1.70. З вежі висотою 25 м горизонтально кинули камінь зі швидкістю 15 м/с. Знайти час руху каменю та на якій відстані від основи вежі він впаде на землю; з якою швидкістю він впаде на землю; який кут утворює траєкторія каменю з горизонтом в точці його падіння на землю? Опором повітря знехтувати.
- 1.71. Кинутий горизонтально камінь впав на землю через 0,5 с на відстані 5 м по горизонталі від місця кидання. З якої висоти був кинутий камінь? Яку початкову швидкість він мав? З якою швидкістю він упав на землю? Який кут утворює траєкторія каменю з горизонтом в точці його падіння на землю? Опором повітря знехтувати.
- 1.72. Кинутий горизонтально м'яч вдаряється об стіну, що знаходиться на відстані 5 м від місця кидання. Висота місця зіткнення м'яча зі стінкою на 1 м менше висоти, з якої кинуто м'яч. З якої швидкістю кинуто м'яч? Під яким кутом м'яч підлітає до поверхні стінки? Опором повітря знехтувати.
- 1.73. Камінь кинуто у горизонтальному напрямку. Через 0,5 с після початку руху швидкість каменю стала в 1,5 рази більше його початкової швидкості. Яку початкову швидкість мав камінь? Опором повітря знехтувати.
- 1.74. Камінь кинуто горизонтально зі швидкістю 10 м/с. Знайти радіус кривизни траєкторії каменю через 3 с після початку руху. Опором повітря знехтувати.
- 1.75. М'яч кинули зі швидкістю 10 м/с під кутом 40° до горизонту. Знайти: на яку висоту підніметься м'яч, на якій відстані від місця кидання м'яч упаде на землю, скільки часу він буде у русі. Опором повітря знехтувати.
- 1.76. На спортивних змаганнях у Києві спортсмен штовхнув ядро на відстань 16 м 20 см. На яку відстань полетить таке ж ядро у Ташкенті при таких же умовах (при такій же початковій швидкості, напрямленій під таким же кутом до горизонту)? Прискорення сили тяжіння у Києві $981,2 \text{ см/с}^2$, в Ташкенті $980,3 \text{ см/с}^2$.

- 1.77. На горизонтальній поверхні тіло кинуто під кутом до горизонту. Тривалість всього польоту складає 4 с. Знайти найбільшу висоту підняття цього тіла. Опором повітря знехтувати. Прискорення вільного падіння вважати рівним 10 м/с^2 .
- 1.78. Кинутий зі швидкістю 12 м/с під кутом 45° до горизонту камінь упав на землю на відстані S від місця кидання. З якої висоти треба кинути камінь у горизонтальному напрямку, щоб при тій же початковій швидкості він упав на теж саме місце?
- 1.79. Тіло кинуто зі швидкістю $14,7 \text{ м/с}$ під кутом 30° до горизонту. Знайти нормальне та тангенціальне прискорення тіла через $1,25 \text{ с}$ після початку руху. Опором повітря знехтувати.
- 1.80. Тіло кинуто зі швидкістю 10 м/с під кутом 45° до горизонту. Знайти радіус кривизни траєкторії тіла через 1 с після початку руху. Опором повітря знехтувати.
- 1.81. Тіло кинуто під кутом до горизонту. Знайти величину початкової швидкості та кута, якщо відомо, що найбільша висота підйому тіла 3 м та радіус кривизни траєкторії тіла у верхній точці траєкторії 3 м . Опором повітря знехтувати.
- 1.82. З вежі висотою 25 м кинули камінь зі швидкістю 15 м/с під кутом 30° до горизонту. Визначити: скільки часу камінь буде у русі; на якій відстані від основи вежі він впаде на землю; з якою швидкістю він впаде на землю; який кут утворить траєкторія каменю з горизонтом у точці його падіння на землю. Опором повітря знехтувати.
- 1.83. Хлопчик кидає м'яч зі швидкістю 10 м/с під кутом 45° до горизонту. М'яч ударяється об стіну, яка знаходиться на відстані 3 м від хлопчика. Визначити, коли м'яч ударяється об стіну (при підйомі м'яча чи при його опусканні), на якій висоті це трапиться (відраховуючи від висоти, з якої кинуто м'яч) та швидкість м'яча у момент удару. Опором повітря знехтувати.
- 1.84. Знайти кутову швидкість добового обертання Землі, годинникової та хвилинної стрілки на годиннику, штучного супутника Землі, який обертається по коловій орбіті з періодом

обертання 88 хв, лінійну швидкість руху цього штучного супутника, якщо відомо, що його орбіта розміщена на відстані 200 км від поверхні Землі.

- 1.85. З якою швидкістю має рухатись літак на екваторі зі сходу на захід, щоб пасажирам цього літака Сонце здавалось нерухомим на небі?
- 1.86. Два диски розташовані на осі на відстані 0,5 м один від одного, обертаються з частотою 1600 об/хв. Куля, яка летить вздовж осі, пробиває обидва диски, при цьому отвір від кулі у другому диску зміщений відносно отвору у першому диску на кут 12° . Знайти швидкість кулі.
- 1.87. Знайти радіус колеса, що обертається, якщо відомо, що лінійна швидкість точки, що лежить на ободі, у 2,5 рази більша за лінійну швидкість точки, що лежить на 5 см ближче до осі.
- 1.88. Колесо, обертаючись рівноприскорено, досягло кутової швидкості 20 рад/с через 10 обертів після початку обертання. Знайти кутове прискорення колеса.
- 1.89. Колесо, обертаючись рівносповільнено, при гальмуванні зменшило свою частоту за 1 хв з 300 об/хв до 180 об/хв. Знайти кутове прискорення колеса та число обертів, яке зробило колесо за цей час.
- 1.90. Вентилятор обертається з частотою 900 об/хв. Після виключення вентилятор, обертаючись рівносповільнено, зробив до зупинки 75 обертів. Скільки часу пройшло з моменту виключення вентилятора до повної його зупинки?
- 1.91. Вал обертається з частотою 180 об/хв. З деякого моменту часу вал гальмується та обертається рівносповільнено з кутовим прискоренням 3 рад/с^2 . Через який час вал зупиниться? Скільки обертів він зробить до зупинки?
- 1.92. Точка рухається по колу радіусом 20 см з постійним тангенціальним прискоренням 5 см/с^2 . Через який час після початку руху нормальне прискорення точки буде рівне тангенціальному? Буде вдвічі його більше?

- 1.93. Точка рухається по колу радіусом 10 см з постійним тангенціальним прискоренням. Знайти тангенціальне прискорення точки, якщо відомо, що до кінця п'ятого оберту після початку руху швидкість точки стала дорівнювала 50 см/с.
- 1.94. Визначити швидкість та повне прискорення точки в момент часу 2 с, якщо вона рухається по колу радіусом 1 м за законом $\varphi = At + Bt^3$, де $A = 8$ м/с, $B = 0,1$ м/с³, φ – кут повороту радіуса-вектора.
- 1.95. Точка рухається по колу радіусом 10 см з постійним тангенціальним прискоренням. Знайти нормальне прискорення точки через 20 с після початку руху, якщо відомо, що на кінець п'ятого оберту лінійна швидкість точки 10 м/с.
- 1.96. У першому наближенні можна вважати, що електрон в атомі водню рухається по коловій орбіті з постійною швидкістю. Знайти кутову швидкість електрона та його нормальне прискорення. Радіус орбіти прийняти рівним $0,5 \cdot 10^{-10}$ м, швидкість електрона на цій орбіті $2,2 \cdot 10^6$ м/с.
- 1.97. Колесо радіусом 10 см обертається з постійним кутовим прискоренням $3,14$ рад/с². Для точок на ободі колеса на кінець першої секунди після початку руху знайти кутову швидкість, лінійну швидкість, тангенціальне прискорення, нормальне прискорення, повне прискорення та кут, що складає напрямок повного прискорення з радіусом колеса.
- 1.98. Точка рухається по колу так, що залежність шляху від часу $S = A + Bt + Ct^2$, де $B = -2$ м/с та $C = 1$ м/с². Знайти лінійну швидкість точки, її тангенціальне, нормальне та повне прискорення через 3 с після початку руху, якщо відомо, що нормальне прискорення точки в момент часу 2 с дорівнює $0,5$ м/с².
- 1.99. Знайти кутове прискорення колеса, якщо відомо, що через 2 с після початку рівноприскореного руху вектор повного прискорення точки на ободі становить 60° з напрямком її лінійної швидкості.

- 1.100. Колесо обертається з постійним кутовим прискоренням 2 рад/с^2 . Через $0,5 \text{ с}$ після початку руху повне прискорення колеса дорівнювало $13,6 \text{ см/с}^2$. Знайти радіус колеса.
- 1.101. Колесо радіусом $0,1 \text{ м}$ обертається так, що залежність кута повороту радіуса колеса від часу $\varphi = A + Bt + Ct^3$, де $B = 2 \text{ рад/с}$ і $C = 1 \text{ рад/с}^3$. Для точок, що лежать на ободі колеса, через 2 с після початку руху знайти такі величини: кутову та лінійну швидкості, кутове, тангенціальне та нормальне прискорення.
- 1.102. Колесо радіусом 5 см обертається так, що залежність кута повороту радіуса від часу визначається $\varphi = A + Bt + Ct^3$ де $C = 1 \text{ рад/с}^3$. Для точок, що лежать на ободі колеса, знайти зміну тангенціального прискорення за кожную секунду руху.
- 1.103. Колесо радіусом 10 см обертається так, що залежність лінійної швидкості точок, що лежать на ободі колеса, від часу визначається $v = At + Bt^2$, де $A = 3 \text{ см/с}^2$ та $B = 1 \text{ см/с}^3$. Знайти кут між вектором повного прискорення і радіусом колеса в моменти часу 2 с після початку руху.
- 1.104. Колесо обертається так, що залежність кута повороту радіуса колеса від часу визначається $\varphi = Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $B = 1 \text{ рад/с}$; $C = 1 \text{ рад/с}^2$ та $D = 1 \text{ рад/с}^3$. Знайти радіус колеса, якщо відомо, що до кінця другої секунди руху нормальне прискорення точок, що лежать на ободі колеса, дорівнює $3,46 \cdot 10^2 \text{ м/с}^2$.
- 1.105. Чому дорівнює вага космонавта при зльоті ракети вертикально вгору з прискоренням $5g$? Маса космонавта 80 кг .
- 1.106. На нитці, що витримує натяг 10 Н , піднімають вантаж масою $0,5 \text{ кг}$ зі стану спокою вертикально вгору. Вважаючи рух рівноприскореним та силу опору 1 Н , знайти найбільшу висоту, на яку можна підняти вантаж за 1 с так, щоб нитка не обірвалась.
- 1.107. Із трубки з діаметром внутрішнього каналу 2 см зі швидкістю 5 м/с витікає струмінь води та вдаряється під кутом 45° об поверхню горизонтальної пластини. Потім струмінь тече по пластині зі швидкістю $0,5 \text{ м/с}$. З якою силою струмінь води діє

на пластину? Який кут з поверхнею пластини утворить ця сила?

- 1.108. У ліфті, що рухається прискорено, на пружинних терезах висить вантаж масою 0,1 кг. При цьому показник терезів становить 1,1 Н. Знайти прискорення ліфта.
- 1.109. Тіло масою 0,5 кг рухається прямолінійно, причому залежність пройденого тілом шляху від часу задається рівнянням $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$, де $C = 5 \text{ м/с}^2$ і $D = 1 \text{ м/с}^3$. Знайти силу, що діє на тіло наприкінці першої секунди руху.
- 1.110. До нитки підвішений вантаж масою 1 кг. Знайти натяг нитки, якщо нитку з вантажем піднімати з прискоренням 5 м/с^2 ; опускати з прискоренням 5 м/с^2 .
- 1.111. Сталевий дріт деякого діаметра витримує вантаж до 4400 Н. З яким найбільшим прискоренням можна піднімати вантаж 3900 Н, підвішений на цьому дроті, щоб він при цьому не розірвався?
- 1.112. Маса ліфта з пасажирями 800 кг. Знайти, з яким прискоренням і в якому напрямку рухається ліфт, якщо відомо, що натяг троса, що утримує ліфт, у першому випадку 12000 Н, у другому 6000 Н.
- 1.113. До нитки підвішена гиря. Якщо піднімати її з прискоренням 2 м/с^2 , то натяг нитки буде вдвічі меншим за натяг, при якому нитка розірветься. З яким максимальним прискоренням треба піднімати цю гирю, щоб нитка не розірвалась?
- 1.114. Автомобіль вагою 10^4 Н зупиняється при гальмуванні за 5 с, пройшовши при цьому рівносповільнено відстань 25 м. Знайти початкову швидкість руху автомобіля і силу гальмування.
- 1.115. Потяг масою $5 \cdot 10^5 \text{ кг}$, рухаючись рівносповільнено, зменшив свою швидкість протягом 1 хв від 40 км/год до 28 км/год. Знайти силу гальмування.
- 1.116. Вагон вагою 10^6 Н рухається з початковою швидкістю 54 км/год. Визначити середню силу, що діє на вагон, якщо відомо, що він зупиняється протягом 1 хв; 40 с; 10 с; 1 с.

- 1.117. Яку силу необхідно прикласти до вагона, що стоїть на рейках, щоб вагон почав рухатись рівноприскорено і за час 30 с пройшов шлях 90 м? Маса вагона 16 т. Під час руху на вагон діє сила тертя, що дорівнює 0,05 ваги вагона.
- 1.118. Потяг вагою якого $4,9 \cdot 10^6$ Н, після припинення дії тяги паровоза під дією сили тертя $9,8 \cdot 10^4$ Н зупиняється через 1 хв. З якою швидкістю рухався потяг?
- 1.119. Вагон масою 10^5 кг рухається рівносповільнено з прискоренням $0,3$ м/с². Початкова швидкість вагона 54 км/год. Яка сила гальмування діє на вагон? Через який час вагон зупиниться? Яку відстань вагон пройде до зупинки?
- 1.120. Тіло масою 0,5 кг рухається прямолінійно, причому залежність пройденого тілом шляху від часу має вигляд: $S = A - Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $C = 5$ м/с² і $D = 1$ м/с³. Знайти силу, що діє на тіло наприкінці першої секунди руху.
- 1.121. Під дією постійної сили 10 Н тіло рухається прямолінійно так, що залежність пройденої відстані від часу має вигляд: $S = A - Bt + Ct^2$. Знайти масу тіла, якщо $C = 1$ м/с³.
- 1.122. Тіло масою 0,5 кг рухається так, що залежність пройденого шляху від часу руху має вигляд: $S = A \sin(\omega t)$, де $A = 5$ см і $\omega = \pi$ рад/с. Знайти силу, що діє на тіло через 1/6 с після початку руху.
- 1.123. Молекула масою $4,65 \cdot 10^{-26}$ кг, що летить нормально до стінки посудини зі швидкістю 600 м/с, ударяється об стіну і пружно відбивається від неї. Знайти імпульс сили, отриманий стінкою за час удару.
- 1.124. Кулька масою 0,1 кг, падаючи вертикально вниз з деякої висоти, стикається з похилою площиною і пружно відскакує від неї. Кут нахилу площини до горизонту 30°. Імпульс сили, отриманий площиною під час удару 1,73 Н·с. Скільки часу пройде від моменту удару кульки об площину до моменту, коли вона буде перебувати в найвищій точці траєкторії?
- 1.125. Струмінь води перерізом 6 см² вдаряється об стіну під кутом 60° до нормалі й пружно відскакує від неї без втрати

швидкості. Знайти силу, що діє на стінку, якщо відомо, що швидкість течії води в струмені 12 м/с.

- 1.126. Трамвай рушає з місця з постійним прискоренням $0,8 \text{ м/с}^2$. Через 12 с після початку руху двигун трамвая вимикається й трамвай рухається до зупинки рівносповільнено. На всьому шляху руху трамвая коефіцієнт тертя 0,01. Знайти найбільшу швидкість руху трамвая, загальну тривалість руху, прискорення гальмування трамвая, загальну відстань, пройдену трамваем.
- 1.127. Вага автомобіля $9,8 \cdot 10^3 \text{ Н}$. Під час руху на автомобіль діє сила тертя, що дорівнює 0,1 його ваги. Чому має дорівнювати сила тяги двигуна автомобіля, щоб автомобіль рухався:
а) рівномірно; б) з прискоренням 2 м/с^2 ?
- 1.128. Який кут з горизонтом становить поверхня бензину автомобільного бензобака, що рухається горизонтально з постійним прискоренням 2 м/с^2 ?
- 1.129. До стелі трамвайного вагона на нитці підвішена куля. Вагон гальмується і його швидкість рівномірно змінюється за 3 с від 18 км/год до 6 км/год. На який кут відхилиться при цьому нитка з кулею?
- 1.130. Залізничний вагон гальмується і його швидкість рівномірно змінюється за 3,3 с від 47,5 км/год до 30 км/год. При якому граничному значенні коефіцієнта тертя між валізою й полицею валіза при гальмуванні починає ковзати по полиці?
- 1.131. Канат лежить на столі так, що частина його звисає зі стола і починає ковзати тоді, коли довжина частини, що звисає, становить 15% всієї його довжини. Чому дорівнює коефіцієнт тертя каната по столу?
- 1.132. Автомобіль має масу 1 т. Під час руху на автомобіль діє сила тертя, що дорівнює 0,1 його ваги. Знайти силу тяги двигуна автомобіля при русі його з постійною швидкістю в гору та з гори. Гора має нахил в 1 м на кожні 25 м шляху.

- 1.133. Кинутий по поверхні льоду зі швидкістю $2,44 \text{ м/с}$ камінь масою $1,05 \text{ кг}$ під дією сили тертя зупиняється через 10 с . Знайти силу тертя, вважаючи її постійною.
- 1.134. Знайти силу тяги двигуна автомобіля, що рухається в гору з прискоренням 1 м/с^2 . Нахил гори 1 м на кожні 25 м шляху. Вага автомобіля $9,8 \cdot 10^3 \text{ Н}$. Коефіцієнт тертя $0,1$.
- 1.135. Тіло лежить на похилій площині, що складає з горизонтом кут 4° . При якому граничному значенні коефіцієнта тертя тіло починає ковзати вниз по похилій площині? З яким прискоренням воно буде ковзати по площині, якщо коефіцієнт тертя $0,03$? Скільки часу буде потрібно для проходження при цих умовах 100 м шляху? Яку швидкість тіло матиме наприкінці цих 100 м ?
- 1.136. Тіло ковзає вниз по похилій площині, що складає з горизонтом кут 45° . Пройшовши відстань $36,4 \text{ см}$, тіло набуває швидкості 2 м/с . Чому дорівнює коефіцієнт тертя тіла об площину?
- 1.137. Тіло ковзає вниз по похилій площині, що складає з горизонтом кут 45° . Залежність пройденого тілом шляху від часу має вигляд: $S = Ct^2$, де $C = 1,73 \text{ м/с}^2$. Знайти коефіцієнт тертя тіла об площину.
- 1.138. Невагомий блок укріплений на кінці стола (рис. 1.1). Вантажі A і B рівної маси в 1 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через блок. Коефіцієнт тертя вантажу B об стіл $0,1$. Знайти прискорення, з яким рухаються вантажі та натяг нитки. Тертям у блоці знехтувати.
- 1.139. Невагомий блок закріплений на вершині похилої площини (рис. 1.2), що складає з горизонтом кут 30° . Вантажі рівної

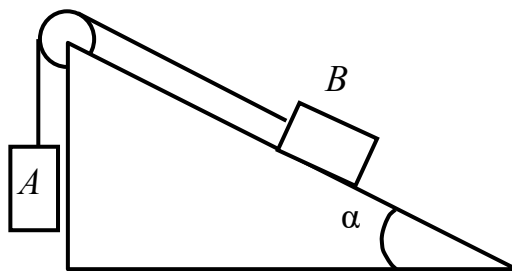


Рис. 1.2

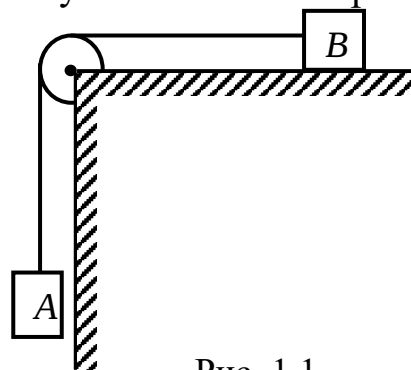


Рис. 1.1

маси в 1 кг з'єднані ниткою, перекинутою через блок. Знайти прискорення, з яким рухаються вантажі та натяг нитки. Тертям у блоці, а також тертям гирі B по похилій площині знехтувати.

- 1.140. Розв'язати попередню задачу за умови, що коефіцієнт тертя гирі B об площину дорівнює 0,1. Тертям у блоці знехтувати.

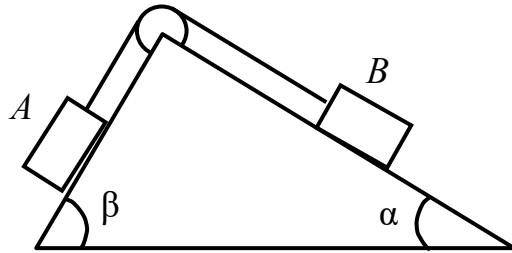


Рис. 1.3

- 1.141. Невагомий блок закріплений на вершині двох дотичних похилих площин, що утворюють з горизонтом кути 30° і 45° відповідно (рис. 1.3). Гирі A і B рівної маси в 1 кг з'єднані ниткою й

перекинуті через блок. Знайти прискорення, з яким рухаються гирі і натяг нитки. Тертям гирь A і B об площини, а також тертям у блоці знехтувати.

- 1.142. Розв'язати попередню задачу за умови, що коефіцієнти тертя гирь A і B об площини 0,1. Тертям у блоці знехтувати.
- 1.143. На яку долю зменшиться вага тіла на екваторі внаслідок обертання Землі навколо осі?
- 1.144. Якої тривалості була б доба на Землі, якби тіла на екваторі стали невагомими?
- 1.145. Трамвайний вагон масою $5 \cdot 10^3$ кг їде по закругленню радіусом 128 м. Знайти силу бічного тиску коліс на рейки при швидкості руху 9 км/год.
- 1.146. Відро з водою рівномірно обертають у вертикальній площині по колу радіусом 1 м. Знайти найменшу швидкість обертання відра, при якій в найвищій точці вода з нього не виливається та визначити вагу води при цій швидкості у найвищій і найнижчій точках кола. Маса води у відрі 5 кг, масою відра знехтувати.
- 1.147. Закріплений на тонкому стрижні довжиною 50 см камінь рівномірно обертають у вертикальній площині так, що стрижень весь час перебуває в стані розтягу. Знайти масу

каменю, якщо різниця між максимальним і мінімальним натягами стрижня дорівнює 100 Н.

- 1.148. Прив'язаний на тонкій нитці довжиною 50 см камінь обертають по колу у вертикальній площині. Знайти масу каменю, якщо різниця між максимальним і мінімальним натягами нитки дорівнює 120 Н. Тертям об повітря нехтувати.
- 1.149. Гирька масою 50 г прив'язана до нитки довжиною 30 см та описує в горизонтальній площині коло радіусом 15 см. Знайти силу натягу нитки.
- 1.150. Гирька масою 50 г прив'язана до нитки довжиною 25 см та описує в горизонтальній площині коло. Частота обертання гирьки 2 об/с. Знайти силу натягу нитки.
- 1.151. Диск обертається навколо вертикальної осі з частотою 30 об/хв. На відстані 20 см від осі обертання на диску лежить тіло. Який повинен бути коефіцієнт тертя між тілом і диском, щоб тіло не зісковзнуло з диска?
- 1.152. Літак, що летить зі швидкістю 900 км/год, робить «мертву петлю». Яким має бути її радіус, щоб найбільша сила, що притискає льотчика до сидіння, дорівнювала п'ятикратній вазі льотчика?
- 1.153. Мотоцикліст їде по горизонтальній дорозі зі швидкістю 72 км/год, роблячи поворот радіусом кривизни 100 м. Яким має бути нахил мотоцикла, щоб не впасти при повороті?
- 1.154. До стелі трамвайного вагона підвішена на нитці куля. Вагон їде зі швидкістю 9 км/год по закругленню радіусом 36,4 м. На який кут від вертикалі відхиляється при цьому нитка з кулею?
- 1.155. На закругленні дорога має ухил в 10° при радіусі закруглення 100 м. На яку оптимальну швидкість розрахована ділянка дороги?
- 1.156. Закріплений на нитці вантаж масою 1 кг відхиляють на кут 30° . Знайти натяг нитки в момент проходження вантажем положення рівноваги.
- 1.157. Хлопчик обертається на «велетенських кроках» із частотою 16 об/хв. Довжина канатів дорівнює 5 м. Який кут з вертикаллю

становлять канати «велетенських кроків»? Який натяг канатів, якщо маса хлопчика дорівнює 45 кг. Яка лінійна швидкість обертання хлопчика?

- 1.158. Закріплений на невагомому стрижні довжиною 0,5 м вантаж масою 1 кг робить коливання у вертикальній площині. При якому куті відхилення стрижня від вертикалі кінетична енергія вантажу в його нижньому положенні дорівнює 2,45 Дж? У скільки разів при такому куті відхилення натяг стрижня в його середньому положенні більше натягу стрижня в його крайньому положенні?
- 1.159. На невагомому стрижні висить вантаж, який відхиляють на кут 90° й відпускають. Знайти натяг стрижня при проходженні ним положення рівноваги.
- 1.160. Сталевий дріт деякого радіуса витримує навантаження до 3000 Н. На такому ж дроті підвішений вантаж масою 150 кг. На який найбільший кут можна відхиляти дріт з вантажем, щоб він не розірвався при проходженні ним положення рівноваги?
- 1.161. Камінь масою 0,5 кг, прив'язаний до нитки довжиною 50 см, рівномірно обертається у вертикальній площині. Натяг нитки в нижній точці кола 44 Н. На яку висоту підніметься камінь, якщо мотузка обірветься в той момент, коли швидкість спрямована вертикально вгору?
- 1.162. Вода тече по трубі, яка знаходиться у горизонтальній площині і має заокруглення радіусом 20 м. Знайти бічний тиск води на трубу. Діаметр труби 20 см. Через поперечний переріз труби протягом однієї години протікає $3 \cdot 10^5$ кг води.
- 1.163. Вода тече по каналу шириною 0,5 м, розташованому в горизонтальній площині, що має заокруглення радіусом 10 м. Швидкість води 5 м/с. Знайти бічний тиск води на стінки каналу.
- 1.164. При вертикальному підйомі вантажу масою 2 кг на висоту 1 м постійною силою виконана робота 80 Дж. З яким прискоренням піднімали вантаж?

- 1.165. Літак піднімається і на висоті 5 км досягає швидкості 360 км/год. У скільки разів робота, виконана при підйомі проти сили тяжіння, більше роботи, що йде на збільшення швидкості літака? Тертям знехтувати.
- 1.166. Яку роботу треба виконати, щоб змусити рухоме тіло масою 2 кг збільшити свою швидкість від 2 до 5 м/с і зупинитися при початковій швидкості 8 м/с?
- 1.167. М'яч, що летить зі швидкістю 18 м/с, відкидається ударом ракетки в протилежному напрямку зі швидкістю 20 м/с. Знайти, чому дорівнює зміна кількості руху м'яча, якщо відомо, що зміна його кінетичної енергії при цьому 8,75 Дж.
- 1.168. Випущений по поверхні льоду зі швидкістю 2 м/с камінь пройшов до повної зупинки відстань 20,4 м. Знайти коефіцієнт тертя між каменем та льодом, вважаючи його постійним.
- 1.169. Вагон масою 20 т, рухаючись рівносповільнено під дією сили тертя в 6000 Н, через деякий час зупиняється. Початкова швидкість вагона 64 км/год. Знайти роботу сили тертя й відстань, яку вагон пройде до зупинки.
- 1.170. Автомобіль починає гальмувати за 25 м від перешкоди на дорозі. Сила тертя при гальмуванні автомобіля постійна й дорівнює 3840 Н, маса автомобіля 1 т. При якій граничній швидкості руху автомобіль встигне зупинитися перед перешкодою.
- 1.171. Трамвай рухається з прискоренням $49,0 \text{ см/с}^2$. Знайти коефіцієнт тертя, якщо відомо, що 50% потужності двигуна йде на подолання сил тертя й 50% – на збільшення швидкості руху.
- 1.172. Знайти роботу, яку потрібно виконати, щоб збільшити швидкість руху тіла від 2 до 6 м/с на шляху в 10 м. На всьому шляху діє постійна сила тертя, рівна 2 Н. Маса тіла дорівнює 1 кг.
- 1.173. Вага автомобіля $9,81 \cdot 10^3 \text{ Н}$. При русі на нього діє постійна сила тертя, рівна 0,1 його ваги. Яка кількість бензину

витрачається автомобілем на те, щоб на шляху в 0,5 км збільшити швидкість руху автомобіля від 10 до 40 км/год? ККД двигуна дорівнює 20%, теплотворна здатність бензину $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг.

- 1.174. Яку масу бензину витрачає двигун автомобіля на шляху 100 км, якщо при середній потужності двигуна 15 кВт середня швидкість його руху становить 30 км/год? ККД двигуна становить 22%. Інші необхідні дані взяти з умови попередньої задачі.
- 1.175. Воду качають з криниці глибиною 20 м. Для відкачки поставлений насос з двигуном, потужність якого дорівнює 5 кВт. Знайти ККД двигуна, якщо відомо, що за 7 годин роботи насоса об'єм піднятої з криниці води дорівнює $3,8 \cdot 10^5$ л.
- 1.176. Камінь масою 2 кг впав з деякої висоти. Падіння тривало 1,48 с. Знайти кінетичну й потенціальну енергії каменю в середній точці шляху. Опором повітря знехтувати.
- 1.177. З вежі висотою 25 м горизонтально кинули камінь зі швидкістю 15 м/с. Знайти кінетичну й потенціальну енергії каменю через 1 с після початку руху. Маса каменю 0,2 кг. Опором повітря знехтувати.
- 1.178. Камінь кинули під кутом 60° до горизонту зі швидкістю 15 м/с. Знайти кінетичну, потенціальну й повну енергії каменю через 1с після початку руху. Маса каменю 0,2 кг. Опором повітря знехтувати.
- 1.179. Робота, витрачена на штовхання ядра під кутом 30° до горизонту, становить 216 Дж. Через скільки часу і на якій відстані від місця кидання ядро впаде на землю? Маса ядра 2 кг. Опором повітря знехтувати.
- 1.180. З яким постійним тангенціальним прискоренням рухається матеріальна точка масою 10 г по колу радіусом 6,4 см, якщо відомо, що до кінця другого оберту після початку руху кінетична енергія матеріальної точки стала дорівнює $8 \cdot 10^{-4}$ Дж.

- 1.181. Вдоль пологой плоскости высотой 1 м и длиной склона 10 м вниз скатывается тело массой 1 кг. Найти кинетическую энергию тела у основания плоскости, скорость тела у основания плоскости, расстояние, пройденное телом по горизонтальной части пути до остановки. Коэффициент трения скольжения на всем пути считать постоянным и равным 0,05.
- 1.182. Тело скатывается сначала по наклонной плоскости, которая составляет угол 8° с горизонтом, а потом по горизонтальной поверхности. Найти коэффициент трения, если известно, что по горизонтальной поверхности тело проходит такое же расстояние, как и по наклонной плоскости.
- 1.183. Вдоль пологой плоскости высотой 0,5 м и длиной склона 1 м скатывается тело массой 3 кг и достигает основания пологой плоскости со скоростью 2,45 м/с. Найти коэффициент трения тела по плоскости и количество теплоты, которое выделяется при трении. Начальная скорость тела принимается равной нулю.
- 1.184. Автомобиль массой $2 \cdot 10^3$ кг движется в гору. Наклон горы принимается 4 м на каждые 100 м пути. Коэффициент трения принимается 0,08. Найти работу, которую выполняет двигатель автомобиля на пути 3 км, и его мощность, если этот путь был пройден за 4 хв.
- 1.185. Какую мощность развивает двигатель автомобиля массой 10^3 кг, если автомобиль движется с постоянной скоростью 36 км/год по горизонтальной дороге; в гору с наклоном 5 м на каждые 100 м пути; с горы с тем же наклоном. Коэффициент трения принимается 0,07.
- 1.186. Автомобиль массой 1 т движется с горы с выключенным двигателем при постоянной скорости 54 км/год. Наклон горы принимается 4 м на каждые 100 м пути. Какую мощность имеет развивать двигатель этого автомобиля, чтобы автомобиль с такой же скоростью скатывался в гору с тем же самым наклоном?
- 1.187. Стальная пружина растягивается силой 50 Н. Если пружину растягивают дополнительной силой 80 Н, она удлиняется еще на 20 см. Какую работу выполняется при этом удлинении?

- 1.188. В автоматичному пістолеті при пострілі відскакує спеціальний кожух й стискує пружину, під дією якої кожух повертається на місце, роблячи перезарядження пістолета. Яка має бути мінімальна швидкість кулі, достатня для того, щоб спрацював перезаряд пістолета, якщо маса кулі 9 г, маса кожуха 250 г, відстань, на яку відходить кожух 3 см, а для стиску пружини на 1 см необхідна сила 40 Н?
- 1.189. На чашку пружинних терезів з висоти 10 см падає вантаж масою 1 кг. Які показання терезів при такому ударі? Відомо, що під дією цього вантажу в нерухомому стані, чашка терезів опускається на 0,5 см.
- 1.190. Визначити роботу розтягання двох з'єднаних послідовно пружин з коефіцієнтами жорсткості 400 Н/м і 250 Н/м відповідно, якщо перша пружина при цьому розтяглася на 2 см.
- 1.191. Зі ствола автоматичного пістолета вилетіла куля масою 10 г зі швидкістю 300 м/с. Затвор пістолета масою 200 г притискається до ствола пружиною, коефіцієнт жорсткості якої 25 кН/м. На яку відстань відійде затвор після пострілу? Вважати, що пістолет жорстко закріплений.
- 1.192. Пружина з коефіцієнтом жорсткості 600 Н/м стиснута силою 100 Н. Визначити роботу зовнішньої сили, що додатково стискає цю пружину ще на 2 см.
- 1.193. Дві пружини з коефіцієнтами жорсткості 0,5 кН/м і 1 кН/м скріплені паралельно. Визначити потенціальну енергію даної системи при абсолютній деформації 4 см.
- 1.194. Яку потрібно виконати роботу, щоб стиснуту на 6 см пружину з коефіцієнтом жорсткості 800 Н/м додатково стиснути ще на 8 см?
- 1.195. Якщо на верхній кінець вертикально розташованої пружини покласти вантаж, пружина стиснеться на 3 мм. На скільки стисне пружину той же вантаж, що впаде на кінець пружини з висоти 8 см?

- 1.196. Із пружинного пістолета з коефіцієнтом жорсткості пружини 150 Н/м зроблено постріл кулею масою 8 г . Визначити швидкість кулі при вильоті її з пістолета, якщо пружина була стиснена на 4 см .
- 1.197. Налетівши на пружинний буфер, вагон масою 16 т , що рухався зі швидкістю $0,6 \text{ м/с}$, зупинився, стиснувши пружину на 8 см . Знайти загальний коефіцієнт жорсткості пружин буфера.
- 1.198. Із пружинного пістолета вистрілили кулею масою 5 г . Коефіцієнт жорсткості пружини $1,25 \text{ кН/м}$. Пружина була стиснута на 8 см . Визначити швидкість кулі при вильоті її із пістолета.
- 1.199. При пострілі із пружинного пістолета вертикально вгору куля масою 20 г піднялася на висоту 5 м . Визначити коефіцієнт жорсткості пружини пістолета, якщо вона була стиснута на 10 см . Масою пружини знехтувати.
- 1.200. Знайти роботу, яку треба виконати, щоб стиснути пружину на 20 см , якщо відомо, що сила пропорційна деформації й під дією сили $29,4 \text{ Н}$ пружина стискається на 1 см .
- 1.201. Знайти найбільший прогин ресори від вантажу, покладеного на її середину, якщо статичний прогин ресори від того ж вантажу дорівнює 2 см . Визначити найбільший початковий прогин, якщо на середину ресори падає той же вантаж з висоти 1 м без початкової швидкості.
- 1.202. Акробат стрибає на сітку з висоти 8 м . На якій граничній висоті над підлогою треба натягнути сітку, щоб акробат не вдарився об підлогу при стрибку? Відомо, що сітка прогинається на $0,5 \text{ м}$, якщо акробат стрибає на неї з висоти 1 м .
- 1.203. Вантаж поклали на чашу пружинних терезів. Скільки поділок покаже стрілка терезів при початковому відхиленні, якщо після припинення коливань вона показує 5 поділок?
- 1.204. З якою швидкістю рухався вагон масою 20 т , якщо при ударі об стінку буфер стиснувся на 10 см ? Відомо, що пружина буфера стискається на 1 см під дією сили 10 кН .

- 1.205. Хлопчик, стріляючи з рогатки, натягнув гумовий шнур так, що його довжина стала більшою на 10 см. З якою швидкістю полетів камінь масою 20 г? Для натягування гумового шнура на 1 см потрібна сила 10 Н. Опором повітря при польоті каменю знехтувати.
- 1.206. До нижнього кінця підвішеної вертикально пружини приєднана інша пружина, до кінця якої прикріплений вантаж. Коефіцієнти жорсткості пружин дорівнює відповідно k_1 та k_2 . Нехтуючи вагою пружин у порівнянні з вагою вантажу, знайти відношення потенціальних енергій цих пружин.
- 1.207. На двох паралельних пружинах однакової довжини висить невагомий стрижень. Коефіцієнти жорсткості пружин дорівнює відповідно 20 Н/см та 30 Н/см. Довжина стрижня дорівнює відстані між пружинами 10 см. У якому місці стрижня треба підвісити вантаж, щоб стрижень залишався горизонтальним?
- 1.208. Гумовий м'яч масою 0,1 кг летить горизонтально з певною швидкістю і стикається з нерухомою вертикальною стінкою. За час 0,01 с м'яч стискається на 1,37 см; такий самий час потрібний для відновлення початкової форми м'яча. Знайти середню силу, що діє на стінку за час удару.
- 1.209. Гирька вагою 4,9 Н прив'язана до гумового джгута певної довжини та описує в горизонтальній площині коло. Частота обертання 2 об/с. Кут відхилення гумового джгута від вертикалі 30° . Знайти довжину не розтягнутого гумового джгута. Для розтягнення джгута на 1 см потрібна сила 6,0 Н.
- 1.210. Вантаж масою 0,5 кг, прив'язаний до гумового джгута довжиною 9,5 см, відхиляють на кут 90° та відпускають. Знайти довжину гумового джгута в момент проходженні вантажем положення рівноваги. Коефіцієнт жорсткості гумового джгута 10 Н/см.
- 1.211. М'яч радіусом 10 см плаває у воді так, що його центр знаходиться на 9 см вище поверхні води. Яку роботу слід

- виконати, щоб занурити м'яч у воду до діаметральної площини?
- 1.212. Куля радіусом 6 см втримується зовнішньою силою під водою так, що її верхня точка торкається поверхні води. Густина матеріалу кулі 500 кг/м^3 . Яку роботу виконає виштовхувальна сила, якщо відпустити кулю?
- 1.213. Куля діаметром 30 см плаває в воді. Яку роботу слід виконати, щоб занурити її у воду ще на 5 см. Густина матеріалу кулі 500 кг/м^3 .
- 1.214. Шматок льоду з площею поперечного перерізу 1 м^2 та висотою 0,4 м плаває в воді. Яку роботу слід виконати, щоб повністю занурити шматок льоду у воду?
- 1.215. На рейках стоїть платформа масою 10 т, на якій закріплена гармата масою 5 т. З неї стріляють вздовж рейок. Маса снаряду 100 кг; його початкова швидкість відносно гармати 500 м/с . Знайти швидкість платформи одразу після пострілу, якщо платформа стояла нерухомо; рухалась зі швидкістю 18 км/год та постріл був виконаний в напрямку її руху; платформа рухалась зі швидкістю 18 км/год та постріл був виконаний в напрямку, протилежному напрямку її руху.
- 1.216. З рушниці масою 5 кг вилітає куля масою $5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ зі швидкістю 600 м/с . Знайти швидкість віддачі рушниці.
- 1.217. Людина масою 60 кг, що біжить зі швидкістю 8 км/год , наздоганяє візок масою 80 кг, що рухається зі швидкістю $2,9 \text{ км/год}$, та стрибає на нього. З якою швидкістю буде рухатися візок? З якою швидкістю буде рухатися візок, якщо людина бігла назустріч йому?
- 1.218. Снаряд вагою 980 Н летить горизонтально вздовж залізничного шляху зі швидкістю 500 м/с , потрапляє у вагон з піском масою 10 т та застрягає в ньому. Яку швидкість матиме вагон, якщо він стояв нерухомо; рухався зі швидкістю 36 км/год у тому ж напрямку, що й снаряд; рухався зі швидкістю 36 км/год в напрямку, протилежному рухові снаряду.

- 1.219. Граната, що летить зі швидкістю 10 м/с , розірвалася на два осколки. Більший осколок, маса якого складає 60% маси всієї гранати, продовжив рухатись в тому ж напрямку, але зі збільшеною швидкістю 25 м/с . Знайти швидкість меншого осколку.
- 1.220. Перше тіло масою 1 кг , що рухається горизонтально зі швидкістю 1 м/с , наздоганяє друге тіло масою $0,5 \text{ кг}$ та здійснює абсолютно непружний удар з ним. Яку швидкість матиме перше тіло, якщо друге тіло стояло нерухомо; друге тіло рухалось зі швидкістю $0,5 \text{ м/с}$ в тому ж напрямку, що й перше тіло; друге тіло рухалось зі швидкістю $0,5 \text{ м/с}$ у напрямку, протилежному напрямку руху першого тіла.
- 1.221. Людина та візок рухаються назустріч один одному. Маса людини 64 кг , маса візка 32 кг . Швидкість людини $5,4 \text{ км/год}$, швидкість візка $1,8 \text{ км/год}$. Людина застрибає на візок. Знайти швидкість візка разом з людиною.
- 1.222. Людина, стоячи на нерухомому візку, кидає вперед у горизонтальному напрямку камінь масою 2 кг . Візок з людиною покотився назад та відразу після кидання каменю набув швидкості $0,1 \text{ м/с}$. Маса візка з людиною 100 кг . Знайти, яку кінетичну енергію матиме кинутий камінь?
- 1.223. Тіло масою 2 кг рухається назустріч іншому тілу масою $1,5 \text{ кг}$ та непружно зіштовхується з ним. Швидкість тіл перед зіткненням відповідно 1 м/с та 2 м/с . Скільки часу будуть рухатися ці тіла після зіткнення, якщо коефіцієнт тертя об поверхню дорівнює $0,05$?
- 1.224. Автомат випускає 600 кул/хв . Маса кожної кулі 4 г , її початкова швидкість 500 м/с . Знайти середню силу віддачі при стрільбі чергою.
- 1.225. На рейках стоїть платформа масою 10 т , на якій закріплена гармата масою 5 т . З неї вистрілюють вздовж рейок. Маса снаряду 100 кг ; його початкова швидкість відносно гармати 500 м/с . На яку відстань відкотиться платформа при пострілі, якщо вона стояла нерухомо; рухалась зі швидкістю 18 км/год

та постріл був виконаний в напрямку її руху; платформа рухалась зі швидкістю 18 км/год та постріл був виконаний в напрямку, протилежному напрямку її руху. Коефіцієнт тертя платформи по рейках 0,002.

- 1.226. Із гармати масою $5 \cdot 10^3$ кг вилітає снаряд масою 100 кг. Кінетична енергія снаряду при вильоті $7,5 \cdot 10^6$ Дж. Яку кінетичну енергію отримує гармата в результаті віддачі?
- 1.227. Тіло масою 2 кг рухається зі швидкістю 3 м/с та наздоганяє друге тіло масою 3 кг, що рухається зі швидкістю 1 м/с. Знайти швидкість тіл після зіткнення, якщо удар був непружним; удар був пружним? Тіла рухаються вздовж одної прямої, удар центральний.
- 1.228. Знайдіть таке співвідношення між масами тіл у попередній задачі, щоб при пружному ударі перше тіло після удару зупинилось.
- 1.229. Тіло масою 3 кг рухається зі швидкістю 4 м/с та вдаряється в нерухоме тіло тієї ж маси. Вважаючи удар прямим, центральним та непружним, знайти кількість теплоти, яка виділилась при ударі.
- 1.230. Тіло масою 5 кг вдаряється в нерухоме тіло масою 2,5 кг. Останнє починає рухатись з кінетичною енергією 5 Дж. Вважаючи удар прямим, центральним та пружним, знайти кінетичну енергію першого тіла до та після удару.
- 1.231. Тіло вагою 49 Н вдаряється в нерухоме тіло масою 2,5 кг. Кінетична енергія системи цих двох тіл відразу після удару рівна 5 Дж. Вважаючи удар центральним та непружним, знайти кінетичну енергію першого тіла до удару.
- 1.232. Два тіла рухаються назустріч один одному та вдаряються непружно. Швидкість першого тіла до удару 2 м/с, швидкість другого 4 м/с. Загальна швидкість тіл після удару за напрямком співпадає з напрямком швидкості першого тіла і дорівнює 1 м/с. У скільки разів кінетична енергія першого тіла була більша кінетичної енергії другого тіла?

- 1.233. Дві кулі підвішені на паралельних нитках однакової довжини так, що вони дотикаються. Маса першої кулі 0,2 кг, другої 100 г. Першу кулю відхиляють так, щоб її центр ваги піднявся на висоту 4,5 см та відпускають. На яку висоту піднімуться кулі після зіткнення, якщо удар пружний? непружний?
- 1.234. Куля, що летить горизонтально, попадає у сферу, підвішену на дуже легкому жорсткому стрижні, та застрягає в ньому. Маса кулі в 1000 раз менше маси сфери. Відстань від точки підвісу до центра сфери 1 м. Знайти швидкість кулі, якщо відомо, що стрижень зі сферою відхилився від удару кулі на кут 10° .
- 1.235. Куля, що летить горизонтально, попадає у сферу, підвішену на дуже легкому жорсткому стрижні, та застрягає в ньому. Маса кулі 5 г та маса сфери 0,5 кг. Швидкість кулі 500 м/с. За якої граничної довжини стрижня (відстань від точки підвісу до центра сфери) сфера від удару кулі підніметься до верхньої точки кола?
- 1.236. Дерев'яним молотком масою 0,5 кг вдаряють по нерухомій стінці. Швидкість молотка в момент удару 1 м/с. Враховуючи коефіцієнт відновлення при ударі 0,5, знайти кількість теплоти, що виділилась при ударі. Коефіцієнтом відновлення матеріалу називається відношення швидкості тіла після удару до швидкості до удару.
- 1.237. Дерев'яним молотком масою 0,7 кг вдаряють по нерухомій стінці. Швидкість молотка в момент удару 2 м/с. Враховуючи коефіцієнт відновлення при ударі 0,5, знайти кількість теплоти, що виділилась при ударі. Коефіцієнтом відновлення матеріалу називається відношення швидкості тіла після удару до швидкості до удару. Знайти імпульс сили, що діє на стінку під час удару.
- 1.238. Дерев'яна куля падає вертикально вниз з висоти 2 м без початкової швидкості. Коефіцієнт відновлення при ударі кулі об підлогу 0,5. Знайти висоту, на яку підскочить куля після

удару та кількість теплоти, що виділяється при цьому ударі.
Маса кулі 100 г.

- 1.239. Пластмасова куля, падаючи з висоти 1 м, декілька разів відскакує від підлоги. Чому дорівнює коефіцієнт відновлення при ударі кулі об підлогу, якщо з моменту падіння до другого удару об підлогу пройшло 1,3 с?
- 1.240. Стальна куля, впавши з висоти 1,5 м на стальну плиту, відскочила від неї зі швидкістю $0,75 \cdot v_1$ м/с, де v_1 – швидкість у момент падіння на плиту. На яку висоту вона підніметься? Скільки часу пройде від початку руху кулі до другого її падіння на плиту?
- 1.241. Металева куля, падаючи з висоти 1 м на сталеву плиту, відскочила від неї на висоту 81 см. Знайти коефіцієнт відновлення кулі при ударі.
- 1.242. Стальна куля масою 20 г, падаючи з висоти 1 м на стальну плиту, відскочила від неї на висоту 81 см. Знайти імпульс сили, отриманий плитою за час удару та кількість теплоти, що виділилась при ударі.
- 1.243. Рухоме тіло масою m_1 вдаряється в нерухоме тіло масою m_2 . Вважаючи удар абсолютно непружним, прямим та центральним, знайти, яка частина початкової кінетичної енергії переходить при ударі в теплоту. Задачу розв'язати спочатку в загальному вигляді, а потім розглянути випадки: $m_1 = m_2$; $m_1 = 9m_2$.
- 1.244. Рухоме тіло масою m_1 вдаряється в нерухоме тіло з масою m_2 . Вважаючи удар абсолютно пружним прямим та центральним, знайти, яку частину своєї початкової кінетичної енергії перше тіло передає другому при ударі? Задачу розв'язати спочатку в загальному вигляді, а потім розглянути випадки: $m_1 = m_2$; $m_1 = 9m_2$.
- 1.245. Рухоме тіло масою m_1 вдаряється в нерухоме тіло з масою m_2 . Чому має дорівнювати відношення мас m_1/m_2 , щоб при прямому центральному пружному ударі швидкість тіла зменшилася в 1,5 рази? З якою кінетичною енергією при

цьому починає рухатися друге тіло, якщо початкова кінетична енергія першого тіла дорівнює 1 кДж?

- 1.246. Нейтрон масою m_0 вдаряється в нерухоме ядро атома вуглецю ($m = 12m_0$). Вважаючи удар абсолютно пружним прямим та центральним знайти, яку частину своєї швидкості втратить нейтрон при ударі.
- 1.247. Нейтрон масою m_0 вдаряється в нерухоме ядро атома урану ($m = 235m_0$). Вважаючи удар абсолютно пружним прямим та центральним знайти, яку частину своєї енергії втратить нейтрон при ударі.
- 1.248. Куля масою 4 кг рухається зі швидкістю 5 м/с і зіштовхується з кулею масою 6 кг, яка рухається їй назустріч зі швидкістю 2 м/с. Вважаючи удар прямим центральним, а кулі однорідними, абсолютно пружними, знайти їх швидкість після удару.
- 1.249. Вагон масою 35 т рухається до упорної стіни зі швидкістю 5 м/с. При повному гальмуванні вагона буферні пружини стискаються на 12 см. Визначити максимальну силу стискання буферних пружин та тривалість гальмування.
- 1.250. Куля масою 5 кг, що рухається з швидкістю 1 м/с, зіштовхується з нерухомою кулею масою 2 кг. Визначити швидкості після зіткнення. Кулі вважати однорідними, абсолютно пружними, удар – прямим центральним.
- 1.251. Човен довжиною 3 м і масою 120 кг стоїть на нерухомій воді. На носу та кормі знаходяться два рибалки масою відповідно 60 кг та 90 кг. На скільки зміститься човен відносно води, якщо рибалки пройдуть по човну та поміняються місцями?
- 1.252. Пліт масою 160 кг та довжиною 2 м плаває на воді. На плоту знаходиться людина, що має масу 80 кг. З якою найменшою швидкістю та під яким кутом до горизонту повинен стрибнути чоловік вздовж плоту, щоб потрапити на його протилежний край?
- 1.253. Куля масою 3 кг, що рухається з швидкістю 5 м/с, зіштовхується з нерухомою кулею масою 5 кг. Напрямок руху

- першої кулі змінився на кут 45° . Визначити швидкості куль після удару. Удар вважати абсолютно пружним.
- 1.254. Атом розпадається на дві нерівні частини з масами відповідно $1,6 \cdot 10^{-5}$ кг та $2,3 \cdot 10^{-25}$ кг. Визначити кінетичні енергії частин атома, якщо їхня загальна кінетична енергія $2,2 \cdot 10^{-11}$ Дж. Кінетичною енергією та імпульсом атома до розпаду нехтувати.
- 1.255. На скільки відносно берега переміститься човен довжиною 3,5 м та масою 200 кг, якщо людина масою 80 кг, яка стоїть на кормі, переміститься на ніс човна? Вважати, що човен розташований перпендикулярно до берега.
- 1.256. З похилої площини висотою 3 м і довжиною 5 м без тертя зісковзує тіло масою 0,5 кг. Визначити імпульс тіла в кінці площини.
- 1.257. Куля масою 2 кг зіштовхується з нерухомою кулею з більшою масою та при цьому втрачає 40 % кінетичної енергії. Визначити масу більшої кулі. Удар вважати абсолютно пружним, прямим, центральним.
- 1.258. Ящик масою 20 кг зісковзує по ідеально гладенькому лотку довжиною 2 м на нерухомий візок з піском і застрягає в ньому. Візок з піском масою 80 кг може вільно (без тертя) рухатися по рейкам в горизонтальному напрямі. Визначити швидкість візка з ящиком, якщо лоток нахилений під кутом 30° до рейок.
- 1.259. Куля масою m_1 , що рухається горизонтально з швидкістю v_1 , зіштовхується з нерухомою кулею масою m_2 . Удар абсолютно пружний, центральний, прямий. Яку долю своєї кінетичної енергії перша куля передала другій?
- 1.260. Куля масою 10 кг зіштовхується з кулею масою 4 кг. Швидкості куль відповідно 4 м/с та 12 м/с. Знайти швидкість куль після удару в двох випадках: менша куля наздоганяє більшу, що рухається в тому ж напрямку; кулі рухаються назустріч одна одній. Удар вважати абсолютно непружним, центральним, прямим.

- 1.261. Із човна масою 240 кг, що пливе з швидкістю 2 м/с, людина масою 60 кг стрибає в горизонтальному напрямку з швидкістю 4 м/с (відносно човна). Знайти швидкість човна після стрибка людини в напрямку руху човна та в протилежний бік.
- 1.262. Чоловік, що стояв в човні, зробив шість кроків вздовж човна та зупинився. На скільки кроків пересунувся човен, якщо маса човна вдвічі більша за масу людини? вдвічі менша за масу людини?
- 1.263. Куля масою 200 г, що рухається з швидкістю 10 м/с, стикається з нерухомою кулею масою 800 г. Удар прямий, центральний, абсолютно пружний. Визначити швидкості куль після зіткнення.
- 1.264. Куля, що рухалась горизонтально, зіштовхнулась з нерухомою кулею та передала їй 64 % своєї кінетичної енергії. Кулі абсолютно пружні, удар прямий, центральний. Знайти співвідношення мас куль.
- 1.265. На підлозі стоїть візок у вигляді довгої дошки з легкими колесами. На одному кінці дошки стоїть людина, що має масу 60 кг, а маса дошки 20 кг. З якою швидкістю (відносно підлоги) буде рухатися візок, якщо людина піде вздовж дошки з швидкістю (відносно дошки) 1 м/с? Масою коліс нехтувати, тертя не враховувати.
- 1.266. Снаряд, який летів із швидкістю 400 м/с, розірвався на два осколки. Менший осколок, маса якого складає 40 % маси снаряда, полетів у протилежному напрямку з швидкістю 150 м/с. Визначити швидкість більшого осколка.
- 1.267. У дерев'яний брусок масою 8 кг, який підвішений на нитці довжиною 1,8 м, влучає та застряє в ньому куля масою 4 г, яка летіла горизонтально. З якою швидкістю летіла куля, якщо нитка з брусом та кулею відхилилась від вертикалі на кут 3° ? Розміром бруска нехтувати. Удар кулі вважати прямим, центральним.

- 1.268. Дві кулі рухаються назустріч одна одній з масами та швидкостями відповідно 1 кг і 4 м/с, та 2 кг і 8 м/с. Які швидкості куль після зіткнення? Удар вважати абсолютно пружним, прямим, центральним.
- 1.269. Куля масою 3 кг, що рухається з швидкістю 2 м/с зіштовхується з нерухомою кулею масою 5 кг. Яка робота буде здійснена по деформуванню куль? Удар вважати абсолютно непружним, прямим, центральним.
- 1.270. Визначити ККД непружного удару ударного стрижня масою 0,5 т, який падає на палю масою 120 кг. Корисною вважати енергію, яка пішла на заглиблення палі.
- 1.271. З висоти 2 м на сталюну плиту вільно падає кулька масою 200 г та підстрибує на висоту 0,5 м. Визначити імпульс, який отримала кулька під час удару.
- 1.272. Снаряд масою 8 кг, який летів горизонтально з швидкістю 250 м/с, розривається на два осколки. Більший осколок масою 6 кг набув швидкості 400 м/с в напрямку польоту снаряду. Визначити напрямок і значення швидкості меншого осколка.
- 1.273. З візка, який вільно рухається по горизонтальному шляху з швидкістю 3 м/с, стрибає людина в бік, протилежний напрямку руху візка, так, щоб залишитись нерухомим відносно землі (стрибок десантника). Визначити, з якою швидкістю продовжив рух візок. Маса візка 210 кг, людини 70 кг.
- 1.274. Гармата, яка жорстко закріплена на залізничній платформі, стріляє вздовж залізничної колії під кутом 300 до горизонту. Визначити швидкість віддачі платформи, якщо снаряд вилітає з швидкістю 480 м/с. Маса платформи з гарматою та снарядами 18 т, маса снаряду 60 кг.
- 1.275. Два однакових човна масою 200 кг кожний (разом з людиною та вантажем, що знаходяться в човнах) рухаються паралельними курсами назустріч один одному з однаковими швидкостями 1 м/с. Коли вони порівнялись, з першого човна в другий та з другого в першій одночасно перекидають вантаж

масою 20 кг. Визначити швидкості човнів після перекидання вантажів.

- 1.276. Визначити імпульс, який отримала стінка при ударі з нею кульки масою 200 г, якщо кулька рухалась із швидкістю 8 м/с під кутом 60° до площини стінки. Удар вважати абсолютно пружним.
- 1.277. Через блок у вигляді диска, що має масу 80 г, перекинута тонка нерозтяжна нитка, до кінців якої прив'язані вантажі масами 100 г і 200 г. З яким прискорення будуть рухатись вантажі, якщо їх відпустити? Тертям і масою нитки нехтувати.
- 1.278. Маховик у вигляді диска радіусом 0,2 м і масою 50 кг розкручений до частоти обертання 480 об^{-1} і наданий сам собі. Під дією сил тертя маховик зупиняється через 50 с. Знайти момент сил тертя.
- 1.279. Циліндр, який розташований горизонтально, може обертатися навколо осі, яка співпадає з віссю циліндра. Маса циліндра 12 кг. На циліндр намотаний шнур, до якого прив'язаний вантаж масою 1 кг. Визначити прискорення, з яким буде опускатись вантаж і силу натягу шнура.
- 1.280. Через блок, який виконаний у вигляді тонкого обруча, перекинута нитка, до кінців якої прив'язані вантажі масами 100 г і 300 г. Маса обруча 200 г вважати рівномірно розподіленою вздовж обруча, масою спиць нехтувати. Визначити, з яким прискоренням будуть рухатися вантажі та сили натягу нитки по обидва боки від блока.
- 1.281. Два однакових маховики розкрутили до кутової швидкості 63 рад/с. Під дією сил тертя перший маховик зупинився через 1 хв, а другий зробив до повної зупинки 360 обертів. В якого маховика гальмуючий момент був більшим і в скільки разів?
- 1.282. Однорідна куля масою 5 кг скочується без ковзання по похилій площині висотою 1 м і довжиною 90 см. Яку лінійну швидкість буде мати центр кулі в момент, коли вона скотиться з похилої площини? Скільки часу куля буде котитися від вершини до підніжжя похилої площини?

- 1.283. Суцільний циліндр скотився з похилої площини висотою 20 см. Визначити швидкість поступального руху суцільного циліндру в кінці площини.
- 1.284. Тонкостінний циліндр з діаметром основи 30 см і масою 12 кг обертається за законом $\varphi = A + Bt + Ct^2$, де $A = 4$ рад; $B = 2$ рад/с; $C = 0,2$ рад/с². Визначити діючий на циліндр момент сил і кутову швидкість через 3 с після початку обертання.
- 1.285. На маховик діаметром 60 см намотаний шнур, до кінця якого прив'язаний вантаж масою 2 кг. Визначити момент інерції маховика, якщо він, обертаючись рівноприскорено під дією сили тяжіння вантажу, за час 3 с набув кутової швидкості 9 рад/с.
- 1.286. Через блок діаметром 4 см перекинута нитка до кінців якої прив'язані вантажі масами 50 г і 60 г. Визначити момент інерції блока, якщо під дією сили тяжіння вантажів він набув кутового прискорення 1,5 рад/с².
- 1.287. Стрижень обертається навколо осі, яка проходить через його середину, за законом $\varphi = At + Bt^3$, де $A = 2$ рад/с; $B = 0,2$ рад/с³. Визначити обертальний момент, який діє на стрижень у момент часу 2 с, якщо момент інерції стрижня 0,048 кг·м².
- 1.288. Горизонтальною площиною котиться диск із швидкістю 8 м/с. Визначити коефіцієнт опору, якщо диск наданий сам собі зупинився пройшовши шлях 18 м.
- 1.289. Визначити момент сили, який необхідно прикласти до блока, що обертається з частотою 12 с⁻¹, щоб він зупинився протягом 8 с. Діаметр блока 30 см. Маса блока 6 кг вважати рівномірно розподіленою по ободу.
- 1.290. Блок, який має форму диска масою 0,4 кг, обертається під дією сили натягу нитки, до кінців якої прив'язані вантажі масами 0,3 кг і 0,7 кг. Визначити сили натягу нитки по обидва боки від блока.
- 1.291. На нерухомий блок радіусом 8 см намотаний шнур, до якого прив'язаний вантаж масою 1 кг. Опускаючись

рівноприскорено, вантаж пройшов шлях 1,6 м за час 2 с. Визначити момент інерції блока.

- 1.292. Через блок, який має форму диска, перекинутий невагомий шнур. До кінців шнура прив'язані вантажі масами 100 г та 110 г. З яким прискоренням будуть рухатися вантажі, якщо маса блока 400 г рівномірно розподілена по його об'єму? Шнур по блоку не проковзує.
- 1.293. Однорідний диск радіусом 50 см та масою 50 кг обертається навколо осі, що проходить через його центр. Залежність кутової швидкості від часу має вигляд $\omega = A+Bt$, де $B = 2 \text{ рад/с}^2$. Знайти дотичну силу, що прикладена до ободу диска. Тертям нехтувати.
- 1.294. Вал у вигляді суцільного циліндра масою 10 кг насаджений на горизонтальну вісь. На циліндр намотаний шнур, до вільного кінця якого прив'язаний вантаж масою 2 кг. З яким прискоренням буде опускатись вантаж, якщо його відпустити?
- 1.295. Через блок, закріплений на горизонтальній осі, перекинута нитка, до кінців якої прив'язані вантажі масами 0,3 кг і 0,2 кг. Маса блока 0,3 кг. Блок вважати однорідним диском. Знайти лінійне прискорення вантажів.
- 1.296. Колесо масою 5 кг, під дією обертального моменту 0,25 Н·м протягом 1 хв набуває частоти обертання 60 об/хв. Визначити радіус колеса, вважаючи, що вся його маса зосереджена в ободі.
- 1.297. До ободу однорідного диска радіусом 0,2 м прикладена дотична сила 98,1 Н. При обертанні на диск діє гальмуючий момент 5 Н·м. Знайти масу диска, якщо відомо, що диск обертається з постійним кутовим прискоренням 100 рад/с^2 .
- 1.298. Однорідний стрижень довжиною 1 м і масою 0,5 кг обертається в вертикальній площині навколо горизонтальної осі, яка проходить через його середину. З яким кутовим прискоренням обертається стрижень, якщо обертальний момент дорівнює $9,81 \cdot 10^{-2} \text{ Н·м}$?

- 1.299. Однорідний диск радіусом 0,2 м і масою 5 кг обертається навколо осі, яка проходить через його центр. Залежність кутової швидкості від часу має вигляд $\omega = A + Bt$, де $B = 8 \text{ рад/с}^2$. Знайти дотичну силу, що прикладена до обода диска. Тертям нехтувати.
- 1.300. Маховик з моментом інерції $63,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, обертається з сталою кутовою швидкістю $31,4 \text{ рад/с}$. Знайти гальмуючий момент, під дією якого маховик зупиниться через час 20 с.
- 1.301. До ободу колеса, що має форму диска радіусом 0,5 м і масою 50 кг, прикладена дотична сила 100 Н. Знайти кутове прискорення колеса. Через який час після початку дії сили колесо буде мати частоту обертання 100 об/с ?
- 1.302. Маховик радіусом 0,2 м і масою 10 кг з'єднаний з мотором привідним ременем. Сила натягу ременя 14,7 Н. Яку частоту обертання буде мати маховик через 10 с після початку руху? Маховик вважати однорідним диском. Тертям нехтувати. Ремінь рухається без проковзування.
- 1.303. Махове колесо, що має момент інерції $245 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, обертається з частотою 20 об/с. Через 1 хв. після того, як на колесо перестав діяти обертальний момент, воно зупинилося. Знайти момент сил тертя; число обертів, яке зробило колесо до повної зупинки після припинення дії обертального моменту.
- 1.304. Два вантажі масами 2 кг і 1 кг з'єднані ниткою та перекинуті через блок, який має масу 1 кг. Знайти прискорення, з яким рухаються вантажі, та натяг нитки по обидва боки від блока. Блок вважати однорідним диском. Тертям нехтувати.
- 1.305. На барабан масою 9 кг намотаний шнур, до кінця якого прив'язаний вантаж масою 2 кг. Знайти прискорення з яким буде опускатися вантаж. Тертям нехтувати.
- 1.306. На барабан радіусом 0,5 м намотаний шнур, до кінця якого прив'язаний вантаж масою 10 кг. Знайти момент інерції барабана, якщо відомо, що вантаж опускається з прискоренням $2,04 \text{ м/с}^2$.

- 1.307. На барабан радіусом 20 см намотаний шнур, до кінця якого прив'язаний вантаж масою 0,5 кг. Момент інерції барабана $0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. На початку висота вантажу над підлогою була 1 м. Визначити час, за який вантаж опуститься на підлогу; кінетичну енергію вантажу в момент удару його об підлогу та натяг нитки. Тертям нехтувати.
- 1.308. Два вантажі різної маси з'єднані ниткою та перекинуті через блок, який має момент інерції $0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ та радіус 20 см. Момент сил тертя, який виникає в осі блока, дорівнює $0,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Вантажі відпустили, блок почав обертатись, а вантажі рухатись з прискоренням $1,6 \text{ м/с}$. Знайти різницю натягів нитки по обидва боки від блока.
- 1.309. Блок масою 1 кг закріплений на кінці стола. Два вантажі з однаковою масою 1 кг з'єднані ниткою та перекинуті через блок. Коефіцієнт тертя вантажу об стіл дорівнює 0,1. Блок вважати однорідним диском. Тертям у блоці нехтувати. Знайти прискорення, з яким рухаються вантажі, та натяг нитки по обидва боки від блока.
- 1.310. Диск масою 2 кг котиться без ковзання по горизонтальній площині з швидкістю 4 м/с . Знайти кінетичну енергію диска.
- 1.311. Куля діаметром 6 см котиться без ковзання по горизонтальній площині з частотою обертання 4 об/с. Маса кулі $0,25 \text{ кг}$. Знайти кінетичну енергію кулі.
- 1.312. Обруч і диск мають однакову масу та котяться без проковзування з однаковою лінійною швидкістю. Кінетична енергія обруча 400 Дж . Знайти кінетичну енергію диска.
- 1.313. Куля масою 1 кг, що котиться без проковзування, ударяється об стінку та відскакує від неї. Швидкість кулі до удару об стінку 10 см/с , після удару – 8 см/с . Знайти кількість теплоти, яка виділилася при ударі.
- 1.314. Диск, який має масу 1 кг та діаметр 60 см, обертається навколо осі, яка проходить через його центр перпендикулярно до площини, з частотою 20 об/с. Яку роботу треба виконати, щоб зупинити цей диск?

- 1.315. Вал, який обертається з сталою частотою 5 об/с, має кінетичну енергію 60 Дж. Знайти момент імпульсу цього валу.
- 1.316. Знайти кінетичну енергію велосипедиста, який їде з швидкістю 9 км/год. Маса велосипеда разом із людиною 78 кг, причому маса коліс складає 3 кг. Колеса велосипеда вважати обручами.
- 1.317. Хлопчик котить обруч по горизонтальній дорозі з швидкістю 7,2 км/год. На яку відстань може викотитися обруч на гору за рахунок його кінетичної енергії? Ухил гори 10 м на кожні 100 м шляху.
- 1.318. З якої найменшої висоти повинен з'їхати велосипедист, щоб по інерції (без тертя) проїхати доріжку, що має форму «мертвої петлі» радіусом 3 м, і не відірватися від доріжки в верхній точці петлі?
- 1.319. Мідна куля радіусом 10 см обертається з частотою 2 об/с навколо осі, що проходить через її центр. Яку роботу треба виконати, щоб збільшити кутову швидкість обертання кулі вдвічі?
- 1.320. Знайти лінійні прискорення центрів мас кулі, диска та обруча, що скочуються без проковзування з похилої площини. Кут нахилу площини 30°. Початкова швидкість усіх тіл дорівнює нулеві. Порівняти ці прискорення з прискоренням тіла, що зісковзує з цієї ж площини при відсутності тертя.
- 1.321. Знайти лінійні швидкості центрів мас кулі, диска та обруча, що скочуються без проковзування з похилої площини. Висота похилої площини 0,5 м, початкова швидкість усіх тіл дорівнює нулю. Порівняти ці швидкості з швидкістю тіла, що зісковзує з цієї ж площини без тертя.
- 1.322. Є два циліндри: алюмінієвий (суцільний) та свинцевий (полий), що мають однакові радіуси 6 см та маси 0,5 кг. Знайти моменти інерції цих циліндрів. За який час кожний циліндр скотиться без проковзування з похилої площини? Висота похилої площини 0,5 м, а кут нахилу площини 30°. Початкова швидкість кожного циліндра дорівнює нулеві.

- 1.323. Колесо, що обертається рівносповільнено при гальмуванні, зменшило за 1 хв частоту обертання від 300 до 180 об/хв. Момент інерції колеса $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Знайти кутове прискорення та гальмівний момент.
- 1.324. Вентилятор обертається з частотою 900 об/хв. Після вимкнення живлення вентилятор, обертаючись рівносповільнено, зробив до повної зупинки 75 обертів. Робота сил гальмування дорівнює 44,4 Дж. Знайти момент інерції вентилятора та гальмівний момент.
- 1.325. Махове колесо, що має момент інерції $245 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, обертається з частотою 20 об/с. Після того, як на колесо припинив діяти обертальний момент, воно зупинилося, зробивши 1000 обертів. Знайти момент сил тертя, а також час, який пройшов від моменту припинення дії обертального моменту до повної зупинки колеса.
- 1.326. По ободу шківів, що насаджений на одну вісь з маховим колесом, намотана нитка, до кінця якої прив'язаний вантаж масою 1 кг. На яку відстань має опуститися вантаж, щоб колесо з шківом оберталося з частотою 60 об/хв? Момент інерції колеса зі шківом $0,42 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, радіус шківів 10 см.
- 1.327. Махове колесо починає обертатися з кутовим прискоренням $0,5 \text{ рад/с}^2$ і через 15 с після початку руху має момент імпульсу $73,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$. Знайти кінетичну енергію колеса через 20 с після початку обертання.
- 1.328. Маховик, який обертається з частотою 10 об/с, має кінетичну енергію 800 Дж. Визначити час, який необхідний для того, щоб під дією обертального моменту $50 \text{ Н}\cdot\text{м}$ збільшити кутову швидкість маховика в два рази.
- 1.329. До ободу диска, що має масу 5 кг, прикладена стала дотична сила 20 Н. Яку кінетичну енергію буде мати диск через 5 с після початку дії сили ?
- 1.330. На який кут треба відхилити однорідний стрижень, який насаджений на горизонтальну вісь, що проходить через верхній кінець стрижня, щоб нижній кінець стрижня при

проходженні ним положення рівноваги мав швидкість 5 м/с ?
Довжина стрижня 1 м.

- 1.331. Однорідний стрижень довжиною 85 см насаджено на горизонтальну вісь, яка проходить через верхній кінець стрижня. Яку найменшу швидкість треба надати нижньому кінцю стрижня, щоб він зробив повний оберт навколо осі ?
- 1.332. Олівець, який поставлено вертикально, падає на стіл. Яку кутову та лінійну швидкості будуть мати в кінці падіння середина олівця та його верхній кінець ? Довжина олівця 15 см.
- 1.333. Знайти відносну похибку, яка виникає при обчисленні кінетичної енергії кулі, що котиться, якщо не враховувати обертання кулі.
- 1.334. Знайти момент інерції та момент імпульсу земної кулі відносно осі обертання.
- 1.335. Горизонтальна платформа, що має масу 100 кг, обертається навколо вертикальної осі, що проходить через її центр з частотою 10 об/с. На краю платформи стоїть людина масою 60 кг. З якою швидкістю почне обертатися платформа, якщо людина перейде від краю платформи до її центра? Вважати платформу однорідним диском, а людину – точковою масою. Яку роботу виконає людина при переході від краю платформи до її центру? Радіус платформи 1,5 м.
- 1.336. Горизонтальна платформа, що має 80 кг та радіус 1 м, обертається з частотою 20 м/с. У центрі платформи стоїть людина, тримаючи в розведених руках гирі. З якою частотою буде обертатися платформа, якщо людина опустить руки, зменшивши свій момент інерції від 2,94 до 0,98 кг·м² ? Вважати платформу однорідним диском.
- 1.337. Людина масою 60 кг знаходиться на нерухомій платформі масою 100 кг. Обчислити частоту обертання платформи, якщо людина рухається по колу радіусом 5 м навколо осі обертання ? Швидкість руху людини відносно платформи 4 км/год.

Радіус платформи 10 м. Вважати платформу однорідним диском, а людину – точковою масою.

- 1.338. Людина стоїть у центрі лави Жуковського та разом з нею обертається по інерції з частотою 0,5 об/с. Момент інерції людини відносно осі обертання $1,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. У витягнутих у сторони руках людина тримає дві гирі з однаковою масою 2 кг. Відстань між гирями 1,6 м. Визначити швидкість обертання лави з людиною, якщо людина опустить руки і відстань між гирями буде 0,4 м? Моментом інерції лави нехтувати.
- 1.339. Людина стоїть на лаві, яка може обертатися навколо вертикальної осі, і ловить м'яч, який має масу 0,4 кг та летить у горизонтальному напрямку на відстані 0,8 м від осі зі швидкістю 20 м/с. З якою кутовою швидкістю почне обертатися лава з людиною? Сумарний момент інерції людини та лави $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.
- 1.340. Людина стоїть на лаві, яка може обертатися навколо вертикальної осі, та тримає в руках стрижень, який розташований вздовж осі обертання. На кінці стрижня знаходиться колесо, яке обертається з частотою 10 об/с. Лава з людиною спочатку нерухома. З якою кутовою швидкістю почне обертатися лава, якщо людина поверне стрижень з колесом на 1800? Сумарний момент інерції лави з людиною $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, радіус колеса 20 см. Маса колеса 3 кг рівномірно розподілена по ободу.
- 1.341. Яку роботу треба виконати, щоб змусити маховик у вигляді обруча діаметром 1,5 м масою 500 кг обертатися з частотою 120 об/хв? Тертям нехтувати.
- 1.342. Горизонтальна платформа у вигляді однорідного диска масою 270 кг обертається по інерції з частотою 10 об/с. Людина масою 60 кг стоїть на краю платформи. Визначити частоту обертання платформи, якщо людина перейде від краю платформи в точку, що віддалена від осі обертання на

половину радіуса платформи. Людину вважати матеріальною точкою.

- 1.343. Після вимкнення струму в обмотці двигуна вентилятора він, обертаючись рівносповільнено, до повної зупинки зробив 75 обертів за 10 с. Робота сил гальмування 44,4 Дж. Обчислити момент сил гальмування та момент інерції частин вентилятора, що обертаються.
- 1.344. Ротор обертається з частотою 240 об/хв. Визначити силу натягу ремня, з яким мотор зв'язаний з станком, якщо радіус шківів на валу мотора 10 см, а потужність мотора 1 кВт.
- 1.345. Циліндр масою 2 кг скочується з піщаного схилу, висота якого 1 м. Швидкість циліндра на вершині 4 м/с, а швидкість у підніжжя схилу 2 м/с. Визначити роботу, яку виконує циліндр на своєму шляху по подоланню сил опору.
- 1.346. Вал, який має масу 200 кг та радіус 10 см, обертається з частотою 5 об/с. До циліндричної поверхні вала притиснули гальмівну колодку з силою 40 Н. Через 20 с вал зупинився. Визначити коефіцієнт тертя.
- 1.347. Платформа, що має вигляд суцільного диска з радіусом 1,5 м і масою 180 кг, обертається по інерції навколо вертикальної осі з частотою 10 об/хв. У центрі платформи стоїть людина масою 60 кг. Яку лінійну швидкість відносно підлоги приміщення буде мати людина, якщо вона перейде на край платформи?
- 1.348. На верхній поверхні диска, який може обертатися навколо вертикальної осі, покладені по колу радіусом 50 см колії іграшкової залізниці. Диск має масу 10 кг та радіус 60 см. На колії нерухомого диску був поставлений заводний паровозик масою 1 кг. Паровозик почав рухатися відносно колії з швидкістю 0,8 м/с. З якою кутовою швидкістю буде обертатися диск ?
- 1.349. Платформа, що має вигляд диска діаметром 2 м, обертається по інерції навколо вертикальної осі з частотою 8 об/хв. На краю платформи стоїть людина, що має масу 70 кг. Коли

людина переходить у центр платформи, частота збільшується до 10 об/хв. Визначити масу платформи. Людину вважати матеріальною точкою.

- 1.350. На краю нерухомої лави Жуковського радіусом 0,8 м і масою 6 кг стоїть людина з масою 60 кг. З якою кутовою швидкістю почне обертатися лава, якщо людина спіймає м'яч масою 0,5 кг, який летів у горизонтальному напрямку на відстані 0,4 м від осі лави. Швидкість м'яча 5 м/с.
- 1.351. Людина стоїть на лаві Жуковського, яка може обертатися навколо вертикальної осі, та тримає в руках стрижень, який розташований вздовж осі обертання. На кінці стрижня знаходиться колесо, яке обертається з частотою 15 об/с. Лава з людиною спочатку нерухома. З якою кутовою швидкістю почне обертатися лава, якщо людина поверне стрижень з колесом на кут 1800° ? Сумарний момент інерції лави з людиною $8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, радіус колеса 25 см. Маса колеса 2,5 кг рівномірно розподілена по ободу. Вважати, що центр ваги людини з колесом знаходиться на осі лави.
- 1.352. На лаві Жуковського стоїть людина, що тримає в руках стержень, який розташований вертикально вздовж осі. Лава з людиною обертається з кутовою швидкістю 4 рад/с. З якою кутовою швидкістю буде обертатися лава з людиною, якщо повернути стрижень так, щоб він зайняв горизонтальне положення? Сумарний момент інерції людини та лави $5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Довжина стрижня 1,8 м, його маса 6 кг. Вважати, що центр ваги людини з стрижнем знаходиться на осі лави.
- 1.353. Платформа, що має вигляд диска діаметром 3 м і масою 180 кг, може обертатися навколо вертикальної осі. З якою кутовою швидкістю буде обертатися ця платформа, якщо по її краю буде йти людина з швидкістю 1,8 м/с відносно платформи? Маса людини 70 кг.
- 1.354. Платформа, що має вигляд диска, може обертатися навколо вертикальної осі. На краю платформи стоїть людина. На який кут повернеться платформа, якщо людина пройде по краю

платформи повне коло? Маса платформи 280 кг, людини 80 кг. Людину вважати матеріальною точкою.

- 1.355. Кулька масою 60 г, що прив'язана до нитки довжиною 1,2 м, обертається без тертя з частотою 2 об/с по поверхні горизонтальної площини. Нитку скорочують, наближаючи кульку до осі обертання на відстань 0,6 м. З якою частотою буде при цьому обертатися кулька? Яку роботу виконують зовнішні сили, при скороченні нитки?
- 1.356. По дотичній до шків маховика, що має вигляд диска діаметром 75 см і масою 40 кг, прикладена сила 1 кН. Визначити кутове прискорення та частоту обертання маховика через 10 с після початку дії сили, якщо радіус шківів 12 см. Тертям нехтувати.
- 1.357. Знайти момент сили тяжіння лампи (рис.1.4) відносно точок A , C і B , якщо $|CB| = 1$ м, кут у вершині C дорівнює 60° і маса лампи 4 кг.
- 1.358. До кінця стрижня AC (рис. 1.5) довжиною 2 м, що закріплений шарнірно одним кінцем до стінки, а з іншого кінця підтримується тросом BC довжиною 2,5 м, підвішений вантаж масою 120 кг. Знайти сили, які діють на трос і стрижень.
- 1.359. Ліхтар для освітлення будівельного майданчика підвішений до кронштейна (рис. 1.5). Знайти силу, яка діє на трос BC , за величиною та напрямком, якщо кронштейн AC зазнає стиснення з силою 48 Н, а маса світильника дорівнює 5 кг.
- 1.360. Електрична лампа (рис. 1.6) підвішена на шнурі і відтягнута горизонтальною відтяжкою. Знайти силу натягу шнура AB і

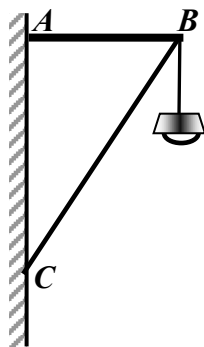


Рис. 1.4

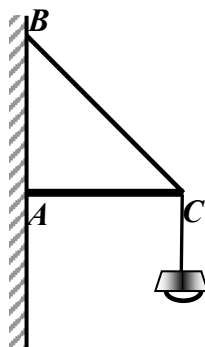


Рис. 1.5

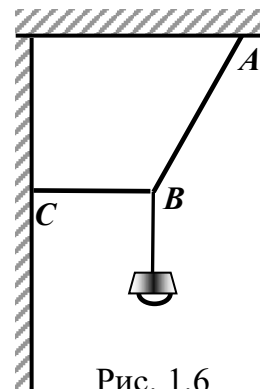


Рис. 1.6

відтяжки BC , якщо маса лампи 1 кг , а кут у вершині B дорівнює 120° .

- 1.361. На цвях, який вбитий у стінку перпендикулярно до неї, діє сила в 200 Н під кутом 30° до стінки. Знайти величину складових цієї сили, одна з яких виймає цвях, а друга його згинає.
- 1.362. Маленька кулька масою m підвішена на нитці довжиною l і відхилена на кут α від вертикалі. Виразити залежність моменту сили тяжіння відносно точки підвісу від кута α . Знайти значення M , якщо маса кульки 50 г , довжина нитки $0,8\text{ м}$, а кут 45° .
- 1.363. Колода довжиною 12 м знаходиться в рівновазі в горизонтальному положенні, якщо її підперти на відстані 3 м від товстого кінця. Якщо колоду підперти на відстані 6 м від товстого кінця, а на тонкий кінець сяде будівельник масою 60 кг , то колода знову буде зрівноважена. Знайти масу колоди.
- 1.364. Знайти величини сил, які діють на підшипники A і B (рис. 1.7), якщо маса вала 10 кг , маса шківів 20 кг , а $|AB| = 1\text{ м}$, $|BC| = 0,4\text{ м}$?
- 1.365. Знайти величини сил тиску валу на підшипники A і B (рис. 1.8), якщо маса вала 7 кг , маса шківів 28 кг , $|AB| = 70\text{ см}$, $|BC| = 10\text{ см}$?

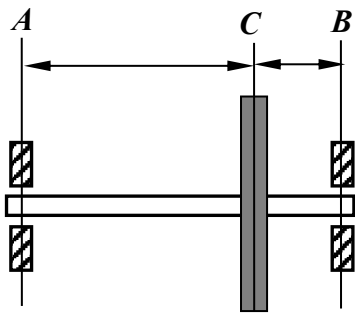


Рис. 1.7

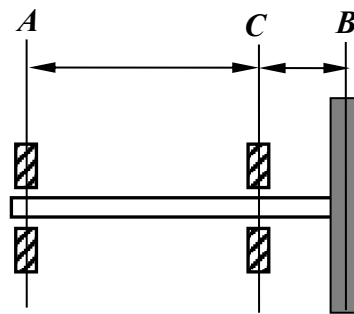


Рис. 1.8

- 1.366. До балки масою 200 кг і довжиною 5 м підвішений вантаж масою 250 кг на відстані 3 м від одного із кінців. Балка лежить на опорах, що розташовані на кінцях балки. Знайти сили тиску на кожну з опор.
- 1.367. До кінців стрижня масою 10 кг і довжиною 40 см підвішені вантажі масою 40 кг та 10 кг . Як потрібно закріпити стрижень, щоб його зрівноважити?

- 1.368. Труба масою 2,1 т має довжину 16 м. Вона лежить на двох підкладках, розташованих на відстані 4 м та 2 м від її кінців. Яку мінімальну силу по черзі потрібно прикласти до кожного з кінців труби, щоб підняти її за той чи інший кінець?
- 1.369. Будівельник тримає за один кінець дошки, маса якої 40 кг так, що дошка утворює кут 30° з горизонтальним напрямком (рис. 1.9). Яку силу треба прикласти будівельнику до дошки в цьому положенні, якщо сила прикладена перпендикулярно до дошки?
- 1.370. Стрижень AO довжиною 60 см (рис. 1.10) і масою 0,4 кг закріплений шарнірно в точці O та підтримується ниткою AD . Нитка утворює зі стрижнем кут 45° . У точці B ($|AB| = 20$ см) підвішений вантаж масою 0,6 кг. Знайти силу натягу нитки і силу реакції в точці O .

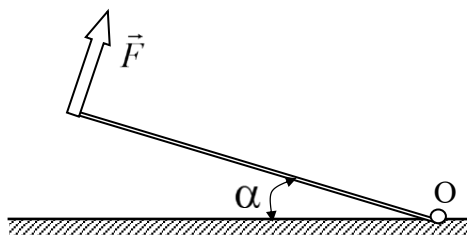


Рис. 1.9

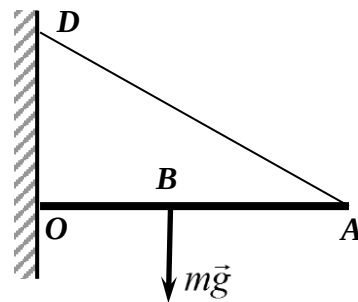


Рис. 1.10

- 1.371. Стрижень довжиною 1 м та масою 1,5 кг одним кінцем шарнірно прикріплений до стелі. Стрижень утримується вертикальним шнуром, прив'язаним до вільного кінця стрижня. Знайти натяг шнура, якщо центр тяжіння стрижня знаходиться на відстані 0,4 м від шарніра.
- 1.372. Драбина приставлена до рівної гладкої стіни. Коефіцієнт тертя між драбиною і підлогою дорівнює 0,4. Визначити найбільший кут між стіною і драбиною, при якому драбина не буде ковзати.
- 1.373. Однорідна балка лежить на нерухомій платформі так, що один її кінець виходить поза межі платформи. Довжина частини балки, яка знаходиться поза платформою дорівнює четвертині всієї довжини. До кінця цієї частини балки прикладають силу,

яка напрямлена донизу. У момент, коли ця сила дорівнюватиме 2 кН, протилежний кінець балки починає підійматись. Знайти масу балки.

- 1.374. Балка перекриття заводської будівлі вагою 10 кН лежить на двох стінах, відстань між якими 10 м. Визначити вагу верстата, який стоїть на балці на відстані 2 м від однієї стінки, якщо балка давить на неї з силою 20 кН. Довжина верстата 2 м.
- 1.375. Запобіжний клапан парового котла (рис. 1.11) має відкриватися при тиску пари 5 МПа. Площа отвору, яку закриває клапан, дорівнює 5 см^2 . На якій відстані від осі обертання потрібно розмістити вантаж масою 5 кг, якщо горизонтальний стрижень має масу 3 кг і довжину 80 см, а відстань до клапана дорівнює 0,25 л?
- 1.376. До планки, яка обертається навколо осі O , що проходить через її середину, підвішені два тіла, що занурені у воду (рис. 1.12). Густина першого тіла в 9 раз більше густини води; а густина другого в 3 рази більше густини води, відстань $|OA|$ дорівнює 9 см. На які відстані потрібно підвісити друге тіло, щоб система була зрівноважена, якщо тіла мають однакові об'єми? Якщо тіла мають однакові маси?

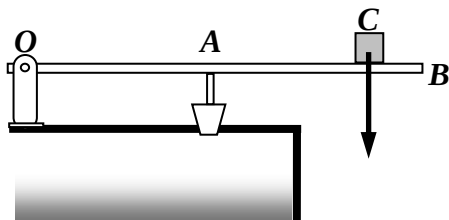


Рис. 1.11

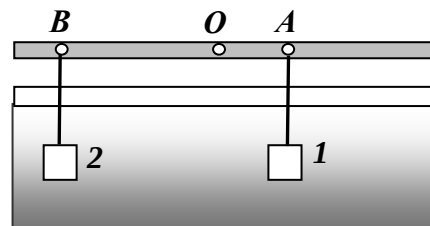


Рис. 1.12

- 1.377. Циліндр двигуна внутрішнього згоряння має внутрішній діаметр 0,16 м. Кількість болтів, які закріплюють кришку циліндра 8. При згорянні палива розвивається тиск 6 МПа. Яким має бути діаметр болтів, щоб забезпечити десятикратний запас міцності? Допустиме напруження в сталі 150 МПа.

- 1.378. На похилій площині з кутом нахилу 30° знаходиться однорідний брусок, висота якого 25 см. На якій відстані від центра тяжіння проходить сила реакції опори?
- 1.379. Два однорідні кулі з однаковими радіусами скріплені в точці дотику. Маса однієї кулі в два рази більше маси другої кулі. Визначити положення центра тяжіння системи.
- 1.380. Дві однорідні кулі масами 10 кг та 12 кг з радіусами 4 см і 6 см з'єднані однорідним стрижнем масою 2 кг і довжиною 10 см. Центри куль знаходяться на продовженні осі стрижня. Знайти положення центра тяжіння цієї системи.
- 1.381. Цеглина, розміри якої $28 \times 14 \times 7$ см, може займати три різні положення. Визначити тиск, силу тертя і відстань від площі опори до центра ваги в усіх положеннях, якщо густина цеглини 2700 кг/м^3 і коефіцієнт тертя з поверхнею 0,4. В якому положенні цеглина найстійкіша? Пояснити чому.
- 1.382. Для випробування міцності цеглину з ребрами 28 см, 14 см і висотою 7 см поклали на велику платформу гідравлічного преса. Відношення діаметрів поршнів 1:10. Відношення плечей важеля, які натискають на малий поршень, дорівнює 1:3. Границя міцності цегли 5 МПа. Яку силу потрібно прикласти до довшого плеча важеля, щоб прес роздав цеглину?
- 1.383. До верхнього кінця залізобетонної колони висотою 10 м прикладена вертикально сила $4 \cdot 10^3$ МН. Знайти деформацію колони, якщо площа поперечного перерізу її, заповнена бетоном, дорівнює $0,09 \text{ м}^2$, а площа, зайнята сталевую арматурою, дорівнює $0,01$ площі поперечного перерізу бетону. Модуль пружності сталі дорівнює 200 ГПа, модуль пружності бетону становить 10 % модуля пружності сталі. Вагою колони знехтувати.
- 1.384. При відсипанні дамби насипаний ґрунт утворює кут 60° від горизонту. Визначити коефіцієнт тертя між частинками ґрунту.

- 1.385. Будівельний кран С-391 Прилуцького заводу будівельних машин при максимальному вильоті стріли 10 м піднімає вантаж 5 кН. Під яким кутом до горизонту потрібно встановити стрілу, щоб можна було піднімати вантаж 15 кН при тій самій стійкості крана?
- 1.386. Для закінчення будівництва семиповерхового будинку баштовий кран СКВ-1 для підняття будівельних вантажів переобладнують. Стріла крана довжиною 20 м, яка спочатку утримувалась горизонтально з допомогою тросів, що утворювали з нею кут 30° , встановлюється під кутом 45° до горизонту. Визначити сили, які діють на стрілу й утримують троси, якщо кран піднімає вантаж масою 10 т.
- 1.387. Залізобетонну горизонтальну плиту масою 12 т піднімають краном за допомогою чотирьох строп довжиною 1,5 м кожна. Кінці строп розташовані у вершинах квадрата зі стороною 1,25 м. Знайти силу натягу кожного стропа.
- 1.388. Визначити найбільшу висоту будинку, який можна збудувати з цегли, якщо границя міцності цегли на стиск дорівнює 10 МПа, а густина цегли становить $2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
- 1.389. При забиванні дерев'яних паль копром у ґрунт у палі виникають напруги, які досягають найбільшого значення при наявності деякої перешкоди для палі (наприклад, коли паля, пересуваючись у м'якому ґрунті, натрапляє на кам'яну породу). Визначити найбільше навантаження, що може виникнути в палі за таких умов: маса бойка копра 180 кг, діаметр палі 26 см, довжина палі 6 м, боек падає з висота 145 см.
- 1.390. Одна половина циліндричного стрижня є залізною, а друга – алюмінієвою. Визначити положення центра тяжіння стрижня, якщо його довжина дорівнює 30 см.

- 1.391. У скільки разів висота x трикутної частини однорідної пластини (рис. 1.13) має бути більшою за довжину прямокутної частини l , щоб центр тяжіння всієї пластини знаходився у точці O ?

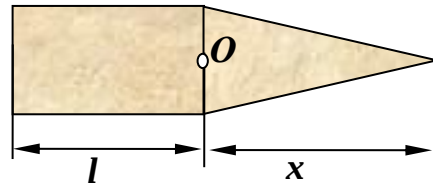


Рис. 1.13

- 1.392. Визначити положення центра мас рамки, яка зроблена із дротин однакового поперечного перерізу у формі рівностороннього трикутника. Дві сторони трикутника зроблені з алюмінію, а третя – з міді. Сторона трикутника дорівнює 1 м.
- 1.393. Циліндричний каток необхідно підняти на сходинку висотою 20 см (рис. 1.14). Визначити найменшу силу, яку потрібно прикласти до центра катка в горизонтальному напрямку, якщо каток має радіус 0,8 м, а маса катка 40 кг.
- 1.394. Визначити центр тяжіння однорідного диска радіуса 0,5 м, з якого вирізаний отвір радіусом 0,25 м (рис. 1.15). Центр тяжіння отвору знаходиться на відстані, рівній половині радіуса диска.

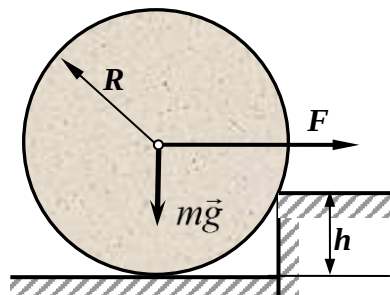


Рис. 1.14

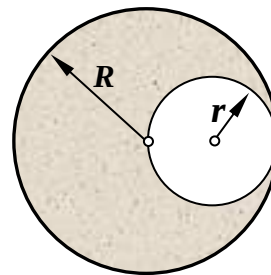


Рис. 1.15

- 1.395. На двох паралельних вертикально розташованих пружинах однакової довжини горизонтально підвішений стрижень, масою якого можна знехтувати. Коефіцієнти пружності пружин відповідно дорівнюють 0,02 Н/м та 0,03 Н/м. Відстань між пружинами дорівнює 1 м. Де потрібно підвісити вантаж, щоб стрижень залишався в горизонтальному положенні?
- 1.396. Знайти швидкість течії по трубі вуглекислого газу, якщо відомо, що за півгодини через поперечний переріз труби

протікає 0,51 кг газу. Густина газу дорівнює $7,5 \text{ кг/м}^3$. Діаметр труби дорівнює 2 см.

- 1.397. На дні циліндричної посудини є круглий отвір діаметром 1 см. Діаметр посудини 0,5 м. Знайти залежність швидкості зниження рівня води в посудині від висоти цього рівня. Знайти числове значення цієї швидкості для висоти 0,2 м.
- 1.398. На столі стоїть посудина з водою, в боковій поверхні якої є малий отвір, який розташований на відстані h_1 від дна посудини і на відстані h_2 від рівня води. Рівень води в посудині підтримується сталим. На якій відстані від отвору (по горизонталі) струмина води падає на стіл? Задачу розв'язати для випадків: 1) $h_1 = 25 \text{ см}$ та $h_2 = 16 \text{ см}$; 2) $h_1 = 16 \text{ см}$ та $h_2 = 25 \text{ см}$;
- 1.399. Циліндричний бак висотою 1 м наповнений до країв водою. 1) За який час вся вода витече через отвір, який розташований впритул до днища бака? Площа поперечного перерізу отвору в 400 разів менша площі поперечного перерізу бака. 2) Порівняти цей час з тим, який знадобився б для витікання такої самої кількості води, якби рівень води над отвором бака підтримувався постійним і рівним 1 м.
- 1.400. У посудину тече вода, причому за 1 с наливається 0,2 л води. Який має бути діаметр отвору в дні посудини, щоб вода в ньому трималась на сталому рівні, що дорівнює 8,3 см?
- 1.401. Який тиск створює компресор у фарбопульті, якщо струмина рідкої фарби витікає з нього з швидкістю 25 м/с? Густина фарби $0,8 \text{ г/см}^3$.
- 1.402. Кулька спливає зі сталою швидкістю в рідині, що має густину в 4 рази більшу за густину матеріалу кульки. У скільки разів сила тертя, що діє на кульку, більша за силу тяжіння?
- 1.403. Якої найбільшої швидкості може набувати дощова крапля діаметром 0,3 мм, якщо динамічна в'язкість повітря дорівнює $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$?

- 1.404. Стальна кулька діаметром 1 мм падає з сталою швидкістю 0,185 см/с у великій посудині, наповненій касторовим маслом. Знайти динамічну в'язкість касторового масла.
- 1.405. Суміш свинцевих дробинок діаметром 3 мм і 1 мм опустили в бак з гліцерином глибиною 1 м. На скільки пізніше впадуть на дно дробинки меншого діаметра в порівнянні з дробинками більшого діаметра? Динамічна в'язкість гліцерину при температурі досліду – 14,7 г/см·с.
- 1.406. Пробкова кулька радіусом 5 мм спливає в посудині наповненій касторовим маслом. Чому дорівнює динамічна та кінематична в'язкості касторового масла в умовах досліду, якщо кулька спливає з сталою швидкістю 3,5 с?
- 1.407. У бічну поверхню циліндричної посудини радіусом 2 см вставлений горизонтальний капіляр із внутрішнім радіусом 1 мм і довжиною 2 см. Посудина наповнена касторовим маслом, динамічна в'язкість якого дорівнює 12 г/см·с. Знайти залежність швидкості зниження рівня касторового масла в циліндричній посудині від висоти цього рівня над капіляром. Знайти числове значення цієї швидкості для висоти 26 см.
- 1.408. У бічну поверхню посудини вставлений горизонтальний капіляр із внутрішнім радіусом 1 мм і довжиною 1,5 см. В посудину налитий гліцерин, динамічна в'язкість якого в умовах досліду дорівнює 1,0 Па·с. Рівень гліцерину в посудині підтримується сталим на висоті 0,18 м вище капіляра. Скільки часу знадобиться на те, щоб із капіляра витекло 5 см³ гліцерину?
- 1.409. На столі стоїть посудина, в бічну поверхню якої вставлений горизонтальний капіляр на висоті 5 см від дна. Внутрішній радіус капіляра 1 мм, довжина 1 см. Посудина наповнена машинним маслом, що має густину 900 кг/м³ і динамічну в'язкість 0,5 Па·с. Рівень масла в посудині підтримується на висоті 50 см вище капіляра. Знайти, на якій відстані від кінця капіляра (по горизонталі) струмина масла падає на стіл.

- 1.410. Стальна кулька падає в широкій посудині, наповнений трансформаторним маслом, яке має густину 900 кг/м^3 та динамічну в'язкість $0,8 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Вважаючи, що в даному випадку застосовна формула Стокса, знайти значення діаметра кульки.
- 1.411. Випав град з середнім діаметром кульових градин 3 мм . Середня густина градин $0,5 \text{ г/см}^3$. Яку найбільшу швидкість падіння матимуть ці льодові кульки, якщо динамічна в'язкість повітря дорівнює $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$?
- 1.412. Космічний корабель рухається по коловій орбіті, яка проходить на відстані 251 км від поверхні Землі. Визначити лінійну швидкість корабля на орбіті та період його обертання навколо Землі.
- 1.413. Штучний супутник Землі має практично колову орбіту з середньою відстанню 588 км від поверхні Землі. Визначити швидкість і кінетичну енергію супутника на орбіті. Маса супутника 84 кг .
- 1.414. Яку середню лінійну швидкість матиме штучний супутник, якщо період його обертання навколо Землі становить $88,6 \text{ хв}$? Орбіту вважати коловою.
- 1.415. Супутник запущений в площині екватора так, що весь час знаходився над однією і тією ж точкою екватора. Визначити радіус орбіти супутника, висоту над поверхнею Землі, орбітальну швидкість супутника.
- 1.416. Визначити період обертання та орбітальну швидкість штучного супутника, який рухається навколо Місяця на висоті 200 км від його поверхні по коловій орбіті. Маса Місяця $7,8 \cdot 10^{22} \text{ кг}$, радіус $1,7 \cdot 10^6 \text{ м}$.
- 1.417. На якій висоті над поверхнею Землі прискорення вільного падіння складає $0,5g$?
- 1.418. Вважаючи, що Земля рухається навколо Сонця по коловій орбіті, визначити масу Сонця та прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця, якщо його радіус $6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$. Середня відстань від Землі до Сонця $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

- 1.419. З якою лінійною швидкістю буде рухатися штучний супутник Землі по коловій орбіті на висоті над поверхнею Землі 200 км? 7000 км ?
- 1.420. Який період обертання штучного супутника Землі, що рухається по коловій орбіті на висоті над поверхнею Землі 200 км? 7000 км?
- 1.421. Визначити потенціальну енергію ракети, що має масу 100 кг, на поверхні Землі та при віддаленні її на відстань 4680 км від Землі. Чому при цьому дорівнює зміна енергії ракети?
- 1.422. Ракета, що запущена вертикально вгору, піднялася на висоту 1800 км. Знаючи прискорення вільного падіння поблизу Землі та радіус Землі 6400 км, визначити, з яким прискоренням ракета почне падати на Землю.
- 1.423. Визначити напруженість гравітаційного поля на висоті 1000 км над поверхнею Землі.
- 1.424. Яка робота буде виконана силами гравітації при падінні на Землю тіла масою 2 кг з висоти 1000 км ? З нескінченності?
- 1.425. Із нескінченності на поверхню Землі падає метеорит масою 30 кг. Яка робота при цьому буде виконана силами тяжіння Землі ?
- 1.426. З поверхні Землі вертикально вгору запущена ракета з швидкістю 5 м/с. На яку висоту вона підніметься?
- 1.427. По коловій орбіті навколо Землі обертається супутник з періодом 65 хв. Визначити відстань від поверхні Землі до супутника.
- 1.428. На якій відстані від центра Землі знаходиться точка, в якій напруженість сумарного гравітаційного поля Землі та Місяця дорівнює нулеві ? Вважати, що маса Землі в 81 раз більша за масу Місяця та , що відстань від центра Землі до центра Місяця складає 60 радіусів Землі.
- 1.429. Супутник обертається навколо Землі по коловій орбіті на висоті 520 км. Визначити період обертання супутника.
- 1.430. Визначити лінійну та кутову швидкості супутника Землі, який обертається по коловій орбіті на висоті 1000 км.

- 1.431. Ракета встановлена на поверхні Землі для запуску у вертикальному напрямку. При якій мінімальній швидкості, наданій ракеті при запуску, вона віддаляється від поверхні Землі на відстань, яка дорівнює радіусу Землі. Усіма силами, крім сили гравітаційної взаємодії між ракетою та Землею, нехтувати.
- 1.432. Штучний супутник обертається навколо Землі по коловій орбіті на висоті 3200 км над поверхнею Землі. Визначити лінійну швидкість супутника.
- 1.433. Визначити масу та середню густину речовини Місяця, якщо прискорення вільного падіння на її поверхні приблизно дорівнює $1,6 \text{ м/с}^2$. Радіус Місяця $1,73 \cdot 10^6 \text{ м}$.
- 1.434. Період обертання супутника по коловій орбіті навколо Землі 240 хв. Маса супутника 1,2 т. Визначити висоту орбіти над поверхнею Землі та кінетичну енергію супутника.
- 1.435. У даній точці поля тяжіння на матеріальну точку, що має масу 1 кг, діє сила тяжіння 9,8 Н. Визначити напруженість гравітаційного поля в цій точці.
- 1.436. Визначити силу тяжіння, що діє на тіло масою 1 т на висоті 20 км над полюсом Землі. Вважати, що прискорення вільного падіння $9,83 \text{ м/с}^2$, радіус Землі – 6370 км.
- 1.437. Обчислити масу вантажу, який зміг би чоловік підняти на поверхні Місяця, якщо на поверхні Землі він може підняти вантаж масою 60 кг. Вважати, що радіус Землі більший за радіус Місяця в 3,7 рази та маса Землі більша за масу Місяця в 81 раз. Чому дорівнює прискорення вільного падіння на Місяці?
- 1.438. На яку максимальну висоту змогло би піднятися тіло, якщо його кинуто вертикально вгору на Марсі, якщо на Землі при тій самій швидкості кидка воно піднялося би на висоту 10 м. Співвідношення між радіусами та масами Марса та Землі мають вигляд: $R_M = 0,53R_Z$, $M_M = 0,11M_Z$.

- 1.439. Знайти силу притягання між двома протонами, що знаходяться на відстані 10^{-10} м. один від одного. Протони вважати точковими масами.
- 1.440. Дві мідні кульки, що мають діаметри 4 см та 6 см, дотикаються одна до одної. Знайти потенціальну енергію гравітаційної взаємодії цієї системи.
- 1.441. Обчислити гравітаційну сталу, якщо відомо радіус Землі, середню густину Землі та прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі.
- 1.442. Космічна ракета летить на Місяць. В якій точці прямої, що з'єднує центри Землі та Місяця, ракета буде притягуватися до Землі та Місяця з однаковою силою?
- 1.443. Порівняти прискорення вільного падіння на поверхні Місяця з тією ж величиною на поверхні Землі.
- 1.444. Обчислити першу космічну швидкість, тобто таку швидкість, яку треба надати тілу поблизу поверхні Землі в горизонтальному напрямку, щоб воно почало рухатися навколо Землі по коловій орбіті як її супутник.
- 1.445. Обчислити другу космічну швидкість, тобто таку швидкість, яку треба надати тілу поблизу поверхні Землі, щоб воно подолато земне притягання і назавжди віддалилося від Землі.
- 1.446. З якою лінійною швидкістю буде рухатися штучний супутник Землі по коловій орбіті на висоті 200 км? 7000 км? Знайти періоди обертання навколо Землі штучного супутника при цих умовах.
- 1.447. Знайти доцентрове прискорення, з яким штучний супутник Землі, що знаходиться на висоті 200 км, обертається по коловій орбіті.
- 1.448. Радіус орбіти Нептуна в 30 разів більше радіуса орбіти Землі. Яка тривалість року на Нептуні?
- 1.449. Планета Марс має два супутники – Фобос і Деймос. Перший знаходиться на відстані 9500 км від центра Марса, другий – на відстані 24000 км. Знайти періоди обертання цих супутників навколо Марсу.

- 1.450. Штучний супутник Землі рухається по коловій орбіті в площині екватора з заходу на схід. На якій відстані від поверхні Землі має знаходитися цей супутник, щоб він був нерухомим по відношенню до спостерігача, що знаходиться на Землі?
- 1.451. Штучний супутник Місяця рухається по коловій орбіті на відстані 20 км від поверхні Місяця. Знайти лінійну швидкість руху цього супутника, а також період його обертання навколо Місяця.
- 1.452. Обчислити першу та другу космічні швидкості для Місяця (див. задачі 1.445 та 1.446).
- 1.453. На якій відстані від Землі прискорення вільного падіння дорівнює 2 м/с^2 .
- 1.454. У скільки разів кінетична енергія штучного супутника Землі, що рухається по коловій орбіті, менша його потенціальної енергії гравітаційної взаємодії?
- 1.455. Знайти зміну прискорення вільного падіння при опускання тіла на глибину h . На якій глибині ця величина складає 25% прискорення вільного падіння на поверхні Землі? Густину Землі вважати сталою. Вказівки. Врахувати, що тіло, яке знаходиться на глибині під поверхнею Землі, не зазнає з боку вище розташованих шарів ніякого притягання, так як притягання від окремих частин шару взаємно компенсуються. (Вважати застосовною теорему Гаусса-Остроградського до гравітаційної взаємодії).
- 1.456. Яку кінетичну енергію треба надати тілу, що має масу 4 т, на полюсі Землі, щоб воно піднялося вертикально вгору на висоту 6370 км ? Яку швидкість треба надати цьому тілу? Опором повітря нехтувати.
- 1.457. Визначити прискорення вільного падіння на висоті, що дорівнює радіусу Землі, якщо на Землі прискорення вільного падіння $9,8\text{ м/с}^2$.
- 1.458. На якій висоті над поверхнею Землі сила тяжіння тіл зменшиться в 5 разів?

- 1.459. Визначити густину кулеподібної планети, якщо вага тіла на полюсі в 2 рази більше, ніж на екваторі. Період обертання планети навколо власної осі – 2 год. 40 хв.
- 1.460. Знайти кутову та лінійну швидкості орбітального руху штучного супутника Землі, якщо його період обертання навколо Землі 4 години.
- 1.461. Протон пролітає відстань $1,5 \cdot 10^8$ км між Сонцем і Землею з швидкістю, що дорівнює 0,8 швидкості світла. Якою є ця відстань у системі відліку, яка зв'язана з протоном?
- 1.462. Який час потрібен протону для проходження відстані $1,5 \cdot 10^8$ км з швидкістю, що дорівнює 0,8 швидкості світла, в системах відліку, що пов'язані з Землею та протоном?
- 1.463. Дві частинки, які рухаються одна за одною з швидкістю, що дорівнює 0,8 швидкості світла, падають на мішень з інтервалом часу 10^{-7} с. Знайти відстань між частинками в лабораторній системі координат, яка зв'язана з Землею, та в системі координат, яка зв'язана з частинками.
- 1.464. Ракета рухається відносно нерухомого спостерігача з швидкістю, що дорівнює 0,99 швидкості світла. Який час мине на годиннику нерухомого спостерігача, якщо на годиннику, який рухається разом з ракетою, минув один рік ?
- 1.465. Дві ракети рухаються назустріч одна одній з швидкостями, що дорівнюють $3/4$ швидкості світла, відносно нерухомого спостерігача. Визначити швидкість зближення ракет за класичною та релятивістською формулами додавання швидкостей.
- 1.466. Власна довжина стрижня 1 м. Визначити його довжину для спостерігача, відносно якого стрижень рухається з швидкістю, що дорівнює $4/5$ швидкості світла в напрямку вздовж стрижня.
- 1.467. Який час мине на Землі, якщо в ракеті, яка рухається відносно Землі з швидкістю, що дорівнює 0,98 швидкості світла, мине 10 років ?

- 1.468. Літак рухається зі швидкістю 800 км/год назустріч нерухомому джерелу світла. З якою швидкістю літак зближається з фотонами?
- 1.469. Дві ракети рухаються рівномірно та прямолінійно паралельними курсами в одному напрямку з однаковою швидкістю, що дорівнює 0,6 швидкості світла, відносно Землі. У першій ракеті відбуваються дві послідовні події через 8 годин. Який час пройшов між цими подіями за годинником спостерігача, який знаходився в іншій ракеті? За годинником спостерігача, який знаходився на Землі?
- 1.470. Мю-мезони (мюони) космічних променів зароджуються у верхніх шарах атмосфери. При швидкості, що дорівнює 0,995 швидкості світла, вони встигають пролетіти до розпаду відстань 6 км. Визначити час життя мюона для спостерігача на Землі та власний час життя мюона, а також довжину шляху, що пройшов мюон до розпаду в його системі відліку.
- 1.471. Який час мине за годинником, який знаходиться в ракеті, що рухається рівномірно та прямолінійно, якщо за годинником, який покоїться в інерціальній системі відліку, відносно якої рухається ракета, минула одна година? Швидкість ракети 3000 км/год; 100000 км/год; 250000 км/год.
- 1.472. Скільки часу для земного спостерігача та космонавта займе космічний політ до зірки та в зворотний бік на ракеті, яка летить зі швидкістю, що дорівнює 0,99 швидкості світла? Відстань (для земного спостерігача) до зірки дорівнює 40 світлових років.
- 1.473. Мюон, який народжується у верхніх прошарках атмосфери, пролітає до розпаду відстань 5 км. Визначити, з якою швидкістю він летить, якщо його власний час життя складає $2,21 \cdot 10^{-6} \text{с}$.
- 1.474. Власний час життя мюона $2,21 \cdot 10^{-6} \text{с}$. Визначити, чи прилітають мюони, що спостерігаються поблизу поверхні Землі, з космічного простору, чи народжуються в земній

атмосфері. Мюони відносно Землі мають швидкість, що дорівнює 0,99 швидкості світла.

- 1.475. При якій відносній швидкості руху релятивістське скорочення довжини рухомого тіла складає 25 %?
- 1.476. Яку швидкість матиме рухоме тіло, якщо його повздовжні розміри зменшилися в 2 рази?
- 1.477. Мезони космічних променів досягають поверхні Землі з різними швидкостями. Знайти релятивістське скорочення розмірів мезонів, які мають швидкість, що дорівнює 0,95 швидкості світла.
- 1.478. У скільки разів збільшується тривалість життя нестабільної частинки (за годинником нерухомого спостерігача) , якщо вона починає рухатися зі швидкістю, що дорівнює 0,99 швидкості світла?
- 1.479. Мезон, який входить до складу космічних променів, рухається з швидкістю, що дорівнює 0,95 швидкості світла. Який проміжок часу за годинником земного спостерігача відповідає 1 с власного часу мезона?
- 1.480. Електрон рухається зі швидкістю, що дорівнює 0,8 швидкості світла. Визначити повну та кінетичну енергію електрона.
- 1.481. Два тіла рухаються назустріч одне одному з швидкостями $2 \cdot 10^5$ км/год відносно нерухомого спостерігача. На скільки відрізняються швидкості їх руху відносно одне одного, обчислені за класичною та релятивістською формулами додавання швидкостей ?
- 1.482. Два електрона рухаються вздовж однієї прямої з швидкостями, що дорівнюють 0,9 та 0,8 швидкості світла, відносно нерухомого спостерігача. Яка відносна швидкість електронів при їхньому русі в одному напрямку? При русі в протилежних напрямках?
- 1.483. З якою швидкістю наближаються два фотона, якщо кожний з них відносно нерухомого спостерігача рухається зі швидкістю світла? Яка буде відповідь за класичною формулою додавання швидкостей?

- 1.484. Знайти відносне релятивістське скорочення протона, який рухається зі швидкістю, що дорівнює 0,98 швидкості світла.
- 1.485. З якою швидкістю рухається тіло, якщо його повздовжні розміри зменшилися в 3 рази?
- 1.486. Який проміжок часу за годинником земного спостерігача відповідає 3 с власного часу частинки, що рухається зі швидкістю $2,5 \cdot 10^5$ км/с?
- 1.487. Починаючи з якої швидкості стає помітним скорочення лінійних розмірів рухомих частинок, які можуть бути виміряні з точністю до 5 %?
- 1.488. Внаслідок спонтанних перетворень число мезонів зменшується вдвічі за $1,8 \cdot 10^{-8}$ с, якщо швидкість мезонів дорівнює нулеві. За який час розпадається половина мезонів, якщо їхня швидкість дорівнює 0,6 швидкості світла? Який шлях вони встигають пройти за цей час?
- 1.489. При якій швидкості маса рухомої частинки в 3 рази більша її маси спокою?
- 1.490. Визначити швидкість електрона, що має кінетичну енергію 1,53 МеВ.
- 1.491. Електрон рухається з швидкістю, що дорівнює 0,6 швидкості світла. Визначити імпульс електрона.
- 1.492. Визначити імпульс електрона, що має кінетичну енергію 5 МеВ.
- 1.493. Визначити імпульс і кінетичну енергію електрона, який рухається зі швидкістю, що дорівнює 0,9 швидкості світла.
- 1.494. Частинка рухається з швидкістю, що дорівнює $1/3$ швидкості світла. Яку долю порівняно з енергії спокою складає кінетична енергія частинки?
- 1.495. Протон з кінетичною енергією 3 ГеВ при гальмуванні втрачає третю частину цієї енергії. Визначити, в скільки разів змінився імпульс частинки.
- 1.496. При якій швидкості (в долях швидкості світла) маса частинки в 3 рази більша її маси спокою?

- 1.497. Протон має імпульс 469 MeV/c . Яку кінетичну енергію необхідно додатково надати протону, щоб його імпульс збільшився в 2 рази ?
- 1.498. У скільки разів маса електрона, що має кінетичну енергію $1,53 \text{ MeV}$, більша маси спокою?
- 1.499. Яку швидкість (в долях швидкості світла) треба надати частинці, щоб її кінетична енергія дорівнювала би подвійному значенню енергії спокою?
- 1.500. Частинка рухається зі швидкістю, що дорівнює $3/4$ швидкості світла, відносно нерухомого спостерігача. У скільки разів маса цієї частинки більша її маси спокою?
- 1.501. Тіло масою 1 кг рухається зі швидкістю $2 \cdot 10^5 \text{ км/с}$. Визначити масу цього тіла для нерухомого спостерігача.
- 1.502. З якою швидкістю рухається тіло, маса якого для нерухомого спостерігача дорівнює 4 кг , якщо його маса спокою $2,4 \text{ кг}$.
- 1.503. Який імпульс має електрон, якщо його швидкість дорівнює $4/5$ швидкості світла.
- 1.504. При якій швидкості кінетична енергія частинки дорівнює її енергії спокою?
- 1.505. Прискорювач розганяє протони до кінетичної енергії $7 \cdot 10^{10} \text{ eV}$. З якою швидкістю рухаються протони? У скільки разів збільшується їхня маса?
- 1.506. Маса рухомого електрона в 11 разів більша його маси спокою. Визначити кінетичну енергію електрона та його імпульс.
- 1.507. Яка енергія виділялася би при повному перетворенні речовини масою 1 г у випромінювання?
- 1.508. Яка зміна маси відповідає енергії, що виробляється за 1 годину електростанцією з потужністю $2,5 \cdot 10^3 \text{ МВт}$?
- 1.509. До якої енергії можна прискорити частинки в циклотроні, якщо відносне збільшення маси частинки має не перевищувати 5% ? Задачу розв'язати для електрона, протона, дейтрона.
- 1.510. Знайти швидкість мезона, якщо його повна енергія в 10 разів більша енергії спокою.

ГЛАВА 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

2.1. Коротка теоретична довідка

Елементи статистичної фізики

- Рівняння стану ідеального газу в молекулярно кінетичній теорії речовини

$$p = \frac{2}{3} n \langle W_k \rangle,$$

де $\langle W_k \rangle$ – середня кінетична енергія поступального руху однієї молекули; $n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \cdot \rho}{\mu}$ – концентрація молекул; N – число молекул, які знаходяться в об'ємі V газу, ρ – густина газу, μ – молярна маса газу, N_A – число Авогадро.

- Кількість речовини (кількість молей)

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}.$$

- Один моль дорівнює такій кількості речовини, яка містить стільки ж структурних елементів (N_A), скільки міститься атомів в ізотопі вуглецю $^{12}_6\text{C}$ масою 0,012 кг.

- Кількість молей речовини суміші

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_N.$$

- Рівняння стану ідеального газу (Клапейрона – Менделєєва) є наслідком справедливості експериментальних газових законів Бойля – Маріотта, Гей-Люссака, Шарля та закону Авогадро

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

де p – тиск газу; ν – кількість речовини; R – універсальна газова стала; T – термодинамічна температура; m – маса газу.

- Закон Авогадро: один моль будь-якого газу за нормальних умов займає об'єм 22,4 літра. Нормальними умовами вважають тиск $1,031 \cdot 10^5$ Па та температуру 0°C .
- Експериментальні закони ідеального газу для ізопроцесів ($m = \text{const}$)

а) Шарля (ізобарний, $p = \text{const}$)

$$\frac{p}{T} = \text{const};$$

б) Гей-Люссака (ізохорний, $V = \text{const}$)

$$\frac{V}{T} = \text{const};$$

в) Бойля – Маріотта, (ізотермічний, $T = \text{const}$)

$$pV = \text{const}.$$

➤ Залежність тиску від термодинамічної температури

$$p = nkT,$$

де $k = R/N_A$ – стала Больцмана.

➤ Закон Дальтона для суміші газів

$$p = p_1 + p_2 + \dots p_i + \dots + p_N,$$

де p_i – парціальний тиск компоненти суміші.

➤ Середня кінетична енергія молекул ідеального газу

$$\langle W_k \rangle = \frac{3}{2} kT.$$

➤ Середня кінетична енергія молекул реального газу

$$\langle W_k \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

де $i = i_{\text{пост}} + i_{\text{об}} + 2i_{\text{кол}}$ – кількість ступенів вільності молекули. У одноатомних молекул $i=3$, двоатомних – $i=5+2i_{\text{кол}}$, трьох- і більше атомних $i=6+2i_{\text{кол}}$.

➤ Середня довжина вільного пробігу молекул газу

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi d^2 n},$$

де d – ефективний діаметр молекули.

➤ Розподіл молекул ідеального газу за абсолютними швидкостями (розподіл Максвелла)

$$f(u) = \frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \cdot u^2 \cdot \Delta u,$$

де $f(u)$ – функція розподілу, яка дозволяє визначити частку молекул ΔN від усіх молекул N в даному об'ємі газу, швидкість

яких лежить в інтервалі від u до $u + \Delta u$; $u = \frac{v}{v_{\text{ім}}}$ – відносна швидкість; Δu – інтервал відносних швидкостей, малий порівняно з самою швидкістю u ; v – швидкість молекул; $v_{\text{ім}}$ – найбільш імовірна швидкість молекул. При розв’язуванні задач варто скористатись двома табличними представленнями функції Максвелла (табл. 16 та 17), що спрощує розв’язок.

➤ З розподілу Максвелла можуть бути визначені

а) середньоквадратична швидкість молекул

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}};$$

б) середньоарифметична швидкість молекул

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}};$$

в) найбільш імовірна швидкість молекул

$$v_{\text{ім}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}.$$

➤ Розподіл молекул в силовому полі (розподіл Больцмана)

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{W_{\text{п}}}{kT}\right),$$

де n – концентрація молекул газу на висоті h ; n_0 – концентрація молекул; $W_{\text{п}}$ – потенціальна енергія молекули.

➤ Барометрична формула (у гравітаційному полі Землі)

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{kT}\right),$$

де p – тиск на висоті h ; p_0 – тиск на поверхні Землі.

Основи термодинаміки

➤ Перше начало термодинаміки є законом збереження енергії в теплових процесах

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

де ΔQ – кількість теплоти, надана системі; ΔU – зміна внутрішньої енергії системи; A – робота, виконана системою проти зовнішніх сил.

- Кількість теплоти, надана системі (або віддана системою)

$$\Delta Q = cm\Delta T,$$

де c – питома теплоємність речовини; ΔT – зміна температури.

- Молярна теплоємність речовини

$$c_{\mu} = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T} = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \mu \cdot c.$$

- Молярна теплоємність ідеального газу при сталому об'ємі

$$c_{\mu V} = \mu \cdot c_V = \frac{m}{\mu} \cdot \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_V;$$

$$c_{\mu V} = \frac{i}{2} \cdot R.$$

- Молярна теплоємність ідеального газу при сталому тиску

$$c_{\mu p} = \mu \cdot c_p = \frac{m}{\mu} \cdot \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_p;$$

$$c_{\mu p} = \frac{i + 2}{2} \cdot R.$$

- Рівняння Майєра

$$c_{\mu p} = c_{\mu V} + R.$$

- Зміна внутрішньої енергії ідеального газу

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} \cdot R \Delta T.$$

- Робота газу в термодинаміці

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

- Застосування першого начала термодинаміки до ізопроцесів та адіабатного процесу

а) ізотермічний процес $T = \text{const}$, $m = \text{const}$, $\Delta U = 0$

$$\Delta Q = A; \quad p \Delta V = \text{const};$$

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2};$$

б) ізохорний процес $V = \text{const}$, $m = \text{const}$, $A = 0$

$$\Delta Q = \Delta U;$$

в) ізобарний процес $p = \text{const}$, $m = \text{const}$,

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

$$A = p(V_2 - V_1);$$

г) адіабатний (або ізоентропійний) процес, який проходить без теплообміну системи з навколишнім середовищем

$$\Delta Q = 0;$$

$$A = -\Delta U;$$

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R (T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

➤ Рівняння Пуассона для адіабатного процесу

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

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

$$Tp^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{const},$$

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

➤ Приріст ентропії визначає нерівність Клаузіуса

$$\Delta S \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T} \geq \int_1^2 \frac{dU + dA}{T},$$

де $\Delta S = S_2 - S_1$ – різниця ентропій в двох рівноважних станах 2 та 1.

➤ Зміна ентропії під час фазового переходу першого роду

$$\Delta S = \frac{q\Delta m}{T},$$

де q – питома теплота фазового переходу; Δm – маса речовини, що зазнала переходу; T – температура фазового переходу.

➤ Коефіцієнт корисної дії теплової машини

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

де Q_1 – кількість теплоти, одержаної робочим тілом від нагрівника;
 Q_2 – кількість теплоти, відданої робочим тілом холодильнику;
 A – робота, виконана під час циклу.

➤ ККД ідеальної теплової машини, що працює за циклом Карно

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

де T_1 і T_2 – термодинамічні температури нагрівника і холодильника.

➤ Явища переносу

а) дифузія (закон Фіка)

$$dm = -D \left(\frac{d\rho}{dx} \right) dS dt;$$

де dm – маса речовини, яка переноситься за час dt через елементарну поверхню площею dS , перпендикулярно до неї;
 D – коефіцієнт дифузії; $d\rho/dx$ – градієнт густини;

✓ коефіцієнт дифузії для газів

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle,$$

де $\langle v \rangle$ – середня швидкість; $\langle l \rangle$ – середня довжина вільного пробігу молекул газу;

б) теплопровідність (закон Фур'є)

$$dQ = -\lambda \left(\frac{dT}{dx} \right) dS dt;$$

де dQ – кількість енергії у формі теплоти, що переноситься за час dt через елементарну поверхню площею dS , перпендикулярно до неї; λ – коефіцієнт теплопровідності;
 dT/dx – градієнт температури;

✓ коефіцієнт теплопровідності для газів

$$\lambda = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle \rho c_V,$$

де ρ – густина; c_V – питома теплоємність газу при сталому об'ємі;

в) в'язкість або внутрішнє тертя (закон Ньютона)

$$dF = -\eta \left(\frac{dv}{dx} \right) dS,$$

де dF – сила внутрішнього тертя між елементарними шарами рідини або газу площею dS ; η – коефіцієнт динамічної в'язкості; dv/dx – градієнт швидкості руху шарів в напрямку, перпендикулярному до поверхні площини dS ;

✓ коефіцієнт динамічної в'язкості для газів

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle.$$

Реальні молекулярні системи

➤ Рівняння Ван дер Ваальса для одного моля реального газу

$$\left(p + \frac{a}{V_\mu^2} \right) (V_\mu - b) = RT,$$

де $V_\mu = V/\nu$ – молярний об'єм; a та b – константи Ван дер Ваальса, які пов'язані з параметрами газу: критичним молярним об'ємом, критичним тиском, критичною температурою

$$V_{\mu\text{кр}} = 3b; \quad p_{\text{кр}} = \frac{a}{27b^2}; \quad T_{\text{кр}} = \frac{8a}{27bR}.$$

➤ Зв'язок між критичними параметрами 1 моля речовини

$$p_{\text{кр}} V_{\text{кр}} = \frac{3}{8} RT_{\text{кр}}.$$

➤ Коефіцієнт поверхневого натягу

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta S} = \frac{F_{\text{пов}}}{l},$$

де ΔW – зміна вільної енергії поверхневого шару рідини при ізотермічній зміні площі поверхні цього шару на ΔS ; $F_{\text{пов}}$ – сила поверхневого натягу, що діє на край довжиною l поверхневої плівки, який обмежує поверхню рідини.

- Формула Лапласа для надлишкового тиску, що створений поверхневим шаром, обумовленим кривизною поверхні рідини

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right),$$

де r_1 і r_2 – радіуси кривизни двох взаємно перпендикулярних перерізів рідини.

- Формула Лапласа для надлишкового тиску сферичної поверхні рідини

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R},$$

де R – радіус сферичної поверхні.

- Висота підняття рідини в капілярній трубці

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g R},$$

де θ – крайовий кут змочування (при повному змочуванні стінок трубки рідиною $\theta = 0$; при повному незмочуванні $\theta = \pi$); ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння; R – внутрішній радіус трубки.

- Висота підйому рідини між двома близькими паралельними одна одній площинами:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g d},$$

де d – відстань між площинами.

- Рівняння Клапейрона – Клаузіуса для фазових переходів в речовинах

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q}{T(V_2 - V_1)};$$

де q – питома теплота фазового переходу; T – температура фазового переходу; $(V_2 - V_1)$ – зміна питомого об'єму при фазовому переході.

2.2. Задачі до модуля «Молекулярна фізика»

- 2.1. Яку температуру мають 2 г азоту, що займає об'єм 820 см^3 , при тиску $0,2 \text{ МПа}$?
- 2.2. Який об'єм займають 10 г кисню при тиску 100 кПа і температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 2.3. Балон об'ємом 12 л наповнений азотом при тиску $8,1 \text{ МПа}$ і температурі $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Яка кількість азоту знаходиться у балоні?
- 2.4. Тиск повітря всередині щільно закоркованої пляшки при температурі $7 \text{ }^\circ\text{C}$ становив 100 кПа . Під час нагрівання пляшки корок вилетів. Визначити, до якої температури нагріли пляшку, якщо відомо, що корок вилетів при тиску повітря у пляшці 130 кПа .
- 2.5. Знайти найменший об'єм балона, який містить $6,4 \text{ кг}$ кисню, якщо його стінки при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ витримують тиск $15,7 \text{ МПа}$.
- 2.6. У балоні знаходилось 10 кг газу при тиску 10 МПа . Визначити, яку кількість газу взяли з балону, якщо остаточний тиск встановився $2,5 \text{ МПа}$.
- 2.7. Знайти масу сірчаного газу (SO_2), який займає об'єм 25 л при температурі $27 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 100 кПа .
- 2.8. Знайти масу повітря, яке заповнює аудиторію висотою 5 м і площею підлоги 200 м^2 . Тиск повітря 100 кПа , температура у приміщенні $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Масу одного моля повітря вважати рівною $0,029 \text{ кг}$.
- 2.9. У скільки разів густина повітря, яке заповнює приміщення взимку ($7 \text{ }^\circ\text{C}$), більша за його густину влітку ($37 \text{ }^\circ\text{C}$)? Тиск однаковий.
- 2.10. Яка кількість молів газу міститься у балоні об'ємом 10 м^3 при тиску 96 кПа і температурі $17 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 2.11. Азот масою 5 г , який знаходиться в закритій посудині об'ємом 4 л при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$, нагрівають до температури $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Знайти тиск газу до та після нагрівання.
- 2.12. При температурі $50 \text{ }^\circ\text{C}$ тиск насиченої водяної пари становить $12,3 \text{ кПа}$. Знайти за таких умов густину водяної пари.

- 2.13. Визначити густину водню при температурі $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску $97,3\text{ кПа}$.
- 2.14. Густина деякого газу при температурі $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 200 кПа становить $0,34\text{ кг/м}^3$. Знайти масу одного моля цього газу.
- 2.15. Знайти густину повітря в посудині, якщо його відкачали до тиску $1,33 \cdot 10^{-9}\text{ Па}$. Температура повітря становить $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2.16. Газ масою 12 г займає об'єм $4 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$ при температурі 7°C . Після нагрівання газу при сталому тиску його густина становить $0,6\text{ кг/м}^3$. До якої температури нагріли газ?
- 2.17. Кисень масою 10 г кисню знаходяться під тиском 304 кПа при температурі $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після розширення внаслідок нагрівання при сталому тиску, кисень зайняв об'єм 10 л . Визначити об'єм і густину газу до розширення, температуру і густину газу після розширення.
- 2.18. У посудині об'ємом 12 л міститься 25 г газу при 27°C і тиску 185 кПа . Який це газ?
- 2.19. Густина газу при тиску $0,96 \cdot 10^5\text{ Па}$ і температурі 0°C становить $1,35\text{ кг/м}^3$. Визначити молярну масу газу.
- 2.20. Визначити значення тиску газу, який містить 10^9 молекул і має об'єм 1 см^3 , при температурах 3 К та 1000 К .
- 2.21. Визначити кількість молекул, які містяться в 1 мм^3 води, і масу молекули води. Вважаючи умовно, що молекули води мають вигляд кульок, які доторкаються одна до одної, визначити діаметр молекул.
- 2.22. У балоні об'ємом 10 л міститься гелій під тиском 1 МПа при температурі 300 К . Після того, як із балона було вилучено 10 г гелію, температура в ньому зменшилася до 290 К . Визначити тиск гелію, що залишився в балоні.
- 2.23. Вода при температурі $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ займає об'єм 1 см^3 . Визначити кількість молів і число молекул води.
- 2.24. Визначити концентрацію молекул кисню, який міститься в посудині об'ємом 2 л . Кількість молів кисню дорівнює $0,2$.
- 2.25. Визначити кількість молів водню, який заповнює посудину об'ємом 3 л , якщо концентрація молекул газу у посудині

становить $2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$.

- 2.26. У балоні об'ємом 3 л міститься кисень масою 10 г. Визначити концентрацію молекул газу.
- 2.27. Балон об'ємом 15 л наповнений азотом. Температура азоту дорівнює 400 К. Коли частину азоту витратили, тиск у балоні зменшився на 200 кПа. Визначити масу витраченого азоту. Процес вважати ізотермічним.
- 2.28. У балоні об'ємом 15 л міститься аргон під тиском 600 кПа, при температурі 300 К. Коли з балону було вилучено деяку кількість аргону, тиск у балоні зменшився до 400 кПа, а температура встановилася 260 К. Визначити масу аргону, вилученого з балона.
- 2.29. Визначити густину азоту, який знаходиться у балоні під тиском 2 МПа при температурі 400 К.
- 2.30. Визначити густину азоту при температурі 400 К і тиску 2 МПа.
- 2.31. У посудині об'ємом 40 л міститься кисень. Температура кисню 300 К. Коли частину кисню витратили, тиск в балоні зменшився на 100 кПа. Визначити масу витраченого кисню, якщо температура газу в балоні не змінилася.
- 2.32. Визначити густину водяної пари, яка знаходиться під тиском 2,5 кПа при температурі 250 К.
- 2.33. Із балону зі стисненим повітрям виходить газ через пошкоджений вентиль. Спочатку, при температурі 7 °С манометр на балоні показував тиск 500 кПа. Через деякий час, при температурі 17 °С, манометр показує той самий тиск. Наскільки змінилася концентрація газу в балоні? Яка маса газу витекла з балону, якщо його об'єм становить 10 л?
- 2.34. Газ при тиску $8,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ і температурі 12 °С займає об'єм 855 л. Яким буде тиск, якщо та ж маса газу при температурі 320 К займе об'єм 800 л?
- 2.35. Деяка маса газу при тиску 126 кПа і температурі 300 К займає об'єм 0,6 м³. Визначити об'єм газу за нормальних умов.
- 2.36. Балон містить стиснений газ при температурі 27 °С і тиску

- $4 \cdot 10^5$ Па. Якими стануть тиск і концентрація газу, якщо з балону вилучити половину маси газу, а температуру знизити до 12°C ?
- 2.37. Газ при тиску $6 \cdot 10^5$ Па і температурі 293 К займає об'єм 586 л. Визначити об'єм, який займатиме та ж сама маса газу при температурі 248 К і тиску $4 \cdot 10^5$ Па.
- 2.38. Об'єм газу при тиску $7,2 \cdot 10^5$ Па і температурі 288 К становить $0,6 \text{ м}^3$. При якій температурі та ж сама маса газу займатиме об'єм $1,6 \text{ м}^3$, якщо тиск становитиме $2,25 \cdot 10^5$ Па?
- 2.39. Газ при тиску $3,2 \cdot 10^4$ Па і температурі 290 К займає об'єм 87 л. Визначити об'єм газу за нормальних умов.
- 2.40. Який тиск створює 40 л кисню при температурі 103°C , якщо за нормальних умов та ж сама маса газу займає об'єм 13,65 л? Знайти масу газу.
- 2.41. При якій температурі тиск 240 л водню становить 126 кПа, якщо за нормальних умов та ж сама маса газу займає об'єм 364 л? Визначити масу газу.
- 2.42. Визначити густину повітря на висоті 10 км над рівнем моря при температурі -48°C і тиску $3 \cdot 10^4$ Па, якщо на рівні моря атмосферні умови нормальні.
- 2.43. Знайти відношення густини вуглекислого газу при тиску 93,1 кПа і температурі 250 К до густини водню при тиску $6 \cdot 10^5$ Па і температурі 293 К.
- 2.44. До якої температури треба нагріти запаяну кулю, яка містить 9 г води, щоб вона розірвалася, якщо відомо, що стінки кулі витримують тиск не більший за 4 МПа, а об'єм кулі 1,2 л?
- 2.45. Після вилучення з посудини деякої кількості газу, тиск у ній знизився на 40%, а абсолютна температура – на 10%. Яку частину газу вилучили?
- 2.46. Накреслити графік зміни густини ідеального газу залежно від температури при ізотермічному, ізобаричному та ізохорному процесах.
- 2.47. У скільки разів збільшиться об'єм повітряної кулі, якщо її внести з вулиці в тепле приміщення? Температура назовні –

3 °C, в приміщенні +27°C.

- 2.48. Об'єм деякої маси газу при нагріванні на 10 К при сталому тиску збільшився на 0,03 від свого початкового об'єму. Визначити початкову температуру газу.
- 2.49. До якої температури при нормальному атмосферному тиску треба нагріти кисень, щоб його густина дорівнювала густині азоту за нормальних умов?
- 2.50. Яка маса повітря вийде з кімнати, якщо температура повітря збільшиться від 10 °C до 20 °C? Об'єм кімнати 60 м³ за нормального атмосферного тиску.
- 2.51. Всередині закритого з обох кінців горизонтального циліндра знаходиться тонкий поршень, який може ковзати без тертя. З одного боку від поршня знаходиться водень масою 3 г, з іншого азот масою 23 г. Яку частину об'єму циліндру займає водень?
- 2.52. У сталений балон об'ємом 10 л нагнітається водень при температурі 290 К. Скільки водню можна вмістити в балон, якщо стінки балона витримують максимальний тиск 50 МПа?
- 2.53. Визначити густину кисню при температурі 300 К і тиску $1,6 \cdot 10^5$ Па. Розрахувати масу 200 м³ кисню за даних умов.
- 2.54. Скільки молекул кисню міститься в посудині об'ємом 1 л, якщо температура кисню 150 °C, а тиск 1,132 кПа?
- 2.55. Визначити концентрацію молекул ідеального газу при нормальному тиску і температурі 23 °C. Скільки таких молекул буде знаходитись у колбі об'ємом 200 мл?
- 2.56. Визначити кількість молів і число молекул кисню масою 0,5 кг.
- 2.57. Скільки атомів міститься в ртуті масою 1 г; в ртуті кількістю молів 0,2?
- 2.58. Визначити молярну масу і масу однієї молекули кухонної солі.
- 2.59. Визначити кількість молекул, які містяться в 1 г азоту; в 1 м³ кисню за нормальних умов.
- 2.60. Визначити кількість атомів, які містяться в 1 г гелію; в 1 м³

аргону за нормальних умов.

- 2.61. Обчислити концентрацію молекул ідеального газу за нормальних умов.
- 2.62. Водень масою 2 г міститься в посудині об'ємом 10 л при температурі 100 °С. Визначити повну кінетичну енергію поступального хаотичного руху молекул і значення середньої квадратичної швидкості молекул.
- 2.63. Двохатомний газ масою 1 кг міститься під тиском $8 \cdot 10^4$ Па і має густину 4 кг/м³. Визначити енергію теплового руху молекул газу за таких умов.
- 2.64. У посудині об'ємом 5 л міститься 1 г водню при температурі 80 °С. Визначити повну кінетичну енергію поступального хаотичного руху молекул і значення середньої квадратичної швидкості молекул.
- 2.65. Визначити тиск одноатомного газу, який займає об'єм 2 л, якщо його внутрішня енергія дорівнює 300 Дж.
- 2.66. Визначити повну кінетичну енергію молекул вуглекислого газу при температурі 223 К.
- 2.67. Визначити кінетичну енергію поступального руху молекул водню при температурах 173 К; 273 К; 423 К.
- 2.68. При яких температурах молекули кисню мають середню квадратичну швидкість 200 м/с; 700 м/с? Наскільки зміниться внутрішня енергія газу при переході від більш високої із знайдених температур до найнижчої?
- 2.69. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули кисню при температурі 350 К, а також кінетичну енергію обертального руху всіх молекул кисню масою 4 г.
- 2.70. Визначити повну кінетичну енергію, а також кінетичну енергію однієї молекули аміаку (NH₃) при температурі 27 °С.
- 2.71. Кількість молів кисню дорівнює 0,5. Визначити внутрішню енергію кисню, а також середню кінетичну енергію молекули цього газу при температурі 300 К.
- 2.72. Визначити сумарну кінетичну енергію поступального руху

всіх молекул газу, який міститься в посудині об'ємом 3 л під тиском 540 кПа.

- 2.73. Кількість молів гелію дорівнює 1,5, а температура 120 К. Визначити сумарну кінетичну енергію поступального руху всіх молекул газу.
- 2.74. Внутрішня енергія 1 моля деякого двохатомного газу становить 6,02 кДж/моль. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули такого газу. Газ вважати ідеальним.
- 2.75. Визначити середню кінетичну енергію однієї молекули водяної пари при температурі 500 К.
- 2.76. Водень знаходиться при температурі 300 К. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули, а також сумарну кінетичну енергію всіх молекул цього газу. Кількість молів водню дорівнює 0,5.
- 2.77. При якій температурі середня кінетична енергію поступального руху газу становить $4,14 \cdot 10^{-21}$ Дж?
- 2.78. В азоті зважені дрібні частинки пилу, які рухаються так, нібито вони дуже великі молекули. Маса кожної частинки дорівнює $6 \cdot 10^{-10}$ г. Газ знаходиться при температурі 400 К. Визначити середні квадратичні швидкості, а також середні кінетичні енергії поступального руху молекули азоту та частинки.
- 2.79. Чому дорівнює енергія теплового руху 20 г кисню при температурі 10 °С. Яка частина цієї енергії припадає на поступальний рух і яка частина на обертальний?
- 2.80. Визначити кінетичну енергію теплового руху молекул, які містяться в 1 г повітря при температурі 15 °С. Повітря вважати однорідним газом, а молярна маса становить $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
- 2.81. Знайти енергію обертального руху молекул, які містяться в 1 кг азоту при температурі 7 °С?
- 2.82. Знайти енергію теплового руху молекул двохатомного газу, що знаходиться під тиском $1,5 \cdot 10^5$ Па в посудині об'ємом 2 л?
- 2.83. Кінетична енергія поступального руху молекул азоту, що

- міститься в балоні об'ємом $0,02 \text{ м}^3$, дорівнює $5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$, а середня квадратична швидкість його молекул становить $2 \cdot 10^3 \text{ м/с}$. Визначити кількість азоту в балоні та тиск, під яким знаходиться азот.
- 2.84. При якій температурі середня кінетична енергія теплового руху атомів гелію буде достатньою для того, щоб атоми гелію здолали земне тяжіння і назавжди покинули земну атмосферу?
- 2.85. Двохатомний газ масою 1 кг знаходиться під тиском $8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ і має густину 4 кг/м^3 . Визначити енергію теплового руху молекул газу за таких умов.
- 2.86. Яка кількість молекул двухатомного газу займає об'єм 10 см^3 при тиску $5,3 \text{ кПа}$ і температурі $27 \text{ }^\circ\text{C}$? Яку енергію теплового руху мають ці молекули?
- 2.87. У посудині міститься 8 г кисню при температурі 1600 К . Яка кількість молекул кисню має кінетичну енергію поступального руху, що перевищує значення $6,65 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$?
- 2.88. Визначити кількість молекул водню в 1 см^3 , якщо тиск становить $266,6 \text{ Па}$, а середня квадратична швидкість його молекул за таких умов дорівнює 2400 м/с .
- 2.89. Густина деякого газу становить $6 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$, а середня квадратична швидкість молекул цього газу – 500 м/с . Визначити тиск, який здійснює газ на стінки посудини.
- 2.90. У посудині об'ємом 2 л міститься 10 г кисню під тиском $90,6 \text{ кПа}$. Знайти середню квадратичну швидкість молекул газу, кількість молекул, що містяться в посудині та густину газу.
- 2.91. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу становить 450 м/с . Тиск газу $5 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Визначити густину газу за таких умов.
- 2.92. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу за нормальних умов становить 461 м/с . Яка кількість молекул міститься в 1 г такого газу.
- 2.93. Визначити коефіцієнт теплопровідності водню, якщо відомо, що коефіцієнт внутрішнього тертя для нього за таких умов дорівнює $8,6 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$.

- 2.94. Визначити коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 100 кПа . Діаметр молекули повітря вважати $3\cdot 10^{-8}\text{ см}$.
- 2.95. Побудувати графік залежності коефіцієнта теплопровідності водню від температури в інтервалі $100\text{ K} \leq T \leq 600\text{ K}$ через кожні 100 K .
- 2.96. У посудині об'ємом 2 л міститься $4\cdot 10^{22}$ молекул двохатомного газу. Коефіцієнт теплопровідності газу $14\text{ мВт}/(\text{м}\cdot\text{K})$. Визначити коефіцієнт дифузії газу за таких умов.
- 2.97. Вуглекислий газ і азот знаходяться при однакових температурах і тиску. Визначити для даних газів відношення коефіцієнтів дифузії; коефіцієнтів внутрішнього тертя і коефіцієнтів теплопровідності. Діаметри молекул цих газів вважати однаковими.
- 2.98. Яка кількість теплоти втрачається щогодини через вікно за рахунок теплопровідності повітря, що міститься між рамами? Площа кожної рами 4 м^2 , відстань між рамами 30 см . Температура в приміщенні $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура ззовні $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Діаметр молекул повітря вважати $3\cdot 10^{-8}\text{ см}$, температуру повітря між рамами вважати рівною середньому арифметичному з температур приміщення та зовнішнього середовища. Тиск дорівнює $101,3\text{ кПа}$.
- 2.99. Між двома пластинами, які розташовані на відстані 1 мм одна від одної, знаходиться повітря. Між пластинами підтримується різниця температур 1 K . Площа кожної пластини $0,01\text{ м}^2$. Яка кількість теплоти передається за рахунок теплопровідності від одної пластини до другої за 10 хв ? Вважати, що повітря знаходиться за нормальних умов. Діаметр молекул повітря вважати рівним $3\cdot 10^{-10}\text{ м}$.
- 2.100. Визначити коефіцієнт дифузії водню за нормальних умов, якщо середня довжина вільного пробігу молекул становить $1,6\cdot 10^{-7}\text{ м}$.
- 2.101. Визначити коефіцієнт дифузії гелію за нормальних умов.
- 2.102. Побудувати графік залежності коефіцієнта дифузії водню від температури в інтервалі $100\text{ K} \leq T \leq 600\text{ K}$ через кожні 100 K

- при сталому тиску 100 кПа.
- 2.103. Визначити масу азоту, який пройшов внаслідок дифузії через поверхню площею 100 см^2 за 10 с, якщо градієнт густини в напрямку, перпендикулярному до поверхні, становить $1,26 \text{ кг/м}^4$. Температура азоту 27°C , середня довжина вільного пробігу азоту 10^{-5} см .
- 2.104. При якому тиску відношення коефіцієнта внутрішнього тертя деякого газу до коефіцієнта його дифузії становить $0,3 \text{ кг/м}^3$, а середня квадратична швидкість його молекул дорівнює 632 м/с ?
- 2.105. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул гелію при температурі 0°C , і тиску $101,3 \text{ кПа}$, якщо за таких умов коефіцієнт внутрішнього тертя (динамічна в'язкість) для нього дорівнює $13 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$.
- 2.106. Визначити коефіцієнт внутрішнього тертя азоту за нормальних умов, якщо коефіцієнт дифузії для нього за таких умов дорівнює $1,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$?
- 2.107. Визначити діаметр молекули кисню, якщо відомо, що при 0°C коефіцієнт внутрішнього тертя для кисню дорівнює $18,8 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$.
- 2.108. Побудувати графік залежності коефіцієнта внутрішнього тертя азоту від температури в інтервалі $100 \text{ К} \leq T \leq 600 \text{ К}$ через кожні 100 К .
- 2.109. Визначити коефіцієнт дифузії і коефіцієнт внутрішнього тертя повітря при тиску $101,3 \text{ кПа}$ і температурі 10°C . Діаметр молекули повітря дорівнює $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
- 2.110. У скільки разів коефіцієнт внутрішнього тертя кисню більше коефіцієнта внутрішнього тертя азоту? Температура газів однакова.
- 2.111. Коефіцієнти дифузії та внутрішнього тертя водню за деяких умов відповідно дорівнюють: $1,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ та $8,5 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$. Визначити кількість молекул водню в 1 м^3 за таких умов.
- 2.112. Коефіцієнти дифузії та внутрішнього тертя кисню відповідно дорівнюють: $1,22 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ і $1,95 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$. Визначити за таких

умов густину кисню; середню довжину вільного пробігу та середню арифметичну швидкість його молекул.

- 2.113. Крапелька води діаметром 0,01 мм зважена в струмені повітря, який підіймається від поверхні Землі зі швидкістю 2 м/с. Визначити швидкість крапельки відносно Землі, якщо динамічна в'язкість повітря $2 \cdot 10^{-4}$ кг/(м·с).
- 2.114. Кулька спливає зі сталою швидкістю в рідині, густина якої в 4 рази більша за густину матеріалу кульки. У скільки разів сила тертя, що діє на кульку, більша за силу тяжіння кульки?
- 2.115. Якої найбільшої швидкості може досягти дощова крапля діаметром 0,4 мм, якщо коефіцієнт динамічної в'язкості повітря дорівнює $1,2 \cdot 10^{-4}$ кг/(м·с).
- 2.116. У воді опускається рівномірно гладенька кулька з радіусом 1 м, яка виготовлена з матеріалу густиною $1,2 \cdot 10^3$ кг/м³. Коефіцієнт в'язкості води 0,01 кг/(м·с). Визначити роботу сил внутрішнього тертя, яка виконується за 1 хв. під час падіння кульки.
- 2.117. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу, що знаходиться у посудині об'ємом 2 л під тиском 200 кПа. Маса газу 0,3 г.
- 2.118. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу, густина якого при тиску 100 кПа становить 0,082 кг/м³. Знайти масу одного моля такого газу, якщо значення густини наведено для температури 17 °С?
- 2.119. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу за нормальних умов становить 461 м/с. Яка кількість молекул міститься в 1 г такого газу?
- 2.120. Визначити середню квадратичну швидкість молекул повітря при температурі 17 °С, вважаючи повітря однорідним газом, молярна маса одного моля якого дорівнює 0,029 кг/моль.
- 2.121. Визначити відношення середніх квадратичних швидкостей молекул повітря і водню при однакових температурах.
- 2.122. Під час вибуху атомної бомби розвивається температура, яка сягає приблизно 10^7 К. Вважаючи, що при такій температурі молекули повністю дисоціюють на атоми, а атоми іонізовані, визначити середню квадратичну швидкість іона водню.

- 2.123. У скільки разів середня квадратична швидкість частинки пилу, що зважена в повітрі, менша за середню квадратичну швидкість молекули повітря? Маса частинки 10^{-8} г. Повітря вважати однорідним газом, а молярна маса дорівнює 0,029 кг/моль.
- 2.124. Визначити середню квадратичну швидкість руху молекул водню при температурі 20 °С.
- 2.125. Частинки гумігуту діаметром 1 мм здійснюють броунівський рух. Густина гумігуту $1 \cdot 10^3$ кг/м³. Визначити середню квадратичну швидкість частинок гумігуту при 0 °С.
- 2.126. Яка частина молекул азоту при температурі 900 К має швидкості, які знаходяться в інтервалі від v_{im} до $v_{im} + \Delta v$, де $\Delta v = 20$ м/с?
- 2.127. Яка частина від загальної кількості молекул має швидкості, менші за найбільш імовірну швидкість?
- 2.128. Визначити середню арифметичну, середню квадратичну та найбільш імовірну швидкості молекул газу, густина якого при тиску 40 кПа дорівнює 0,3 кг/м³.
- 2.129. При якій температурі середня квадратична швидкість молекул азоту перевищує їхню найбільш імовірну швидкість на 50 м/с?
- 2.130. Яка частина молекул кисню при температурі 0 °С має швидкості в інтервалі 100 ÷ 110 м/с?
- 2.131. Яка частина молекул азоту при температурі 150 °С має швидкості в інтервалі від 300 м/с до 325 м/с?
- 2.132. Яка частина молекул водню при температурі 0 °С має швидкості в інтервалі від 2000 м/с до 2100 м/с?
- 2.133. Яка частина молекул азоту, який знаходиться при температурі 400 К, має швидкості, що знаходяться в інтервалі між v_{im} до $v_{im} + \Delta v$, де $\Delta v = 20$ м/с?
- 2.134. Яка частина від загальної кількості молекул має швидкості, що перевищують їхню найбільш імовірну швидкість?
- 2.135. У балоні міститься 2,5 г кисню. Визначити кількість молекул кисню, швидкості яких перевищують значення середньої квадратичної швидкості.
- 2.136. За якої температури кількість молекул азоту, що мають

швидкості в інтервалі від 299 м/с до 301 м/с, дорівнює кількості молекул, які мають швидкості в інтервалі від 599 м/с до 601 м/с?

- 2.137. При якій температурі кількість молекул азоту, які мають швидкості в інтервалі від 300 м/с до 302 м/с, дорівнює кількості молекул, які мають швидкості в інтервалі від 600 м/с до 602 м/с?
- 2.138. У деякому об'ємі міститься число Авогадро молекул ідеального газу. Визначити кількість молекул, швидкості яких менші ніж 0,001 від найбільш імовірної швидкості.
- 2.139. Висотна метеорологічна станція розташована на висоті 3250 м. Визначити тиск повітря на такій висоті. Температуру вважати сталою та рівною 5 °С. Молярну масу повітря взяти рівною $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Тиск біля поверхні Землі дорівнює 101,3 кПа.
- 2.140. На якій висоті тиск повітря становить 75 % від тиску на рівні моря? Температуру вважати сталою та рівною 0 °С.
- 2.141. Пасажирський літак виконує польоти на висоті 8300 м. Для того, щоб позбутися необхідності використання пасажирами кисневих масок, у салоні, за допомогою компресора, підтримується сталий тиск, який відповідає висоті 2700 м. Визначити різницю тисків всередині і ззовні літака. Середню температуру зовнішнього повітря вважати рівною 0 °С.
- 2.142. Визначити з умови попередньої задачі, у скільки разів густина повітря всередині літака більша за густину повітря назовні, якщо температура зовнішнього середовища становить –20 °С, а температура всередині салону 20 °С.
- 2.143. Визначити густину повітря на висоті 4 км над поверхнею Землі. Температуру повітря вважати сталою і рівною 0 °С. Тиск повітря поблизу поверхні Землі 100 кПа.
- 2.144. На якій висоті тиск повітря становить 50% від тиску на рівні моря? Температуру повітря вважати сталою і рівною 0 °С.
- 2.145. За допомогою іонізаційного манометра, встановленого на третьому радянському штучному супутнику Землі, було

- виявлено, що на висоті 300 км від поверхні Землі в 1 см^3 атмосфери знаходиться біля мільярду частинок газу. Визначити середню довжину вільного пробігу частинок газу на такій висоті. Діаметр частинок прийняти рівним $2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
- 2.146. Середня довжина вільного пробігу молекул кисню за нормальних умов становить $6,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Визначити середню арифметичну швидкість молекул і кількість зіткнень за 1 с.
- 2.147. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул вуглекислого газу при температурі $100 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску $13,3 \text{ Па}$. Діаметр молекули вуглекислого газу дорівнює $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.
- 2.148. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул повітря за нормальних умов. Діаметр молекули повітря умовно дорівнює $3 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.
- 2.149. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул вуглекислого газу при температурі $100 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо середня довжина вільного пробігу за таких умов становить $8,7 \cdot 10^{-2} \text{ см}$.
- 2.150. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул азоту при температурі $27 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску $53,33 \text{ кПа}$.
- 2.151. У посудині об'ємом $0,5 \text{ л}$ міститься кисень за нормальних умов. Визначити кількість зіткнень між молекулами кисню у посудині за 1 с.
- 2.152. У скільки разів зменшиться кількість зіткнень за 1 с молекул двохатомного газу, якщо його об'єм адіабатично збільшити вдвічі?
- 2.153. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул азоту при температурі $17 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 100 кПа .
- 2.154. Визначити середню довжину вільного пробігу атомів гелію, густина якого дорівнює $2,1 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$.
- 2.155. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул водню при тиску $0,133 \text{ Па}$ і температурі $50 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 2.156. При температурі $0 \text{ }^\circ\text{C}$ і деякому тиску середня довжина вільного пробігу молекул кисню становить $9,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекули кисню, якщо тиск у посудині відкачати до $0,01$ від початкового тиску? Температура залишається незмінною.

- 2.157. За деяких умов середня довжина вільного пробігу молекул газу становить $1,6 \cdot 10^{-7}$ м, а середня арифметична швидкість його молекул дорівнює 1,95 км/с. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул такого газу, якщо при тій самій температурі тиск газу зменшити в 1,27 разів?
- 2.158. У колбі об'ємом 100 см^3 міститься 0,5 г азоту. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул азоту за таких умов.
- 2.159. У посудині міститься вуглекислий газ, густина якого $1,7 \text{ кг/м}^3$; середня довжина вільного пробігу його молекул за таких умов $7,9 \cdot 10^{-6}$ см. Визначити діаметр молекул вуглекислого газу.
- 2.160. Визначити середній час між двома послідовними зіткненнями молекул азоту при температурі 10°C і тиску 133 Па.
- 2.161. Посудину з повітрям відкачали до тиску $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па. Визначити за таких умов густину повітря в посудині, концентрацію молекул і середню довжину вільного пробігу молекул. Діаметр молекул повітря вважати $3 \cdot 10^{-8}$ см, а молярну масу 0,029 кг/моль. Температура повітря становить 17°C .
- 2.162. Яка найменша кількість молекул газу має міститись в 1 см^3 сферичної посудини, діаметр якої дорівнює 15 см, щоб молекули не зіштовхувались одна з одною? Діаметр молекули газу дорівнює $3 \cdot 10^{-8}$ см.
- 2.163. Який тиск треба створити всередині сферичної посудини діаметром 1 см; 100 см для того, щоб молекули не зіштовхувались одна з одною? Діаметр молекули газу дорівнює $3 \cdot 10^{-8}$ см, а температуру газу 0°C .
- 2.164. У сферичній колбі об'ємом 1 л міститься азот. При якій густині азоту середня довжина вільного пробігу його молекул більша за розміри посудини?
- 2.165. Відстань між катодом і анодом у розрядній трубці становить 15 см. Який тиск треба створити у розрядній трубці, щоб електрони не зіштовхувались із молекулами повітря на шляху від катоду до аноду? Температура повітря становить 27°C .

Діаметр молекули повітря вважати рівним $3 \cdot 10^{-8}$ см. Середня довжина вільного пробігу електронів у газі приблизно в 5,7 разів більша за середню довжину вільного пробігу молекул самого газу.

- 2.166. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул деякого газу, якщо середня довжина вільного пробігу його молекул за таких умов становить $5 \cdot 10^{-4}$ см, а середня квадратична швидкість молекул 500 м/с.
- 2.167. Визначити середню довжину вільного пробігу молекули водню при тиску 0,133 Па і температурі 173 °С.
- 2.168. Визначити середню кількість зіткнень за одиницю часу та довжину вільного пробігу молекули гелію, якщо газ знаходиться під тиском 2 кПа при температурі 200 К.
- 2.169. Визначити середню довжину вільного пробігу молекули азоту в посудині об'ємом 5 л. Маса газу 0,5 г.
- 2.170. Водень знаходиться під тиском 20 мкПа і має температуру 300 К. Визначити середню довжину вільного пробігу молекули такого газу.
- 2.171. За нормальних умов довжина вільного пробігу молекули водню становить 0,112 пм. Визначити діаметр молекули водню.
- 2.172. Визначити середню арифметичну швидкість молекул кисню за нормальних умов, якщо відомо, що середня довжина вільного пробігу молекули кисню за таких умов становить 100 нм.
- 2.173. Кисень знаходиться під тиском 1,33 нПа при температурі 200 К. Визначити середню кількість зіткнень молекул кисню за одиницю часу за даних умов.
- 2.174. Водень масою 2 г займає об'єм 2,5 л. Визначити середню кількість зіткнень молекул водню за одиницю часу.
- 2.175. Середня довжина вільного пробігу молекули водню за деяких умов становить 2 мм. Визначити густину водню за таких умов.
- 2.176. Внаслідок адіабатичного стискання тиск повітря був збільшений від 50 кПа до 0,5 МПа. Потім, при незмінному

об'ємі, температура повітря була знижена до початкової. Визначити тиск повітря наприкінці процесу.

- 2.177. Кисень нагрівається при сталому тиску від 17°C до 100°C . У скільки разів зміниться при цьому кількість зіткнень молекул газу за 1 с?
- 2.178. Визначити діаметр пор у ґрунті, якщо при нормальному атмосферному тиску і температурі 0°C в них існує технічний вакуум. Діаметр молекул повітря дорівнює $3 \cdot 10^{-8}$ см.
- 2.179. 10 г кисню знаходиться під тиском 300 кПа при температурі 10°C . Після нагрівання при сталому тиску газ зайняв об'єм 10 л. Визначити кількість теплоти, отриманої газом; зміну внутрішньої енергії газу; роботу, яку виконує газ під час розширення.
- 2.180. Під час ізобаричного розширення двоатомного газу була виконана робота 156,8 Дж. Яку кількість теплоти було надано газу?
- 2.181. Водень масою 6,5 г, який знаходиться при температурі 27°C , розширюється вдвічі при сталому тиску за рахунок притоку теплоти. Визначити роботу розширення; зміну внутрішньої енергії газу; кількість теплоти, наданої газу.
- 2.182. Деяка кількість азоту за нормальних умов займає об'єм 10 л. Визначити зміну внутрішньої енергії азоту та роботу, яка виконується під час його розширення до об'єму 12 л, якщо розширення відбувається адіабатично.
- 2.183. Вуглекислий газ кількістю 2 молі при сталому тиску нагрівають на 50 К. Визначити зміну його внутрішньої енергії, роботу розширення та кількість теплоти, наданої газу.
- 2.184. Двоатомному газу надана кількість теплоти 2,093 кДж. Визначити роботу розширення газу, якщо газ розширюється при сталому тиску.
- 2.185. Газ, який займає об'єм 5 л, знаходиться під тиском $2 \cdot 10^5$ Па і при температурі 17°C , був нагрітий та ізобарично розширився. Робота розширення газу становила 196 Дж. Наскільки збільшилась температура газу внаслідок нагрівання?

- 2.186. Вуглекислий газ масою 7 г нагріли на 10 К в умовах вільного розширення. Визначити роботу розширення газу та зміну його внутрішньої енергії.
- 2.187. Багатоатомний газу кількістю 1 моль нагрівають на 100 К в умовах вільного розширення. Визначити кількість теплоти, наданої газу, зміну його внутрішньої енергії та роботу розширення.
- 2.188. У посудині під поршнем знаходиться 10 г азоту. Яку кількість теплоти треба витратити, щоб нагріти азот на 10 К? Наскільки при цьому піднімається поршень? Маса поршня 1 кг, площа його поперечного перерізу 10 см². Тиск над поршнем становить 100 кПа.
- 2.189. Азот масою 10,5 г ізотермічно розширюється при температурі –23 °С від тиску 250 кПа до 100 кПа. Визначити роботу, яку виконав газ під час розширення.
- 2.190. Під час ізотермічного розширення 10 г азоту, який знаходиться при температурі 17 °С, була виконана робота у 860 Дж. У скільки разів змінився тиск азоту під час розширення?
- 2.191. Робота ізотермічного розширення вдвічі деякого газу масою 10 г дорівнює 575 Дж. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу при даній температурі.
- 2.192. Гелій об'ємом 1 л, який знаходиться за нормальних умов, ізотермічно розширюється до об'єму 2 л за рахунок теплоти, отриманої ззовні. Визначити роботу, яку виконав газ під час розширення та кількість теплоти, наданої газу.
- 2.193. Під час ізотермічного розширення 2 м³ газу його тиск змінився від 0,5 МПа до 0,4 МПа. Визначити роботу газу, виконану під час розширення.
- 2.194. Кисень масою 2 кг займає об'єм 1 м³ і знаходиться під тиском 0,2 МПа. Під час нагрівання газ спочатку розширюється при сталому тиску до об'єму 3 м³, а потім його тиск зростає до 0,5 МПа при сталому об'ємі. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, виконану ним роботу та теплоту, надану газу.

- 2.195. Яку кількість теплоти поглинає 0,2 кг водню, що нагрівається від 0°C до 100°C при сталому тиску? Наскільки зміниться внутрішня енергія газу? Яку роботу виконає газ?
- 2.196. Кисень масою 200 г займає об'єм 100 л і знаходиться під тиском 200 кПа. Під час нагрівання газ спочатку розширюється при сталому тиску до об'єму 300 л, а потім його тиск зростає до 500 кПа при сталому об'ємі. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, виконану ним роботу та теплоту, надану газу. Побудувати графік процесу.
- 2.197. Об'єм водню під час ізотермічного розширення збільшився в 3 рази. Визначити роботу, виконану газом під час розширення та отриману ним теплоту. Маса водню дорівнює 200 г.
- 2.198. Азот масою 100 г був ізобарично нагрітий від температури 200 К до температури 400 К. Визначити роботу, виконану газом, отриману ним теплоту та зміну внутрішньої енергії.
- 2.199. У скільки разів збільшиться об'єм водню кількістю 0,4 молів під час ізотермічного розширення, якщо газ отримає теплоту 800 Дж. Температура водню 300 К.
- 2.200. Водень займає об'єм 10 м^3 при тиску 0,1 МПа. Під час нагрівання при сталому об'ємі тиск газу зріс до 0,3 МПа. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, роботу, виконану газом і теплоту, надану газу.
- 2.201. Кисень нагрівають при незмінному тиску 80 кПа. Його об'єм зростає від 1 м^3 до 3 м^3 . Визначити зміну внутрішньої енергії кисню, роботу, виконану ним під час розширення, а також теплоту, надану газу.
- 2.202. У циліндрі під поршнем міститься азот масою 0,6 кг, який займає об'єм $1,2\text{ м}^3$ при температурі 560 К. Внаслідок ізобаричного нагрівання газ розширився і зайняв об'єм $4,2\text{ м}^3$. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, виконану ним роботу та теплоту, надану газу.
- 2.203. До якої температури охолоне повітря, що знаходиться при температурі 0°C , якщо воно адіабатично розширюється вдвічі?

- 2.204. Кисень об'ємом 7,5 л адіабатично стискається до об'єму 1 л. У кінці стискання встановився тиск 1,6 МПа. Під яким тиском знаходився газ до стискання?
- 2.205. Повітря в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння стискається адіабатично і його тиск при цьому змінюється від 0,1 МПа до 100 МПа. Початкова температура повітря 40 °С. Визначити температуру повітря наприкінці стискання.
- 2.206. Внаслідок адіабатичного розширення газу його об'єм збільшується вдвічі, а температура зменшується в 1,32 рази. Яку кількість степенів вільності мають молекули цього газу?
- 2.207. Двохатомний газ знаходиться при температурі 27 °С і тиску 2 МПа. Внаслідок адіабатичного стискання газу, його об'єм зменшується вдвічі. Визначити температуру і тиск газу після стискання.
- 2.208. У посудині під поршнем знаходиться гримучий газ, який за нормальних умов займає об'єм 10^{-4} м^3 . Внаслідок швидкого стиснення газу він загоряється. Визначити температуру горіння гримучого газу, якщо відомо, що робота стискання дорівнює 46,35 Дж.
- 2.209. У посудині під поршнем знаходиться газ за нормальних умов. Відстань між дном посудини і поршнем становить 25 см. Коли на поршень поклали вантаж масою 20 кг, поршень опустився на 13,4 см. Вважаючи стискання адіабатичним, визначити для даного газу відношення теплоємностей при сталому тиску та об'ємі. Площа поперечного перерізу поршня дорівнює 10 см^2 (його масою знехтувати).
- 2.210. У циліндрі під поршнем знаходиться водень масою 0,02 кг при температурі 300 К. Водень спочатку адіабатично розширився, збільшивши свій об'єм у 5 разів, а згодом був ізотермічно стиснутий, зменшивши свій об'єм у 5 разів. Визначити температуру водню наприкінці адіабатичного розширення та роботу, виконану газом під час цих процесів. Зобразити процес графічно.

- 2.211. Водень масою 40 г знаходиться при температурі 300 К. Внаслідок адіабатичного розширення газ збільшив свій об'єм у 3 рази. Згодом, під час ізотермічного стискання, об'єм газу зменшився в 2 рази. Визначити повну роботу, виконану газом і остаточну температуру газу.
- 2.212. У балоні при температурі 145 К і тиску 2 МПа знаходиться кисень. Якими стануть температура та тиск кисню після того, як із балона дуже швидко випустити половину газу.
- 2.213. Двохатомний газ займає об'єм 0,5 л при тиску 50 кПа. Спочатку газ адіабатично стискається, а після цього охолоджується при сталому об'ємі до початкової температури. Тиск газу стає рівним 100 кПа. Визначити значення об'єму та тиску газу в кінці адіабатичного процесу. Накреслити графік такого процесу.
- 2.214. Газ адіабатично розширюється так, що його тиск падає з 200 кПа до 100 кПа. Далі він нагрівається при сталому об'ємі до початкової температури, а його тиск зростає до 122 кПа. Визначити відношення теплоємностей при сталому тиску та об'ємі для цього газу. Накреслити графік такого процесу.
- 2.215. Об'єм одного кіломоля азоту, який знаходиться за нормальних умов, зростає у 5 разів за рахунок адіабатичного розширення. Визначити зміну внутрішньої енергії газу та роботу, виконану під час розширення.
- 2.216. Необхідно стиснути $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ повітря до об'єму $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Як вигідніше його стискати адіабатично чи ізотермічно?
- 2.217. Під час адіабатичного стискання одного моля двохатомного газу була здійснена робота 146 Дж. Наскільки зросла температура газу внаслідок стискання?
- 2.218. У скільки разів зменшиться середня квадратична швидкість молекул двохатомного газу під час адіабатичного збільшення його об'єму в 2 рази?
- 2.219. 10 г кисню, який знаходиться за нормальних умов, ізотермічно стискається до об'єму $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Визначити тиск кисню після стискання. Обчислити роботу стискання.

- 2.220. Азот масою 28 г знаходиться при температурі $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 100 кПа, зменшує об'єм 13 л. Визначити температуру та тиск азоту після стискання, якщо процес ізотермічний; адіабатичний. Визначити роботу стискання в кожному випадку.
- 2.221. Два різних гази, один з яких одноатомний, а другий двоатомний, знаходяться при однаковій температурі і займають однаковий об'єм. Гази стискаються адіабатично так, що їхній об'єм зменшується у 2 рази. Який з газів нагрівається більше і у скільки разів?
- 2.222. Повітря масою 1 кг знаходиться при температурі $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 150 кПа. Внаслідок адіабатичного розширення тиск повітря зменшується до 100 кПа. Визначити ступінь розширення, кінцеву температуру повітря та роботу, яку виконав газ під час розширення.
- 2.223. Кисень масою 1 моль знаходиться за нормальних умов. Згодом його об'єм збільшується у 5 разів. Побудувати графік залежності тиску від об'єму, якщо розширення відбувається ізотермічно. Значення тиску визначити для об'ємів V_0 ; $2 V_0$; $3 V_0$; $4 V_0$; $5 V_0$.
- 2.224. Кисень кількістю 1 моль знаходиться за нормальних умов. Згодом його об'єм збільшується у 5 разів. Побудувати графік залежності тиску від об'єму, якщо розширення відбувається адіабатично. Значення тиску визначити для об'ємів V_0 ; $2 V_0$; $3 V_0$; $4 V_0$; $5 V_0$.
- 2.225. Трьохатомний газ при тиску 240 кПа і температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ займає об'єм 10 л. Визначити теплоємність цього газу при сталому тиску.
- 2.226. Одноатомний газ за нормальних умов займає об'єм 10 л. Визначити теплоємність цього газу при сталому об'ємі.
- 2.227. Визначити питому теплоємність при сталому тиску кисню, гелію та вуглекислого газу.
- 2.228. Кисень масою 10 г знаходиться під тиском 0,3 МПа при температурі $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після нагрівання при сталому тиску газ

зайняв об'єм 10 л. Визначити кількість теплоти, отриманої газом; енергію теплового руху молекул газу до та після нагрівання.

- 2.229. Для деякого двохатомного газу питома теплоємність при сталому тиску становить $14,7 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Розрахувати масу 1 моля цього газу.
- 2.230. Визначити питомі теплоємності при сталому об'ємі та тиску двохатомного газу, якщо його густина за нормальних умов становить $1,43 \text{ кг}/\text{м}^3$?
- 2.231. Визначити питомі теплоємності при сталому об'ємі та тиску деякого газу, якщо відомо, що молярна маса цього газу дорівнює $0,03 \text{ кг}/\text{моль}$, а показник адіабати 1,4.
- 2.232. У скільки разів теплоємність при сталому об'ємі гримучого газу більша за теплоємність водяної пари, яка утворилася внаслідок його згоряння?
- 2.233. Азот масою 12 г міститься в закупореній посудині об'ємом 2 л при температурі 10°C . Після нагрівання тиск у посудині досяг значення 1,33 МПа. Яку кількість теплоти отримав газ під час нагрівання?
- 2.234. Азот об'ємом 2 л знаходиться під тиском 10^5 Па . Яку кількість теплоти потрібно надати азоту для того, щоб, при сталому тиску, збільшити об'єм вдвічі?
- 2.235. У закупореній посудині міститься 14 г азоту під тиском 10^5 Па і при температурі 27°C . Після нагрівання тиск у посудині збільшився у 5 разів. Визначити, до якої температури був нагрітий газ, об'єм посудини та кількість теплоти, наданої газу.
- 2.236. Яку кількість теплоти треба надати 12 г кисню, для того, щоб нагріти його на 50 К при сталому тиску?
- 2.237. Для нагрівання 40 г кисню від 16°C до 40°C витрачено 628 Дж. За яких умов (при сталому об'ємі чи при сталому тиску) здійснювалось нагрівання газу?
- 2.238. Обчислити питомі теплоємності при сталому об'ємі і сталому тиску неону та водню, вважаючи ці гази ідеальними.

- 2.239. У закупореній посудині об'ємом 10 л міститься повітря під тиском 10^5 Па. Яку кількість теплоти треба надати повітрю для збільшення тиску в 5 разів?
- 2.240. Яку кількість вуглекислого газу можна нагріти від $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, надаючи йому кількість теплоти 222 Дж? Наскільки зміниться після нагрівання кінетична енергія однієї молекули? Під час нагрівання газ розширюється при сталому тиску.
- 2.241. Визначити питомі теплоємності при сталому об'ємі та тиску газоподібного оксиду вуглецю.
- 2.242. Молекула газу складається з двох атомів. Різниця питомих теплоємностей газу при сталому тиску і сталому об'ємі становить 260 Дж/(кг·К). Визначити молярну масу газу та його питому теплоємність при сталих об'ємі та тиску.
- 2.243. У закупореній посудині об'ємом 2 л знаходиться азот, густина якого $1,4\text{ кг/м}^3$. Яку кількість теплоти потрібно надати азоту для того, щоб, за таких умов, нагріти його на 100 К?
- 2.244. Азот міститься в закупореній посудині об'ємом 3 л при температурі $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 0,3 МПа. Після нагрівання тиск у посудині зріс до 2,5 МПа. Визначити температуру азоту після нагрівання та кількість наданої йому теплоти.
- 2.245. Для нагрівання деякої кількості газу на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ при сталому тиску, необхідно витратити 670 Дж. Під час охолодження такої ж кількості газу на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ при сталому об'ємі, виділяється 1005 Дж. Яку кількість степенів вільності мають молекули цього газу?
- 2.246. Азот масою 10 г міститься в закупореній посудині при температурі $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яку кількість теплоти потрібно надати азоту, для того, щоб вдвічі збільшити середню квадратичну швидкість його молекул? У скільки разів при цьому зміниться температура газу та його тиск на стінки посудини?
- 2.247. Гелій знаходиться в закупореній посудині об'ємом 2 л при температурі $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 10^5 Па. Яку кількість теплоти треба надати гелію, для того, щоб підвищити його температуру на

- 100 °C? Визначити середню квадратичну швидкість його молекул при новій температурі. Яким буде тиск в посудині?
- 2.248. У закупореній посудині об'ємом 2 л міститься однакова кількість азоту та аргону за нормальних умов. Яку кількість теплоти потрібно надати, щоб нагріти таку газову суміш на 100 °C?
- 2.249. У посудині під поршнем знаходиться 10 г азоту. Яку кількість теплоти треба витратити для того, щоб нагріти азот на 10 °C? Наскільки під час нагрівання підніметься поршень? Маса поршня 1,5 кг, площа його поперечного перерізу 10 см². Тиск над поршнем $1,013 \cdot 10^5$ Па.
- 2.250. Деяка кількість азоту за нормальних умов займає об'єм 10 л. Знайти зміну внутрішньої енергії азоту під час адіабатичного розширення його об'єму до 12 л?
- 2.251. Розв'язати попередню задачу за умови, що розширення відбувається при сталому тиску.
- 2.252. Яку кількість теплоти поглинає 200 г водню під час нагрівання від 0 °C до 100 °C при сталому тиску? Наскільки змінюється внутрішня енергія газу? Яку роботу виконує газ?
- 2.253. У скільки разів теплоємність гримучого газу більша за теплоємність водяної пари, яка утворилася внаслідок його згоряння? Задачу розв'язати для випадку сталого тиску.
- 2.254. Азот об'ємом 2 л знаходиться під тиском 10^5 Па. Яку кількість теплоти потрібно надати азоту для того, щоб при сталому об'ємі, вдвічі збільшити тиск?
- 2.255. Гелій знаходиться в закупореній посудині об'ємом 2 л при температурі 20 °C і тиску 10^5 Па. Яку кількість теплоти треба надати гелію для того, щоб підвищити його температуру на 150 °C? Якою буде густина гелію та енергія теплового руху його молекул?
- 2.256. Визначити зміну ентропії під час перетворення 10 г льоду при температурі -20 °C у пару при температурі 100 °C.
- 2.257. Визначити зміну ентропії під час нагрівання 0,1 кг води від 0 °C до 100 °C та наступному перетворенні води в пару при тій самій температурі.

- 2.258. Кисень масою 10 г, який знаходиться за нормальних умов, стискається до об'єму $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Визначити тиск і температуру кисню після адіабатичного стискання. Обчислити роботу стискання.
- 2.259. Визначити зміну ентропії під час плавлення 1 кг льоду, який знаходиться при температурі 0°C .
- 2.260. Розплавлений свинець масою 640 г при температурі плавлення вилили на лід при 0°C . Визначити зміну ентропії при такому процесі.
- 2.261. Визначити зміну ентропії під час переходу 8 г кисню від об'єму 10 л при температурі 80°C до об'єму 40 л при температурі 300°C .
- 2.262. Визначити зміну ентропії при переході 6 г водню від об'єму 20 л під тиском $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ до об'єму 60 л під тиском $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
- 2.263. Водень масою 6,6 г ізобарично розширюється вдвічі. Визначити зміну ентропії під час такого розширення.
- 2.264. Визначити зміну ентропії під час ізобаричного розширення 8 г гелію від об'єму 10 л до об'єму 25 л.
- 2.265. Під час ізотермічного розширення 6 г водню тиск змінюється від 10^5 Па до $0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Визначити зміну ентропії під час такого процесу.
- 2.266. Азот масою 10,5 г ізотермічно розширюються від об'єму 2 л до об'єму 5 л. Визначити зміну ентропії під час такого процесу.
- 2.267. Кисень масою 10 г нагрівається від 50°C до 150°C . Визначити зміну ентропії під час нагрівання за умови, що воно відбувається ізохорично; ізобарично.
- 2.268. При нагріванні 1 моля двохатомного газу, його абсолютна температура зростає в 1,5 рази. Визначити зміну ентропії, якщо нагрівання проходить ізохорично; ізобарично.
- 2.269. Внаслідок нагрівання 22 г азоту його абсолютна температура зросла в 1,2 рази, а ентропія збільшилась на 4,19 Дж/К. За яких умов (при сталому об'ємі чи при сталому тиску) проводилось нагрівання?

- 2.270. Визначити зміну ентропії, що відбувається під час змішування 5 кг води при температурі 289 К та 8 кг води при температурі 350 К.
- 2.271. Один кубічний метр повітря, який знаходиться при температурі 0 °С і тиску 98 кПа, ізотермічно розширюється вдвічі. Визначити зміну ентропії під час такого процесу.
- 2.272. Зміна ентропії на ділянці між двома адіабатами в циклі Карно дорівнює 4,19 кДж/К. Різниця температур між двома ізотермами становить 100 К. Яка кількість теплоти перетворюється в роботу в цьому циклі.
- 2.273. Залізо масою 0,2 кг при температурі 100 °С занурено в калориметр, в якому знаходиться 0,3 кг води при температурі 12 °С. Як зміниться ентропія системи внаслідок вирівнювання температур? Теплоємністю калориметра знехтувати.
- 2.274. Визначити зміну ентропії під час ізотермічного розширення 10 г кисню від об'єму 25 л до об'єму 100 л.
- 2.275. Визначити зміну ентропії при переході 18 г кисню від об'єму 10 л при температурі 180 °С до об'єму 40 л при температурі 300 °С.
- 2.276. Об'єм гелію, маса якого 2 кг, збільшився в 5 разів ізотермічно; адіабатично. Визначити зміну ентропії в таких випадках.
- 2.277. Визначити зміну ентропії 1 моля ідеального газу при ізохорному, ізобарному та ізотермічному процесах.
- 2.278. Лід масою 100 г, який знаходиться при температурі –30 °С, перетворюється на пару. Визначити зміну ентропії при такому перетворенні.
- 2.279. Залізо масою 1 кг при температурі 100 °С перебуває в тепловому контакті з таким же шматком заліза при температурі 0 °С. Визначити зміну ентропії після досягнення рівноважної температури 50 °С. Вважати, що молярна теплоємність заліза становить 25,14 Дж/К.
- 2.280. Визначити зміну ентропії під час охолодження 4 кг свинцю від 327 °С до 0 °С.

- 2.281. Нагрівач теплової машини, що працює за циклом Карно, має температуру $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якою є температура охолоджувача, якщо за рахунок $4,19 \cdot 10^3$ Дж теплоти, отриманої від нагрівача, машина виконає роботу $1,7 \cdot 10^3$ Дж. Визначити термічний ККД машини. Втратами на тертя та тепловіддачу знехтувати.
- 2.282. Визначити роботу ідеальної теплової машини за один цикл, якщо вона отримує від нагрівача кількість теплоти 2095 Дж. Температура нагрівача дорівнює 500 K , а холодильника 300 K .
- 2.283. Температура нагрівача теплової машини, що працює за циклом Карно, дорівнює 480 K , а температура холодильника 390 K . Якою має бути температура нагрівача при незмінній температурі холодильника, для того, щоб ККД машини збільшився у 2 рази?
- 2.284. За рахунок 1 кДж теплоти, отриманої від нагрівача, машина, що працює за циклом Карно, виконує роботу $0,5$ кДж. Температура нагрівача 500 K . Визначити температуру холодильника.
- 2.285. Теплова машина, що працює за прямим циклом Карно, виконує роботу 220 Дж. Температура нагрівача 375 K , а холодильника 300 K . Визначити кількість теплоти, яку отримує машина від нагрівача.
- 2.286. Визначити, на скільки процентів зміниться ККД прямого циклу Карно, якщо температура нагрівача 894 K , а температура холодильника зменшилась від 494 K до 394 K .
- 2.287. Здійснюючи прямий цикл Карно, газ віддав охолоджувачу 25% теплоти, отриманої від нагрівача. Визначити температуру холодильника, якщо температура нагрівача 500 K .
- 2.288. Яка частина теплоти, отриманої від нагрівача, віддається холодильнику при прямому циклі Карно, якщо температура нагрівача 500 K , а температура холодильника 125 K ?
- 2.289. Визначити ККД циклу, що складається із двох ізобар і двох адіабат, якщо температури чотирьох характерних точок дорівнюють: першої – 370 K , другої – 600 K , третьої – 500 K , четвертої 350 K . Рішення пояснити p - V - діаграмою.

- 2.290. Ідеальна теплова машина, що працює за циклом Карно, отримує від нагрівача за кожен цикл $2,512 \text{ кДж}$. Температура нагрівача 400 К , а температура холодильника 300 К . Визначити роботу, яку виконує машина, та кількість теплоти, яку вона віддає холодильнику, за один цикл.
- 2.291. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Визначити ККД циклу, якщо відомо, що за один цикл була виконана робота $2,94 \text{ кДж}$ і холодильнику було передано $13,4 \text{ кДж}$.
- 2.292. Ідеальна теплова машина, що працює за циклом Карно, виконує за один цикл роботу $7,35 \cdot 10^4 \text{ Дж}$. Температура нагрівача 100°C , а температура холодильника 0°C . Визначити ККД машини; кількість теплоти, яку отримує машина від нагрівача та кількість теплоти, яку вона віддає холодильнику за один цикл.
- 2.293. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Кількість теплоти, отриманої від нагрівача, дорівнює $6,28 \text{ кДж}$. Під час роботи машини 80% теплоти, отриманої від нагрівача, передається холодильнику. Визначити ККД циклу та роботу, виконану за повний цикл.
- 2.294. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Робочим тілом є нагріте повітря, що має початковий тиск 708 кПа , температуру 127°C та об'єм $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Після першого ізотермічного розширення повітря зайняло об'єм 5 л ; після адіабатичного розширення його об'єм досяг значення 8 л . Визначити роботу на кожній ділянці циклу; повну роботу, яка виконується за весь цикл; кількість теплоти, отриманої від нагрівача за один цикл; кількість теплоти, яка була передана холодильнику за один цикл.
- 2.295. Один кіломоль ідеального газу здійснює цикл, який складається з двох ізохор і двох ізобар. При цьому об'єм газу змінюється від 25 м^3 до 50 м^3 , а тиск від 100 кПа до 200 кПа . У скільки разів робота, що виконується за такий цикл, менша за роботу, яка виконується в циклі Карно, ізотерми якого відповідають найбільшій і найменшій температурі циклу, заданого в умові задачі? Взяти до уваги, що під час

ізотермічного розширення в циклі Карно, об'єм газу збільшується вдвічі.

- 2.296. Ідеальна холодильна машина, яка працює за зворотним циклом Карно, виконує за один цикл роботу, що становить $3,7 \cdot 10^4$ Дж. Під час роботи машина бере теплоту від тіла з температурою -10°C і передає тілу з температурою 17°C . Визначити ККД циклу, кількість теплоти, відібраної від холодного тіла та кількість теплоти, переданої гарячому тілу, за один цикл.
- 2.297. Ідеальна холодильна машина, яка працює за зворотним циклом Карно, передає теплоту від холодильника з водою при температурі 0°C кип'ятильнику з водою при температурі 100°C . Яку кількість води потрібно заморозити в холодильнику, для того, щоб перетворити в пару 1 кг води, що знаходиться в кип'ятильнику?
- 2.298. Приміщення опалюється холодильною машиною, яка працює за зворотним циклом Карно. У скільки разів кількість теплоти, яку отримує приміщення від згоряння деревини у печі, менша за кількість теплоти, переданої приміщенню холодильною машиною, що приводиться в дію тепловою машиною, яка споживає таку ж кількість деревини. Такий тепловий двигун працює між температурами 100°C і 0°C . Приміщення потрібно підтримувати при температурі 16°C . Температура оточуючого повітря -10°C .
- 2.299. Парова машина потужністю 14,7 кВт споживає за одну годину роботи 8,1 кг вугілля з теплотворною здатністю $3,3 \cdot 10^7$ Дж/кг. Температура котла 200°C , температура холодильника 58°C . Визначити фактичний ККД машини та порівняти його з ККД ідеальної теплової машини, яка працює за циклом Карно проміж таких же температур.
- 2.300. Визначити роботу ізотермічного стиснення газу, що здійснює цикл Карно, ККД якого дорівнює 0,4. Робота ізотермічного розширення в такому циклі дорівнює 8 Дж.
- 2.301. Газ, що над яким здійснюється цикл Карно, віддав холодильнику теплоту 14 кДж. Визначити температуру нагрівача за умови, що при температурі охолоджувача 280 К,

робота циклу дорівнює 6 кДж.

- 2.302. Газ, який є робочою речовиною в циклі Карно, отримав від нагрівача теплоту 4,38 кДж і виконав роботу 2,4 кДж. Визначити температуру нагрівача, якщо температура охолоджувача 273 К.
- 2.303. Газ, який здійснює цикл Карно, віддав охолоджувачу 67 % теплоти, отриманої від нагрівача. Визначити температуру охолоджувача, якщо температура нагрівача 430 К.
- 2.304. У скільки разів збільшиться ККД циклу Карно внаслідок підвищення температури нагрівача від 380 К до 560 К? Температура охолоджувача 280 К.
- 2.305. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Температура нагрівача становить 500 К, температура охолоджувача 250 К. Визначити термічний ККД циклу, а також роботу, яку виконала робоча речовина під час ізотермічного розширення, якщо під час ізотермічного стискання була виконана робота 70 Дж.
- 2.306. Газ, який здійснює цикл Карно, отримує теплоту 84 кДж. Яку роботу виконує газ, якщо температура нагрівача втричі більша за температуру охолоджувача?
- 2.307. Здійснюючи цикл Карно, газ отримав від нагрівача теплоту 500 Дж і виконав роботу 100 Дж. Температура нагрівача 400 К. Визначити температуру охолоджувача.
- 2.308. Газ, здійснює цикл Карно. Абсолютна температура нагрівача втричі вища за температуру охолоджувача. Нагрівач передав газу 41,9 кДж теплоти. Яку роботу виконав газ?
- 2.309. Теплова машина працює за зворотним циклом Карно. Температура нагрівача 500 К. Визначити термічний ККД циклу і температуру охолоджувача теплової машини, якщо за рахунок одного кілоджоуля виконаної роботи, на нагрівачі виділяється 3 кілоджоуля тепла.
- 2.310. Визначити тиск повітря в бульбашці діаметром 0,01 мм, яка знаходиться на глибині 0,2 м під поверхнею води. Зовнішній тиск дорівнює $1,013 \cdot 10^5$ Па.
- 2.311. Яку роботу проти сил поверхневого натягу необхідно виконати для того, щоб розбити сферичну краплю ртуті

- радіусом 3 мм на дві однакові краплі?
- 2.312. Яку роботу необхідно виконати під час видування мильної бульбашки для того, щоб збільшити її об'єм від 8 см^3 до 16 см^3 ?
- 2.313. Яка енергія виділяється внаслідок злиття двох крапель ртуті діаметрами 0,8 мм і 1,2 мм в одну краплю?
- 2.314. Визначити тиск всередині повітряної бульбашки діаметром 4 мм, яка знаходиться у воді біля самої її поверхні. Атмосферний тиск вважати нормальним.
- 2.315. Визначити масу води, що ввійшла в скляну трубку з діаметром каналу 0,8 мм, занурену у воду на малу глибину. Змочування вважати повним.
- 2.316. Яку роботу необхідно виконати під час видування мильної бульбашки, щоб збільшити її об'єм від 27 см^3 до 54 см^3 ? Процес вважати ізотермічним.
- 2.317. Яка енергія виділяється внаслідок злиття двох крапель ртуті діаметрами 0,6 мм і 1,0 мм в одну краплю?
- 2.318. Визначити тиск всередині повітряної бульбашки діаметром 3 мм, яка знаходиться у воді біля самої її поверхні. Атмосферний тиск вважати нормальним.
- 2.319. Простір між двома скляними паралельними пластинками з площею поверхні 100 см^2 кожна, що розташовані на відстані 20 мкм одна від одної, заповнений водою. Визначити силу, яка притискає пластини одна до одної. Меніск вважати ввігнутих. Діаметр меніска дорівнює відстані між пластинами.
- 2.320. Гліцерин піднявся в капілярній трубці з діаметром каналу 1 мм на висоту 20 мм. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу гліцерину. Змочування вважати повним.
- 2.321. У воду на дуже малу глибину занурена скляна трубка з діаметром каналу 1 мм. Визначити масу води, що ввійшла в трубку.
- 2.322. Наскільки тиск повітря всередині мильної бульбашки більший за нормальний атмосферний тиск, якщо діаметр кульки 5 мм? Коефіцієнт поверхневого натягу мильної води взяти з довідкових таблиць.

- 2.323. Дві мильні бульбашки радіусами 2 см і 3 см зливаються в одну. Визначити енергію, яка виділяється під час такого процесу, якщо коефіцієнт поверхневого натягу дорівнює 0,043 Н/м.
- 2.324. Дві мильні бульбашки радіусами 10 см і 5 см видули на різних кінцях однієї і тієї ж трубки. Якщо бульбашки надати самим собі, то, при зміні радіусу більшої бульбашки на 0,1 см, радіус меншої зміниться на 0,4 см. Наскільки зміниться при цьому потенціальна енергія поверхневого шару системи двох бульбашок?
- 2.325. Яку роботу проти сил поверхневого натягу потрібно виконати для того, щоб вдвічі збільшити об'єм мильної бульбашки радіусом 1 см? Коефіцієнт поверхневого натягу розчину вважати рівним 0,043 Н/м.
- 2.326. Яку роботу проти сил поверхневого натягу потрібно виконати для того, щоб видути мильну бульбашку діаметром 4 см? У скільки разів збільшиться ця робота при збільшенні діаметра мильної бульбашки вдвічі? Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину вважати рівним 0,043 Н/м.
- 2.327. Повітряна бульбашка діаметром 2,2 мкм знаходиться у воді біля самої її поверхні. Визначити густину повітря всередині бульбашки, якщо повітря над поверхнею води знаходиться за нормальних умов.
- 2.328. Дві краплі ртуті, радіусом 1,2 мм кожна, злились в одну велику краплю. Визначити енергію, що виділиться під час такого злиття. Процес вважати ізотермічним.
- 2.329. Визначити додатковий тиск всередині мильної бульбашки діаметром 10 см. Яку роботу треба виконати для того, щоб видути таку бульбашку?
- 2.330. Визначити, на якій глибині під водою знаходиться повітряна бульбашка, якщо відомо, що густина повітря всередині бульбашки становить 2 кг/м^3 . Діаметр бульбашки 0,015 мм, температура 20°C , атмосферний тиск 101,3 кПа.
- 2.331. Тиск повітря всередині мильної бульбашки на 133,3 Па

- більший за атмосферний. Визначити діаметр бульбашки. Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину вважати рівним $0,043 \text{ Н/м}$.
- 2.332. У широку посудину з водою опущений капіляр. Його верхній кінець на 2 см вищий за рівень води в посудині. Внутрішній радіус капіляра $0,5 \text{ мм}$. Визначити радіус кривизни меніска в капілярі. Змочування вважати повним.
- 2.333. У широку посудину з ртуттю опущений капіляр. Його верхній кінець на 2 см нижчий за рівень ртуті в посудині. Внутрішній радіус капіляра $0,5 \text{ мм}$. Визначити радіус кривизни меніска в капілярі, якщо спостерігається незмочування.
- 2.334. У відкритому капілярі знаходиться крапля води. При вертикальному положенні капіляра крапля утворює водяний стовпчик довжиною 2 см ; 4 см . Внутрішній діаметр капіляра 1 мм . Визначити радіус кривизни верхнього і нижнього менісків у кожному з цих випадків. Змочування вважати повним.
- 2.335. На дні посудини зі ртуттю є отвір. Яким має бути найбільший діаметр отвору за умови, що ртуть не буде вилитися із посудини при висоті стовпчика ртуті 3 см ?
- 2.336. Яку енергію треба витратити для того, щоб видути мильну бульбашку діаметром 12 см ? Визначити додатковий тиск всередині такої бульбашки.
- 2.337. Трубка має діаметр $0,2 \text{ см}$. На нижньому кінці трубки зависла крапля води, яка має форму кульки. Визначити діаметр краплі.
- 2.338. Яку силу треба прикласти до горизонтального алюмінієвого кільця висотою 10 мм , із внутрішнім діаметром 50 мм і зовнішнім діаметром 52 мм , для того, щоб відірвати його від поверхні води? Яку частину від знайденої сили становлять сили поверхневого натягу?
- 2.339. Яку енергію треба витратити для того, щоб видути мильну бульбашку діаметром 5 см ? Визначити додатковий тиск всередині такої бульбашки.

- 2.340. Спирт по краплям витікає з посудини через вертикальну трубку із внутрішнім діаметром 2 мм. Вважаючи, що краплі відриваються через 1 с одна за одною, визначити, через який час витече 10 г спирту. Вважати, що в момент відриву, діаметр шийки краплі дорівнює внутрішньому діаметру трубки.
- 2.341. Під час плавлення нижнього кінця вертикально підвішеного свинцевого дроту діаметром 1 мм утворилось 20 крапель свинцю. Наскільки вкоротився дріт? Коефіцієнт поверхневого натягу рідкого свинцю становить 0,47 Н/м. Діаметр шийки краплі в момент відриву вважати рівним діаметру дроту.
- 2.342. Із вертикальної трубки з внутрішнім радіусом 1 мм витікають краплі води. Визначити радіус краплі в момент відриву, вважаючи її сферичною. Діаметр шийки краплі в момент відриву дорівнює внутрішньому діаметру трубки.
- 2.343. У скільки разів густина повітря в бульбашці, що знаходиться на глибині 5 м під водою, більша за густину повітря при атмосферному тиску? Температуру повітря вважати однаковою. Радіус бульбашки $5 \cdot 10^{-4}$ мм.
- 2.344. У посудину, заповнену ртуттю, опущений відкритий капіляр з внутрішнім діаметром 3 мм. Різниця рівнів ртуті в посудині та капілярі становить 3,7 мм. Визначити радіус кривизни ртутного меніска в капілярі.
- 2.345. У посудину з водою опущений відкритий капіляр із внутрішнім діаметром 1 мм. Різниця рівнів води в посудині та капілярі становить 2,8 см. Який радіус кривизни меніска в капілярі? Визначити різницю рівнів у посудині та капілярі за умови повного змочування.
- 2.346. На яку висоту піднімається бензол у капілярі з внутрішнім діаметром 1 мм? Змочування вважати повним.
- 2.347. Яким має бути внутрішній діаметр капіляра для того, щоб, за умови повного змочування, вода піднялася в ньому на 2 см?
- 2.348. Визначити різницю рівнів ртуті в двох сполучених капілярах з діаметрами 1 мм і 2 мм. Незмочування вважати повним.

- 2.349. Яким має бути найбільший діаметр пор у гніті гасниці для того, щоб гас піднімався на висоту 10 см від дна гасниці до горілки? Пори вважати циліндричними трубками, а змочування повним.
- 2.350. Капіляр із внутрішнім радіусом 2 мм опущений в рідину. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідини, якщо відомо, що маса рідини, що піднялася в капілярі, становить 0,09 г.
- 2.351. Капілярна трубка з внутрішнім радіусом 0,16 мм опущена вертикально в посудину з водою. Яким має бути тиск повітря над рідиною в капілярі для того, щоб рівень води в капілярі та в широкій посудині був однаковим? Зовнішній тиск становить 101,3 кПа. Змочування вважати повним.
- 2.352. Капілярна трубка опущена вертикально в посудину з водою. Верхній кінець трубки запаяний. Для того, щоб рівень води в капілярі і в широкій посудині був однаковим, трубку довелось занурити у воду на 1,5 % від її довжини. Визначити внутрішній діаметр трубки. Зовнішній тиск становить 100 кПа. Змочування вважати повним.
- 2.353. У дні скляної посудини площею 30 см^2 є круглий отвір діаметром 0,5 мм. У посудину налили ртуть. Яка кількість ртуті залишиться в посудині?
- 2.354. Між двома вертикальними плоскопаралельними скляними пластинками, що знаходяться на відстані 0,25 мм одна від одної, налита рідина. Визначити густину рідини, якщо відомо, що висота її підйому між пластинами становить 3,1 см, а коефіцієнт поверхневого натягу рідини дорівнює 0,03 Н/м. Змочування вважати повним.
- 2.355. Ареометр плаває в рідині, густина якої 800 кг/м^3 . Рідина повністю змочує стінки ареометра. Діаметр його вертикальної циліндричної трубки 9 мм. Наскільки зміниться глибина занурення ареометра, якщо внаслідок замаслення ареометр став повністю не змочуваним такою рідиною? Коефіцієнт

поверхневого натягу рідини взяти рівним 0.05 Н/м .

- 2.356. Визначити різницю висот рівнів ртуті в трубках, занурених у посудину зі ртуттю, якщо діаметри трубок $0,1 \text{ мм}$ і 1 мм .
- 2.357. У капілярі з радіусом $0,1 \text{ мм}$ спирт піднявся на висоту 56 мм . Визначити коефіцієнт поверхневого натягу спирту. Змочування вважати повним.
- 2.358. Під час вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу спирту використовувалась капілярна трубка з діаметром каналу $0,15 \text{ мм}$. При температурі 293 К спирт піднявся в ній на висоту $7,6 \text{ см}$. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу спирту за результатами досліду.
- 2.359. Крапля води витікає з вертикальної скляної трубки діаметром 1 мм . Температура води $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Визначити вагу краплі.
- 2.360. Гас витікає з отвору трубки діаметром $1,8 \text{ мм}$. Скільки крапель утвориться з 1 см^3 гасу при температурі $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 2.361. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу олії, якщо під час пропускання через піпетку 4 см^3 олії отримано 304 краплі. Діаметр шийки піпетки $1,2 \text{ мм}$, густина олії $0,91 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

ГЛАВА 3. ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ

3.1. Коротка теоретична довідка

Електростатика

- Закон Кулона для взаємодії нерухомих точкових зарядів

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

де ϵ_0 – електрична стала; q_1 і q_2 – величини зарядів; ϵ – діелектрична проникність середовища, r – відстань між зарядами.

- Закон збереження електричного заряду

$$q = \sum_{i=1}^N q_i = \text{const},$$

де q_i – величина i -того заряду; N – кількість зарядів в електрично замкненій системі.

- Напруженість електричного поля

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

де q_0 – пробний точковий позитивний заряд, на який діє поле.

- Напруженість електричного поля точкового заряду q

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{\epsilon r^2},$$

де r – відстань від заряду q до точки, в якій визначається напруженість.

- Принцип суперпозиції електричних полів

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i,$$

де $\vec{E}_i$ – напруженість у даній точці поля, створена i -м зарядом.

- Потенціал електричного поля

$$\varphi = \frac{W_{\Pi}}{q_0} = \frac{A_{1 \rightarrow \infty}}{q_0},$$

де W_{Π} – потенціальна енергія пробного точкового позитивного заряду, внесеного в дану точку поля; $A_{1 \rightarrow \infty}$ – робота сил електростатичного поля по переміщенню заряду q_0 з даної точки поля у нескінченність.

➤ Потенціал електричного поля точкового заряду q

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{\epsilon r},$$

де r – відстань від заряду q до точки, в якій визначається потенціал.

➤ Потенціал електричного поля, створеного системою N зарядів

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i,$$

де φ_i – потенціал у даній точці поля, створений i -м зарядом.

➤ Потік вектора напруженості $\vec{E}$ крізь замкнену поверхню

$$\Phi_E = \oint_S (\vec{E} \cdot d\vec{S}) = \oint_S E_n \cdot dS,$$

де $\vec{E}$ – вектор напруженості в області елемента поверхні dS ; $E_n = E \cos(\vec{E}; \vec{n})$ – проекція вектора напруженості на напрямок вектора $\vec{n}$; $\vec{n}$ – одиничний вектор, перпендикулярний до елемента поверхні dS .

➤ Теорема Гаусса для електричного поля в речовині з діелектричною проникністю середовища ϵ

$$\Phi_E = \oint_S (\vec{E} \cdot d\vec{S}) = \oint_S E_n \cdot dS = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \sum_{i=1}^N q_i,$$

де $\sum_{i=1}^N q_i$ – алгебраїчна сума зарядів усередині замкненої поверхні S .

а) напруженість електричного поля, створеного нескінченною прямолінійною рівномірно зарядженою ниткою (циліндром)

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r},$$

де $\tau = q/l$ – лінійна густина заряду;

б) напруженість електричного поля, створеного нескінченною, рівномірно зарядженою площиною та між двома різнойменно зарядженими площинами (конденсатором)

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}; \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon},$$

де $\sigma = q/S$ – поверхнева густина заряду.

- Зв'язок потенціалу з напруженістю електричного поля

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

- Робота сил електричного поля по перенесенню точкового заряду

$$A_{12} = q \int_1^2 (\vec{E}, d\vec{l}) = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

- Електричний момент диполя

$$\vec{p} = |q|\vec{l},$$

де $\vec{l}$ – плече диполя.

- Обертальний момент, що діє на диполь в електричному полі

$$\vec{M} = [\vec{p} \times \vec{E}].$$

- Додаткова потенціальна енергія диполя в електричному полі

$$W = -(\vec{p} \cdot \vec{E}).$$

- Електроємність відокремленого провідника

$$C = \frac{dq}{d\varphi},$$

де dq – заряд, поява якого на поверхні провідника змінює потенціал його поверхні на $d\varphi$.

- Електроємність конденсатора

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U},$$

де q – заряд однієї з пластин конденсатора; $U = \varphi_1 - \varphi_2$ різниця потенціалів на пластинах.

➤ Електроємність конденсаторів різної конфігурації

а) плоского конденсатора з площею пластин S та відстанню між пластинами d

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

б) відокремленої провідної сфери радіусом R

$$C = 4\pi \varepsilon \varepsilon_0 R;$$

в) циліндричного конденсатора довжиною L з радіусами внутрішнього та зовнішнього циліндрів R_1 та R_2

$$C = \frac{2\pi \varepsilon \varepsilon_0 L}{\ln(R_2/R_1)};$$

г) сферичного конденсатора з радіусами внутрішньої та зовнішньої поверхні сфер R_1 та R_2

$$C = \frac{4\pi \varepsilon \varepsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$$

➤ Електроємність батареї N конденсаторів при

а) послідовному з'єднанні

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i};$$

б) паралельному з'єднанні

$$C = \sum_{i=1}^N C_i.$$

➤ Сила взаємного притягання пластин конденсатора

$$F = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon \varepsilon_0}.$$

➤ Енергія зарядженого конденсатора

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

➤ Енергія електростатичного поля в об'ємі V

$$W = \int_V \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} dV.$$

- Об'ємна густина енергії електростатичного поля

$$\varpi = \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon \varepsilon_0} = \frac{ED}{2},$$

де $\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$ – вектор електричного зміщення.

Електричний струм

- Миттєве значення сили струму

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

- Густина струму

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} \vec{n},$$

де S – площа поперечного перерізу провідника; $\vec{n}$ – вектор нормалі до цієї площини.

- Закон Ома для однорідної ділянки кола (в інтегральній формі)

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

де U – різниця потенціалів (напруга) на кінцях ділянки, R – електричний опір ділянки.

- Закон Ома для замкнутого кола

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

де ε – електрорушійна сила джерела струму; R – зовнішній опір кола, r – внутрішній опір джерела струму.

- Правила Кірхгофа для розрахунку розгалужених кіл

а) перше правило для вузла електричної схеми $\sum_{i=2}^n I_i = 0;$

де n – кількість струмів, що сходяться у вузлі (струми, що входять у вузол вважаються додатними, ті, що виходять – від’ємними);

б) друге правило для замкненого контуру
$$\sum_{i=1}^m I_i R_i = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i ,$$

де m – кількість опорів у контурі; k – кількість е.р.с. у контурі (добуток $I_i R_i$ вважається додатним, якщо напрям струму збігається з напрямком обходу контуру і навпаки; е.р.с. джерел струму вважаються додатними, якщо напрям обходу контуру збігається з проходженням джерела струму в послідовності від «-» до «+»).

➤ Опір провідника

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

де ρ - питомий опір матеріалу провідника; l – довжина провідника; S – площа поперечного перерізу.

➤ Залежність питомого опору провідника від температури t

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

де ρ_0 - питомий опір матеріалу провідника при $t = 0$ °C;

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника.

➤ Загальний опір провідників при їх з’єднаннях

а) послідовному

$$R = \sum_{i=1}^n R_i ;$$

б) паралельному

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} .$$

➤ Закон Ома в диференціальній формі

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{E}_{\text{ст}}),$$

де $\sigma = 1/\rho$ – питома електропровідність; $\vec{E}_{\text{ст}}$ – напруженість поля сторонніх сил.

- Об'єднаний закон Фарадея для електролізу

$$m = \frac{1}{F} \frac{\mu}{Z} It,$$

де m – маса речовини, що виділяється на електроді; F - стала Фарадея; μ - молярна маса речовини, Z - валентність, I - сила струму, t - час протікання струму через електроліт.

- Закон Ома для протікання струму через газовий проміжок

$$\vec{j} = qn(u_+ + u_-)\vec{E}$$

де q - заряд іона; n - концентрація іонів; u_+ , u_- – рухливість іонів відповідного знаку, E - напруженість електричного поля в газі.

- Робота електричного струму

$$A = IUt = I^2 Rt.$$

- Закон Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 Rt,$$

де Q – кількість теплової енергії, що виділяється ділянкою електричного кола.

- Потужність електричного струму

$$P = IU.$$

Магнітостатика

- Закон Ампера у векторній формі

$$d\vec{F} = [Id\vec{l} \times \vec{B}],$$

де $Id\vec{l}$ – елемент струму; $\vec{B}$ – вектор індукції магнітного поля, що діє на цей елемент.

- Закон Біо Савара Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{[Id\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3},$$

де μ – магнітна проникність середовища, μ_0 – магнітна стала, $\vec{r}$ – радіус-вектор, спрямований від елемента провідника $Id\vec{l}$ до точки, в якій визначається індукція магнітного поля $d\vec{B}$.

а) індукція магнітного поля у центрі колового струму радіусом R

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R};$$

б) індукція магнітного поля нескінченно довгого провідника на найкоротшій відстані r від нього

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

в) індукція магнітного поля прямолінійної ділянки струму

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2);$$

де φ_1 і φ_2 – кути між напрямком протікання струму та напрямками, які сполучають кінці провідника з точкою, в якій визначається індукція.

- Зв'язок вектора індукції $\vec{B}$ з напруженістю $\vec{H}$ магнітного поля:

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}.$$

- Закон повного струму для магнітного поля (теорема про циркуляцію вектора напруженості магнітного поля вздовж замкненого контуру довжиною L)

$$\oint_L (\vec{H} \cdot d\vec{l}) = \sum_{i=1}^N I_i$$

де I_i – сили струмів у провідниках, охоплених цим контуром.

- Закон повного струму для магнітного поля у середовищі (теорема про циркуляцію вектора індукції магнітного поля вздовж замкненого контуру довжиною L)

$$\oint_L (\vec{B} \cdot d\vec{l}) = \mu\mu_0 \sum_{i=1}^N I_i.$$

- Індукція магнітного поля на осі соленоїда (тороїда) довжиною l та з кількістю витків N (n – кількість витків на одиницю довжини)

$$B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I = \mu\mu_0 n I.$$

- Сила взаємодії двох паралельних провідників зі струмами I_1 та I_2

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi d} l,$$

де d – відстань між провідниками, l – довжина провідників.

- Магнітний момент контуру (витка) зі струмом I

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}$$

де S - площа контуру; $\vec{n}$ – одиничний вектор нормалі до площини контуру.

- Обертальний момент, що діє на контур зі струмом в магнітному полі

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \times \vec{B}].$$

- Сила Лоренца, що діє на рухомий заряд у магнітному полі

$$\vec{F} = q[\vec{v} \times \vec{B}]; \quad F = qvB \sin(\vec{v}, \vec{B}),$$

де q – величина заряду; $\vec{v}$ – швидкість зарядженої частинки.

- Магнітний потік крізь довільну замкнену поверхню площею S

$$\Phi = \int_S (\vec{B} \cdot \vec{S}) = \int_S B \cdot dS \cos(\vec{B}, \vec{n}),$$

де $\vec{n}$ – одиничний вектор нормалі до площини контуру.

- Теорема Гауса для магнітного поля

$$\oint_S (\vec{B} \cdot d\vec{S}) \equiv 0.$$

- Робота по переміщенню замкнутого контуру (провідника зі струмом) у магнітному полі

$$A = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} Id\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I\Delta\Phi$$

Електромагнітні явища

- Закон електромагнітної індукції (закон Фарадея)

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

де ε_i – електрорушійна сила; $d\Phi/dt$ – швидкість зміни магнітного потоку.

- Різниця потенціалів на ділянці провідника, що рухається у магнітному полі

$$U = Bvl \sin(\vec{v}, \vec{B})$$

де $\vec{v}$ – швидкість руху провідника; l – довжина провідника.

- Закон Генрі для явища самоіндукції

$$\varepsilon_{si} = -L \frac{dI}{dt},$$

де L – індуктивність контуру; dI/dt – швидкість зміни сили струму в ньому.

- Індуктивність соленоїда (катушки)

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} S,$$

де N – кількість витків соленоїда; l – довжина соленоїда; S – площа поперечного перерізу витка соленоїда.

- Формула зміни сили струму при перехідних процесах у колі з джерелом струму е.р.с, активним опором R та індуктивністю L

а) при вмиканні кола
$$I = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-(R/L)t} \right),$$

де t – час після замикання кола.

б) при вимиканні кола
$$I = \frac{\varepsilon}{R} e^{-(R/L)t}.$$

- Енергія магнітного поля контуру зі струмом I

$$W_m = \int_0^I L I dI = \frac{LI^2}{2}.$$

- Енергія однорідного магнітного поля об'ємом V з індукцією B

$$W_m = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V.$$

- Об'ємна густина енергії магнітного поля

$$\varpi_m = \frac{(\vec{B} \cdot \vec{H})}{2}.$$

3.2. Задачі до модуля «Електрика та магнетизм»

- 3.1. Два точкових заряди 30 нКл та -10 нКл перебувають у просторі на відстані 10 см один від одного. Визначити напруженість поля, що створюється цими зарядами у точці, віддаленій на 9 см від позитивного та на 7 см від негативного зарядів. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.2. Відстань між двома нескінченно довгими паралельними металевими нитками, зарядженими однойменно з лінійною густиною $6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}$, складає 5 см . Знайти напруженість поля у точці, віддаленої на 5 см від кожної нитки.
- 3.3. Дві паралельно розташовані площини заряджені: одна з поверхневою густиною $0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$, друга – $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$. Визначити напруженість поля між площинами. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.4. Дві порожні металеві концентричні кулі заряджені. Діаметр більшої кулі $0,08 \text{ м}$, на ній перебуває заряд – 40 нКл , діаметр меншої $0,04 \text{ м}$, заряд на ній 20 нКл . Заряди рівномірно розподілені по поверхням куль. Визначити напруженість електричного поля на відстанях $0,03 \text{ м}$ та $0,05 \text{ м}$ від центра. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.5. Відстань між двома паралельно розташованими нескінченно довгими металевими нитками складає 10 см . Одна нитка заряджена з лінійною густиною $6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}$, друга $3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}$. Знайти напруженість поля у точці, віддаленій на відстань 10 см від кожної нитки. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.6. Дві паралельні однойменно заряджені площини з поверхневою густиною заряду $0,5 \cdot 10^{-6}$ та $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$. Визначити напруженість поля між площинами, поза площинами. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.7. Два точкових однойменних заряди по $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ перебувають у повітрі на відстані 5 см один від одного. Визначити напруженість поля, що створюється цими зарядами у точці, віддаленій на відстань 3 см від одного заряду, та 4 см від іншого. Розв'язок супроводити рисунком.

- 3.8. Вузький пучок електронів зі швидкістю $20\,000\text{ км/с}$ проходить у вакуумі посередині між обкладинками плоского конденсатора. Яку найменшу різницю потенціалів треба прикласти до пластин, щоб електрони не вийшли з конденсатора? Відстань між пластинами 1 см , їхня довжина 3 см .
- 3.9. Обкладинки плоского конденсатора площею 100 см^2 , відстань між якими 3 мм , взаємодіють з силою 100 мН . Знайти заряд на обкладинках конденсатора, якщо різниця потенціалів між ними 500 В .
- 3.10. Порошинка, заряд якої $6,4 \cdot 10^{-18}\text{ Кл}$ і маса 10^{-14} кг , утримується у рівновазі у плоскому конденсаторі з відстанню між обкладинками 4 мм . Визначити різницю потенціалів між обкладинками.
- 3.11. Два точкових однойменних заряди 20 і 50 нКл перебувають у повітрі на відстані 1 м . Визначити роботу, яку треба виконати, щоб наблизити їх до відстані $0,5\text{ м}$.
- 3.12. Порошинка, заряд якої складають 50 електронів, утримується в рівновазі у плоскому конденсаторі, відстань по вертикалі між обкладинками якого 5 мм , а різниця потенціалів між ними 75 В . Визначити масу порошинки.
- 3.13. Визначити силу взаємодії між обкладинками плоского конденсатора, якщо він перебуває в спирті. Площа обкладинок 200 см^2 . Відстань між ними 5 мм . Обкладинки заряджені до різниці потенціалів 200 В .
- 3.14. Три однакових точкових заряди по 1 нКл розташовані у вершинах рівностороннього трикутника. Який заряд треба розмістити у центрі трикутника, щоб наведена система зарядів була в рівновазі?
- 3.15. Два точкових електричних заряди 1 нКл і 2 нКл перебувають у повітрі на відстані 10 см один від одного. Визначити напруженість та потенціал поля, що створюються цими зарядами у точці, віддаленій від першого заряду на відстань 9 см , а від другого на відстань 7 см .

- 3.16. Величина зарядів на пластинах плоского конденсатора 10 нКл. Площа кожної пластини 100 см^2 , діелектрик – повітря. Визначити силу, з якою притягуються пластини. Поле між пластинами вважати однорідним.
- 3.17. Дві кульки масами по 1 г підвішені на нитках, верхні кінці яких з'єднані разом. Довжина кожної нитки 10 см. Які однакові заряди треба надати кулькам, щоб нитки розійшлися на кут 60° ?
- 3.18. Відстань між зарядами 100 нКл і 50 нКл складає 10 см. Визначити силу, яка діє на заряд у 1 мкКл, віддалений від першого заряду на 12 см, від другого на 10 см.
- 3.19. Довгий прямий тонкий дріт несе рівномірно розподілений заряд. Обчислити лінійну густину заряду, якщо напруженість поля на відстані 0,5 м від дроту навпроти його середини 2 В/м .
- 3.20. Яку прискорюючу різницю потенціалів має подолати електрон, щоб отримати швидкість $8 \cdot 10^6 \text{ м/с}$?
- 3.21. Електрон з початковою швидкістю $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ влітає у однорідне електричне поле напруженістю 150 В/м . Вектор початкової швидкості перпендикулярний до ліній напруженості поля. Визначити силу, що впливає на електрон; прискорення, яке набуває електрон; швидкість електрона через 0,1 мкс.
- 3.22. Три однакових точкових заряди по 2 нКл перебувають у вершинах рівностороннього трикутника зі стороною 10 см. Визначити значення та напрямки сили, яка діє на один із зарядів.
- 3.23. Чотири однакових заряди по 40 нКл закріплені у вершинах квадрата зі стороною 10 см. Визначити силу, що впливає на один із зарядів з боку трьох інших.
- 3.24. У вершинах квадрата перебувають однакові заряди по $2 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$. Який негативний заряд треба розташувати у центрі квадрата, щоб сила взаємного відштовхування позитивних зарядів була врівноважена силою притягання негативного заряду?

- 3.25. Відстань між двома точковими зарядами 2 нКл і 4 нКл становить 60 см . Визначити точку, в якій треба розташувати третій заряд, щоб система зарядів перебувала у рівновазі. Визначити значення та знак заряду.
- 3.26. По тонкому металевому кільцю радіусом 10 см рівномірно розподілений заряд 20 нКл . Яка напруженість електричного поля у точці на осі кільця на відстані 20 см від його центра?
- 3.27. З якою силою на одиницю площі взаємодіють дві нескінченні паралельні площини, заряджені з однаковою поверхневою густиною 5 мкКл/м^2 ?
- 3.28. З якою силою (на одиницю довжини) взаємодіють дві заряджені нескінченно довгі паралельні нитки з однаковою лінійною густиною заряду 20 мкКл/м , які перебувають на відстані 10 см одна від одної?
- 3.29. Визначити потенціальну енергію системи двох точкових зарядів 400 нКл і 20 нКл , які перебувають на відстані 5 см один від одного.
- 3.30. Чотири однакові краплі ртуті, заряджені до потенціалів 4 В , зливаються у одну. Який потенціал краплі, що утворилась?
- 3.31. Вісім однакових крапель ртуті, заряджених до потенціалу 4 В , зливаються у одну. Знайти потенціал краплі, що утворилась.
- 3.32. Електричне поле створене нескінченною ниткою, зарядженою з лінійною густиною 20 пКл/м . Визначити різницю потенціалів двох точок поля, віддалених від нитки на відстані 8 см та 12 см .
- 3.33. Порошинка масою 20 мкг , яка має заряд 40 нКл , влетіла у електричне поле у напрямку силових ліній. Після подолання різниці потенціалів 200 В порошинка отримала швидкість 10 м/с . Визначити швидкість до того, як вона влетіла в це поле.
- 3.34. Електрон, який має кінетичну енергію 10 еВ , влітає в однорідне електричне поле у напрямку силових ліній поля. Яку швидкість буде мати електрон, подолавши у цьому полі різницю потенціалів 8 В ?

- 3.35. Кулька масою 40 мг, заряджена додатнім зарядом у 10^{-9} Кл, рухається зі швидкістю 10 см/с. На яку відстань може наблизитися кулька до нерухомого позитивного точкового заряду у $4 \cdot 10^{-9}$ Кл?
- 3.36. У плоскому, горизонтально розташованому конденсаторі, заряджена крапля ртуті перебуває у рівновазі за напруженості електричного поля 600 В/см. Заряд краплі $2,4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Знайти радіус краплі.
- 3.37. На яку відстань можуть наблизитися два електрони, якщо вони рухаються назустріч один одному з відносною швидкістю 10^8 см/с?
- 3.38. Дві кульки зарядами $2 \cdot 10^{-8}$ Кл та $4 \cdot 10^{-8}$ Кл перебувають на відстані 40 см. Яку роботу треба виконати, щоб наблизити їх до відстані 25 см?
- 3.39. Визначити швидкість електрона, який подолав різницю потенціалів у 5, 10 та 100 В.
- 3.40. На відстані 4 см від нескінченно довгої зарядженої нитки перебуває точковий заряд $2 \cdot 10^{-9}$ Кл. Під дією поля заряд переміщується на відстань 2 см; при цьому виконується робота у $5 \cdot 10^{-6}$ Дж. Знайти лінійну густину заряду на нитці.
- 3.41. Електричне поле створене позитивно зарядженою нескінченною ниткою $2 \cdot 10^{-9}$ Кл/см. Яку швидкість отримає електрон під дією поля, наблизившись до нитки з відстані 1 см до відстані 0,5 см?
- 3.42. Біля зарядженої нескінченної площини знаходиться точковий заряд $2 \cdot 10^{-9}$ Кл. Під дією поля заряд переміщується по силових лініях на відстань 2 см, при цьому виконується робота $5 \cdot 10^{-6}$ Дж. Визначити поверхневу густину заряду на площині.
- 3.43. Електрон, подолавши у плоскому конденсаторі шлях від однієї пластини до іншої, набув швидкості 100 м/с. Відстань між пластинами 8 мм. Знайти різницю потенціалів між пластинами та поверхневу густину заряду на них.
- 3.44. Порошинка масою 5 нг, яка несе на собі заряд у 10 електронів, прискорена у вакуумі різницею потенціалів в 1 МВ. Знайти

- кінетичну енергію порошинки. Яку швидкість вона набула?
- 3.45. Відстань між пластинами плоского конденсатора 2 мм, різниця потенціалів – 600 В. Заряд кожної пластини 40 нКл. Визначити енергію електричного поля конденсатора та сили взаємного притягання пластин.
- 3.46. Два однакові плоскі повітряні конденсатори ємністю 100 пФ кожний, послідовно з'єднані в батарею. Визначити, на скільки зміниться ємність батареї, якщо простір між пластинами одного з конденсаторів заповнити парафіном.
- 3.47. Два конденсатори ємністю 5 мкФ та 8 мкФ з'єднані послідовно і підключені до батареї з ЕРС 80 В. Визначити заряд кожного конденсатора та різницю потенціалів між його обкладинками.
- 3.48. Два однакових плоских повітряних конденсатори з'єднані послідовно у батарею, яка підключена до джерела ЕРС 12 В. Визначити, на скільки зміниться напруга на одному з конденсаторів, якщо інший занурити у трансформаторну оливу.
- 3.49. Визначити роботу, яка виконується при розсуванні обкладинок плоского конденсатора площею 100 см^2 кожна, на відстань 1,5 см за умови, що обкладинки несуть заряд 0,4 мкКл.
- 3.50. Знайти електроємність сфери, радіусом 20 мм. На скільки зміниться потенціал сфери, якщо їй надати заряд 0,5 Кл.
- 3.51. Два конденсатори однакової ємності 6 мкФ заряджені – один до 100 В, другий – 200 В. Після цього конденсатори з'єднані послідовно. Визначити зміну енергії системи.
- 3.52. Конденсатор ємністю 3 мкФ заряджений до різниці потенціалів 40 В. Після від'єднання від джерела струму конденсатор з'єднано паралельно з іншим незарядженим конденсатором ємністю 5 мкФ. Яка енергія витратиться на створення іскри у момент під'єднання другого конденсатора?
- 3.53. До батареї з ЕРС 300 В підключено два плоских конденсатори ємністю 2 пФ та 3 пФ. Визначити заряди і напруги на пластинах конденсаторів при паралельному з'єднанні.

- 3.54. Яким чином треба з'єднати три конденсатори, ємністю 3, 6 та 9 мкФ, щоб електроємність батареї була мінімальною або максимальною?
- 3.55. Паралельно обкладинкам плоского конденсатора введено металеву пластину завтовшки 6 мм. Визначити його електроємність, якщо площа кожної з обкладинок 100 см^2 , відстань між ними 8 мм.
- 3.56. Два конденсатори ємністю 3 і 5 мкФ з'єднано послідовно та під'єднано до джерела постійної напруги 12 В. Визначити заряд кожного конденсатора та різницю потенціалів між його обкладинками.
- 3.57. Плоский конденсатор, відстань між обкладинками якого 2 см, а площа кожної обкладинки 200 см^2 , зарядили до різниці потенціалів 200 В і від'єднали від джерела напруги. Яку роботу треба виконати, щоб збільшити відстань між обкладинками до 6 см?
- 3.58. Напруженість поля у плоскому повітряному конденсаторі з площею обкладинок 100 см^2 кожна дорівнює 120 кВ/м. Напруга на конденсаторі 600 В. визначити енергію та електроємність конденсатора.
- 3.59. Визначити, як змінюються електроємність та енергія плоского повітряного конденсатора, якщо паралельно його обкладинкам ввести металеву пластину завтовшки 1 мм. Площа обкладинки конденсатора і пластини 150 см^2 , відстань між обкладинками 6 мм. Конденсатор заряджений до 400 В та від'єднано від батареї.
- 3.60. Знайти електроємність земної кулі. Радіус земної кулі 6400 км. На скільки зміниться потенціал земної кулі, якщо йому надати заряд 1 Кл?
- 3.61. Вісім заряджених водяних краплин радіусом 1 мм та зарядами в 10^{-10} Кл кожна зливаються в одну водяну краплю. Визначити потенціал великої краплі.
- 3.62. Визначити електроємність сферичного конденсатора, який складається з двох концентричних сфер радіусами 10 та

10,5 см. Простір між сферами заповнено оливою. Який радіус матиме куля, занурена у оливу, щоб мати таку електроємність?

- 3.63. В яких межах може змінюватися електроємність системи, що складається з двох конденсаторів змінної ємності, якщо ємність кожного може змінюватися від 10 до 450 пФ?
- 3.64. Заряджена куля радіусом 2 см торкається незарядженої кулі радіусом 3 см. Після того, як кулі роз'єднали, енергія другої кулі складає 0,4 Дж. Який заряд був на першій кулі до їхнього доторкання?
- 3.65. Площа пластин плоского повітряного конденсатора 100 см^2 і відстань між ними 5 мм. Знайти, яку різницю потенціалів було прикладено до конденсатора, якщо відомо, що при його розряді виділилося $4,19 \cdot 10^{-30}$ Дж тепла.
- 3.66. Плоский повітряний конденсатор, відстань між пластинами якого 2 см, заряджений до потенціалу 3000 В. Якою буде напруженість поля у конденсаторі, якщо, не відмикаючи джерело напруги, пластини розсунуті на відстань 5 см? Обчислити енергії конденсатора до та після розсування. Площа пластини 100 см^2 .
- 3.67. Плоский конденсатор заповнюється діелектриком і на його пластини подано якусь різницю потенціалів. Його енергія при цьому складає $2 \cdot 10^{-5}$ Дж. Після відмикання конденсатора від джерела напруги діелектрик вийняли з конденсатора. Робота, яку треба було виконати при цьому проти сил електричного поля - $7 \cdot 10^{-5}$ Дж. Знайти діелектричну проникність діелектрика.
- 3.68. Електрична лампа напругою 120 В має волосок з діаметром поперечного перерізу 0,44 мм. Визначити напруженість поля у волоску за температури 2400°C , якщо опір лампи у робочому стані 10 Ом.
- 3.69. Під кінець зарядки батареї акумуляторів струмом 3 А вольтметр, підключений до неї, показував напругу 4,25 В. На початку розряду батареї струмом 4 А вольтметр показував

напругу 3,9 В. Визначити ЕРС та внутрішній опір батареї. Струмом через вольтметр знехтувати.

- 3.70. Вольфрамовим волоском лампи розжарювання тече електрострум 0,125 А. Визначити напруженість електричного струму у волоску лампи, якщо його діаметр 0,02 мм, а температура 2400 °С.
- 3.71. Мідним дротом з поперечним перерізом 1 мм² тече електрострум 1 А. Визначити швидкість спрямованого руху електронів, якщо концентрація електронів провідності 10²³ см⁻³.
- 3.72. Міліамперметр зі шкалою 0 - 15 мА має опір 5 Ом. Як має бути ввімкнений прилад у комбінації з опором (і яким) для вимірювання різниці потенціалів від 0 до 150 В?
- 3.73. Амперметр, опір якого 0,16 Ом, зашунтовано опором 0,04 Ом. Амперметр показує 8 А. Визначити силу струму у колі.
- 3.74. Для вимірювання електричних струмів до 10 А є амперметр опором 0,18 Ом, шкала якого розділена на 100 поділок. Який опір треба взяти, і як його ввімкнути, щоб цим амперметром можна було вимірювати силу струму у 100 А? Як при цьому зміниться ціна поділки амперметра?
- 3.75. Для вимірювання різниці потенціалів до 30 В є вольтметр опором 2 000 Ом, шкала якого розділена на 150 поділок. Який опір треба взяти і як його ввімкнути, щоб цим вольтметром можна було вимірювати різниці потенціалів до 75 В? Як при цьому зміниться ціна поділки вольтметра?
- 3.76. У наявності є електролампа, розрахована на напругу 120 В, потужністю 40 Вт. Який додатковий опір треба ввімкнути послідовно з лампою, щоб вона давала нормальне розжарювання за напруги у електромережі 220 В? Скільки метрів ніхромового дроту діаметром 0,3 мм треба взяти, щоб отримати цей опір?
- 3.77. Потужності трьох електричних ламп, розрахованих на напругу 110 В, дорівнюють відповідно 40, 40, 80 Вт. Як треба ввімкнути лампи, щоб вони давали нормальне розжарювання за напруги у електромережі 220 В?

- 3.78. Скільки витків ніхромового дроту діаметром 1 мм треба намотати на керамічний циліндр радіуса 2,5 см, щоб отримати нагрівач опором 40 Ом?
- 3.79. Котушка з мідного дроту має опір 10 Ом. Вага дроту – 34 Н. Скільки метрів дроту і якого діаметра намотано на котушку?
- 3.80. Знайти опір залізного стрижня діаметром 1 см, якщо його вага 10 Н.
- 3.81. Знайти падіння потенціалу на мідному дроті довжиною 500 м і діаметром 2 мм, якщо сила струму у ньому 2 А.
- 3.82. Елемент з ЕРС 1,1 В та внутрішнім опором 1 Ом замкнений на зовнішній опір 1 Ом. Знайти силу струму у колі, падіння потенціалу у елементі живлення, з яким ККД працює елемент.
- 3.83. Яка різниця потенціалів на затискачах двох елементів електроживлення, з'єднаних паралельно, якщо їхні ЕРС дорівнюють 1,4 В та 1,2 В, а внутрішні опори – 0,6 Ом та 0,4 Ом?
- 3.84. Прилад з опором 6 Ом ввімкнений послідовно з двома паралельно з'єднаними джерелами струму з ЕРС 2,2 В і 2,4 В і внутрішніми опорами 0,8 Ом і 0,2 Ом. Визначити силу струму у цьому приладі та напругу на затискачах другого джерела.
- 3.85. Елемент з ЕРС 2 В має внутрішній опір 0,5 Ом. Визначити падіння потенціалу в елементі, якщо сила струму у колі 0,25 А. Знайти зовнішній опір у колі за цих умов.
- 3.86. ЕРС елемента 1,6 В, його внутрішній опір 0,5 Ом. Чому дорівнює ККД елемента, якщо сила струму у колі 2,4 А?
- 3.87. Елемент електроживлення, реостат і амперметр ввімкнений послідовно. Елемент має ЕРС 2 В і внутрішній опір 0,4 Ом. Амперметр показує силу струму 1 А. З яким ККД працює елемент?
- 3.88. Є два однакових елементи з ЕРС 2 В та внутрішнім опором 0,3 Ом. Як треба з'єднати ці елементи (послідовно чи паралельно), щоб отримати більшу силу струму, якщо зовнішній опір 0,2 Ом; зовнішній опір – 16 Ом? Обчислити силу струму у кожному випадку.

- 3.89. Опір 5 Ом, вольтметр та джерело струму ввімкнений паралельно. Вольтметр показує напругу 10 В. Якщо замінити опір на 12 В, то вольтметр покаже напругу 12 Ом. Визначити ЕРС та внутрішній опір джерела струму. Струмом через вольтметр знехтувати.
- 3.90. Визначити заряд, що пройшов провідником з опором 3 Ом за умови рівномірного зростання напруги на кінцях провідника від 2 В до 4 В упродовж 20 с.
- 3.91. Визначити силу струму у колі, що складається з двох елементів з ЕРС 1,6 В та 1,2 В і внутрішніми опорами відповідно 0,6 Ом та 0,4 Ом, якщо елементи з'єднані однойменними полюсами.
- 3.92. Визначити силу струму у колі, що складається з двох елементів з ЕРС 1,6 В та 1,2 В і внутрішніми опорами відповідно 0,6 Ом та 0,4 Ом, якщо елементи з'єднані різнойменними полюсами.
- 3.93. Котушка і амперметр ввімкнені послідовно та під'єднано до джерела струму. До клем котушки під'єднано вольтметр з опором 4 кОм. Амперметр показує силу струму 0,3 А, вольтметр – напругу 120 В. Визначити опір котушки. Скільки відсотків складає похибка, якщо при визначенні опору котушки не буде враховано опір вольтметра?
- 3.94. Визначити заряд, що проходить резистором з опором 10 Ом за умови рівномірного зростання напруги на кінцях резистора з 1 В до 3 В упродовж 10 с.
- 3.95. Визначити силу струму, який споживає електрична лампа за температури вольфрамової нитки 2 000 °С, якщо діаметр нитки 0,02 мм, а напруженість електричного поля у ній 800 В/м.
- 3.96. Визначити різницю потенціалів на кінцях ніхромового провідника довжиною 1 м, якщо густина струму, що ним протікає $2 \cdot 10^8$ А/м².
- 3.97. Визначити густину струму, що тече резистором довжиною 5 м, якщо на його кінцях підтримується різниця потенціалів

2 В. Питомий опір матеріалу $2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

- 3.98. Визначити питомий опір і матеріал дроту, намотаного на котушку, яка має 500 витків діаметром 5 см, якщо напруга на контактах котушки 320 В, а допустима густина струму $2 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.
- 3.99. Визначити заряд, що пройшов резистором за 10 с, якщо сила струму за цей час рівномірно зростала від 0 до 5 А.
- 3.100. Знайти падіння потенціалів у кожному опорі (рис. 3.1), якщо їхні числові значення відповідно 4 Ом, 2 Ом та 4 Ом. Амперметр показує силу струму 3 А. Знайти струми у другому та третьому опорах.
- 3.101. У схемі (рис. 3.2) джерела струму мають ЕРС 2,1 В та 1,9 В, а опори відповідно значення 45 Ом, 10 Ом, та 10 Ом. Знайти сили струму на всіх ділянках кола. Внутрішніми опорами джерел струму знехтувати.

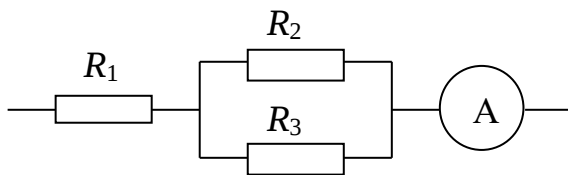


Рис. 3.1

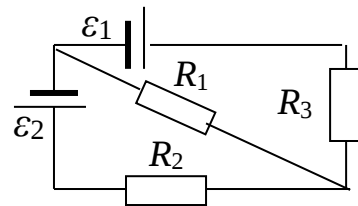


Рис. 3.2

- 3.102. Визначити силу струму у кожному елементі електроживлення та напругу на затискачах реостата (рис. 3.3), якщо ЕРС та внутрішні опори елементів відповідно 12 В та 1 Ом, 6 В та 1,5 Ом, а опір реостата 20 Ом.
- 3.103. Дві батареї з ЕРС та опорамі відповідно 12 В та 2 Ом, 24 В та 6 Ом і реостат з опором 16 Ом з'єднані, як наведено на рисунку 3.3. Визначити сили струму у батареях та реостаті.

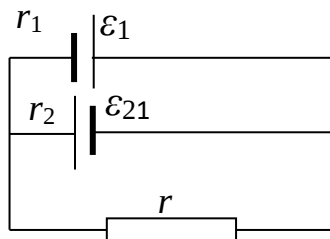


Рис. 3.3

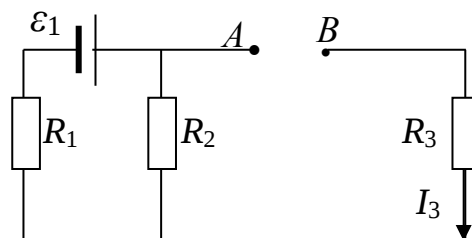


Рис. 3.4

- 3.104. Три опори значеннями 6 Ом, 3 Ом, 2 Ом відповідно та батареєю з електрорушійною силою 1.5 В, з'єднано так, як показано на рисунку 3.4. Визначити ЕРС додаткового джерела, яке необхідно підключити у розрив кола, щоб третім опором протікав струм силою 1 А у напрямку, вказаному стрілкою. Опорами джерел знехтувати.
- 3.105. Вважаючи опір вольтметра нескінченно великим, показати, яким чином можна визначити величину невідомого опору за показами амперметра і вольтметра у схемі (рис. 3.5). Визначити відносну похибку знайденого опору, якщо опір вольтметра 1000 Ом, а величина невідомого опору 10 Ом.
- 3.106. Вважаючи опір амперметра нескінченно малим, визначають опір реостата за показами амперметра та вольтметра (рис. 3.6). Знайти відносну похибку визначення опору, якщо опір амперметра 0,2 Ом, а опір реостата 100 Ом.

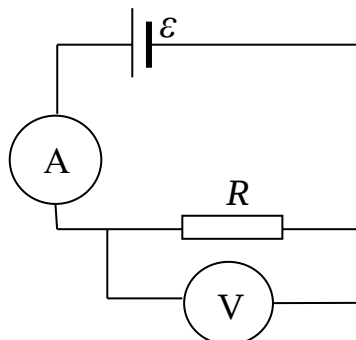


Рис. 3.5

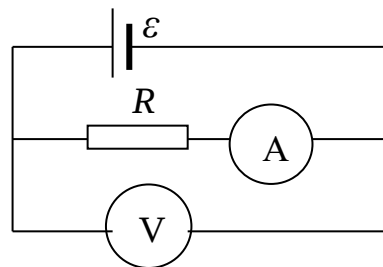


Рис. 3.6

- 3.107. Визначити напругу на опорі 3 Ом (рис. 3.7), якщо ЕРС та внутрішні опори джерел відповідно 5 В та 1 Ом, 3 В та 0,5 Ом.
- 3.108. Визначити напруги на усіх опорах, значення яких відповідно 2 Ом, 4 Ом, 4 Ом, 2 Ом, з'єднаних, як наведено на рисунку 3.8,

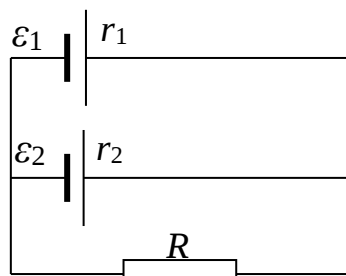


Рис. 3.7

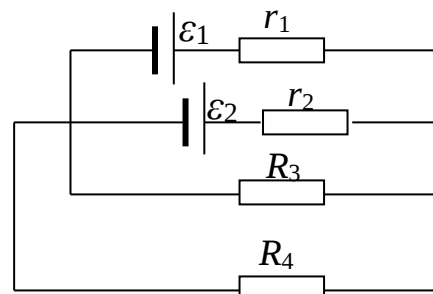


Рис. 3.8

якщо значення ЕРС відповідно 10 В та 4 В. Опорами джерел знехтувати.

3.109. У схемі (рис. 3.9) опір дорівнює 1,4 Ом. Джерела ЕРС по 2 В. Внутрішні опори цих джерел відповідно 1 Ом та 1,5 Ом. Знайти сили струму у кожному джерелі та в усьому колі.

3.110. У схемі (рис.3.10) зовнішній опір складає 0,5 Ом. Елементи живлення мають ЕРС по 2 В, їхні внутрішні опори відповідно 1 Ом та 1,5 Ом. Знайти різниці потенціалів на затискачах кожного елемента.

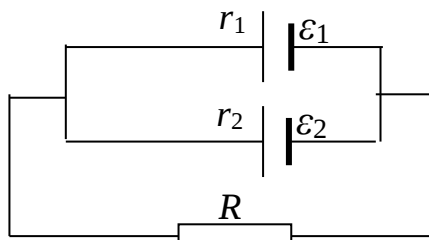


Рис.3.9

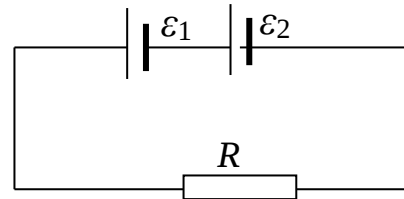


Рис.3.10

3.111. Визначити силу струму, яку показує амперметр (рис. 3.11). Напруга на затискачах елемента живлення у замкненому колі 2,1 В. Опори відповідно 5 Ом, 6 Ом та 3 Ом. Опором амперметра знехтувати.

3.112. У схемі (рис. 3.12) усі зовнішні опори по 200 Ом. Вольтметр показує 100 В; опір вольтметра 1 000 Ом. Знайти ЕРС батареї. Опором батареї знехтувати.

3.113. У схемі (рис. 3.13) ЕРС джерел відповідно 30 В та 5 В. Другий опір 10 Ом, третій 20 Ом. Амперметром тече струм 1 А, спрямований від третього опору до першого. Знайти перший опір. Опором джерел і амперметра знехтувати.

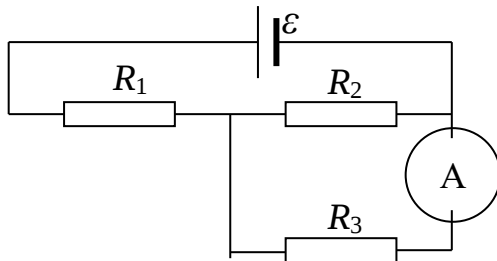


Рис.3.11

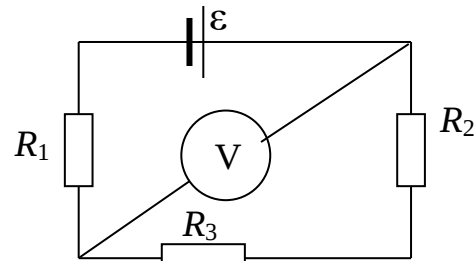


Рис.3.12

3.114. Яку силу струму показує міліамперметр (рис. 3.14), якщо ЕРС джерел відповідно 2 В та 1 В, а значення зовнішніх опорів

1000 Ом, 500 Ом та 200 Ом? Опір амперметра 200 Ом. Внутрішнім опором джерел знехтувати.

- 3.115. Яку силу струму показує міліамперметр (рис. 3.14), якщо значення ЕРС джерел відповідно 2 В та 3 В. Третій опір 1500 Ом. Опір амперметра 500 Ом, а падіння потенціалу на другому опорі (струм тече зверху вниз) дорівнює 1 В? Опором джерел знехтувати.

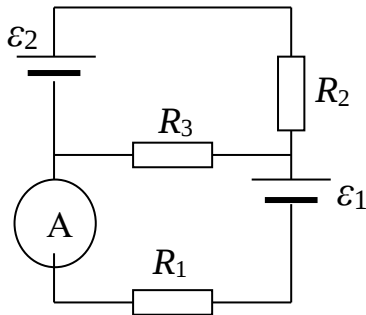


Рис. 3.13

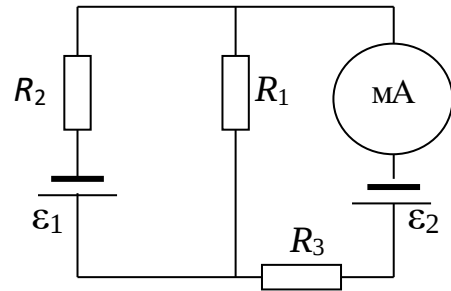


Рис.3.14

- 3.116. У схемі (рис. 3.15) ЕРС джерел по 110 В. Зовнішні опори по 200 Ом, опір вольтметра 1 000 Ом. Знайти покази вольтметра. Опорами джерел знехтувати.
- 3.117. У схемі (рис. 3.15) ЕРС джерел однакові. Зовнішні опори по 100 Ом. Вольтметр показує 150 В, опір вольтметра 150 Ом. Знайти ЕРС джерел. Внутрішнім опором джерел струму знехтувати.

- 3.118. Визначити роботу електричних сил та кількість теплоти, що виділяється упродовж 1 с у батареї акумуляторів, яка заряджається струмом 1 А від зовнішнього джерела, якщо напруга між клемми акумулятора 2 В, а ЕРС батареї 2,6 В.

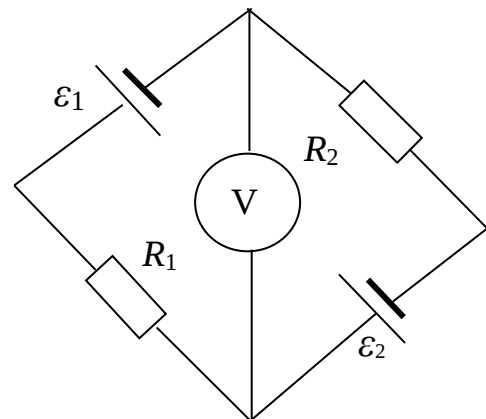


Рис. 3.15

- 3.119. Визначити роботу електричних сил та кількість теплоти, що виділяється упродовж 1 с в акумуляторі, який заряджається струмом 1 А, якщо напруга між клемми акумулятора 2 В, ЕРС акумулятора становить 1,3 В.

- 3.120. Батарея акумуляторів з ЕРС 12 В заряджається за напруги 12,5 В струмом 3 А. Вважаючи, що внутрішній опір при зарядці та розрядці однаковий, визначити ККД електричного кола при зарядці струмами 30 А і 3 А.
- 3.121. Визначити роботу електричних сил та кількість теплоти, що виділяється упродовж 2 с в акумуляторі, який заряджається струмом 1 А, якщо напруга між клемми акумулятора 1,8 В. ЕРС акумулятора становить 1,1 В.
- 3.122. Сила струму у провіднику опором 10 Ом рівномірно знижується від 10 А до 0 упродовж 10 с. Визначити кількість теплоти, що виділяється у цьому провіднику за цей час.
- 3.123. ЕРС батареї 80 В, внутрішній опір 5 Ом. Зовнішнє коло споживає потужність 100 Вт. Визначити силу струму у колі, напругу, під якою перебуває зовнішнє коло, та його опір.
- 3.124. Визначити кількість теплоти, що виділяється у резисторі за перші дві секунди, якщо сила струму у ньому за цей час лінійно зростає від нуля до 4 А. Опір резистора 10 Ом.
- 3.125. У резисторі опором 20 Ом сила струму за 5 с лінійно зросла від 5 А до 15 А. Яка кількість теплоти виділяється за цей час?
- 3.126. ЕРС акумулятора 12 В. За сили струму 3 А його ККД 0,8. Визначити внутрішній опір акумулятора.
- 3.127. Елемент з ЕРС 6 В та внутрішнім опором 1,5 Ом замкнений на зовнішній опір 8,5 Ом. Знайти: силу струму у колі, падіння напруг у зовнішньому колі та елементі, ККД елемента.
- 3.128. Визначити струм короткого замикання батареї, ЕРС якої 15 В, якщо за під'єднання до неї резистора опором 3 Ом сила струму у колі 4 А.
- 3.129. Джерело постійного струму один раз з'єднують з резистором опором 9 Ом, другий раз до резистора опором 16 Ом. У першому та другому випадках за однаковий час виділяється однакова кількість теплоти. Визначити внутрішній опір джерела струму.
- 3.130. Упродовж 5 с резистором з опором 10 Ом протікає струм, сила якого рівномірно зростає. У початковий момент сила

- струму дорівнює нулю. Визначити заряд, що протік за 5 с, якщо кількість теплоти, яка виділяється на резисторі 500 Дж.
- 3.131. Сила струму у резисторі зростає від нуля упродовж 10 с. За цей час виділилося 500 Дж теплоти. Визначити швидкість зростання струму, якщо опір резистора 10 Ом.
- 3.132. Від батареї з ЕРС 600 В треба передати енергію на відстань 1 км. Споживана потужність 5 кВт. Знайти мінімальні втрати потужності у мережі, якщо діаметр мідних дротів 0,5 см.
- 3.133. Максимальна ЕРС батареї 24 В. Найбільша сила струму, яку може дати батарея 10 А. Визначити максимальну потужність, яка може виділитися у зовнішньому колі.
- 3.134. При зовнішньому опорі 8 Ом сила струму у колі 0,8 А, при зовнішньому опорі 15 Ом 0,5 А. Визначити силу струму короткого замикання джерела ЕРС.
- 3.135. В електромережу з напругою 100 В ввімкнули послідовно котушку з опором 2 кОм та вольтметр. Покази вольтметра 80 В. Коли котушку замінили іншою, вольтметр показав 60 В. Визначити опір цієї котушки.
- 3.136. ЕРС батареї 12 В. При силі струму 4 А, ККД батареї 0,6. Визначити внутрішній опір батареї.
- 3.137. Струм у провіднику опором 10 Ом за час 50 с рівномірно зростає від 4 А до 10 А. Визначити кількість теплоти, що виділилося у провіднику за цей час.
- 3.138. Струм у провіднику опором 25 Ом за час 10 с рівномірно зростає до деякої величини. За цей час у провіднику виділилося 40 кДж теплоти. Визначити середнє значення струму у провіднику за цей проміжок часу.
- 3.139. Сила струму у резисторі лінійно зростає за 4 с від нуля до 8 А. Опір резистора 10 Ом. Визначити кількість теплоти, що виділилася з резистора за перші 3 с.
- 3.140. Батарея складається з п'яти послідовно з'єднаних елементів. ЕРС кожного 1,4 В, а внутрішній опір 0,3 Ом. При якому струмі корисна потужність батареї буде складати 8 Вт? Визначити максимальну корисну потужність батареї.

- 3.141. Визначити внутрішній опір генератора, якщо відомо, що потужність, яка виділяється у зовнішньому колі, однакова за двох значень зовнішнього опору 5 Ом та 0,2 Ом. Знайти ККД генератора у кожному випадку.
- 3.142. Елемент замикають спочатку на зовнішній опір 2 Ом, а потім на зовнішній опір 0,5 Ом. Знайти ЕРС елемента та його внутрішній опір, якщо відомо, що у кожному з випадків потужність, яка виділяється у зовнішньому колі, однакова та дорівнює 2,54 Вт.
- 3.143. Джерело ЕРС замикають на зовнішній опір. Найбільша потужність у зовнішньому колі 9 Вт. Сила струму при цьому у колі 3 А. Знайти величини ЕРС та внутрішнього опору.
- 3.144. Різниця потенціалів між двома точками складає 9 В. Є два провідника, опори яких відповідно 5 та 3 Ом. Визначити кількість теплоти, що виділяється у кожному з провідників за 1 с, якщо вони ввімкнені між цими точками послідовно та паралельно.
- 3.145. Дві електричні лампи ввімкнені у мережу паралельно. Опір першої лампи 360 Ом, другої 240 Ом. Яка лампа поглинає більшу потужність? У скільки разів?
- 3.146. Скільки води можна закип'ятити, витративши 3 ГВт·год електроенергії? Початкова температура води 10° С. Втратами тепла знехтувати.
- 3.147. Яку потужність споживає нагрівач електричного чайника, якщо 1 л води закипає через 5 хвилин? Який опір нагрівача, якщо напруга у мережі 120 В? Початкова температура води 13,5° С. Втратами теплоти знехтувати.
- 3.148. На плитці потужністю 0,5 кВт стоїть чайник з 1 л води при температурі 16° С. Вода у чайнику закипіла за 20 хвилин після вмикання плитки. Яку кількість теплоти втрачено при нагріванні самого чайника, на випромінювання і т. ін.?
- 3.149. Намотка у електричній каструлі складається з двох однакових секцій. Опір кожної секції 20 Ом. Через який час закипить 2,2 л води, якщо ввімкнена одна секція, ввімкнені паралельно

обидві секції? Початкова температура води 160°C , напруга у мережі 110 В, ККД нагрівача 85%.

- 3.150. Електричний чайник має дві обмотки. При вмиканні однієї з них вода у чайнику закипає через 15 хвилин, при вмиканні іншої через 30 хвилин. За який час закипає вода у чайнику, якщо обидві обмотки ввімкнути послідовно, паралельно?
- 3.151. Від батареї, ЕРС якої 110 В, потрібно передати енергію на відстані 250 м. Споживана потужність 10 кВт. Знайти мінімальні втрати у мережі, якщо діаметр мідних дротів складає 1,5 мм?
- 3.152. Від генератора, ЕРС якого 110 В, треба передати енергію на відстань 250 м. Споживана потужність 100 кВт. Знайти мінімальний переріз дротів, якщо втрата потужності у мережі не перевищує 1%.
- 3.153. У коло з'єднані послідовно мідний та сталевий дроти однакових довжин і діаметрів. Знайти: відношення кількостей теплоти, що виділяються у цих дротах, відношення падінь напруг на них.
- 3.154. У коло з'єднані паралельно мідний та алюмінієвий дроти однакових довжин і діаметрів. Знайти: відношення кількостей теплоти, що виділяються у цих дротах.
- 3.155. Елемент, ЕРС якого 6 В, дає максимальну силу струму 3 А. Знайти найбільшу кількість теплоти, яку може бути виділено на зовнішньому опорі за одну хвилину.
- 3.156. Визначити загальну потужність, корисну потужність і ККД батареї, ЕРС якої 240 В, якщо зовнішній опір 23 Ом та опір батареї 10 Ом.
- 3.157. Для нагрівання 4,5 л води від 23°C до кипіння нагрівач споживає 0,5 кВт·год електроенергії. Чому дорівнює ККД нагрівача?
- 3.158. Електричний чайник з 0,6 л води при температурі 9°C , опір обмотки якого 16 Ом забули вимкнути. Через який час після вмикання вся вода википить? Напруга у мережі 120 В, ККД чайника 60%.

- 3.159. Для опалення кімнати користуються нагрівачем, ввімкненим у мережу напругою 120 В. Кімната втрачає за добу 800 кДж теплоти. Треба підтримувати температуру кімнати незмінною. Знайти: опір нагрівача; скільки метрів ніхромового дроту треба узяти для обмотки такого нагрівача, якщо діаметр дроту 1 мм; потужність нагрівача.
- 3.160. Визначити кількість електронів, що проходять за 1 с поперечним перерізом залізного дроту довжиною 20 м, якщо напруга на його кінцях 16 В.
- 3.161. Два джерела струму, ЕРС яких по 2 В та внутрішні опори по 2,5 м, з'єднані послідовно. При якому зовнішньому опорі споживана корисна потужність буде максимальною?
- 3.162. Два джерела струму, ЕРС яких по 1,5 В, внутрішні опори по 0,5 Ом з'єднані паралельно. Який зовнішній опір треба під'єднати до них, щоб споживана потужність була максимальною?
- 3.163. Знайти кількість теплоти, яка виділяється за одну секунду у одиниці об'єму мідного дроту за густини струму 30 А/см^2 ?
- 3.164. Як треба розташувати провідник з поперечним перерізом $3,78 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$, яким протікає струм 1 А, відносно горизонтально розташованого провідника зі струмом 5 А, щоб алюмінієвий провідник перебував у рівновазі?
- 3.165. Електрон з початковою швидкістю 10^5 м/с влітає у простір, в якому створені два взаємно перпендикулярних магнітних поля індукціями 0,3 мкТл та 0,4 мкТл. Визначити траєкторію руху електрона, якщо вектори індукції магнітних полів перпендикулярні вектору швидкості електрона.
- 3.166. Частинка, яка має енергію 16 МеВ, рухається у магнітному полі з індукцією 2,4 Тл по колу радіусом 24,5 см. Визначити заряд цієї частинки, якщо її швидкість $2,72 \cdot 10^7 \text{ м/с}$.
- 3.167. Визначити поперечний переріз прямолінійного алюмінієвого провідника, що рухається з прискоренням $0,4 \text{ м/с}^2$ в однорідному магнітному полі з індукцією $2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$. Провідником протікає

струм 4 А, напрямок його руху перпендикулярний вектору індукції.

- 3.168. Електрон з енергією 0,5 кеВ пролітає у вакуумі крізь однорідне магнітне поле напруженістю 1 кА/м перпендикулярно полю. Визначити швидкість електрона, силу Лоренца і радіус траєкторії його руху.
- 3.169. Якою має бути швидкість електрона, щоб його траєкторія була прямолінійною при русі у взаємно перпендикулярних магнітному та електричному полях? Поля однорідні і мають напруженості 100 А/м та 500 В/м.
- 3.170. Протон влітає у магнітне поле перпендикулярно лініям індукції та описує дугу радіусом 10 см. Визначити швидкість протона, якщо магнітна індукція поля 1 Тл.
- 3.171. Визначити частоту обертання електрона круговою орбітою у магнітному полі індукцією 1 Тл.
- 3.172. Електрон в однорідному магнітному полі рухається гвинтовою траєкторією радіусом 5 см та кроком 20 см. Визначити швидкість електрона, якщо індукція поля 0,1 мТл.
- 3.173. В однорідному магнітному полі з індукцією 0,01 Тл розташовано провідник довжиною 20 см. Визначити силу, яка впливає на провідник, якщо ним тече струм 50А, а кут між напрямком струму та вектором магнітної індукції 30°.
- 3.174. Електрон рухається в однорідному магнітному полі перпендикулярно до ліній індукції. Визначити силу, яка діє на електрон з боку поля, якщо індукція поля 0,2 Тл, а радіус кривини траєкторії 0,2 см.
- 3.175. Заряджена частинка з кінетичною енергією 2 кеВ рухається в однорідному магнітному полі по колу радіусом 4 мм. Визначити силу Лоренца, яка впливає на частинку.
- 3.176. Електрон рухається по колу в однорідному магнітному полі напруженістю $5 \cdot 10^3$ А/м. Визначити частоту обертання електрона.
- 3.177. Електрон рухається у магнітному полі з індукцією 4 мТл по колу радіусом 0,8 см. Яка кінетична енергія електрона?

- 3.178. Частинка, яка несе один елементарний заряд, влітає в однорідне магнітне поле індукцією $0,2 \text{ Тл}$ під кутом 30° до напрямку ліній індукції. Визначити силу Лоренца, якщо швидкість частинки 10^5 м/с .
- 3.179. Електрон, подолавши різницю потенціалів 400 В , потрапив у однорідне магнітне поле напруженістю 10^3 А/м . Визначити радіус кривини траєкторії та частоту обертання електрона у магнітному полі. Вектор швидкості перпендикулярний лініям напруженості поля.
- 3.180. Рамка зі струмом 5 А містить 20 витків тонкого дроту. Визначити магнітний момент рамки зі струмом, якщо її площа 10 см^2 .
- 3.181. Витком радіусом 10 см тече струм 30 А . Виток вміщено в однорідне магнітне поле індукцією $0,2 \text{ Тл}$. Визначити момент сили, яка впливає на виток, якщо площа витка складає з лініями індукції кут 60° .
- 3.182. Протон влетів у магнітне поле перпендикулярно до ліній індукції і описав дугу радіусом 10 см . Визначити швидкість протона, якщо магнітна індукція 1 Тл .
- 3.183. Визначити частоту обертання електрона круговою орбітою у магнітному полі з індукцією 1 Тл .
- 3.184. Електрон в однорідному магнітному полі рухається гвинтовою траєкторією радіусом 5 см та кроком 20 см . Визначити швидкість електрона, якщо магнітна індукція $0,1 \text{ Тл}$.
- 3.185. Двома паралельними дротами довжиною по 2 м протікають однакові струми 200 А . Відстань між дротами 16 см . Визначити силу, яка діє на одиницю довжини дротів.
- 3.186. Напруженість магнітного поля у центрі кругового витка 500 А/м . Магнітний момент витка 6 Ам^2 . Визначити силу струму у витку та його радіус.
- 3.187. Між полюсами електромагніту створюється однорідне магнітне поле індукцією $0,1 \text{ Тл}$. Провідником довжиною

- 20 см, вміщеному перпендикулярно силовим лініям, тече струм 70 А. Знайти силу, яка впливає на провідник.
- 3.188. Протон влітає у схрещені під кутом 120° магнітне (50 мТл) та електричне (200 В/м) поля. Визначити прискорення протона, якщо його швидкість $4 \cdot 10^5$ м/с перпендикулярна векторам обох полів.
- 3.189. Іон, прискорений різницею потенціалів 645 В влітає у схрещені під прямим кутом однорідні магнітне (1,5 мТл) та електричне (200 В/м) поля. Визначити відношення заряду іона до його маси, якщо іон у цих полях рухається прямолінійно.
- 3.190. Протон, прискорений деякою різницею потенціалів, влетів у схрещені під прямим кутом однорідні поля: магнітне (5 мТл) та електричне (20 кВ/м). Визначити цю різницю потенціалів, якщо протон у схрещених полях рухався прямолінійно.
- 3.191. Магнітне (2 мТл) та електричне (1,6 кВ/м) поля спрямовані однаково. Перпендикулярно векторам полів влітає електрон зі швидкістю $0,8 \cdot 10^6$ м/с. Визначити прискорення електрона.
- 3.192. Протон рухається по колу радіусом 0,5 см з лінійною швидкістю 10^6 м/с. Визначити магнітний момент, який створюється еквівалентним круговим струмом.
- 3.193. Заряд 0,1 мкКл рівномірно розподілений по стержню довжиною 50 см. Стержень обертається з кутовою швидкістю 20 с^{-1} відносно осі, перпендикулярній середині стрижня. Знайти магнітний момент, обумовлений обертанням стрижня.
- 3.194. Електрон у атомі водню рухається навколо ядра (протона) по колу радіусом 53 пм. Визначити магнітний момент еквівалентного кругового струму.
- 3.195. Два іони різних мас з однаковими зарядами влетіли в однорідне магнітне поле і почали рухатися колами радіусами 1,73 см та 3 см. Визначити відношення мас іонів, якщо вони були прискорені однаковою різницею потенціалів.
- 3.196. Однозарядний іон натрію, прискорений різницею потенціалів 1 кВ, влетів перпендикулярно лініям магнітної індукції в однорідне магнітне поле з індукцією 0,5 Тл. Визначити

відносну атомну масу іона, якщо він рухався по колу радіусом 4,37 см.

- 3.197. Електрон, прискорений різницею потенціалів 800 В, влетівши в однорідне магнітне поле 47 мТл почав рухатися гвинтовою лінією з кроком 6 м. Визначити радіус гвинтової лінії.
- 3.198. Альфа-частинка, прискорена різницею потенціалів 300 В, потрапивши в однорідне магнітне поле почала рухатися гвинтовою лінією радіуса 1 см та кроком 4 см. Визначити магнітну індукцію поля.
- 3.199. Заряджена частинка, прискорена різницею потенціалів 100 В, влетівши в однорідне магнітне поле індукцією 0,1 Тл почала рухатися гвинтовою лінією радіусом 1 см та кроком 6,5 см. Визначити відношення заряду частинки до її маси.
- 3.200. Електрон влетів у однорідне магнітне поле індукцією 200 мТл перпендикулярно до ліній індукції. Визначити силу еквівалентного кругового струму, який створюється рухом електрона у магнітному полі.
- 3.201. Протон, прискорений різницею потенціалів 30 В, влетів у однорідне магнітне поле індукцією 20 мТл під кутом 30° до ліній магнітної індукції. Визначити крок і радіус гвинтової лінії, якою буде рухатися протон у магнітному полі.
- 3.202. Альфа-частинка, прискорена невідомою різницею потенціалів, почала рухатися в однорідному магнітному полі індукцією 50 мТл гвинтовою лінією з кроком 5 см та радіусом 1 см. Визначити невідому різницю потенціалів, яку подолала альфа-частинка.
- 3.203. Двома паралельними дротами довжиною 3 м кожний, протікають однакові струми 300 А. Відстань між дротами 10 см. Визначити силу взаємодії дротів.
- 3.204. Три паралельними дротами, що перебувають на однакових відстанях 20 см один від одного, протікають струми 400 А. У двох дротах напрямки струмів збігаються. Розрахувати для кожного з дротів відношення сили, яка на нього впливає, до його довжини.

- 3.205. Коротка котушка з площею поперечного перерізу 250 см^2 , що має 500 витків дроту, якою тече струм 5 А , вміщена в однорідне магнітне поле напруженістю 1000 А/м . Знайти: магнітний момент котушки і обертальний момент, який діє на котушку, якщо вісь котушки складає з лініями поля кут 30° .
- 3.206. Тонке провідне кільце зі струмом 40 А вміщено у однорідне магнітне поле індукцією 10 мТл . Площина кільця перпендикулярна до ліній магнітної індукції. Радіус кільця 20 см . Знайти силу, що розтягує кільце.
- 3.207. Тонким кільцем радіусом 10 см рівномірно розподілений заряд з лінійною густиною 50 нКл/м . Кільце обертається відносно осі, перпендикулярної до його площини, яка проходить через його центр, з частотою 10 с^{-1} . Визначити магнітний момент, обумовлений обертанням кільця.
- 3.208. Котушка гальванометра, яка складається з 400 витків тонкого дроту, намотаного на прямокутний каркас довжиною 3 см та заввишки 2 см , підвішена на нитці у магнітному полі індукцією $0,1 \text{ Тл}$. Котушкою тече струм 10^{-7} А . Знайти обертальний момент, що впливає на котушку, якщо площина котушки складає кут 60° з напрямком магнітного поля.
- 3.209. Електрон, прискорений різницею потенціалів 1000 В , влітає в однорідне магнітне поле, перпендикулярне до напрямку його руху. Індукція магнітного поля $1,19 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$. Знайти радіус кривизни траєкторії електрона та період його обертання по колу.
- 3.210. Електрон, прискорений різницею потенціалів 300 В , рухається паралельно довгому прямолінійному дроту на відстані 4 см від нього. Яка сила подіє на електрон, якщо дротом пропускати струм 5 А ?
- 3.211. Електрон влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до силових ліній. Швидкість електрона $4 \cdot 10^7 \text{ м/с}$. Чому дорівнюють тангенціальне і нормальне прискорення електрона у магнітному полі?

- 3.212. Протон та електрон, рухаючись з однаковою швидкістю, потрапляють у однорідне магнітне поле. У скільки разів радіус кривизни траєкторії протона більший за радіус кривизни траєкторії електрона?
- 3.213. На фотографії, отриманій у камері Вільсона, вміщеної у магнітне поле, траєкторія електрона має вигляд дуги радіусом 10 см. Індукція магнітного поля 10^{-2} Тл. Знайти кінетичну енергію електрона.
- 3.214. Заряджена частинка рухається у магнітному полі по колу зі швидкістю 10^6 м/с. Індукція магнітного поля 0,3 Тл. Радіус кола 4 см. Знайти заряд частинки, якщо її кінетична енергія 12 кеВ.
- 3.215. Протон і альфа-частинка влітають у однорідне магнітне поле. Швидкості частинок спрямовані перпендикулярно до силових ліній поля. У скільки разів період обертання протона більший періоду обертання альфа-частинки?
- 3.216. Альфа-частинка, кінетична енергія якої 500 еВ, влітає в однорідне магнітне поле, перпендикулярне до швидкості її руху. Індукція поля 1 Тл. Знайти: силу, яка впливає на частинку, радіус кола яким вона рухається, та період обертання.
- 3.217. Альфа-частинка, момент кількості руху якої $1,33 \cdot 10^{-22}$ кг·м²/с, влітає в однорідне магнітне поле, перпендикулярне до швидкості її руху. Індукція поля $2,5 \cdot 10^{-2}$ Тл. Знайти кінетичну енергію частинки.
- 3.218. Однозарядні іони ізотопів калію з відносними атомними масами 39 та 41 прискорюються різницями потенціалів 300 В, а потім потрапляють у однорідне магнітне поле, перпендикулярне до напрямку їхнього руху. Індукція поля 0,08 Тл. Знайти радіуси кривини траєкторій іонів.
- 3.219. Знайти кінетичну енергію протона, що рухається дугою кола радіусом 60 см у магнітному полі індукцією 1 Тл.
- 3.220. Знайти відношення заряду до маси зарядженої частинки, якщо вона, влітаючи зі швидкістю 10^8 м/с у однорідне магнітне поле

напруженістю 200 кА/м , рухається дугою радіусом $8,3 \text{ см}$. Напрямок швидкості руху частинки перпендикулярний до напрямку магнітного поля.

- 3.221. Коротка котушка площею поперечного перерізу 250 см^2 , яка має 500 витків дроту, яким тече струм 5 А , вміщено в однорідне магнітне поле напруженістю 10000 А/м . Знайти магнітний момент котушки, обертальний момент, що діє на котушку, якщо її вісь складає кут 30° з лініями поля.
- 3.222. Виток дроту діаметром 10 см може обертатися навколо вертикальної осі, яка збігається з одним з діаметрів витка. Виток встановили у площині магнітного меридіану і пропустили ним струм 40 А . Який обертальний момент треба прикласти до витка, щоб утримати його у початковому положенні? Горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі дорівнює 20 мкТл .
- 3.223. На осі контуру зі струмом, магнітний момент якого $0,2 \text{ А} \cdot \text{м}^2$, перебуває другий такий же контур. Магнітний момент другого контуру перпендикулярний до осі. Обчислити механічний момент, що діє на другий контур. Відстань між контурами 100 см . Розміри контурів малі порівняно з відстанню між ними.
- 3.224. Двома нескінченно довгими прямолінійними дротами, розташованими паралельно на відстані 10 см , протікають струми $0,5 \text{ А}$ та 10 А . Визначити магнітну індукцію поля у точці, віддаленій на 10 см від кожного дроту. Розглянути всі можливі випадки. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.225. Кільцевим провідником радіусом 10 см тече струм 4 А . Паралельно площині кільцевого провідника на відстані 2 см над його центром проходить нескінченно довгий провідник, яким тече струм 2 А . Визначити індукцію і напруженість магнітного поля у центрі кільця. Розглянути всі можливі випадки. Розв'язок супроводити рисунком.

- 3.226. Двома круговими витками, які мають спільний центр, протікають струм 5 А та 4 А . Кут між їхніми площинами 30° . Визначити індукцію і напруженість магнітного поля у центрі витків. Розглянути всі можливі випадки. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.227. Двома нескінченно довгими прямолінійними дротами, розташованими паралельно на відстані 10 см , протікають електроструми у однаковому напрямку. Напруженість магнітного поля у точці, віддаленій на 10 см від кожного дроту, $16,33\text{ А/м}$. Одним дротом тече струм силою $0,5\text{ А}$. Визначити силу струму, який тече другим дротом. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.228. Два кругових витки зі струмом розташовані в одній площині і мають спільний центр. Радіус більшого витка 12 см , меншого 8 см . Напруженість магнітного поля у центрі витків дорівнює 50 А/м , якщо струми течуть в одному напрямку, і нулю, якщо у протилежних. Визначити сили струмів, які протікають круговими витками. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.229. Двома нескінченно довгими прямолінійними дротами протікають струми 4 А та 6 А . Відстань між дротами 15 см . Визначити геометричне місце точок, у яких індукція магнітного поля дорівнює нулю. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.230. Двома круговими провідниками радіусом $0,12\text{ м}$ протікає струм силою $0,2\text{ А}$. Перпендикулярно до площини кругового провідника проходить нескінченно довгий прямолінійний провідник, яким тече струм $0,1\text{ А}$. Індукція магнітного поля у центрі кругового провідника $11,3 \cdot 10^{-7}\text{ Тл}$. Визначити, на якій відстані від центра кругового провідника розташований прямолінійний провідник. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.231. Провідник довжиною 1 м зігнуто у вигляді квадрата. Визначити індукцію та напруженість магнітного поля у точці перетину діагоналей квадрата, якщо провідником тече струм 4 А . Розв'язок супроводити рисунком.

- 3.232. Прямий провідник зігнуто у прямокутник зі сторонами довжинами 0,2 м та 0,3 м. Який електрострум треба пропустити цим провідником, щоб напруженість магнітного поля у точці перетину діагоналей була 19 А/м? Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.233. Прямий провідник довжиною 90 см зігнуто у вигляді рівнобічного трикутника. Якої сили струм треба пропустити цим провідником, щоб індукція магнітного поля у точці перетину висот трикутника була $1,24 \cdot 10^{-6}$ Тл? Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.234. Двома довгими паралельними дротами течуть у однаковому напрямку струми 10 А та 15 А. Відстань між дротами 10 см. Визначити напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см, а від другого на 6 см.
- 3.235. Двома довгими паралельними дротами течуть у протилежних напрямках струми 10 А та 15 А. Визначити напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см, а від другого – на 6 см.
- 3.236. Тонким дротом, зігнутим у вигляді правильного шестикутника зі стороною 10 см, тече струм 10 А. Визначити магнітну індукцію у центрі шестикутника.
- 3.237. Двома довгими паралельними дротами, відстань між якими 5 см, течуть однакові струми 10 А. Визначити індукцію та напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від кожного дроту на відстань 5 см, якщо струми протікають в однаковому напрямку.
- 3.238. Двома довгими паралельними дротами, відстань між якими 5 см, течуть однакові струми 10 А. Визначити індукцію та напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від кожного дроту на відстань 5 см, якщо струми протікають у протилежних напрямках.
- 3.239. Контуром у вигляді рівнобічного трикутника тече струм 50 А. Сторона трикутника 20 см. Визначити магнітну індукцію у точці перетину висот трикутника.

- 3.240. Два нескінченно довгих прямих провідника схрещені під прямим кутом. Провідниками протікають струми 60 А та 50 А. Відстань між провідниками 20 см. Визначити індукцію магнітного поля у точці, розташованій на середині спільного перпендикуляра до провідників.
- 3.241. Струм силою 50 А протікає провідником, зігнутим під прямим кутом. Знайти напруженість магнітного поля у точці, розташованій на бісектрисі кута на відстані 20 см від вершини. Вважати, що обидва кінці провідника знаходяться дуже далеко від вершини.
- 3.242. Провідником, зігнутим у коло, тече струм. Напруженість магнітного поля у центрі кола 50 А/м. Не змінюючи сили струму у провіднику, йому надали форму квадрата. Визначити напруженість магнітного поля у центрі квадрата.
- 3.243. Двома довгими паралельними провідниками в однаковому напрямку течуть струми 10 та 15 А. Відстань між провідниками 10 см. Визначити напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см, а від другого на 6 см.
- 3.244. Двома довгими паралельними провідниками в протилежних напрямках течуть струми 10 та 15 А. Відстань між провідниками 10 см. Визначити напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від першого провідника на 15 см, а від другого на 10 см.
- 3.245. Обмотка соленоїда складається з двох шарів щільно прилеглих один до одного витків дроту діаметром 0,2 мм. Визначити магнітну індукцію на осі соленоїда, якщо в обмотці тече струм 0,5 А.
- 3.246. Два паралельних нескінченно довгих провідника, якими у одному напрямку течуть струми 60 А, розташовані на відстані 10 см один від одного. Визначити магнітну індукцію поля у точці, яка розташована на відстані 5 см від одного провідника та на відстані 12 см від іншого.

- 3.247. Провідником, зігнутим у вигляді квадрата зі стороною 10 см, тече струм 100 А. Знайти магнітну індукцію у точці перетину діагоналей квадрата.
- 3.248. Провідником у вигляді прямокутника зі сторонами 8 см і 12 см тече струм 50 А. Визначити напруженість та індукцію магнітного поля у точці перетину діагоналей прямокутника.
- 3.249. Визначити напруженість магнітного поля у точці, віддаленій на 2 см від нескінченно довгого провідника, яким тече струм 5 А.
- 3.250. Знайти напруженість магнітного поля у центрі кругового дріотного витка радіусом 1 см, яким тече струм 1 А.
- 3.251. Два прямолінійних провідники розташовані паралельно на відстані 10 см один від одного. Провідниками течуть струми 5 А у протилежних напрямках. Знайти значення та напрямок напруженості магнітного поля у точці, розташованій на відстані 10 см від кожного провідника.
- 3.252. Довгим вертикальним провідником зверху униз тече струм 8 А. На якій відстані від нього напруженість поля, що утворюється додаванням магнітного поля Землі та поля струму спрямована вертикально вгору. Горизонтальна складова земного поля 16 А/м.
- 3.253. Обчислити напруженість магнітного поля, що створюється відрізком прямолінійного провідника у точці, розташованій на перпендикулярі до середини відрізка на відстані 5 см від нього. Відрізком тече струм 20 А. Кінці відрізка видно з обраної точки під кутом 60° .
- 3.254. Обчислити напруженість магнітного поля, що створюється відрізком прямолінійного провідника на перпендикулярі до середини цього відрізка на відстані 6 см від провідника. Струм у провіднику 30 А. Кінці відрізка видно з цієї точки під кутом 90° .
- 3.255. Довгим провідником, зігнутим під прямим кутом, тече струм 20 А. Знайти напруженість магнітного поля у точці, розташованій на бісектрисі цього кута та віддаленій від його вершини на відстань 10 см.

- 3.256. У деякій точці, розташованій на відстані 5 см від нескінченно довгого прямолінійного провідника зі струмом, напруженість магнітного поля 400 А/м. Якою буде напруженість магнітного поля у цій точці, якщо провідник зі струмом має довжину 20 см? Точка розташована на перпендикулярі до середини провідника.
- 3.257. Кільцем з мідного дроту перерізом 1 мм^2 тече струм 20 А, створюючи у центрі кільця магнітне поле напруженістю 178 А/м. Яка різниця потенціалів прикладена до кінців дроту з якого зроблене кільце?
- 3.258. Знайти напруженість магнітного поля на осі кругового контуру на відстані 3 см від його площини. Радіус контуру 4 см, струм у ньому 2 А.
- 3.259. Напруженість магнітного поля у центрі кругового витка радіусом 11 см дорівнює 63,3 А/м. Знайти напруженість магнітного поля на відстані 10 см від його площини.
- 3.260. Два кругових витка радіусами по 5 см розташовані паралельно на одній осі на відстані 0,1 м один від одного. Витками в одному напрямку течуть струми 2 А. Знайти напруженість магнітного поля на осі витків у точці, розташованій на однакових відстанях від них.
- 3.261. Два кругових витки радіусами по 5 см розташовані паралельно на одній осі на відстані 0,1 м один від одного. Витками у протилежних напрямках течуть струми 2 А. Знайти напруженість магнітного поля на осі витків у точці, розташованій на однакових відстанях від них.
- 3.262. Два кругових витки радіусами по 4 см розташовані у паралельних площинах на одній осі на відстані 5 см. Витками течуть струми 4 А. Знайти напруженість магнітного поля у центрі одного з витків. Задачу розв'язати для випадків, коли струми протікають у одному напрямку та у протилежних напрямках.

- 3.263. Два кругових витки розташовані у двох взаємно перпендикулярних площинах так, що їхні центри збігаються. Радіуси витків по 2 см, а струми у них по 5 А. Знайти напруженості магнітного поля у центрах витків.
- 3.264. У центрі дротяного кругового витка створюється певне магнітне поле за визначеної різниці потенціалів на кінцях витка. Як треба змінити прикладену різницю потенціалів, щоб отримати таку ж напруженість магнітного поля в центрі витка удвічі більшого діаметра та зробленого з такого ж дроту?
- 3.265. У дротяній рамці, яка має форму правильного шестикутника, тече струм 2 А. При цьому у центрі рамки виникає магнітне поле напруженістю 33 А/м. Знайти довжину дроту, з якого зроблено рамку.
- 3.266. Нескінченно довгий дріт створює кругову петлю, дотичну до дроту. Дротом тече струм силою 5 А. Знайти радіус петлі, якщо відомо, що напруженість магнітного поля у центрі петлі складає 40 А.
- 3.267. Котушка довжиною 30 см складається з 1000 витків. Знайти напруженість магнітного поля в середині котушки, якщо нею тече струм силою 2 А. Діаметр котушки вважати малим порівняно з її довжиною.
- 3.268. Обмотку котушки зроблено з дроту діаметром 0,8 мм. Витки щільно укладено. Вважаючи котушку достатньо довгою, знайти напруженість магнітного поля всередині котушки за сили струму у ній 1 А.
- 3.269. З дроту діаметром 1 мм необхідно намотати соленоїд, усередині якого напруженість магнітного поля має бути $24 \cdot 10^3$ А/м. Гранична сила струму, який можна пропустити дротом 6 А. З якої кількості шарів буде складатися обмотка, якщо витки намотувати щільно один до одного? Діаметр котушки вважати малим порівняно з її довжиною.
- 3.270. Визначити напруженість магнітного поля у центрі рівнобічного трикутника зі стороною 20 см, зробленого з дроту, яким тече струм силою 10 А.

- 3.271. Потрібно отримати напруженість магнітного поля $1 \cdot 10^3$ А/м у соленоїді довжиною 20 см та діаметром 5 см. Знайти кількість ампер-витків, необхідних для цього соленоїда, різницю потенціалів, яку потрібно прикласти до кінців обмотки, якщо для неї використовується мідний дріт діаметром 0,5 мм. Вважати поле соленоїда однорідним.
- 3.272. Напруженість магнітного поля у центрі кругового дріт'яного витка $2 \cdot 10^2$ А/м. Магнітний момент контуру $1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Визначити силу струму у витку та його радіус.
- 3.273. Знайти напруженість магнітного поля на осі прямого соленоїда довжиною 8 см і з діаметром витків 2 см, якщо кількість витків 160, а ними тече струм 20 А. Витки щільно прилягають один до одного.
- 3.274. Тонкий мідний дріт масою 5 г зігнуто у вигляді квадрата і кінці замкнені. Квадрат вміщено у однорідне магнітне поле індукцією 0,2 Тл так, що його площа перпендикулярна лініям поля. Визначити заряд, який протече провідником, якщо квадрат, потягнувши за протилежні вершини, витягнутий у лінію.
- 3.275. Рамка з дроту опором 0,04 Ом рівномірно обертається у магнітному полі індукцією 0,6 Тл. Вісь обертання лежить у площині рамки та перпендикулярна до ліній індукції. Площа рамки 200 см^2 . Визначити заряд, що протече рамкою при зміні кута між нормаллю до рамки і лініями індукції від нуля до 45° .
- 3.276. Дріт'яний виток діаметром 5 см та опором 0,02 Ом перебуває у однорідному магнітному полі індукцією 0,3 Тл. Площина витка складає з лініями індукції кут 45° . Який заряд протече витком при вимкненні поля?
- 3.277. Рамка з 200 витків тонкого дроту може вільно обертатися відносно осі, яка лежить у площині рамки. Площа рамки 50 см^2 . Вісь рамки перпендикулярна до ліній індукції однорідного поля у 0,05 Тл. Визначити максимальну ЕРС, яка індукується у рамці за частоти її обертання 40 с^{-1} .

- 3.278. Прямий провідний стрижень довжиною 40 см перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,1 Тл. Кінці стрижня замкнені гнучким дротом, який знаходиться поза полем. Опір усього кола 0,5 Ом. Яка потужність потрібна для рівномірного руху стрижня перпендикулярно до ліній магнітної індукції зі швидкістю 10 м/с?
- 3.279. Дротяний контур площею 500 см^2 та опором 0,1 Ом рівномірно обертається в однорідному магнітному полі індукцією 0,5 Тл. Вісь обертання лежить у площині кільця та перпендикулярна до ліній магнітної індукції. Визначити максимальну потужність для обертання контуру з кутовою швидкістю 50 с^{-1} .
- 3.280. Кільце з мідного дроту масою 10 г вміщено в однорідне магнітне поле індукцією 0,1 Тл так, що площина кільця складає кут 60° з лініями магнітної індукції. Визначити заряд, який протече кільцем, якщо поле вимкнути.
- 3.281. Круговий контур вміщено в однорідне магнітне поле так, що площина контуру перпендикулярна до силових ліній поля. Напруженість магнітного поля 150 кА/м. Контуром тече струм силою 2 А. Радіус контуру 2 см. Яку роботу необхідно виконати, щоб обернути контур на 90° навколо осі, яка збігається з діаметром контуру?
- 3.282. В однорідному магнітному полі, індукція якого 0,5 Тл, рівномірно рухається провідник довжиною 10 см. Провідником тече струм силою 2 А. Швидкість руху провідника 20 см/с і спрямована перпендикулярно до напрямку магнітного поля. Знайти роботу переміщення провідника за 10 с руху.
- 3.283. Кільце радіусом 10 см перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,3 Тл. Площина кільця складає кут 30° з лініями індукції. Обчислити магнітний потік крізь кільце.
- 3.284. Провідником, зігнутим у вигляді квадрата зі стороною 10 см, тече струм силою 10 А. Площина квадрата перпендикулярна до магнітних силових ліній поля. Визначити роботу, яку треба

виконати для того, щоб вивести провідник за межі поля. Магнітна індукція поля $0,1$ Тл. Поле вважати однорідним.

- 3.285. Провідник довжиною 1 м рухається зі швидкістю 5 м/с перпендикулярно лініям індукції однорідного магнітного поля. Визначити магнітну індукцію поля, якщо на кінцях провідника виникає різниця потенціалів $0,02$ В.
- 3.286. Рамка площею 50 см², яка містить 100 витків, рівномірно обертається у однорідному магнітному полі індукцією 40 мТл. Визначити максимальну ЕРС індукції, якщо вісь обертання лежить у площині рамки та перпендикулярна до ліній індукції, а рамка обертається з частотою 960 обертів за хвилину.
- 3.287. Кільце з дроту з опором 1 мОм перебуває в однорідному магнітному полі індукцією $0,4$ Тл. Площина кільця складає кут 90° з лініями індукції. Визначити заряд, який протече кільцем, якщо його витягти з поля. Площа кільця 10 см².
- 3.288. Соленоїд містить 400 витків дроту. Соленоїдом тече струм 10 А. Визначити магнітний потік всередині соленоїда, якщо його індуктивність $0,4$ Гн.
- 3.289. В однорідному магнітному полі, індукція якого $0,1$ Тл, обертається котушка, яка складається з 200 витків. Вісь обертання котушки перпендикулярна до її осі та напрямку магнітного поля. Період обертання котушки $0,2$ с, площа її поперечного перерізу 4 см². Знайти максимальну ЕРС індукції у котушці.
- 3.290. В однорідному магнітному полі індукцією $0,1$ Тл рівномірно, з частотою 10 с⁻¹ обертається рамка, яка містить 100 витків. Площа рамки 150 см². Визначити миттєву ЕРС індукції, яка відповідає куту повороту 30° .
- 3.291. Виток радіусом 20 см, яким тече струм 50 А, вільно встановився в однорідному магнітному полі напруженістю 10^3 А/м. Виток обернули відносно діаметра на кут 30° . Визначити виконану роботу.

- 3.292. Скільки витків містить котушка індуктивністю $0,001 \text{ Гн}$, в якій при зміні струму на 4 А виникає потік магнітної індукції $5 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$?
- 3.293. Кільце з дроту рівномірно обертається у магнітному полі напруженістю 2000 А/м зі швидкістю 20 обертів за секунду. Визначити найбільшу ЕРС у кільці, якщо його площа 100 см^2 .
- 3.294. Плоский контур площею 20 см^2 перебуває в однорідному магнітному полі індукцією $0,03 \text{ Тл}$. Визначити магнітний потік, що пронизує контур, якщо його площина складає з напрямком ліній індукції поля кут 60° .
- 3.295. Магнітний потік крізь переріз соленоїда дорівнює 50 мкВб . Довжина соленоїда 50 см . Знайти магнітний момент соленоїда, якщо його витки щільно прилягають одна до одного.
- 3.296. У середній частині соленоїда, який містить 8 витків на один сантиметр, вміщено круговий виток діаметром 4 см . Площина витка розташована під кутом 60° до осі соленоїда. Визначити магнітний потік, що пронизує виток, якщо в обмотці соленоїда тече струм силою 1 А .
- 3.297. В однорідному магнітному полі з індукцією $125,6 \text{ Тл}$ обертається стрижень з постійною частотою 10 с^{-1} так, що площина його обертання перпендикулярна до ліній індукції, а вісь обертання проходить через один з його кінців. На кінцях стрижня індукується різниця потенціалів $0,1 \text{ мкВ}$. Визначити довжину стрижня.
- 3.298. В однорідному магнітному полі з індукцією $0,01 \text{ Тл}$ під кутом 30° до поля розташована мідна квадратна рамка зі стороною $0,5 \text{ м}$. Діаметр дроту $0,2 \text{ мм}$. Рамку повернули перпендикулярно до поля. Яка кількість електрики протекла рамкою?
- 3.299. Визначити магнітний потік, який пронизує соленоїд, якщо його довжина 50 см , а магнітний момент $0,4 \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

- 3.300. В однорідному магнітному полі з індукцією $0,5 \text{ Тл}$ з частотою 10 Гц обертається стрижень довжиною 20 см . Вісь обертання паралельна лініям індукції поля і проходить через один з кінців стрижня перпендикулярно його осі. Визначити різницю потенціалів на кінцях стрижня.
- 3.301. У дротяне кільце, під'єднане до балістичного гальванометра, внесли прямий магніт. При цьому по колу пройшов заряд 50 мкКл . Визначити зміну магнітного потоку крізь кільце, якщо опір кола гальванометра 10 Ом .
- 3.302. Кільце з дроту опором 1 мОм перебуває в однорідному магнітному полі індукцією $0,4 \text{ Тл}$. Площина кільця складає з лініями індукції кут 90° . Визначити заряд, який протече кільцем, якщо його витягти з поля. Площа кільця 10 см^2 .
- 3.303. В однорідному магнітному полі з індукцією 1 Тл рухається прямолінійний провідник довжиною 10 см . Швидкість руху 10 м/с . Напрямок вектора індукції перпендикулярний провіднику та напрямку його руху. Кінці провідника з'єднані гнучкими дротами, які перебувають поза полем. Загальний опір кола 10 Ом . Визначити потужність, необхідну для руху провідника.
- 3.304. З якою швидкістю рухається у повітрі перпендикулярно магнітному полю напруженістю 1 кА/м прямий провідник довжиною 20 см та опором $0,1 \text{ Ом}$, якщо при замиканні провідника по ньому тече струм силою $0,05 \text{ А}$? Опором перемички знехтувати.
- 3.305. Виток радіусом 1 см перебуває у магнітному полі напруженістю 20 кА/м . Площина витка перпендикулярна лініям індукції поля. Який опір витка, якщо за зменшення напруженості поля до нуля ним протікає заряд 1 мКл ?
- 3.306. Обмотка соленоїда складається з двох шарів щільно прилеглих один до одного витків дроту діаметром $0,2 \text{ мм}$. Визначити магнітну індукцію на осі соленоїда, якщо дротом тече струм $0,5 \text{ А}$.

- 3.307. Провідник довжиною 1 м рухається зі швидкістю 5 м/с перпендикулярно лініям індукції однорідного магнітного поля. Визначити магнітну індукцію, якщо на кінцях провідника виникає різниця потенціалів 0,02 В.
- 3.308. Рамка площею 50 см^2 , яка містить 100 витків, рівномірно обертається в однорідному магнітному полі індукцією 40 мТл. Визначити максимальну ЕРС індукції, якщо вісь обертання лежить у площині рамки та перпендикулярна лініям індукції, а рамка обертається з частотою 960 обертів за хвилину.
- 3.309. Кільце радіусом 10 см перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,3 Тл. Площина кільця складає з лініями індукції кут 60° . Визначити магнітний потік, що пронизує кільце.
- 3.310. В однорідне магнітне поле, напруженість якого 80 кА/м, вміщено квадратну рамку. Її площина складає з напрямком магнітного поля кут 45° . Сторона рамки 4 см. Визначити магнітний потік, що пронизує рамку.
- 3.311. У магнітному полі, індукція якого 0,05 Тл, обертається стрижень довжиною 1 м. Вісь обертання проходить через один з кінців стрижня паралельно силовим лініям поля. Знайти потік магнітної індукції, що перетинається стрижнем за один оберт.
- 3.312. Круговий дротяний виток площею 100 см^2 перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 1 Тл. Площина витка перпендикулярна напрямку магнітного поля. Чому дорівнює середня ЕРС індукції, що виникає у витку при вимкненні поля упродовж 0,01 с?
- 3.313. Горизонтальний стрижень довжиною 1 м обертається навкруги вертикальної осі, яка проходить через один з його кінців. Вісь обертання паралельна силовим лініям магнітного поля, індукція якого $5 \cdot 10^{-5}$ Тл. За якої частоти обертання стрижня різниця потенціалів на його кінцях буде 1 мВ?

- 3.314. На соленоїд довжиною 20 см та площею поперечного перерізу 30 см^2 надітий дротяний виток. Соленоїд має 320 витків і ним тече струм силою 3 А. Яка середня ЕРС індукується у надітому витку, якщо струм у соленоїді вимикається за 0,001 с?
- 3.315. На соленоїд довжиною 144 см та діаметром 5 см надіто дротяний виток. Обмотка соленоїда має 200 витків і нею тече струм силою 2 А. Соленоїд має залізне осердя. Яка середня ЕРС індукується у витку, якщо струм у соленоїді зникає упродовж 0,002 с?
- 3.316. Дві котушки намотано на одне спільне осердя. Індуктивність першої котушки 0,2 Гн, другої 0,8 Гн; опір другої котушки 600 Ом. Який струм потече у другій котушці, якщо струм силою 0,3 А, що тече у першій котушці, вимкнута упродовж 0,001 с?
- 3.317. У магнітне поле індукцією 0,05 Тл вміщено котушку з 200 витків дроту. Опір котушки 40 Ом. Площа її поперечного перерізу 12 см^2 . Котушку розміщено так, що її вісь складає з напрямком магнітного поля кут 60° . Яка кількість електрики протече котушкою при зникненні магнітного поля?
- 3.318. В однорідному магнітному полі перпендикулярно лініям індукції розташований плоский контур площею 100 см^2 . Підтримуючи у контурі постійну силу струму 50 А, його перемістили в область простору, де поле відсутнє. Визначити магнітну індукцію поля, якщо при переміщенні контуру було виконано роботу 0,4 Дж.
- 3.319. Плоский контур зі струмом силою 5 А розташований у однорідному магнітному полі індукцією 0,6 Тл так, що нормаль до контуру перпендикулярна лініям магнітної індукції. Визначити роботу, яка виконується силами поля при повільному обертанні контуру навколо осі, що лежить у площині контуру, на кут 30° .
- 3.320. Прямий дріт довжиною 40 см, яким тече струм силою 100 А, рухається в однорідному магнітному полі індукцією 0,5 Тл. Яку роботу виконують сили, що впливають на дріт з боку поля

при його пересуванні на 40 см, якщо напрямок перпендикулярний лініям індукції?

- 3.321. Два прямолінійні довгі паралельні провідники перебувають на відстані 10 см один від одного. Провідниками в одному напрямку течуть струми 2 А та 30 А. Яку роботу треба виконати (на одиницю довжини провідників), щоб розсунути ці провідники на відстань 20 см?
- 3.322. Два довгі паралельні провідники перебувають на деякій відстані один від одного. Провідниками течуть струми, однакові за величиною та напрямком. Знайти силу струму, який тече провідниками, якщо відомо, що для розсування їх на вдвічі більшу відстань треба виконати роботу (на одиницю довжини) 5,5 мкДж.
- 3.323. Прямолінійний провідник зі струмом 5 А та довжиною 1 м обертається зі швидкістю 50 с^{-1} у площині, перпендикулярній магнітному полю, відносно осі, що проходить через кінець провідника. Напруженість магнітного поля 50 А/м. Визначити роботу, що виконується сторонніми силами при обертанні провідника впродовж 5 хвилин.
- 3.324. Визначити роботу зовнішніх сил, яка виконується при пересуванні провідника у повітрі за 30 хвилин, якщо він рухається зі швидкістю 30 км/год перпендикулярно магнітному полю, напруженість якого 15 А/м. Довжина провідника 20 см, ним тече струм силою 0,5 А.
- 3.325. Котушка діаметром 10 см, яка складається з 500 витків, перебуває у магнітному полі. Вісь котушки створює з вектором магнітної індукції кут 60° . Чому дорівнює середнє значення ЕРС індукції у котушці, якщо індукція магнітного поля буде збільшуватися від нуля до 2 Тл упродовж 0,1 с?
- 3.326. В якому випадку ЕРС індукції у провіднику буде більшою за зміни магнітного потоку від 10 Вб до нуля впродовж 5 с, або за його зміни від 1 Вб до нуля впродовж 0,1 с. У скільки разів?

- 3.327. У магнітному полі індукцію $0,25$ Тл перпендикулярно лініям індукції зі швидкістю $0,5$ м/с рухається провідник довжиною $1,2$ м. Знайти ЕРС індукції у провіднику.
- 3.328. Магнітний потік, що пронизує контур провідника, рівномірно змінився на $0,6$ Вб так, що ЕРС індукції склала $1,2$ В. Знайти час зміни магнітного потоку та силу індукційного струму. Опір провідника $0,24$ Ом.
- 3.329. Котушка опором 100 Ом та площею поперечного перерізу 5 см², яка складається з 1000 витків, розміщена в однорідному магнітному полі. За деякий час індукція поля зменшилася від $0,8$ Тл до $0,3$ Тл. Який заряд пройшов провідником за цей час?
- 3.330. З якою швидкістю необхідно пересувати провідник довжиною 50 см у однорідному магнітному полі індукцією $0,4$ Тл під кутом 60° до силових ліній, щоб у провіднику виникала ЕРС 1 В?
- 3.331. Реактивний літак, який має розмах крил 50 м, летить горизонтально зі швидкістю 800 км/год. Визначити різницю потенціалів, яка виникає на кінцях крил, якщо вертикальна складова індукції магнітного поля Землі $5 \cdot 10^{-5}$ Тл?
- 3.332. Знайти індуктивність котушки, яка має 400 витків на довжині 20 см. Площа поперечного перерізу котушки 9 см². Знайти індуктивність цієї котушки у випадку, коли всередину неї введено залізне осердя. Магнітна проникність матеріалу осердя в умовах роботи дорівнює 400 .
- 3.333. Обмотка соленоїда виконана з мідного дроту поперечного перерізу 1 мм². Довжина соленоїда 25 см, а його опір – $0,2$ Ом. Знайти індуктивність соленоїда.
- 3.334. Котушка довжиною 20 см і діаметром 3 см має 400 витків. Котушкою тече струм силою 2 А. Знайти індуктивність котушки та магнітний потік, який пронизує площу її поперечного перерізу.
- 3.335. З якої кількості витків дроту складається обмотка котушки, індуктивність якої $0,01$ Гн. Діаметр котушки 4 см, діаметр дроту $0,6$ мм. Витки щільно прилягають один до одного.

- 3.336. Котушка із залізним осердям має довжину 40 см, площу поперечного перерізу 20 см^2 та 500 витків. Індуктивність котушки з осердям $0,12 \text{ Гн}$ за сили струму в обмотці 5 А . Знайти магнітну проникність залізного осердя у таких умовах.
- 3.337. Соленоїд довжиною 50 см та площею поперечного перерізу 2 см^2 має індуктивність $2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$. За якої сили струму об'ємна густина енергії всередині соленоїда буде 10^{-3} Дж/м^3 ?
- 3.338. Скільки витків має котушка, індуктивність якої $0,0001 \text{ Гн}$, якщо за сили струму 1 А магнітний потік крізь котушку складає 2 мкВб ?
- 3.339. Соленоїд з залізним осердям має довжину 50 см, площу поперечного перерізу 10 см^2 та 1000 витків. Знайти його індуктивність, якщо обмоткою течуть струми $0,1 \text{ А}$; $0,2 \text{ А}$; 2 А .
- 3.340. Соленоїдом тече струм силою 1 А . Магнітний потік, що пронизує поперечний переріз осердя 2 мкВб . Визначити індуктивність соленоїда, якщо він має 500 витків.
- 3.341. Знайти індуктивність соленоїда, якщо за швидкості зміни струму 20 А/с середнє значення виникаючої ЕРС самоіндукції складає $0,04 \text{ В}$.
- 3.342. Соленоїд без осердя з обмоткою із дроту діаметром 1 мм має довжину 1 м і поперечний переріз 40 см^2 . Якої сили струм тече обмоткою за напруги 25 В , якщо за час $0,001 \text{ с}$ в обмотці виділяється кількість теплоти, яка дорівнює енергії поля соленоїда?
- 3.343. Соленоїдом довжиною $0,2 \text{ м}$, площею поперечного перерізу 10 см^2 та кількістю витків 800 тече струм 1 А . Соленоїд перебуває у діамагнітному середовищі, його індуктивність $0,4 \text{ мГн}$. Знайти магнітну індукцію усередині соленоїда.
- 3.344. Соленоїд містить 4000 витків дроту, яким тече струм 20 А . Визначити магнітний потік, якщо індуктивність $0,4 \text{ Гн}$.
- 3.345. Визначити силу струму у колі за $0,01 \text{ с}$ після його розмикання. Опір кола 20 Ом , індуктивність $0,1 \text{ Гн}$. Сила струму до розмикання кола 50 А .

- 3.346. Обмоткою соленоїда індуктивністю $0,2 \text{ Гн}$ тече струм 10 А . Визначити енергію магнітного поля соленоїда.
- 3.347. Індуктивність соленоїда, намотаного у один шар на немагнітний каркас, складає $0,5 \text{ Гн}$, довжина соленоїда – $0,6 \text{ см}$, діаметр – 2 см . Визначити кількість витків, яка припадає на одиницю довжини соленоїда.
- 3.348. Соленоїд містить 600 витків. За сили струму 10 А магнітний потік складає 80 мкВб . Визначити індуктивність соленоїда.
- 3.349. Силу струму у котушці рівномірно збільшують зі швидкістю $0,6 \text{ А/с}$. Знайти середнє значення ЕРС соленоїда, якщо індуктивність котушки 5 мГн .
- 3.350. Соленоїд містить 800 витків. Переріз осердя (з немагнітного матеріалу) 10 см^2 . Обмоткою тече струм, який створює магнітне поле індукцією 8 мТл . Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції, яка виникає на затискачах соленоїда, якщо електрострум зменшується до нуля за $0,8 \text{ мс}$.
- 3.351. Котушкою індуктивністю 8 мкГн тече струм силою 6 А . За вимикання струму він зменшується до нуля за 5 мс . Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції, що виникає у контурі.
- 3.352. В електричному колі, яке містить опір 20 Ом та індуктивність $0,06 \text{ Гн}$, тече струм силою 20 А . Визначити силу струму у колі за $0,2 \text{ мс}$ після його розмикання.
- 3.353. У замкненому колі з опором 20 Ом тече електрострум. За 8 мс після розмикання кола сила струму у ньому зменшилася у 20 разів. Визначити індуктивність кола.
- 3.354. Коло складається з котушки індуктивності $0,1 \text{ Гн}$ та джерела електроструму. Джерело струму відімкнули, не розвиваючи кола. Час, за який сила струму зменшилася до $0,001$ початкового значення $0,07 \text{ с}$. Визначити опір котушки.
- 3.355. Джерело струму замкнули на котушку опором 10 Ом та індуктивністю $0,2 \text{ Гн}$. За який час сила струму у колі досягне половини максимального значення?

- 3.356. Джерело струму замкнули на котушку опором $20\ \Omega$. За $0,1\ \text{с}$ сила струму замикання досягла $0,95$ граничного значення. Визначити індуктивність котушки.
- 3.357. У соленоїді перерізом $5\ \text{см}^2$ створений магнітний потік $20\ \text{мкВб}$. Визначити об'ємну густину енергії магнітного поля соленоїда. Осердя відсутнє. Магнітне поле в усьому об'ємі вважати однорідним.
- 3.358. Магнітний потік у соленоїді, який містить 1000 витків, складає $0,2\ \text{мВб}$. Визначити енергію магнітного поля соленоїда, якщо сила струму, що тече витками соленоїда $1\ \text{А}$. Осердя відсутнє. Магнітне поле в усьому об'ємі соленоїда вважати однорідним.
- 3.359. Діаметр тороїда (за середньою лінією) $50\ \text{см}$. Тороїд містить 2000 витків та має переріз $20\ \text{см}^2$. Визначити енергію магнітного поля тороїда при силі струму у обмотці $5\ \text{А}$. Вважати магнітне поле однорідним. Осердя зроблене з немагнітного матеріалу.
- 3.360. Провідником у вигляді кільця радіусом $20\ \text{см}$, який має 500 витків, тече струм $1\ \text{А}$. Визначити об'ємну густину енергії магнітного поля кільця.
- 3.361. За якої сили струму у прямолінійному провіднику нескінченної довжини на відстані $5\ \text{см}$ від нього об'ємна густина енергії магнітного поля буде складати $1\ \text{мДж/м}^3$?
- 3.362. Обмотка тороїда має 110 витків на кожен сантиметр довжини (за середньою лінією тороїда). Визначити об'ємну густину енергії магнітного поля за сили струму у обмотці $10\ \text{А}$. Осердя зроблене з немагнітного матеріалу. Магнітне поле вважати однорідним.
- 3.363. Обмотка соленоїда містить 20 витків на кожен сантиметр довжини. За якої сили струму в обмотці об'ємна густина енергії магнітного поля буде складати $0,1\ \text{Дж/м}^3$? Осердя зроблене з немагнітного матеріалу. Магнітне поле вважати однорідним.

- 3.364. Соленоїд має довжину 0,6 м та переріз 10 см^2 . За деякої сили струму, що тече обмоткою, у соленоїді створюється магнітний потік 0,1 Вб. Яка енергія магнітного поля соленоїда? Осердя зроблене з немагнітного матеріалу. Магнітне поле вважати однорідним.
- 3.365. Чому дорівнює густина енергії магнітного поля струму 10 А, який тече дуже довгим прямолінійним провідником, на відстані 2 см від осі провідника? Провідник перебуває у повітрі.
- 3.366. У скільки разів зменшиться електрострум у котушці за 0,05 с після того, як джерело струму від'єднали, а кінці котушки закоротили? Індуктивність котушки 0,2 Гн, опір 1,64 Ом.
- 3.367. У тороїді з немагнітним осердям струм рівномірно зростає зі швидкістю 100 А/с. Визначити ЕРС самоіндукції, якщо тороїд складається з 1000 витків, площа кожного витка 5 см^2 , а довжина середньої лінії тороїда 40 см.
- 3.368. Електрична лампа опором у гарячому стані 10 Ом вмикається через дросель до акумулятора напругою 12 В. Індуктивність дроселя 2 Гн, опір 1 Ом. За який час після вмикання лампа загориться, якщо вона починає світитися за напруги 6 В?
- 3.369. Котушка має опір 10 Ом та індуктивність 0,1 Гн. За який час після вмикання струм у котушці буде складати половину максимального?
- 3.370. Сила струму у соленоїді рівномірно зростає від нуля до 10 А за хвилину. При цьому соленоїд накопичує енергію 20 Дж. Яка ЕРС виникає у соленоїді?
- 3.371. Якою довжини треба узяти дріт діаметром 1 мм, щоб виготовити одношаровий соленоїд індуктивністю 1 Гн? Площа поперечного перерізу соленоїда $7,5 \text{ см}^2$. Осердя відсутнє.
- 3.372. Соленоїдом з 1000 витків тече струм силою 1 А. Яка індуктивність соленоїда, якщо магнітний потік, що створюється цим струмом 0,5 мВб?

- 3.373. Визначити силу струму у колі за 0,01 с після його розмикання. Опір кола 20 Ом, а індуктивність 0,1 Гн. Сила струму у колі до розмикання 50 А.
- 3.374. Скільки ампер-витків треба для того, щоб усередині соленоїда малого діаметру та довжиною 30 см об'ємна густина енергії магнітного поля складає $1,75 \text{ Дж/м}^3$?
- 3.375. Скільки ампер-витків потрібно для створення магнітного потоку 0,42 Вб у соленоїді з залізним осердям довжиною 120 см та площею поперечного перерізу 3 см^2 ?
- 3.376. Визначити магнітну індукцію у замкненому залізному осерді тороїда довжиною 20 см, якщо число ампер-витків тороїда складає 1500. Знайти магнітну проникність матеріалу осердя за цих умов.
- 3.377. Соленоїд перерізом 10 см^2 має 1000 витків. За сили струму 5 А індукція магнітного поля всередині соленоїда 0,05 Тл. Визначити індуктивність соленоїда.
- 3.378. Індуктивність соленоїда, намотаного в один шар на немагнітний каркас, 0,5 мГн. Довжина соленоїда 0,6 м, діаметр 2 см. Визначити відношення числа витків соленоїда до його довжини.
- 3.379. Котушкою індуктивністю 8 мкГн тече струм силою 6 А. Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції у контурі, якщо сила струму при вимкненні змінюється до нуля за 5 мс?
- 3.380. В електричному колі, яке містить резистор опором 20 Ом і котушку індуктивністю 0,06 Гн, тече струм силою 20 А. Визначити силу струму у колі за 0,2 мс після його розмикання.
- 3.381. Джерело струму замкнули на котушку опором 20 Ом та індуктивністю 0,8 Гн. За який час сила струму у колі досягне половини максимальної?
- 3.382. Котушка, намотана на немагнітний циліндричний каркас, має 200 витків та індуктивність 86 мГн. Щоб збільшити індуктивність котушки до 400 мГн, обмотку зняли та замінили обмоткою з більш тонкого дроту з таким розрахунком, щоб

довжина котушки зберіглася. Скільки витків опинилося на котушці після перемотки?

- 3.383. Замкнене залізне осердя довжиною 50 см має обмотку у 1000 витків. Обмоткою тече струм силою 1 А. Який струм треба пропустити обмоткою, щоб за вилучення осердя індукція поля залишилася попередньою?
- 3.384. Соленоїд з осердям із немагнітного матеріалу містить 1200 витків дроту, щільно прилеглих один до одного. За сили струму у соленоїді 4 А магнітний потік у ньому 6 Вб. Визначити індуктивність соленоїда та енергію магнітного поля соленоїда.
- 3.385. Електромагніт індуктивністю 5 Гн підключено до джерела струму з ЕРС 110 В. Визначити загальну ЕРС у момент розмикання кола, якщо при цьому сила струму зменшується зі швидкістю 8 А/с.
- 3.386. У котушці опором 5 Ом тече струм 17 А. Індуктивність котушки 50 мГн. Якою буде напруга на затискачах котушки, якщо струм у ній рівномірно зростає зі швидкістю 1000 А/с?
- 3.387. Визначити енергію магнітного поля тороїда з 200 витками, якщо за струму 5 А у ній ньому, магнітний потік 0,01 Вб.
- 3.388. Визначити енергію магнітного поля котушки з 200 витків, якщо за струму 4 А у ній виникає магнітний потік 0,01 Вб.
- 3.389. Визначити енергію магнітного поля котушки з 1000 витків, якщо за струму 0,5 А у ній виникає магнітний потік 0,03 Вб.
- 3.390. Струм у котушці зменшився з 12 А до 8 А. При цьому енергія магнітного поля котушки зменшилася на 2 Дж. Яка індуктивність котушки та енергія її магнітного поля в обох випадках?
- 3.391. За якої сили струму у витках соленоїда густина енергії магнітного поля у центрі соленоїда 20 Дж/м³? Довжина соленоїда 50 см, число витків 100.
- 3.392. При протіканні контуром струму силою 12 А зчеплений з контуром магнітний потік складає $4 \cdot 10^{-5}$ Вб. Яка максимальна

- кількість тепла може виділитись в контурі завдяки струму самоіндукції, якщо струм зникне?
- 3.393. При протіканні контуром струму силою $0,5\text{ А}$ зчеплений з контуром магнітний потік складає $2 \cdot 10^{-5}\text{ Вб}$. Яка максимальна кількість тепла може виділитись в контурі завдяки струму самоіндукції, якщо струм зникне?
- 3.394. За якої сили струму у витках соленоїда густина енергії магнітного поля у центрі соленоїда 40 Дж/м^3 ? Довжина соленоїда 60 см , число витків 200 .
- 3.395. Обмотка електромагніту має опір 100 Ом , індуктивність $0,5\text{ Гн}$ та перебуває під постійною напругою. Упродовж якого часу у обмотці виділиться кількість теплоти, яка дорівнює енергії магнітного поля у осерді?
- 3.396. Обмотка електромагніту має опір 300 Ом , індуктивність $0,9\text{ Гн}$ та перебуває під постійною напругою. Упродовж якого часу у обмотці виділиться кількість теплоти, яка дорівнює енергії магнітного поля у осерді?
- 3.397. Обмотка електромагніту має опір 10 Ом , індуктивність $0,2\text{ Гн}$ та перебуває під постійною напругою. Упродовж якого часу у обмотці виділиться кількість теплоти, яка дорівнює енергії магнітного поля у осерді?
- 3.398. Джерело струму замкнули на котушку опором 80 Ом . За $0,4\text{ с}$ струм у котушці досяг $0,95$ граничного значення. Визначити індуктивність котушки.
- 3.399. Джерело струму замкнули на котушку опором 300 Ом . За $0,5\text{ с}$ струм у котушці досяг $0,95$ граничного значення. Визначити індуктивність котушки.
- 3.400. Соленоїд має 1000 витків площею 5 см^2 кожний. Довжина котушки велика порівняно з діаметром витка, каркас котушки немагнітний. Визначити індуктивність котушки, якщо відомо, що при струмі в обмотці 2 А напруженість магнітного поля всередині котушки дорівнює 200 А/м .

ГЛАВА 4. КОЛИВАЛЬНІ ТА ХВИЛЬОВІ ПРОЦЕСИ, ОПТИКА

4.1. Коротка теоретична довідка

Коливальні процеси

- Диференціальне рівняння вільних незгасаючих механічних коливань та його розв'язок

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0;$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

де x – зміщення матеріальної точки відносно положення рівноваги в момент часу t ; A – амплітуда коливань; $\varphi = (\omega_0 t + \varphi_0)$ – фаза коливань; ω_0 – циклічна частота власних коливань; φ_0 – початкова фаза.

- Швидкість та прискорення при гармонічних незгасаючих коливаннях

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad v = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad a = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- Енергія матеріальної точки при незгасаючих гармонічних коливаннях

$$W_K = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0); \quad W_{\Pi} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- Період T , частота ν та циклічна частота ω коливань

$$T = \frac{t}{N}; \quad \nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}; \quad \omega = 2\pi\nu,$$

де N – кількість коливань.

- Періоди коливань механічних гармонічних осциляторів

а) пружинний маятник
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

де m – його маса; k – жорсткість пружини;

б) математичний маятник

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

де l – довжина нитки; g – прискорення вільного падіння;

в) фізичний маятник

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}},$$

де I – момент інерції; m – маса; d – відстань від центра мас до точки підвісу маятника.

- Рівнянням результуючого коливання при додаванні двох гармонічних коливань $x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_{01})$ та $x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_{02})$ однакового напрямку і частоти є рівняння

$$x_{\text{рез}} = A_{\text{рез}} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

де $A_{\text{рез}}$ – амплітуда результуючого коливання; φ_0 – початкова фаза результуючого коливання

$$A_{\text{рез}} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_{01} - \varphi_{02})};$$

$$\text{tg}\varphi_0 = \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}}.$$

- Рівняння траєкторії точки, що бере участь у двох взаємно ортогональних коливаннях $x = A \cos \omega t$ та $y = B \cos(\omega t + \varphi)$

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{xy}{AB} \cos \varphi = \sin^2 \varphi.$$

- Диференціальне рівняння згасаючих механічних коливань, що здійснюються за наявності сил опору та його розв'язок

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0;$$

де δ – коефіцієнт згасання; ω_0 – циклічна частота власних незгасаючих коливань;

$$x = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

де $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ – частота згасаючих коливань.

➤ Коефіцієнти згасання

а) пружинного маятника
$$\delta = \frac{r}{2m},$$

де r – коефіцієнт опору; m – його маса;

б) фізичного маятника
$$\delta = \frac{r}{2I},$$

де r – коефіцієнт опору; I – його момент інерції.

➤ Логарифмічний декремент згасання

$$\chi = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T$$

де T – період згасаючих коливань.

➤ Диференціальне рівняння вимушених механічних коливань, що здійснюються за наявності сил опору під дією гармонічної зовнішньої сили та його розв'язок

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t,$$

де F_0 – амплітуда зовнішньої періодичної сили; ω – її частота;

$$x = A \cos(\omega t - \varphi_0),$$

де A – амплітуда вимушених коливань; φ_0 – початкова фаза вимушених коливань

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^4 \omega^2}};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}.$$

➤ Резонансна частота вимушених коливань

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

➤ Добротність при малих значеннях логарифмічного декремента згасання

$$Q = \frac{\pi}{\chi} = \pi N_e = \frac{\pi}{\delta T_0} = \frac{\omega_0}{2\delta}$$

де N_e – кількість коливань, які здійснилися за час зменшення амплітуди в e разів.

- Диференціальне рівняння вільних незгасаючих електромагнітних коливань, які виникають у ідеальному коливальному контурі та його розв'язок

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0;$$

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

де q – величина заряду на пластинах конденсатора;

$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ – визначає власну циклічну частоту коливального контуру; L – індуктивність котушки; C – ємність конденсатора.

- Період власних коливань електромагнітного коливального контуру (формула Томсона)

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

- Диференціальне рівняння згасаючих електромагнітних коливань, що здійснюються у реальному коливальному контурі та його розв'язок

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\delta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0;$$

де $\delta = \frac{R}{2L}$ – коефіцієнт згасання;

$$q = q_0 e^{-\delta t} \cos(\omega_{зг} t + \varphi_0),$$

де $\omega_{зг} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ – частота згасаючих коливань.

- Період згасаючих електромагнітних коливань

$$T = \frac{2\pi}{\omega_{зг}}.$$

- Повний опір неоднорідного кола, що містить котушку та конденсатор

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

де R – активний опір; ωL – реактивний індуктивний опір;

$\frac{1}{\omega C}$ – реактивний ємнісний опір.

Хвильові процеси

- Рівняння плоскої монохроматичної гармонічної пружної хвилі, що біжить вздовж осі Ox

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

де ξ – зміщення частинки пружного середовища від положення рівноваги момент часу t ; x – координата частинки на осі Ox ; A – амплітуда коливань; ω – циклічна частота власних коливань частинки; $k = 2\pi/\lambda = \omega/v$ – хвильове число.

- Довжина хвилі

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = vT,$$

де v – фазова швидкість поширення хвилі.

- Рівняння стоячої хвилі

$$\xi(x, t) = 2A_0 \cos kx \cos \omega t,$$

де $A = 2A_0 \cos kx$ – амплітуда хвилі.

- Координати вузлів та пучностей стоячої хвилі

$$x_{\Pi} = \pm m \frac{\lambda}{2}, x_{\text{в}} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- Фазова швидкість хвиль в різних середовищах

а) у газах
$$v = \sqrt{\gamma RT / \mu},$$

де γ – показник адіабати; R – універсальна газова стала; T – термодинамічна температура; μ – молярна маса газу;

б) у рідинах
$$v = \sqrt{K / \rho},$$

де K – модуль об'ємного стиснення; ρ – густина рідини;

в) в твердих тілах

- для поздовжніх хвиль $v = \sqrt{E/\rho}$,
де E – модуль Юнга; ρ – густина;
- для поперечних хвиль $v = \sqrt{G/\rho}$,
де G – модуль зсуву.

- Середня за період об'ємна густина енергії та інтенсивність пружної хвилі

$$\varpi_{\text{сер}} = \frac{\rho A^2 \omega^2}{2}; \quad I = v \varpi_{\text{сер}} = \frac{\rho v A^2 \omega^2}{2}.$$

Геометрична оптика

Основу геометричної оптики складають її закони.

- Закон про прямолінійність розповсюдження світла в однорідному середовищі.
- Закони відбивання світла: кут падіння i променю AO , перпендикуляр (ON) проведений до границі розподілу двох середовищ у точці падіння променю (ON) та кут відбивання променю i' лежать в одній площині; кут падіння i дорівнює куту відбивання i' (рис. 4.1).
- Закони заломлення світла: промінь, що падає AO , перпендикуляр ON , проведений до межі поділу двох середовищ у точці падіння променю AO та заломлений промінь OC лежать в одній площині (рис. 4.2); справедливе співвідношення Снелліуса для синусів кутів падіння та заломлення

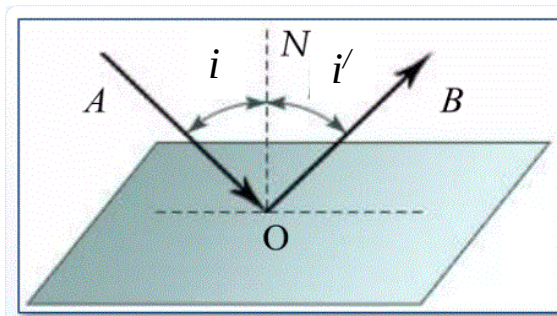


Рис. 4.1

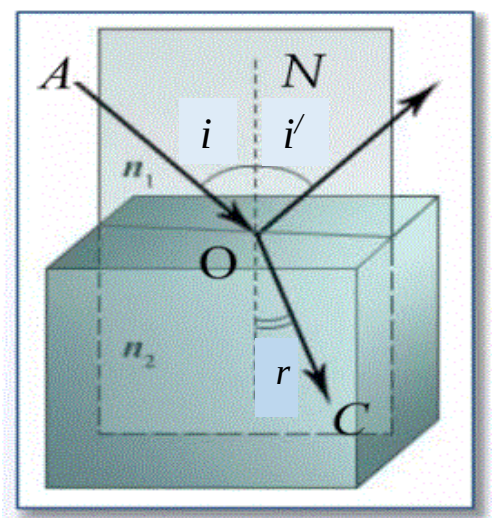


Рис. 4.2

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1},$$

де n_1 та n_2 – абсолютні показники заломлення середовищ; $n_{1,2}$ – відносний показник заломлення.

- Закон про взаємну оборотність ходу променів: при зміні напрямку розповсюдження променя світла на протилежний він проходить по всіх тих просторових точках, по яких проходив в прямому напрямі.
- Закон про не взаємодію променів, що перетинаються, в лінійному середовищі.
- Абсолютний показник заломлення середовища

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

де c – швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі; v – їхня швидкість у середовищі.

- Явище повного внутрішнього відбиття (рис. 4.3) працює для випадку, коли промінь переходить з більш оптично щільного середовища у менш оптично щільне середовище ($n_1 > n_2$)

$$\frac{\sin i}{\sin 90} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \sin i_{\text{гр}} = \frac{n_2}{n_1},$$

де $i_{\text{гр}}$ – граничний кут повного внутрішнього відбиття.

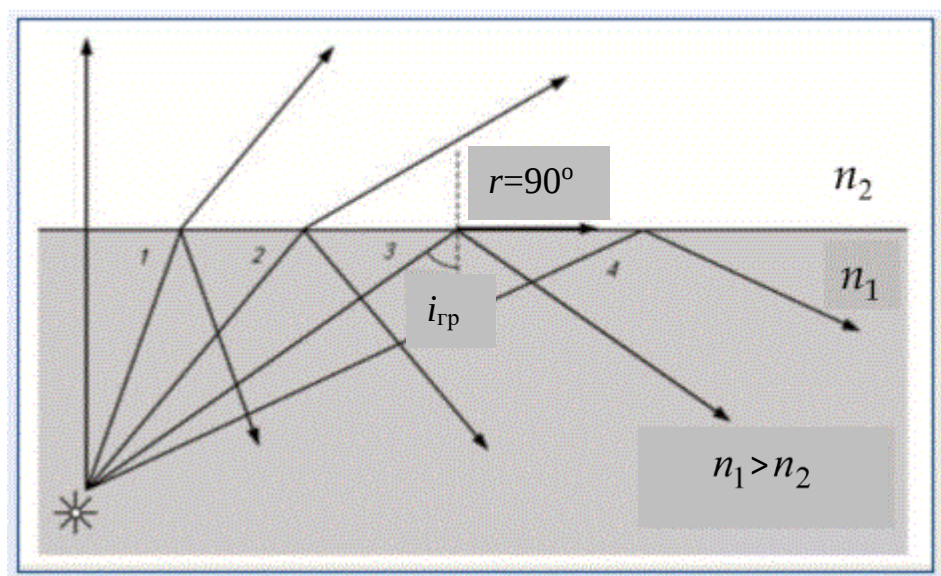


Рис. 4.3

- Згідно з вказаними законами при проходженні світла через плоскопаралельну пластинку товщиною d спостерігається

а) повздовжній зсув променя
$$\Delta L = \frac{n-1}{n} d ;$$

б) поперечний зсув променя
$$\Delta l = \frac{\sin(i-r)}{\cos r} d ;$$

- Відхилення променів призмою (оптичний клин з малим кутом заломлення) (рис. 4.4)

$$\omega = \varphi \left(\frac{n_2}{n_1} - n_1 \right) ;$$

де ω – кут відхилення променя від початкового напрямку,
 φ – заломлюючий кут призми,
 n_1 – показник заломлення оточуючого середовища,
 n_2 – показник заломлення призми.

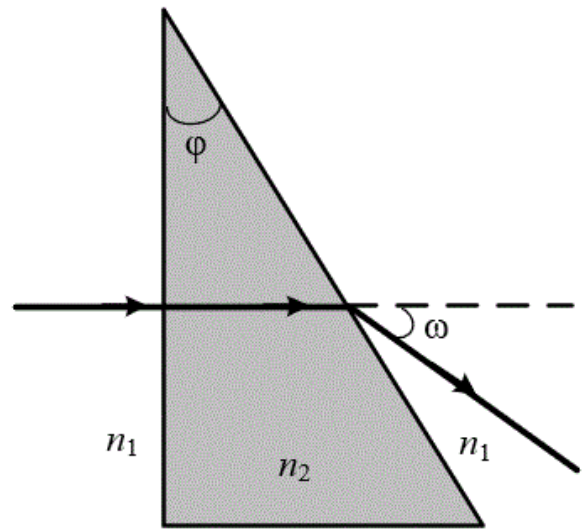


Рис. 4.4

- Тонкі сферичні сегменти оптичних середовищ здатні давати збільшені та зменшені зображення предметів і характеризуються оптичною силою $D = \frac{1}{F}$. Зокрема, це сферичні дзеркала (рис. 4.5), сегменти сферичних поверхонь, що розділяють два середовища

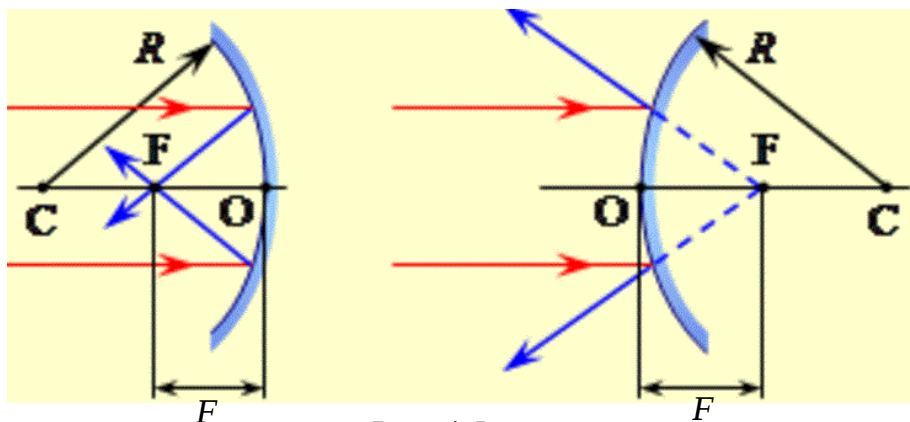


Рис. 4.5

з показниками заломлення n_1 та n_2 і тонкі лінзи.



- Оптична сила сферичного дзеркала

$$D = \frac{1}{F} = \pm \frac{2}{R},$$

де F – фокусна відстань дзеркала, R – радіус кривизни дзеркала. Знак «+» відповідає випадку ввігнутого дзеркала.

- Оптичну силу тонкого сегмента заломлюючої поверхні радіуса R однозначно (і величину і знак) визначає формула

$$D = \frac{1}{F} = \frac{n_2 - n_1}{R},$$

де n_2 – показник заломлення середовища зі сторони оптичного центру 0 поверхні, а n_1 – з протилежної сторони.

- Оптична сила тонкої лінзи, враховуючи наявність двох заломлюючих поверхонь, є сумою оптичних сил обох поверхонь

$$D = \frac{1}{F} = D_1 + D_2,$$

і при правильному застосуванні формули для оптичної сили окремої заломлюючої поверхні приводить до правильного вибору варіанту поліваріативної формули

$$D = \frac{1}{F} = (n_2 - n_1) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right).$$

- Для подібних тонких елементів завжди застосовна формула

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

де d – відстань від предмета до вершини дзеркала (або від предмета до лінзи); f – відстань від вершини дзеркала до зображення (або від лінзи до зображення); F – фокусна відстань, яку відраховують від вершини сферичного дзеркала (або лінзи) до точки фокуса. Її часто називають формулою сферичного дзеркала (рис. 4.5), або формулою тонкої лінзи (рис. 4.6).

Правильність застосування формули тонкої лінзи необхідно кожен раз контролювати, користуючись єдиним правилом знаків: якщо спосіб визначення величин, що входять в формулу тонкої

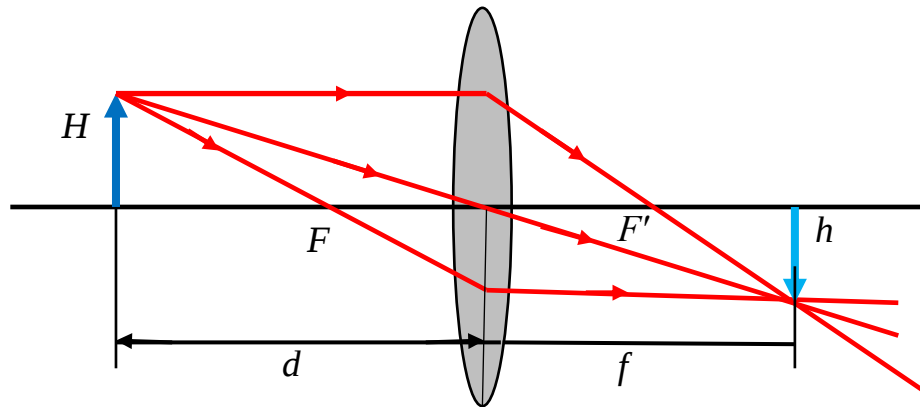


Рис. 4.6

лінзи, співпадає за напрямом з ходом променів, то ці величини повинні бути зі знаком «+». Якщо проти ходу променів – тоді знак «-». Очевидно, що при цьому величина d завжди матиме знак «+»

Варто наголосити на тому, що більшість задач геометричної оптики ми рекомендуємо розпочинати з графічних побудов. Це може бути проведення променів через задані елементи оптичних систем на основі законів геометричної оптики, або ж побудова зображень з використанням властивостей характерних для оптичної системи точок (*фокуси, оптичний центр*), ліній (*головна оптична вісь*) та площин (*фокальні площини, площина лінзи*). Навички таких побудов формуються ще на стадії довузівської підготовки та закріплюються на практичних заняттях у ВНЗ.

Іноді така побудова може стати власне вирішенням самої задачі. В будь-якому випадку така послідовність дій є гарантом проведення розрахунків за відповідними формулами від випадкових помилок.

- Лінійне (поперечне) збільшення β , яке дають подібні системи (рис. 4.5, рис. 4.6)

$$\beta = \frac{h}{H} = \frac{f}{d},$$

де H – лінійний розмір предмета; h – лінійний розмір зображення.

- Реальні оптичні системи часто є сукупністю кількох простих елементів. Такою, зокрема, є товста лінза, оптичну силу якої слід розраховувати наступним чином

$$D = D_1 + D_2 - \frac{l}{n} D_1 \cdot D_2,$$

де l – товщина товстої лінзи; D_1 і D_2 – оптичні сили заломлюючих поверхонь; n – показник заломлення матеріалу лінзи.

- Оптична сила системи двох лінз, між якими є повітряний ($n=1$) проміжок довжиною l (еквівалентна лінза)

$$D = D_1 + D_2 - l \cdot D_1 \cdot D_2.$$

Найпоширенішими оптичними приладами, які можна звести до подібних систем є мікроскоп та телескоп (зорова труба).

- Кутове збільшення лупи

$$\Gamma \approx \frac{L_o}{F},$$

де L_o – відстань найкращого зору (для нормального ока $L_o = 25$ см); F – фокусна відстань лупи.

- Кутове збільшення мікроскопа

$$\Gamma = \Gamma_{об} \cdot \Gamma_{ок} \approx \frac{l \cdot L_o}{F_{об} \cdot F_{ок}},$$

де $\Gamma_{об}$ і $\Gamma_{ок}$ – збільшення об'єктива та окуляра; l – довжина тубуса (труби) мікроскопа; $F_{об}$ і $F_{ок}$ – фокусні відстані об'єктива та окуляра.

- Кутове збільшення телескопічної системи (зорової труби)

$$\Gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}} \approx \frac{D_{вх}}{D_{вих}}$$

де $D_{вх}$ і $D_{вих}$ – діаметри вхідного та вихідного пучків світла при акомодатії телескопічної системи на віддалене джерело світла.

Хвильова оптика

- Дисперсійне співвідношення

$$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda},$$

де v – фазова швидкість хвилі.

- Ефект Доплера

$$\nu = \frac{\nu \pm \nu_{\text{пр}}}{\nu \mp \nu_{\text{дж}}} \nu_0,$$

де ν – частота, що фіксується приймачем коливань; ν_0 – частота коливань джерела; ν – швидкість хвилі, $\nu_{\text{пр}}$ – швидкість приймача, $\nu_{\text{дж}}$ – швидкість джерела; верхній знак відповідає взаємному наближенню джерела та приймача, а нижній – взаємному віддаленню.

- Інтенсивність світла при інтерференції двох когерентних хвиль

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \Delta\varphi,$$

де $\Delta\varphi$ – різниця фаз двох хвиль.

- Оптична довжина шляху світлової хвилі

$$L = nr,$$

де r – геометрична довжина шляху.

- Оптична різниця ходу двох світлових хвиль

$$\Delta = L_1 - L_2 = n_1 r_1 - n_2 r_2.$$

- Зв'язок між різницею фаз і оптичною різницею ходу двох світлових хвиль

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

де λ – довжина світлової хвилі.

- Умови головних інтерференційних максимумів

$$\Delta_{\text{max}} = \pm m\lambda,$$

де $m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок максимуму.

- Умови головних інтерференційних мінімумів

$$\Delta_{\text{min}} = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

- У випадку інтерференції двох когерентних джерел лінійна та кутова відстань між сусідніми інтерференційними смугами на екрані

$$\Delta l = \frac{L\lambda}{d}, \quad \Delta\varphi = \frac{\lambda}{d},$$

де L – відстань від джерел до екрана, d – відстань між джерелами.

- Оптична різниця ходу в тонких плівках, оптично більш густих, ніж навколишнє середовище

а) для відбитого світла
$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{d};$$

б) для світла, що пройшло крізь плівку
$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}.$$

- Радіус m -го кільця Ньютона у відбитому світлі

а) темного кільця
$$r_m = \sqrt{mR\lambda}, m = 0, 1, 2, \dots$$

б) світлого кільця
$$r_m = \sqrt{(2m+1)R\frac{\lambda}{2}}, m = 0, 1, 2, \dots$$

де R – радіус кривизни поверхні лінзи.

- Оптична різниця ходу світлових хвиль, відбитих від шару змінної товщини b (клину), який розташований у повітрі за малих кутів падіння

$$\Delta = 2bn - \frac{\lambda}{2}.$$

- Радіус зовнішньої границі m -тої зони Френеля при дифракції сферичної світлової хвилі на круглому отворі радіуса r

$$r_m = \sqrt{\frac{a \cdot b}{a + b} m \lambda},$$

де a – відстань від джерела світла до фронту хвилі; b – відстань від вершини фронту хвилі до екрану.

- Радіус m -тої зони Френеля при дифракції плоскої світлової хвилі на круглому отворі радіуса r

$$r_m = \sqrt{bm\lambda}.$$

- Кількість зон Френеля, які вкладаються в отворі радіуса r

$$m = \frac{r^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right).$$

- Умова дифракційних мінімумів від однієї щілини шириною a

$$a \sin \varphi = \pm (2m+1) \frac{\lambda}{2},$$

де φ – кут дифракції; $m = 1, 2, 3, \dots$ – порядок мінімуму.

- Рівняння дифракційної решітки (умова головних дифракційних максимумів)

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

де φ – кут дифракції; d – стала дифракційної решітки.

- Формула Вульфа-Бреггів (умови максимумів при дифракції рентгенівських променів на кристалічній решітці)

$$2d \sin \theta = \pm m \lambda, \quad m = 1, 2, 3$$

де d – відстань між двома паралельними атомними площинами кристала; θ – кут ковзання (кут між напрямом пучка паралельних рентгенівських променів та площиною поверхні кристала)

- Роздільна здатність дифракційної решітки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = mN,$$

де $\Delta \lambda$ – найменша різниця довжин хвиль, які ще розділяє решітка у m -му порядку дифракційного спектра, N – кількість штрихів.

- Закон Брюстера, що визначає кут падіння, при якому відбита світлова хвиля є повністю поляризована

$$\operatorname{tg} i_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

де n_2 та n_1 – показники заломлення середовищ, на яке і з якого падає світло.

- Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

де I та I_0 – інтенсивності плоскополяризованого світла на виході та вході з аналізатора; α – кут між площинами поляризації поляризатора та аналізатора.

- Кут φ повороту площини поляризації світла оптично активними речовинами товщиною l

а) у твердих тілах (кристалах) $\varphi = [\alpha] \cdot l.$

де $[\alpha]$ – питомий кут повертання площини поляризації;

б) у розчинах $\varphi = [\alpha] \cdot C \cdot l,$

де C – концентрація оптично активної речовини у розчині.

4.2. Задачі до теми «Коливальні та хвильові процеси. Оптика»

- 4.1. Частинка масою 0,01 кг виконує гармонічні коливання з періодом 2 с. Повна енергія цієї частинки становить 0,1 мДж. Визначити амплітуду коливань і найбільше значення сили, що діє на частинку.
- 4.2. Точка виконує гармонічні коливання. У даний момент відхилення точки становить 5 см, швидкість 0,2 м/с, а прискорення $0,8 \text{ м/с}^2$. Визначити амплітуду, циклічну частоту, період коливань, а також значення фази для даного моменту часу.
- 4.3. Точка коливається за законом $x = A \sin \omega t$, де $A = 5 \text{ см}$, а циклічна частота $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$. Визначити перший момент часу, коли кінетична енергія становить 10^{-4} Дж , а діюча на точку сила дорівнює $5 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$.
- 4.4. Матеріальна точка масою 20г виконує коливання за законом: $x = A \sin \omega t$, де $A = 0,15 \text{ м}$, $\omega = 4\pi \text{ рад/с}$. Яка сила діє на точку через 0,2 с після початку коливань?
- 4.5. Визначити період коливань стержня завдовжки 30 см навколо осі, що перпендикулярна до стержня і проходить через його кінець.
- 4.6. Визначити максимальне прискорення матеріальної точки, що виконує гармонічні коливання з амплітудою 15 см, якщо найбільша швидкість точки становить 0,3м/с. Написати рівняння коливань.
- 4.7. Матеріальна точка коливається за законом: $x = A \sin \omega t$, де $A = 5 \text{ см}$, $\omega = 4\pi \text{ рад/с}$. В найближчий до початку коливань момент часу, коли на точку діяла сила 5 мН, точка мала кінетичну енергію 0,5 мДж. Визначити фазу коливань.
- 4.8. Визначити частоту гармонічних коливань диска радіусом 20 см навколо горизонтальної осі, що проходить через середину радіуса диска перпендикулярно до його площини.

- 4.9. Визначити період гармонічних коливань диска радіусом 40 см навколо горизонтальної осі, що проходить крізь край дотичній до диска перпендикулярно до його площини.
- 4.10. На стержні завдовжки 30 см закріплено два однакових вантажа: один в середині стрижня, інший – на одному з його кінців. Стержень з вантажами коливається навколо горизонтальної осі, що проходить через його вільний кінець. Визначити період гармонічних коливань, нехтуючи масою стержня.
- 4.11. Знайти максимальну кінетичну енергію матеріальної точки масою 2 г, що виконує гармонічні коливання з амплітудою 4 см і частотою 5 Гц.
- 4.12. Написати рівняння гармонічних коливань з амплітудою 5 см, якщо за хвилину виконується 150 коливань, а початкова фаза коливань становить 45° . Накреслити графік цього руху.
- 4.13. На скільки відстане за добу механічний годинник, якщо його підняти з рівня моря на вершину Евересту (8,9 км).
- 4.14. Циліндр масою 0,1 кг і діаметром 2 см у вертикальному стані плаває у воді. Циліндр трохи занурили і відпустили. Визначити період малих вертикальних коливань циліндра.
- 4.15. Накресліть на одному графіку два гармонічних коливання з однаковими амплітудами ($A_1 = A_2 = 2$ см) і однаковими періодами ($T_1 = T_2 = 8$ с) при різниці початкових фаз: $\pi/4$, $\pi/2$.
- 4.16. Через який проміжок часу від початку руху точка, що здійснює гармонічні коливання, відхиляється від положення рівноваги на половину амплітуди? Період коливань 24 с, початкова фаза дорівнює нулю.
- 4.17. Початкова фаза дорівнює нулю. Через яку частку періоду швидкість точки буде дорівнювати половині її максимальної швидкості?
- 4.18. Точка виконує гармонічні коливання, період яких 2 с, амплітуда 5 см, а початкова фаза дорівнює нулю. Визначити швидкість точки у момент, коли відхилення становить 2,5 см.

- 4.19. Початкова фаза коливання точки дорівнює нулю. При відхиленні точки від положення рівноваги на 2,4 см швидкість становить 3 см/с, а при відхиленні 2,8 см – відповідно 2 см/с. Визначити амплітуду і період коливань.
- 4.20. Матеріальна точка масою 10 г коливається за законом $x = 0,08 \sin(8\pi t + \pi/4)$. У межах одного періоду побудувати графік залежності від часу сили, що діє на точку.
- 4.21. За умов попередньої задачі у межах одного періоду побудувати графік залежності кінетичної і та потенціальної енергії від часу.
- 4.22. Знайти відношення кінетичної енергії точки, що виконує гармонічні коливання, до її потенціальної енергії для моментів, коли відхилення дорівнює 25% амплітуди коливань.
- 4.23. На який діапазон хвиль можна настроїти коливальний контур, якщо його індуктивність становить 2 мГн, а ємність може змінюватись у межах 2...16 мкФ? Опором контуру знехтувати.
- 4.24. Коливальний контур, утворений котушкою з індуктивністю 30 мкГн та плоским конденсатором, площа пластини якого становить 100 см^2 , а відстань між ними дорівнює 0,1 мм. Визначити діелектричну проникність середовища між пластинами, якщо контур настроєний на довжину хвилі 750 м?
- 4.25. Коливальний контур, ємність конденсатора якого становить 500 пФ, має період коливань 0,5 мкс. Визначити енергію коливального контуру, якщо максимальна сила струму у ньому дорівнює 0,1 А.
- 4.26. Визначити максимальну напругу на обкладинках конденсатора у коливальному контурі, якщо ємність конденсатора становить 6 пФ, індуктивність котушки 0,5 мГн, максимальна сила струму 20 А.
- 4.27. Різниця потенціалів на обкладинках конденсатора у коливальному контурі змінюється за законом $U = 50 \cos(10^4 \pi t)$ В, ємність дорівнює 0,1 мкФ. Визначити індуктивність контуру та залежність від часу сили струму в контурі.

- 4.28. Сила струму у коливальному контурі змінюється за законом $I = 0,02 \sin(400\pi t)$ А, індуктивність дорівнює 1 Гн. Визначити ємність контуру та максимальну різницю потенціалів на обкладинках конденсатора.
- 4.29. Тіло масою 0,025 кг бере участь одночасно в двох гармонічних коливаннях одного напрямку, рівняння яких відповідно $x_1 = 0,02 \sin(\pi t)$, $x_2 = 0,03 \sin \pi(t + \pi/4)$. Записати рівняння результуючого коливання.
- 4.30. Використовуючи умову попередньої задачі, визначити енергії результуючого та вихідних коливань.
- 4.31. Матеріальна точка одночасно бере участь в двох взаємно перпендикулярних коливаннях $x = 0,02 \cos \omega t$, $y = 0,03 \sin \omega t$. Визначити траєкторію і напрямок руху точки.
- 4.32. Тіло масою 20 г бере участь у двох гармонічних коливаннях однакової частоти 5π рад/с з амплітудами відповідно 3 см і 4 см. Знайти енергію результуючого коливання і коливань, що додаються, якщо коливання однонаправлені. Написати рівняння результуючого коливання, якщо початкові фази коливань однакові і становлять $4/\pi$.
- 4.33. Додаються два коливання $x_1 = A_1 \sin \omega t$ і $x_2 = A_2 \sin \omega(t - \tau)$, де $A_1 = 3$ см, $\omega = \pi$ рад/с, $\tau = 0,5$ с. Визначити амплітуду A і початкову фазу ϕ_0 результуючого коливання. Написати його рівняння. Побудувати векторну діаграму для моменту часу $t = 2$ с.
- 4.34. У результаті додавання двох однаково напрямлених гармонічних коливань з однаковими амплітудами і періодами результуюче коливання має той же період та амплітуду. Знайти різницю фаз коливань.
- 4.35. Визначити амплітуду і початкову фазу гармонічного коливання, одержаного додаванням коливань $x_1 = 0,04 \sin \pi t$ і $x_2 = 0,05 \sin(\pi t + \pi/2)$. Записати рівняння результуючого коливання, накреслити векторну діаграму.
- 4.36. Додаються два коливання $x_1 = 0,03 \sin \pi t$ і $x_2 = 0,06 \sin 10\pi t$. Представити графічно ці коливання та результат їх додавання.

- 4.37. Два однонаправлені коливання з однаковими амплітудами та періодами при додаванні дали коливання з такою ж самою амплітудою. Визначити фазу результуючого коливання.
- 4.38. Написати рівняння результуючого коливання, отриманого в результаті додавання двох взаємно перпендикулярних коливань з однаковими частотами 5 Гц та початковими фазами $\varphi_0 = 60^\circ$. Амплітуди коливань відповідно 10 см та 5 см.
- 4.39. Точка бере участь одночасно в двох взаємно перпендикулярних коливаннях $x = 0,02 \sin \omega t$, $y = 0,03 \cos \omega t$. Визначити траєкторію та напрямок руху точки.
- 4.40. Точка бере участь одночасно в двох взаємно перпендикулярних коливаннях $x = 0,04 \cos \pi t$, $y = 0,06 \cos(\pi t + \pi/3)$. Накреслити траєкторію точки.
- 4.41. Точка бере участь одночасно в двох взаємно ортогональних коливаннях $x = 0,06 \sin \pi t$, $y = 0,04 \sin(\pi t + \pi)$. Накреслити траєкторію руху.
- 4.42. Точка бере участь одночасно в двох взаємно перпендикулярних коливаннях $x = A \sin \omega t$, $y = A \cos 2\omega t$, де $A = 2$ см, $\omega = 2\pi$ рад/с. Знайти рівняння траєкторії і подати її графічно.
- 4.43. Точка бере участь одночасно в двох взаємно перпендикулярних коливаннях $x = 0,04 \cos \pi t$, $y = 0,06 \sin 2\omega t$, де $\omega = 2\pi$ рад/с. Знайти рівняння траєкторії точки і накреслити графік її руху.
- 4.44. Визначити логарифмічний декремент згасання математичного маятника довжиною 1 м, якщо за 1 хвилину амплітуда коливань зменшилась у два рази.
- 4.45. Логарифмічний декремент згасання математичного маятника становить 0,2. У скільки разів зменшиться амплітуда за одне повне коливання маятника?
- 4.46. За 10 с амплітуда вільних коливань спадає у 2 рази. За який час амплітуда зменшиться у 10 разів?
- 4.47. Добротність кристалу сапфіру становить $1 \cdot 10^9$, а частота його коливань дорівнює 10^4 Гц. У скільки разів амплітуда коливань зменшиться за добу?

- 4.48. Логарифмічний декремент згасання фізичного маятника, який коливається у деякому середовищі, дорівнює 0,1. Яким стане логарифмічний декремент згасання, якщо опір середовища збільшити у два рази?
- 4.49. Логарифмічний декремент згасання коливальної системи становить 0,1. У скільки разів слід збільшити тертя у системі, щоб коливання стали неможливими?
- 4.50. Частота власних коливань системи становить 100 с^{-1} , а коефіцієнт згасання 40 с^{-1} . Визначити частоту вільних коливань цієї системи.
- 4.51. При коефіцієнті згасання 10 с^{-1} частота вільних коливань осцилятора становить 20 Гц. Визначити частоту вільних коливань, якщо коефіцієнт згасання осцилятора зріс у 5 разів.
- 4.52. Колова частота власних коливань пружного маятника становить 100 с^{-1} , а коефіцієнт згасання 10 с^{-1} при збільшенні жорсткості пружини у 2 рази коефіцієнт згасання зріс у 10 разів. Визначити частоту вільних коливань у випадку жорсткішої пружини.
- 4.53. Добротність коливальної системи дорівнює 10. У скільки разів зменшиться амплітуда вільних коливань системи за 10 повних її коливань?
- 4.54. У скільки разів зменшиться амплітуда вільних коливань за час, що дорівнює двом часам релаксації?
- 4.55. Частота власних коливань системи становить 100 Гц, а резонансна частота 95 Гц. Визначити добротність системи.
- 4.56. За час, на протязі якого система виконує 100 коливань, амплітуда зменшується у 5 разів. Визначити добротність системи.
- 4.57. Через струмок перекинуто пружну дошку. Коли людина стоїть посередині дошки, то вона прогинається на 0,1 м, а коли іде по ній зі швидкістю 0,5 м/с, то дошка починає коливатися з максимальною амплітудою. Визначити довжину кроку людини.

- 4.58. Однорідний диск радіуса 13 см може обертатися навколо горизонтальної осі, яка перпендикулярна до його площини і проходить через край диска. При якій частоті зовнішньої сили амплітуда малих коливань диска буде максимальною? Логарифмічний декремент згасання становить 0,5.
- 4.59. Фізичний маятник, масою 1 кг, має момент інерції $1\text{ кг}\cdot\text{м}^2$ відносно його осі обертання, відстань від осі до центра мас маятника становить 0,5 м. З якою частотою треба підштовхувати маятник, щоб він виконував малі коливання з максимальною амплітудою? Коефіцієнт згасання становить $1,5\text{ с}^{-1}$.
- 4.60. Математичний маятник масою 1 кг і довжиною 1 м коливається у в'язкому середовищі. Коефіцієнт опору становить 0,5 кг/с. Під дією зовнішньої сили маятник відхиляється на 1 см. Визначити відхилення при резонансі у разі періодичної дії тієї самої сили.
- 4.61. При якому коефіцієнті опору для математичного маятника (його данні наведені у попередній задачі) резонанс не буде спостерігатися?
- 4.62. Ємність коливального контуру становить 0,2 мкФ, а індуктивність 5,07 мГн. За 1 мс максимальна напруга на конденсаторі зменшилась у три рази. Визначити опір контуру.
- 4.63. Коливальний контур складається з індуктивності 0,01 Гн, ємності 0,405 мкФ та опору 2 Ом. Як зменшиться напруга на конденсаті за одне повне коливання?
- 4.64. Коливальний контур має ємність 1,1 нФ і індуктивність 5 мГн. За який час контур втратить 99 % своєї енергії, якщо логарифмічний коефіцієнт згасання становить 0,005?
- 4.65. Ємність коливального контуру дорівнює 7 мкФ, індуктивність 0,23 Гн, а опір 40 Ом. Визначити залежність напруги на конденсаторі від часу, якщо у початковий момент заряд конденсатора дорівнював 0,56 мКл.
- 4.66. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 48 мкФ, котушки з індуктивністю 24 мГн. На скільки

- зменшиться частота вільних коливань у контурі, якщо в нього ввести резистор з опором 20 Ом ?
- 4.67. Визначити швидкість хвиль у пружному середовищі, якщо різниця фаз коливань двох точок, розміщених одна від одної на 15 см, становить $\pi/2$. Частота коливань 25 Гц.
- 4.68. Поперечна хвиля поширюється вздовж пружного стержня із швидкістю 15 м/с. Період коливань становить 1,2 с. Визначити різницю фаз коливань двох точок, розташованих від джерела коливань на відстані відповідно 20 м та 30 м.
- 4.69. Плоска хвиля поширюється із швидкістю 20 м/с. Різниця фаз коливань точок, розташованих на відстані 12 м та 15 м від джерела хвиль, становить $0,75\pi$. Знайти довжину хвилі, записати рівняння хвилі і визначити відхилення вказаних точок у момент часу 1,2 с, якщо амплітуду коливань становить 0,1 м.
- 4.70. Визначити довжину хвилі, якщо відстань між першою і четвертою пучностями стоячої хвилі становить 15 см.
- 4.71. Визначити найнижчу частоту коливань повітря у закритій з одного боку і відкритій з двох боків трубах довжиною 80 см. Швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с.
- 4.72. Гамір на вулиці, рівень якого 80 дБ, чутний в кімнаті як звук з рівнем 40 дБ. Визначити відношення інтенсивності звуку на вулиці і в кімнаті.
- 4.73. Визначити інтенсивність ультразвукових хвиль частотою 50 кГц у повітрі, якщо амплітуда зміщення частинок повітря досягає 0,1 мкм, густина повітря 1,29 кг/м³, швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с.
- 4.74. Визначити потужність точкового джерела, якщо на відстані 100 м від нього амплітуда зміщення частинок середовища становить 1 мкм. Довжина хвиль 17 см, її швидкість 370 м/с, густина середовища 1,2 кг/м³. Визначити рівень інтенсивності хвилі на відстані 1 км від джерела. Поглинанням хвилі знехтувати.

- 4.75. Об'ємна густина енергії хвилі в повітрі на відстані 10 м від точкового джерела становить $2,5 \cdot 10^{-5}$ Дж/м³. Рахуючи повітря однорідним середовищем обчислити об'ємну густину енергії цієї хвилі на відстані 250 м від джерела. Поглинанням хвилі знехтувати. Визначити рівні інтенсивності хвилі на вказаних відстанях, якщо швидкість хвиль становить 340 м/с. Визначити інтенсивність джерела хвиль.
- 4.76. Інтенсивність хвилі на відстані 20 м від точкового джерела становить $3 \cdot 10^{-9}$ Вт/см². Визначити інтенсивність цієї хвилі на відстані 100 м від джерела, якщо коефіцієнт поглинання становить $5 \cdot 10^{-5}$ см⁻¹?
- 4.77. У повітрі поширюється звукова хвиля з частотою 500 Гц і амплітудою 0,25 мм, довжина хвилі 70 см. Визначити швидкість хвилі і максимальну швидкість частинок повітря.
- 4.78. Визначити швидкості пружних хвиль у сталі та міді.
- 4.79. Визначити швидкість звуку в повітрі при температурах -20°C , 0°C та 20°C .
- 4.80. Знаючи, що середня квадратична швидкість молекул двохатомного газу становить 461 м/с, визначити швидкість звуку за цих умов.
- 4.81. Визначити швидкість звуку в двохатомному газі, якщо при тиску 760 мм.рт.ст його густина становить 1,29 кг/м³.
- 4.82. Враховуючи, що середня кінетична енергія молекул одного моля азоту становить 3,4 кДж, визначити швидкість звуку в азоті.
- 4.83. Два звука відрізняються за рівнем гучності на 1 фон. Визначити відношення інтенсивності цих звуків.
- 4.84. Два звука відрізняються за рівнем їх інтенсивності на 1 дБ. Визначити відношення інтенсивності цих звуків.
- 4.85. На скільки децибел збільшився рівень інтенсивності звуку, якщо інтенсивність звуку збільшилась: в 3000 разів, в 30000 разів?
- 4.86. Два потяги рухаються назустріч один одному з швидкостями 72 км/год і 54 км/год. Перший потяг дає гудок за частотою

- 600 Гц. Визначити частоту звуку, який чує пасажир другого потягу перед зустріччю і після зустрічі потягів. Швидкість звуку 340 м/с.
- 4.87. Коли потяг проїжджає коло нерухомого спостерігача, висота тону гудка змінюється стрибком. Визначити відносну величину стрибка, якщо потяг рухається зі швидкістю 60 км/год.
- 4.88. Швидкість кулі становить 200 м/с. У скільки разів зміниться висота тону свисту кулі для нерухомого спостерігача, коло якого вона пролітає? Швидкість звуку 333 м/с.
- 4.89. Записати рівняння хвилі у воді від точкового джерела частотою 10^3 Гц, якщо на відстані 20 см від джерела інтенсивності хвилі становить 10^{-4} Вт/м². Модуль пружності для води $2,2 \cdot 10^9$ Па, а густина $\rho = 10^3$ кг/м³.
- 4.90. По заповненій повітрям циліндричній трубі діаметром 5 см поширюється хвиля інтенсивністю 10^{-2} Вт/м². Визначити середню і максимальну об'ємну густину енергії хвилі та імпульс, перенесений хвилею за 1 с.
- 4.91. Написати рівняння пружної хвилі в повітрі від точкового джерела, якщо довжина хвилі 5 см, а амплітуда коливань на відстані 10 м від джерела становить 1 мкм. Відомо, що хвиля проходить шлях 80 км за проміжок часу 5 хв.
- 4.92. Звук поширюється по трубі довжиною 50 м. Коефіцієнт поглинання становить 10^{-4} см⁻¹. Визначити інтенсивності звуку біля труби, якщо рівень інтенсивності біля її початку 60 дБ.
- 4.93. Два когерентних джерела світла розміщені на відстані 0,2 см один від одного і віддалені від екрана на відстань 1,2 м. Знайти відстань між інтерференційними максимумами на екрані, якщо довжина хвилі світла 0,6 мкм.
- 4.94. Визначити довжину хвилі монохроматичного світла, якщо когерентні джерела віддалені один від одного на 0,5 мм, а відстань від них до екрана 5 м. Інтерференційні смуги

віддалені одна від одної на 5 мм. Відстань між інтерференційними смугами 5 мм.

- 4.95. Два динаміки, які знаходяться на відстані 10 м один від одного, коливаються з різницею фаз π . В яких точках на прямій, що з'єднує динаміки, чутність буде мінімальною? Швидкість звуку у повітрі 340 м/с, частота звукових коливань становить 330 Гц.
- 4.96. Два когерентних джерела звукових хвиль з частотою 170 Гц розташовані на відстані 10 м. один від одного. Визначити найкоротшу відстань від одного з джерел до мінімумів першого і другого порядку. Прийняти швидкість звуку у повітрі рівною 340 м/с.
- 4.97. Промені від двох когерентних джерел з довжиною хвилі 600 нм попадають на екран. На ньому спостерігається інтерференційна картина. Коли на шляху одного з променів перпендикулярно до нього розмістили мильну плівку з показником заломлення 1,33, інтерференційна картина змінилась на протилежну. При якій найменшій товщині плівки це можливо?
- 4.98. На мильну плівку з показником заломлення 1,33 нормально падає монохроматичне світло з довжиною хвилі 0,6 мкм. У відбитому світлі плівка має найбільшу яскравість. Визначити найменшу товщину плівки.
- 4.99. Радіус другого темного кільця Ньютона у відбитому світлі дорівнює 0,4 мм. Визначити радіус кривизни цієї опуклої лінзи, якщо довжина хвилі світла 0,64 мкм.
- 4.100. Між скляною пластиною та плоско-опуклою лінзою, яка лежить на ній, знаходиться рідина. Визначити показник заломлення рідини, якщо радіус третього темного кільця Ньютона при спостереженні у відбитому світлі з довжиною хвилі 0,6 мкм становить 0,82 мм. Радіус кривизни лінзи 0,5 м.
- 4.101. На тонку плівку нормально падає світло з довжиною хвилі 500 нм. Відбите від неї світло максимально підсилене

- внаслідок інтерференції. Визначити мінімальну товщину плівки, якщо показник заломлення матеріалу 1,4.
- 4.102. Відстань від щілин до екрана в досліді Юнга дорівнює 1 м. Визначити відстань між двома щілинами, якщо на відрізок довжиною 1 см вкладається 10 темних інтерференційних смуг. Довжина хвилі становить 0,7 мкм.
- 4.103. На гліцеринову плівку товщиною 1,5 мкм нормально до її поверхні падає біле світло. Визначити інтервал довжин хвиль променів видимої ділянки спектра (0,4...0,8) мкм, які будуть ослаблені внаслідок інтерференції при відбиванні.
- 4.104. На скляну платівку нанесений шар прозорої рідини з показником заломлення 1,3. На платівку вздовж нормалі до її поверхні падає пучок світла з довжиною хвилі 640 нм. Яку мінімальну товщину матиме шар, щоб яскравість відбитих променів була найменшою?
- 4.105. У досліді Юнга щілини освітлювались монохроматичним світлом з довжиною хвилі 600 нм. Відстань між щілинами 1 мм, а відстань від щілин до екрана становить 3 м. Знайти положення трьох перших світлих смуг.
- 4.106. У досліді з біпризмою Френеля відстань між уявними зображеннями джерела світла дорівнювала 0,5 мм, відстань до екрана 5 м. Для зеленого світла відстань між інтерференційними максимумами становить 5 мм. Знайти довжину хвилі світла.
- 4.107. У досліді Юнга на шляху одного з променів, що накладаються, розташували тонку скляну пластинку, внаслідок чого центральна інтерференційна смуга зсунулась у положення, яке початково відповідало п'ятому інтерференційному максимуму. Промінь падав на пластинку перпендикулярно, показник заломлення пластинки 1,5, довжина хвилі 600 нм. Визначити товщину пластинки.
- 4.108. На мильну плівку з показником заломлення 1,33 падає біле світло під кутом 45° . При якій найменшій товщині плівки відбиті промені будуть забарвлені в жовтий колір?

- 4.109. Мильна плівка, розташована вертикально, внаслідок стикання рідини, утворює клин. Для монохроматичного світла з довжиною хвилі 546 нм відстань між п'ятьма інтерференційними смугами (у відбитому світлі) становить 2 см. Визначити кут клину. Світло падає перпендикулярно до поверхні плівки, показник заломлення води 1,33.
- 4.110. На скляний клин падає нормально пучок світла з довжиною хвилі 582 нм. Кут клину 20". Яке число темних інтерференційних смуг припадає на одиницю довжини клину? Показник заломлення скла 1,5.
- 4.111. Знайти відстань між третім та шістнадцятим темними кільцями Ньютона, якщо відстань між другим та двадцятим темними кільцями становить 4,8 мм. Спостереження проводиться у відбитому світлі.
- 4.112. У досліді з інтерферометром Майкельсона інтерференційна картина зсунулась на 500 інтерференційних смуг при зміщенні дзеркала 0,16 мм. Знайти довжину хвилі падаючого світла.
- 4.113. Для визначення показника заломлення аміаку в одне з плечей інтерферометра Майкельсона помістили трубку довжиною 14 см, з якої видаляли повітря. Кінці трубки закриті плоскопаралельними скельцями. При заповненні трубки аміаком інтерференційна картина для довжини хвилі 0,59 мкм змістилась на інтерференційних 180 смуг. Визначити показник заломлення аміаку.
- 4.114. Сонячне світло падає на дві паралельні щілини. Оцінити максимальну відстань між щілинами, при якій ще можлива інтерференція.
- 4.115. На мильну плівку під кутом 30° падає пучок променів білого світла. Яка мінімальна товщина плівки, якщо у відбитому світлі вона здається червоною ($\lambda = 7000 \text{ Å}$)?
- 4.116. Дві когерентні плоскі світлові хвилі, напрямки поширення яких утворюють дуже малий кут, падають на екран практично перпендикулярно. Визначити відстань між

інтерференційними максимумами як функцію кута та довжини хвилі.

- 4.117. На плоскопаралельну пластину з показником заломлення 1,5 крізь червоний світлофільтр із смугою пропускання шириною 2 нм падає паралельний пучок світла. При якій найбільшій товщині пластини у відбитому світлі ще буде спостерігатись інтерференція?
- 4.118. Світло від точкового джерела падає нормально на діафрагму з круглим отвором, діаметром 6 мм. За діафрагмою на відстані 3 м від неї розташований екран. Скільки зон Френеля вкладається на отворі діафрагми? Відстань від джерела до діафрагми становить 1 м, довжина хвилі світла 600 нм.
- 4.119. Знайти радіуси перших п'яти зон Френеля, якщо відстань від джерела світла до хвильової поверхні 1 м, від хвильової поверхні до точки спостереження 1м, а довжина хвилі становить 500 нм.
- 4.120. Знайти радіуси перших п'яти зон Френеля для випадку плоскої хвилі. Відстань від хвильової поверхні до точки спостереження 1 м, довжина хвилі 500 нм.
- 4.121. Зонна пластинка Френеля відкриває лише перші п'ять непарних зон. Як зміниться інтенсивність у точці спостереження, якщо зонну пластинку прибрати?
- 4.122. Оцінити ширину дифракційних смуг на поверхні Землі при дифракції світла від далекої зірки на краї Місяця. Відстань від Землі до Місяця становить 400000 км.
- 4.123. На діафрагму з круглим отвором діаметром 1,96 мм нормально падає паралельний пучок світла з довжиною хвилі 600 нм. На екрані спостерігається дифракційна картина. При якій найменшій відстані між діафрагмою та екраном пляма в центрі дифракційної картини буде найбільш темною?
- 4.124. На щілину шириною 2 мкм нормально падає паралельний пучок світла з довжиною хвилі 589 нм. Знайти кути, у напрямку яких будуть спостерігатися мінімуми світла.

- 4.125. На щілину шириною 20 мкм нормально падає пучок світла з довжиною хвилі 500 нм. Визначити ширину центрального дифракційного максимуму на екрані, віддаленому від щілини на 1 м. Шириною максимуму вважається відстань між першими дифракційними мінімумами, розташованими по обидва боки від головного максимуму.
- 4.126. На щілину нормально падає пучок світла з відомою довжиною хвилі. Ширина щілини у 6 разів більша за довжину хвилі. Під яким кутом буде спостерігатись третій дифракційний мінімум?
- 4.127. Приймач розташований на відстані 2 м від точкового джерела ультразвукових хвиль довжиною 0,1 см. Посередині між джерелом та приймачем розташований екран з круглим отвором. Яким має бути діаметр отвору, щоб приймач зафіксував максимальний сигнал?
- 4.128. Знайти найбільший порядок спектра для жовтої лінії натрію, якщо стала дифракційна решітка становить 2 мкм. Довжина хвилі 589,3 нм.
- 4.129. На дифракційну решітку нормально падає пучок монохроматичного світла. Максимум третього порядку спостерігається під кутом $36^{\circ}48''$ до нормалі. Знайти сталу решітку, виражену в довжинах хвиль світла.
- 4.130. На дифракційну решітку нормально падає пучок монохроматичного світла. Максимум третього порядку спостерігається під кутом $36^{\circ}48''$ до нормалі. Знайти сталу решітку, виражену в довжинах хвиль світла. Скільки максимумів дає ця дифракційна решітка?
- 4.131. Визначити сталу дифракційної решітки шириною 3 см, якщо вона дозволяє розділити у першому порядку лінії спектра 404,4 нм та 404,7 нм.
- 4.132. Стала дифракційної решітки шириною 0,25 м становить 2 мкм. Визначити найменшу різницю довжини хвиль двох спектральних ліній для жовтих променів з довжиною хвилі

600 нм, які можна спостерігати роздільно з допомогою такої дифракційної решітки.

- 4.133. На дифракційну решітку нормально падає пучок світла. Червону лінію з довжиною хвилі 650 нм видно у спектрі третього порядку під кутом 60° . Яку спектральну лінію видно під цим же кутом у спектрі четвертого порядку? Визначити сталу дифракційної решітки.
- 4.134. На дифракційну решітку нормально падає вузький паралельний пучок світла з довжиною хвилі 627 нм. На екрані, віддаленому від решітки на 0,12 м, з'явилась дифракційна картина. Відстань між її максимумами нульового і першого порядків становить 39,6 см. Визначити сталу решітки.
- 4.135. Визначити, які з головних максимумів не буде видно для дифракційної решітки, яка має 430 штрихів на 1 мм у випадку, якщо ширина щілини дорівнює ширині непрозорого проміжку.
- 4.136. На щілину шириною 0,05 мм нормально падає паралельний пучок променів з довжиною 500 нм. Дифракцією спостерігають на екрані, розміщеному на відстані 1 м від щілини. Визначити відстань між першою і другою темними смугами на екрані.
- 4.137. Визначити ширину центрального максимуму дифракційної картини, отриманої при дифракції світла на щілині за умов попередньої задачі.
- 4.138. При освітленні дифракційної решітки світлом з довжиною хвилі 590 нм спектр третього порядку видно під кутом $10^\circ 12'$. Визначити довжину хвилі, для якої спектр другого порядку буде видно під кутом $6^\circ 18'$.
- 4.139. На дифракційну решітку нормально падає пучок світла. Якою має бути стала дифракційної решітки, щоб при накладанні спектрів першого та другого порядків під кутом 41° співпали максимуми двох ліній з довжинами хвиль 460 нм та 680 нм.

- 4.140. Стала дифракційної решітки у чотири рази більше довжини світлової хвилі паралельного пучка монохроматичного світла, який нормально падає на решітку. Визначити кут між двома першими симетричними дифракційними максимумами.
- 4.141. Яку найменшу кількість штрихів повинна мати дифракційна решітка, щоб у спектрі другого порядку можна було роздільно бачити дві жовті лінії натрію з довжинами 589 нм і 589,6 нм? Яка довжина такої решітки, якщо стала решітки становить 5 мкм?
- 4.142. На дифракційну решітку, яка на 1 мм довжини має 600 штрихів, нормально падає біле світло. Визначити довжину спектра першого порядку на екрані, якщо відстань від лінзи до екрана становить 1,2 м. Видимий спектр лежить у межах 400...780 нм.
- 4.143. На грань кристала кам'яної солі падає пучок рентгенівських променів. Відстань між атомними площинами кристала становить 280 пм. Під кутом ковзання 65° до площини грані спостерігається дифракційний максимум першого порядку. Визначити довжину хвилі рентгенівських променів.
- 4.144. Визначити період кристалічної решітки сильвіну (KCl), якщо рентгенівське випромінювання $K\alpha$ -лінії заліза з довжиною хвилі 0,1932 нм відбивається від граней кристала під кутом $18^\circ 3'$ для спектра другого порядку.
- 4.145. Кут заломлення променя в рідині становить 35° . Визначити показник заломлення рідини, якщо відомо, що відбитий промінь максимально поляризований.
- 4.146. На скільки відсотків зменшується інтенсивність природного світла після проходження через призму Ніколя. Коефіцієнт поглинання становить 0,1.
- 4.147. Промінь природного світла падає на поліровану поверхню скляної пластинки, зануреної в рідину. Кут між відбитим і падаючим променями становить 97° . Визначити показник заломлення рідини, якщо відбите світло максимально поляризоване.

- 4.148. Головні площини двох послідовно розташованих призм Ніколя утворюють кут 60° . У скільки разів зменшиться інтенсивність природного світла при проходженні через обидві призми? Коефіцієнт поглинання світла в призмі Ніколя становить 0,05. Втрати на відбивання знехтувати.
- 4.149. Плоскополяризований монохроматичний промінь світла, який падає на поляроїд, повністю поглинається. Коли на шляху променя розташувати кварцову пластину, то інтенсивність світла після поляроїда зменшилась лише у два рази. Визначити товщину кварцової пластинки. Поглинанням і відбиванням світла знехтувати. Стала обертання площини поляризації становить $49^\circ/\text{мм}$.
- 4.150. Промінь світла послідовно проходить через дві призми Ніколя, головні площини яких утворюють кут 40° . Коефіцієнт поглинання кожної призми дорівнює 0,15. Визначити, у скільки разів зменшилась інтенсивність променя, що вийшов з другої призми.
- 4.151. Промінь природного світла падає на поверхню скла під кутом 60° . При цьому відбитий промінь виявився максимально поляризованим. Визначити кут заломлення променя.
- 4.152. Кут між площинами поляризаторів становить 50° . Природне світло, проходячи через таку систему, послабляється в 4 рази. Нехтуючи втратою світла на відбивання визначити коефіцієнт поглинання світла в поляризаторах.
- 4.153. Промінь світла, відбитий від межі гліцерин – скло, виявився максимально поляризованим. Визначити кут між падаючим і заломленим променями.
- 4.154. Кварцову пластинку помістили між схрещеними призмами Ніколя. При якій найменшій товщині пластинки поле зору буде максимально яскравим? Стала обертання площини поляризації становить $27^\circ/\text{мм}$.
- 4.155. При проходженні світла через трубку довжиною 20 см, заповнену розчином цукру з концентрацією $0,4 \text{ г/см}^3$, площина поляризації повернулась на кут $13,3^\circ$. В іншому

розчині цукру, налитому в трубку довжиною 15 см, площина поляризації повернулась на кут $5,2^\circ$. Визначити концентрацію другого розчину.

- 4.156. Визначити кут повної поляризації світла при відбиванні від поверхні лід – вода.
- 4.157. Кут між площинами поляризації двох поляризаторів становить 70° . Як зменшиться інтенсивність світла, що пройшло крізь них, якщо цей кут зменшити у 5 разів?
- 4.158. Кут між площинами поляризації двох однакових поляризаторів становить 45° . Лінійний коефіцієнт поглинання матеріалу поляризаторів дорівнює $0,15\text{ м}^{-1}$, товщина поляризатора 5 см. Як зміниться інтенсивність природного світла після проходження цієї системи?
- 4.159. Кут між площинами поляризації двох однакових поляризаторів дорівнює 50° . Природне світло, проходячи крізь таку систему, послаблюється у 4 рази. Нехтуючи відбиванням, визначити коефіцієнт поглинання світла у поляризаторах.
- 4.160. Граничний кут повного внутрішнього відбивання для певної сполуки становить 45° . Визначити кут Брюстера для цієї сполуки.
- 4.161. Під яким кутом до горизонту має перебувати Сонце, щоб його промені, відбиті від поверхні озера, були максимально поляризовані?
- 4.162. Пучок плоскополяризованого світла, довжина хвилі якого у вакуумі становить 489 нм, падає на пластинку з ісландського шпату перпендикулярно до його оптичної осі. Знайти довжини хвиль звичайного і незвичайного променів у кристалі, якщо показники заломлення ісландського шпату для звичайного і незвичайного променів відповідно становить 1,66 і 1,49.
- 4.163. Природне світло проходить через поляризатор і аналізатор. Їхні площини поляризації утворюють деякий кут. Поляризатор і аналізатор поглинають та відбивають 10%

падаючого на них світла. Інтенсивність променя, що вийшов із аналізатора дорівнює 9% інтенсивності природного світла, що падає на аналізатор. Визначити кут між площинами поляризації.

- 4.164. Промінь світла падає на межу поділу двох середовищ під кутом 30° . Показник заломлення першого середовища 2,4. Визначити показник заломлення другого середовища, якщо відомо, що відбитий і заломлений промені перпендикулярні один одному.
- 4.165. На поверхню води у посудині покладена скляна пластинка. Визначити, під яким кутом має падати на пластинку промінь світла, щоб від поверхні поділу води зі склом відбулось повне внутрішнє відбиття.
- 4.166. У фокусі сферичного дзеркала прожектора помістили джерело світла у вигляді диска радіусом 1 см. Знайти діаметр світлової плями на стіні на відстані 50 м від прожектора, якщо фокусна відстань сферичного дзеркала 40 см, а діаметр прожектора 1 м.
- 4.167. На рисунку 4.5 показано предмет A та його зображення A' в ввігнутому сферичному дзеркалі. За допомогою графічної побудови знайти центр і фокус дзеркала.
- 4.168. На плоско-паралельну скляну пластинку товщиною 1 см падає світловий промінь під кутом 60° і відбивається від поверхні скла. Частина променя, заломлюючись, проходить у скло, відбивається від нижньої поверхні пластинки і, заломлюючись вдруге, виходить у повітря паралельно першому відбитому променю. Визначити відстань між цими променями.
- 4.169. Оптичний клин, показник заломлення якого 1,6 а кут при вершині 5° помістили у воду. Визначити, на скільки градусів відхиляється світловий промінь, що проходить крізь цей клин.

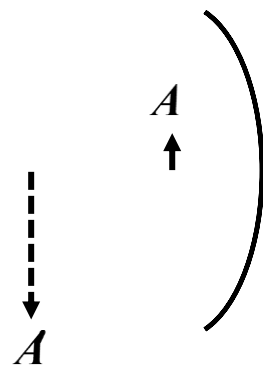


Рис. 4.5

- 4.170. Побудувати зображення довільної точки, що лежить на головній оптичній осі: а) збиральної лінзи; б) розсіювальної лінзи.
- 4.171. Радіуси кривини поверхонь двоопуклої лінзи 50 см. Показник заломлення матеріалу 1,5. Знайти оптичну силу лінзи.
- 4.172. Тонка скляна лінза має оптичну силу 5 дптр. Та сама лінза, занурена у рідину, має оптичну силу 1 дптр. Знайти показник заломлення рідини.
- 4.173. Фотоапаратом, об'єктив якого має фокусну відстань 50 мм, фотографують будинок висотою 24 м. З якої відстані потрібно проводити фотозйомку, щоб зображення будинку вмістилось у кадрі висотою 24 мм?
- 4.174. Фокусна відстань збиральної лінзи 10 см. На якій відстані від лінзи потрібно розмістити предмет, щоб його уявне зображення утворилось на відстані 25 см від лінзи?
- 4.175. Побудувати зображення відрізка, паралельного головній оптичній осі лінзи.
- 4.176. Збиральну лінзу щільно приклали до розсіювальної і отримали систему лінз, яка дала зображення предмета, розмір якого 3 см, на відстані 40 см від лінзи. Визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи, якщо фокусна відстань збиральної лінзи 8 см.
- 4.177. Плоско-опукла лінза з фокусною відстанню 30 см і плоско-вгнута лінза з фокусною відстанню 10 см складені разом. На якій відстані від лінз отримали зображення предмета, що розміщений в 15-ти см від системи лінз? Побудувати зображення з дотриманням масштабу.
- 4.178. Межі акомодатії ока короткозорі людини лежать між 10 і 25 см. Визначити, як зміняться ці межі, якщо людина одягне окуляри з оптичною силою 4 дптр.
- 4.179. Лупа, що є двоопуклою лінзою, виготовлена зі скла з показником заломлення 1,6. Радіуси кривини поверхонь однакові і дорівнюють 12 см. Визначити збільшення лупи для нормального ока.

- 4.180. Людина розглядає предмет крізь лупу та бачить його збільшеним вдвічі. До лупи щільно притиснули збиральну лінзу з оптичною силою 20 дптр. Яке збільшення буде давати утворена система?
- 4.181. Чому мають дорівнювати радіуси кривини однакових сферичних поверхонь, що обмежують лупу, щоб вона збільшення для нормального ока дорівнювало 10? Показник заломлення матеріалу лупи 1,5.
- 4.182. Головна фокусна відстань об'єктива мікроскопа 3 мм, окуляра 5 см. Предмет знаходиться від об'єктива на відстані 3,1 мм. Знайти збільшення мікроскопа для нормального ока.
- 4.183. У мікроскопі головна фокусна відстань об'єктива 5,4 мм, окуляра – 2 см. Предмет знаходиться від об'єктива на відстані 5,6 мм. Визначити видиме збільшення мікроскопа для нормального ока і довжину мікроскопа (відстань між об'єктивом і окуляром).
- 4.184. Оптичні сили об'єктива і окуляра мікроскопа відповідно 100 і 200 дптр. Збільшення мікроскопа 50. Яким буде збільшення цього мікроскопа, якщо відстань між об'єктивом і окуляром збільшити на 2 см?
- 4.185. Предмет AB розташований між фокусом F і подвійним фокусом $2F$ збиральної лінзи так, як показано на рисунку 4.6. Знайти побудовою зображення предмета.
- 4.186. Фокусна відстань об'єктива телескопа 1 м. Телескоп спочатку наводять на будинок, що знаходиться на відстані 1 км, потім на Місяць. В якому напрямку і на скільки потрібно пересунути окуляр, щоб отримати чітке зображення Місяця?
- 4.187. Яка довжина зорової труби, об'єктивом і окуляром якої є тонкі лінзи з фокусними відстанями відповідно 25 і 8 см, якщо предмет, який роздивляються, знаходиться дуже далеко?

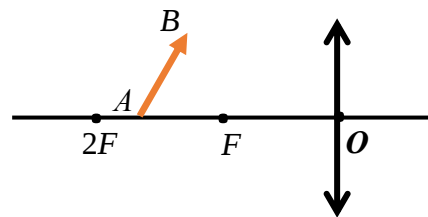


Рис. 4.6

- 4.188. Оптична сила об'єктива телескопа 0,5 дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення в 10 разів. Яке збільшення дає телескоп?

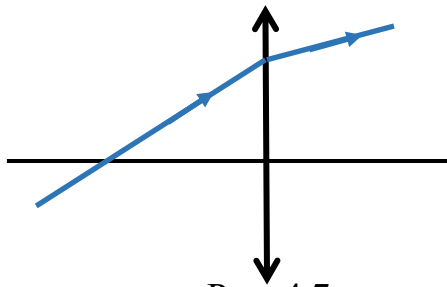


Рис. 4.7

- 4.189. На рисунку 4.7 показаний хід променя крізь збиральну лінзу. Визначити побудовою положення фокусів лінзи .
- 4.190. Під яким кутом до горизонту плавець, що пірнув у воду, побачить захід Сонця? Сонце на рівні горизонту.
- 4.191. Два малих плоских дзеркала розміщені на однаковій відстані одне від одного і точкового джерела світла. Яким має бути кут між дзеркалами, якщо після двох відбивань промінь іде в напрямку джерела?
- 4.192. Монохроматичний промінь входить крізь грань прямокутної рівнобічної призми і зазнавши повне внутрішнє відбиття від грані, що відповідає гіпотенузі, виходить крізь грань, що відповідає другому катету. Яким має бути найменший кут падіння променя на призму, щоб ще відбувалось повне відбивання, якщо показник заломлення матеріалу призми для цього променя 1,5?
- 4.193. Три лінзи з оптичними силами +10 дптр, -10 дптр і +10 дптр, що розміщені у вказаному порядку, створюють центровану систему, яка знаходиться у повітрі. Визначити величину фокусної відстані цієї системи, якщо: 1) відстані між лінзами 5 см, 2) лінзи прикладені щільно одна до одної.
- 4.194. Знайти збільшення, що дає лупа, фокусна відстань якої 2 см, для нормального і короткозорого ока з відстанню найкращого бачення 15 см.
- 4.195. Об'єктив мікроскопа має фокусну відстань 3 мм, а окуляр 50 мм. Відстань між об'єктивом та окуляром 135 мм, відстань від предмета до об'єктива 3,1 мм. Знайти збільшення мікроскопа.

- 4.196. Промінь світла падає на плоске дзеркало під кутом 20° . На який кут зміниться напрямок ходу променя після відбивання від плоского дзеркала, якщо дзеркало повернути на кут 10° у бік збільшення кута падіння?
- 4.197. Промінь відбивається двічі від двох непаралельних дзеркал, кут між якими 15° . На який кут зміниться напрямок ходу променя?
- 4.198. Плоско-опукла лінза з радіусом кривини $0,3$ м і показником заломлення $1,5$ дає зображення предмета з лінійним збільшенням, що дорівнює 2 . Знайти відстань від предмета до лінзи.
- 4.199. За заданими положеннями тіла S , його зображення S' і головної оптичної осі OO' (рис. 4.8(*а*, *б*)) визначити побудовою положення оптичного центра лінзи та її фокусів для обох випадків.

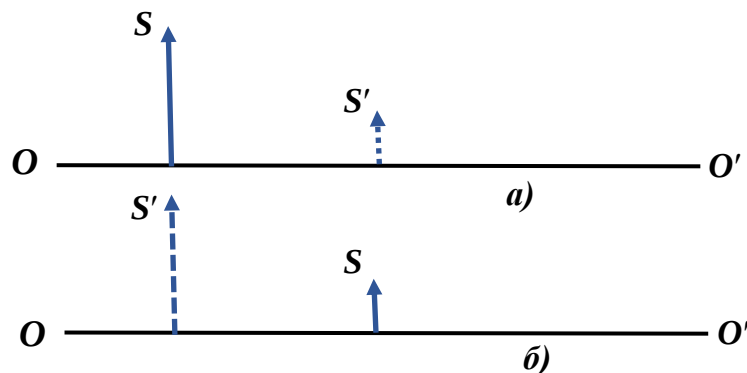


Рис. 4.8

- 4.200. Два дзеркала утворюють двогранний кут. На одне з дзеркал падає промінь, що лежить у площині, перпендикулярній до ребра двогранного кута. Довести, що кут відхилення цього променя від початкового напрямку після відбиття від обох дзеркал не залежить від кута падіння.
- 4.201. Визначити оптичну силу двоопуклої лінзи з радіусами кривини $0,2$ м і $0,1$ м. Оцінити похибку, яка виникає при розрахунку оптичної сили за формулою тонкої лінзи, якщо товщина лінзи 10 мм. Показник заломлення матеріалу лінзи $1,5$.

- 4.202. На рисунку 4.9 показано положення предмета AB та його зображення $A'B'$ у деякій лінзі. Визначити побудовою тип лінзи, положення площини лінзи та її фокусів.

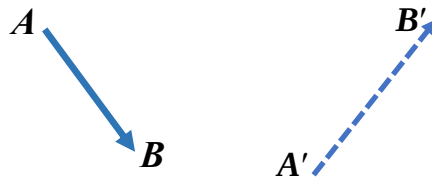


Рис. 4.9

- 4.203. Зорова труба має фокусну відстань об'єктива 50 см і фокусну відстань окуляра 10 см. Яким буде кут, під яким у трубу видно два віддалених предмети, якщо при спостереганні неозброєним оком цей кут дорівнює $30''$? Труба встановлена на нескінченність.
- 4.204. Промінь світла падає під кутом i на тіло з показником заломлення n . Як мають бути пов'язані між собою i та n , щоб відбитий промінь був перпендикулярний до заломленого?
- 4.205. Коли промінь йшов з першого середовища в друге, кут падіння дорівнював 60° , а кут заломлення 45° . Коли промінь йшов з першого середовища в третє, кут падіння був 60° , а кут заломлення 30° . Коли промінь йшов з другого середовища в третє, кут падіння був 60° , а кут заломлення β . Визначити β .
- 4.206. Визначити показник заломлення і швидкість розповсюдження світла в скипидарі, якщо відомо, що куту падіння світла на границю повітря-скипидар 45° відповідає кут заломлення 30° .
- 4.207. Показник заломлення на межі повітря-скло 1,5, а показник заломлення на межі повітря-вода 1,3. Чому дорівнює показник заломлення на межі вода-скло?
- 4.208. Промінь світла переходить зі скла у воду. Кут падіння променя на межу поділу між водою і склом 30° . Визначити кут заломлення. При якому найменшому значенні кута падіння промінь повністю відіб'ється?
- 4.209. У системі вода-повітря граничний кут повного відбивання 49° , а у системі скло-повітря він дорівнює 42° . Знайти граничний кут повного відбивання для системи скло-вода.

- 4.210. Показник заломлення скла 1,5. Знайти граничні кути повного відбивання для поверхонь поділу: а) скло-повітря; б) вода-повітря; в) скло-вода.
- 4.211. Промінь світла виходить із скипидару у повітря. Граничний кут повного відбивання для цього променя 45° . Чому дорівнює швидкість розповсюдження світла в скипидарі?
- 4.212. Показники заломлення скла для червоного і фіолетового променів дорівнюють відповідно 1,51 і 1,53. Знайти граничні кути повного відбивання при падінні цих променів на межу скло-повітря.
- 4.213. Показник заломлення матеріалу призми для деякого монохроматичного променя 1,6. Яким має бути найбільший кут падіння цього променя на призму, щоб при виході променя з неї не відбулося повне внутрішнє відбивання? Кут заломлення призми 45° .
- 4.214. Пучок світла поширюється вздовж бокової грані рівнобедреної призми. При якому граничному куті заломлення призми промені зазнають повного відбивання на другій боковій грані? Показник заломлення матеріалу призми для цих променів 1,6.
- 4.215. Висота Сонця над горизонтом 20° . За допомогою дзеркала на воду озера спрямували світлову пляму. Під яким кутом до горизонту потрібно нахилити дзеркало, щоб промінь у воді йшов під кутом 40° до вертикалі? Показник заломлення води 1,32.
- 4.216. Горизонтальний промінь світла падає на вертикально розміщене дзеркало. Дзеркало повертається на кут α навколо вертикальної осі. На який кут повернеться відбитий промінь?
- 4.217. Якої найменшої висоти має бути плоске дзеркало, що прикріплене вертикально на стіні, щоб людина могла бачити своє відображення у весь зріст, не змінюючи положення голови? На якій відстані від підлоги має бути нижній край дзеркала? Зріст людини 1,7 м.

- 4.218. Промінь світла, відбитий від дзеркальця гальванометра, падає на шкалу, яка розміщена на відстані 1,5 м від дзеркальця перпендикулярно до напрямку падаючого променя. При пропусканні струму крізь гальванометр дзеркальце повернулось, причому світлова пляма на шкалі перемістилась на 2 см. Визначити кут повороту дзеркальця.
- 4.219. Промінь світла, напрямлений горизонтально, падає на вертикально розміщений екран. Коли на шляху променя помістили невеличке дзеркало, то світлова пляма на екрані змістилась вгору на 3,5 см. Визначити кут падіння променя на дзеркальце, якщо відстань від дзеркальця до екрана 50 см.
- 4.220. Два плоских дзеркала поставлені під кутом одне до одного і між ними розміщене точкове джерело світла. Зображення джерела в першому дзеркалі знаходиться на відстані 6 см, а в другому на відстані 8 см від джерела. Відстань між зображеннями дорівнює 10 см. Визначити кут між дзеркалами.
- 4.221. Плоску скляну пластину товщиною 3 мм роздивляються в мікроскоп. Спочатку мікроскоп встановлюють для спостереження верхньої поверхні пластини, а потім зміщують тубус мікроскопа вниз до тих пір, поки не буде чітко видно нижню поверхню пластини (для зручності спостерігання на поверхнях пластини зроблені мітки). Зміщення тубуса 2 мм. Знайти показник заломлення пластини.
- 4.222. Вузький паралельний пучок світла падає на плоско-паралельну скляну пластину під кутом 60° . Пучок, що вийшов з пластини, виявився зміщеним відносно продовження падаючого пучка на відстань 2 см. Яка товщина пластини, якщо показник заломлення скла 1,7?
- 4.223. На плоско-паралельну скляну пластину товщиною 1 см падає промінь світла під кутом 60° . Показник заломлення скла 1,73. Частина світла відбивається, а частина, заломлюючись, проходить у скло, відбивається від нижньої поверхні пластини і, заломлюючись вдруге, виходить назад у повітря паралельно

першому відбитому променю. Визначити відстань між променями.

- 4.224. На яку відстань зміститься промінь, що проходить крізь плоско-паралельну пластину, якщо товщина її d , показник заломлення n , а кут падіння променя i ? Чи може зміщення променя бути більше товщини пластинки?
- 4.225. Пучок паралельних променів падає на товсту скляну пластину під кутом 60° і, заломлюючись, переходить у скло. Ширина пучка у повітрі 10 см. Визначити ширину пучка у склі.
- 4.226. Кут заломлення призми 30° . Промінь світла падає на бічну грань призми перпендикулярно до її поверхні і виходить у повітря з другої бічної грані, відхиляючись на кут 20° від початкового напрямку. Визначити показник заломлення матеріалу призми.
- 4.227. На бічну грань призми із кутом заломлення 60° падає промінь світла під кутом 45° . Знайти кут заломлення променя при виході з призми і кут відхилення променя від початкового напрямку, якщо показник заломлення призми 1,6.
- 4.228. У воду помістили прямокутний скляний клин (рис. 4.10). Показник заломлення скла 1,5. При яких значеннях кута α світло, що падає нормально на грань АВ, повністю досягне грані АС?
- 4.229. При яких значеннях показника заломлення прямокутної призми можливий хід променя, що зображений на рисунку 4.11? Переріз призми – рівнобедрений трикутник; промінь падає на грань АВ нормально.

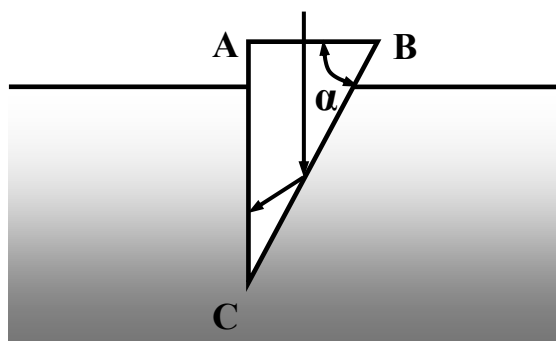


Рис. 4.10

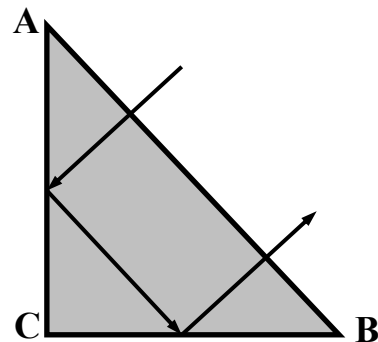


Рис. 4.11

- 4.230. Промінь, що падає на грань призми, виходить після заломлення через суміжну грань. Яке максимально допустиме значення кута заломлення призми, якщо вона зроблена з льоду?
- 4.231. Промінь світла виходить із призми під тим самим кутом, під яким входить у неї. Знайти показник заломлення матеріалу призми, якщо кут заломлення призми 45° , а кут відхилення променя від початкового напрямку 30° .
- 4.232. За допомогою збиральної лінзи отримано зменшене дійсне зображення предмета на екрані. Розмір предмета 6 см, розмір зображення 3 см. Залишаючи предмет і екран нерухомими, переміщують лінзу в бік предмета і отримують на екрані друге чітке зображення предмета. Визначити його величину.
- 4.233. При фотографуванні автомобіля довжиною 4 м, плівку розмістили від об'єктива на відстані 60 мм. З якої відстані фотографували автомобіль, якщо довжина його зображення 32 мм?
- 4.234. Зображення міліметрової поділки шкали, що розміщена перед лінзою на відстані 12,5 см, має на екрані довжину 8 см. На якій відстані від лінзи встановлений екран?
- 4.235. На рисунку 4.12 зображено хід променя крізь тонку розсіювальну лінзу. Знайти за допомогою побудови фокуси лінзи.
- 4.236. Побудувати зображення відрізка AB (рис. 4.13), паралельного головній оптичній осі лінзи.

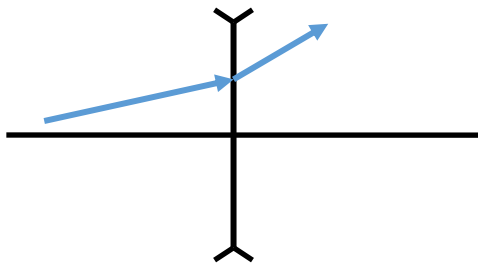


Рис. 4.12

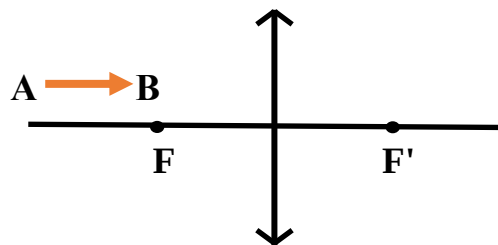


Рис. 4.13

- 4.237. За допомогою фотоапарата, розмір кадру якого $24 \text{ мм} \times 36 \text{ мм}$ і фокусна відстань об'єктива 50 мм, фотографують людину, яка стоїть. Її зріст 1,8 м. На якій мінімальній відстані від

- людини потрібно встановити апарат, щоб сфотографувати її у весь зріст?
- 4.238. Точка знаходиться на головній оптичній осі збиральної лінзи. Фокусна відстань лінзи 20 см, а відстань між лінзою і точкою 15 см. Де знаходиться зображення цієї точки?
- 4.239. Джерело світла розміщене на подвійній фокусній відстані від збиральної лінзи на її осі. За лінзою перпендикулярно до головної оптичної осі, помістили плоске дзеркало. На якій відстані від лінзи має знаходитись дзеркало, щоб промені, відбиті від нього, пройшовши вдруге крізь лінзу, стали паралельними?
- 4.240. Лінза дає трикратне збільшення предмета, відстань якого до лінзи 10 см від її площини. Знайти фокусну відстань лінзи.
- 4.241. Відстань від предмета до збиральної лінзи в k разів менша її фокусної відстані. Знайти збільшення лінзи.
- 4.242. Лінза дає дійсне зображення предмета зі збільшенням 3. Як зміниться це число, якщо вдвічі зменшити оптичну силу лінзи?
- 4.243. Радіуси кривини поверхонь двоопуклої лінзи однакові та дорівнюють 50 см. Показник заломлення матеріалу лінзи 1,77. Знайти оптичну силу лінзи.
- 4.244. На відстані 15 см від двоопуклої лінзи, оптична сила якої дорівнює 10 дптр, поставлений, перпендикулярно до оптичної осі предмет висотою 2 см. Знайти положення і висоту зображення.
- 4.245. Двоопукла лінза, обмежена сферичними поверхнями з однаковими радіусами кривини в 12 см, поставлена на таку відстань від предмета, що зображення на екрані в k разів більше ніж предмет. Визначити відстань від предмета до екрана, якщо: а) $k = 1$; б) $k = 20$; в) $k = 0,2$. Показник заломлення матеріалу лінзи 1,5.
- 4.246. Плоско-опукла лінза з радіусом кривини 30 см і показником заломлення 1,5 дає зображення предмета зі збільшенням, що дорівнює 2. Знайти відстань предмета і зображення від лінзи.

- 4.247. Лінза виготовлена зі скла, показник заломлення якого для червоних променів 1,50, а для фіолетових 1,52. Радіуси кривизни обох поверхонь лінзи однакові і дорівнюють 1 м. Визначити відстань між фокусами червоних і фіолетових променів.
- 4.248. Діаметр плоско-опуклої лінзи 10 см, товщина у центрі 1 см, товщину біля країв можна прийняти рівною нулю. Визначити фокусну відстань лінзи.
- 4.249. Якщо відстань предмета від лінзи 36 см, то висота зображення 5 см, якщо ж ця відстань 24 см, то висота зображення 10 см. Визначити фокусну відстань лінзи.
- 4.250. Фокусна відстань лінзи 20 см. Відстань предмета від лінзи 10 см. Визначити відстань від зображення до лінзи, якщо лінза: а) збиральна; б) розсіювальна.
- 4.251. Паралельний пучок променів, падаючи на розсіювальну лінзу з діаметром 6 см, дає на екрані, що розміщений на відстані 10 см від лінзи, світле коло діаметром 11 см. Визначити фокусну відстань лінзи.
- 4.252. На оптичній лаві розміщені дві збиральні лінзи з фокусними відстанями 12 см і 15 см. Відстань між лінзами 36 см. Предмет знаходиться на відстані 48 см від першої лінзи. На якій відстані від другої лінзи буде зображення предмета?
- 4.253. Збиральну лінзу щільно приклали до розсіювальної і отриману систему лінз помістили на оптичну лаву між лампочкою та екраном. Визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи, якщо відстань від предмета до системи лінз 60 см, а від системи лінз до екрана 40 см. Фокусна відстань збиральної лінзи 8 см.
- 4.254. Плоско-опукла лінза з фокусною відстанню 30 см і плоско-увігнута лінза з фокусною відстанню 10 см, складені щільно. На відстані 60 см, від системи лінз поставили предмет. На якій відстані від системи лінз буде зображення предмета? Дати побудову зображення з дотриманням масштабу.

- 4.255. На збиральну лінзу з фокусною відстанню 40 см падає паралельний пучок променів. Де потрібно помістити розсіювальну лінзу з фокусною відстанню 15 см, щоб пучок променів після проходження двох лінз залишився паралельним?
- 4.256. Оптична система складається з двох збиральних лінз з фокусними відстанями 20 см і 10 см. Відстань між лінзами 30 см. Предмет знаходиться на відстані 30 см від першої лінзи. На якій відстані від другої лінзи отримаємо зображення?
- 4.257. Побудуйте зображення предмета, яке дає: а) збиральна лінза з фокусною відстанню $1,5a$; б) система з двох збиральних лінз з фокусними відстанями $1,5a$ і $0,5a$, де a – відстань між лінзами. Визначити положення фокусів системи. Предмет знаходиться на відстані $10a$ від першої лінзи.
- 4.258. Збиральні лінзи с фокусними відстанями 30 см знаходяться на відстані 15 см. Знайдіть, при яких положеннях предмета система дає дійсне зображення.
- 4.259. Лінзи 1 та 2 зроблені зі скла одного сорту. Знайти оптичну силу лінзи 2, знаючи, що лінза 1 має оптичну силу 3 дптр (рис. 4.14).
- 4.260. Зі скляної пластинки були виготовлені три лінзи (рис. 4.15). При цьому виявилось, що оптична сила системи (1,2) дорівнює -2 дптр, а оптична сила системи (2,3) дорівнює -3 дптр. Знайти оптичну силу лінзи 2.

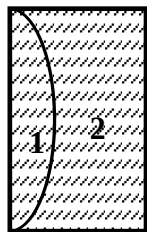


Рис. 4.14

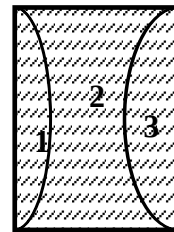


Рис. 4.15

- 4.261. Лінзи з оптичними силами 4 дптр та 5 дптр знаходяться на відстані 0,9 м одна від одної. Де знаходиться зображення предмета, що розміщений на відстані 0,5 м перед першою лінзою?

- 4.262. Промінь білого світла падає на бічну поверхню рівнобедреної призми так, що червоний промінь виходить з призми перпендикулярно до другої грані. Знайти відхилення червоного і фіолетового променів від початкового напрямку, якщо кут заломлення призми дорівнює 45° . Показники заломлення матеріалу призми для червоного і фіолетового променів відповідно 1,37 і 1,42.
- 4.263. Знайти поздовжню хроматичну аберацію двоопуклої лінзи з флінтгласу з однаковими радіусами кривини 8 см. Показники заломлення флінтгласу для червоного, довжина хвилі якого 760 нм і фіолетового, довжина хвилі якого 430 нм променів дорівнює відповідно 1,5 і 1,8.
- 4.264. Знайти фокусні відстані для червоних, жовтих, фіолетових променів, а також поздовжню хроматичну аберацію (найбільшу різницю фокусних відстаней для крайніх повздовжніх видимих променів) двоопуклої лінзи з радіусами кривини 981,4 мм, зробленої зі скла з такими показниками заломлення:

Колір світла	λ , нм	n
червоний	760	1,48
жовтий	570	1,49
фіолетовий	430	1,5

- 4.265. При виготовленні об'єктива фотокамери з двома лінзами, конструктор використав розсіювальну лінзу з фокусною відстанню 5 см, помістивши її на відстані 45 см від плівки. Де необхідно помістити збиральну лінзу з фокусною відстанню 8 см, щоб на плівці було чітке зображення віддалених предметів?
- 4.266. Потрібно виготовити фотографічним шляхом шкалу, розділену на десяті долі міліметра. На якій відстані від об'єктива потрібно розмістити десяти міліметрову шкалу, щоб на знімку вона була зменшена в 10 разів, якщо фокусна відстань об'єктива 5 см?

- 4.267. При найбільшому віддаленні об'єктива від плівки фотоапарат дає чіткі знімки предметів, що знаходяться на відстані 1,3 м від об'єктива. З якої найменшої відстані можна буде отримати чіткі знімки, якщо на об'єктив насадити збиральну лінзу з оптичною силою 2 дптр?
- 4.268. Зображення предмета на матовому склі фотоапарата з відстані 15 м вийшло висотою 30 мм, а з відстані 9 мм – висотою 51 мм. Знайти фокусну відстань об'єктива.
- 4.269. Найближча точка, на яку може бути сфокусований фотоапарат, знаходиться на відстані 2 м від об'єктива. Куди переміститься ця точка, якщо до об'єктива щільно прикласти тонку збиральну лінзу з оптичною силою +5 дптр?
- 4.270. Фотоапаратом, об'єктив якого має фокусну відстань 50 мм, а розмір кадру 24×35 мм, фотографують креслення розміром 480×600 мм. З якої відстані потрібно проводити зйомку, щоб отримати максимальний розмір зображення? Яка частина кадру (по площі) буде зайнята зображенням?
- 4.271. Визначити головну фокусну відстань і оптичну силу окулярів, які позбавляють далекозоре око недоліків, якщо відстань найкращого бачення для такого ока дорівнює 50 см?
- 4.272. На якій максимальній відстані короткозора людина може читати без окулярів дрібний шрифт, якщо звичайно вона користується окулярами з оптичною силою 4 дптр?
- 4.273. Визначити, наскільки може змінюватись фокусна відстань нормального ока, якщо його оптична сила змінюється від 58 до 70 дптр.
- 4.274. Відстань найкращого бачення для короткозорого ока дорівнює 9 см. Які потрібні окуляри, щоб наблизити зір до норми?
- 4.275. Проекційний апарат, об'єктив якого має фокусну відстань, встановлений на відстані від екрана. У скільки разів зміниться розмір зображення, якщо до об'єктива притиснути додаткову збиральну лінзу з фокусною відстанню.

- 4.276. Фотозбільшувач є вертикально розміщеним проєкційним апаратом. Фокусна відстань об'єктива збільшувача 5 см. На якій висоті над столиком, на якому лежить фотопапір, має знаходитись об'єктив, щоб зображення негатива було збільшено у сім разів?
- 4.277. Лінзу з оптичною силою 50 дптр використовують в якості лупи. Яке збільшення вона може дати, якщо око акомодовано на відстань найкращого бачення?
- 4.278. Знайти збільшення, яке дає лупа, фокусна відстань якої дорівнює 2 см: а) для нормального ока з відстанню найкращого бачення 25 см; б) для короткозорого ока з відстанню найкращого бачення 15 см?
- 4.279. Визначити фокусну відстань лупи, яка дає для нормального ока 12-ти кратне збільшення, якщо око акомодовано на нескінченність. Як зміниться збільшення, якщо цією лупою користується короткозора людина без окулярів?
- 4.280. Визначити збільшення мікроскопа, якщо головна фокусна відстань об'єктива 4,0 мм, головна фокусна відстань окуляра 15 мм і довжина тубуса 12 см.
- 4.281. Мікроскоп має об'єктив з фокусною відстанню 1 см і окуляр з фокусною відстанню 3 см, відстань між ними 20 см. На якій відстані від предмета має знаходитись об'єктив, щоб зображення вийшло на відстані 25 см від ока?
- 4.282. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа 0,5 см; відстань між лінзою об'єктива і лінзою окуляра 16 см. Збільшення мікроскопа для нормального ока 200. Знайти збільшення

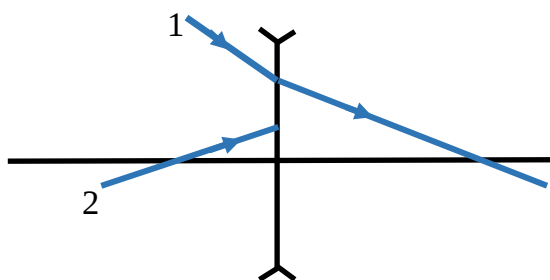


Рис. 4.16

окуляра, прийнявши відстань найкращого бачення для нормального ока 25 см.

4.283. На рисунку 4.16 показаний хід променя 1 та напромак падіння променя 2 на розсіювальну лінзу. Визначити побудовою хід променя 2 після проходження лінзи.

- 4.284. Фокусна відстань окуляра мікроскопа 4 см. Відстань між об'єктивом і окуляром 16 см. Збільшення мікроскопа 300. Знайти фокусну відстань об'єктива мікроскопа.
- 4.285. Яке збільшення мікроскопа, фокусні відстані об'єктива і окуляра якого дорівнюють відповідно 8 мм і 5 см, а відстань від лінзи об'єктива до лінзи окуляра 21 см?
- 4.286. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа 3 мм, окуляра 5 см. Предмет лежить від об'єктива на відстані 3,1 мм. Знайти збільшення для нормального ока і відстань між лінзами.
- 4.287. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа 4 мм, а окуляра 2,5 см. Предмет знаходиться на відстані 0,2 мм від фокуса об'єктива: а) яка довжина тубуса мікроскопа; б) яке збільшення цього мікроскопа?
- 4.288. Предмет лежить на відстані 6,1 мм від об'єктива мікроскопа. Фокусна відстань окуляра 1,25 см. Знайти фокусну відстань об'єктива, якщо мікроскоп дає збільшення 1200 разів.
- 4.289. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа 8 мм, окуляра 4 см. Предмет знаходиться на 0,5 мм далі від об'єктива, ніж фокус. Визначити збільшення мікроскопа.
- 4.290. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа 1 см, окуляра 2 см. Відстань від об'єктива до окуляра 23 см. Яке збільшення дає мікроскоп? На якій відстані від об'єктива знаходиться предмет?
- 4.291. Оптична сила об'єктива телескопа 0,5 дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення у 10 разів. Яке збільшення дає телескоп?
- 4.292. Зорова труба з фокусною відстанню об'єктива 50 см встановлена на нескінченність. На яку відстань потрібно перемістити окуляр труби, щоб чітко бачити предмети на відстані 50 м?
- 4.293. Телескоп має об'єктив з фокусною відстанню 150 см і окуляр з фокусною відстанню 10 см. Під яким кутом зору видно предмети, віддалені від об'єктива на відстань 6 м? На яку відстань перемістили окуляр?

ГЛАВА 5. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ ТА ФІЗИКИ ЯДРА

5.1. Коротка теоретична довідка

Квантова оптика

- Випромінюваність (інтегральна випромінювальна здатність) $R(T)$ – це енергія W , що випромінюється тілом з одиниці поверхні за одиницю часу у всьому інтервалі довжин хвиль λ від 0 до ∞ .

$$R(T) = \frac{W}{S \cdot t} = \frac{P}{S},$$

де $P=W/t$ – потужність випромінювання.

- Спектральна випромінювальна здатність $r(\lambda, T)$ чисельно дорівнює енергії, яка випромінюється тілом з одиниці поверхні тіла за одиницю часу в інтервалі довжин хвиль від λ до $\lambda+d\lambda$, віднесена до величини інтервалу $d\lambda$

$$r(\lambda, T) = \frac{dW_{\lambda, \lambda+d\lambda}}{d\lambda}.$$

- Зв'язок випромінюваності та спектральної випромінювальної здатності

$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\lambda, T) d\lambda$$

- Спектральна поглинальна здатність $a(\lambda, T)$

$$a(\lambda, T) = \frac{dW_{\text{пог}, \lambda}}{dW_{\lambda}},$$

де $dW_{\text{пог}, \lambda}$ – енергія, що поглинається одиницею поверхні тіла за одиницю часу в інтервалі довжин хвиль від λ до $\lambda+d\lambda$; dW_{λ} – енергія, що падає на одиницю поверхні тіла за одиницю часу в тому ж самому інтервалі довжин хвиль.

- Спектральна поглинальна здатність

- а) абсолютно чорного тіла (АЧТ) $a_{\text{АЧТ}}(\lambda, T) = 1$;
 а) сірого тіла $a_c(\lambda, T) < 1$; $a_c(\lambda, T) = \text{const} = \varepsilon$; при $T = \text{const}$.

➤ Закон Кірхгофа

$$\frac{r(\lambda, T_1)}{a(\lambda, T_1)} = \frac{r(\lambda, T_2)}{a(\lambda, T_2)} = \dots = r_{\text{АЧТ}}(\lambda, T),$$

де $r_{\text{АЧТ}}(\lambda, T)$ – спектральна випромінювальна здатність АЧТ.

➤ Закон Стефана – Больцмана

- а) для АЧТ $R_{\text{АЧТ}}(T) = \sigma T^4$,
 де σ – стала Стефана – Больцмана; T – абсолютна температура.
 б) для сірих тіл $R(T) = \varepsilon \sigma T^4$.

➤ Закон зміщення Віна

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

де λ_{max} – довжина хвилі, яка відповідає максимальному значенню спектральної випромінювальної здатності АЧТ; $b = 2,829 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – стала Віна; T – абсолютна температура.

➤ Гіпотеза Планка про квантування енергії (енергія фотона)

$$W = h\nu,$$

де h – стала Планка; ν – частота випромінювання світла.

➤ Формула Планка для спектру АЧТ

$$r_{\text{АЧТ}}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1},$$

де c – швидкість світла у вакуумі; k – стала Больцмана.

➤ Аналогічна формула Планка для спектральної випромінювальної здатності існує і по частотам

$$r_{\text{АЧТ}}(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

➤ Імпульс p та маса m фотона

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

- Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту

$$h\nu = A_{\text{вих}} + \frac{m\nu_{\text{max}}^2}{2},$$

де $A_{\text{вих}}$ – робота виходу електрона з металу; m – маса електрона; ν_{max} – максимальна швидкість фотоелектронів.

- Червона межа фотоефекту

$$\nu_{\text{чер}} = \frac{A_{\text{вих}}}{h} \quad \text{або} \quad \lambda_{\text{чер}} = \frac{hc}{A_{\text{вих}}}.$$

- Тиск світла при нормальному падінні на поверхню

$$p = \frac{W}{c}(1 + \rho) = \frac{N h \nu}{c}(1 + \rho),$$

де W – енергія всіх фотонів, які падають на одиницю поверхні за одиницю часу; ρ – коефіцієнт відбивання світла від поверхні ($\rho = 0$ для абсолютно чорної поверхні; $\rho = 1$ для ідеально дзеркальної поверхні).

- Формула Комптона для зміни довжини хвилі рентгенівських або гамма-променів при їхньому розсіюванні на частинках з масою m_0

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta),$$

де λ' та λ – довжини розсіяної та падаючої хвиль випромінювання, відповідно; h – стала Планка; m_0 – маса спокою частинки; c – швидкість світла у вакуумі; θ – кут розсіювання.

- Комптонівська довжина хвилі електрона

$$\lambda_K = \frac{h}{m_e c} = 2,42621 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

- Довжина хвилі де Бройля

$$\lambda_d = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu},$$

де p – імпульс частинки; m – маса частинки; ν – її швидкість.

- Співвідношення невизначеностей Гейзенберга

а) для координати та імпульсу

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar;$$

де Δx – невизначеність координати частинки; Δp_x

– невизначеність імпульсу частинки; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

б) для енергії та часу існування частинки

$$\Delta W \cdot \Delta t \geq \hbar,$$

де ΔW – невизначеність енергії частинки; Δt – невизначеність часу перебування частинки в даному енергетичному стані.

Теорія атома

- Рівняння Шредінгера для стаціонарних станів

$$\Delta \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} (W - W_{\Pi}) = 0,$$

де $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа в декартових координатах;

$\Psi(x, y, z)$ – координатна частина хвильової функції, що описує стан частинки; m – маса частинки; W – повна енергія частинки; $W_{\Pi}(x, y, z)$ – потенціальна енергія частинки.

- Енергія частинки в одновимірній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками

$$W_{\Pi} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

де l – ширина потенціальної ями.

- Хвильова функція частинки в потенціальній ямі

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x,$$

- Коефіцієнт прозорості потенціального бар'єру

$$D = e^{-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - W)} \cdot l}$$

де m – маса частинки; U_0 – висота потенціального бар'єра; W – енергія частинки; l – ширина бар'єра.

- Правило відбору стаціонарних орбіт Бора (квантування орбітального моменту імпульсу електрона при його русі навколо ядра)

$$L_n = m v_n r_n = n \hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

де m – маса електрона; v_n – швидкість електрона на n -й борівській орбіті; r_n – радіус n -ї борівської орбіти.

- Правило частот Бора: частота випромінювання, яка відповідає переходу електрона з однієї орбіти на іншу

$$h\nu = W_m - W_n$$

де W_m , W_n – енергія електрона на m -ї та n -ї орбіті.

- Значення енергії електрона у стаціонарних станах в атомі водню

$$W_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \frac{1}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

де e – заряд електрона; ϵ_0 – електрична стала; n – номер енергетичного рівня або головне квантове число може приймати цілочисельні значення починаючи з одиниці.

- Стала Рідберга

$$R = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

- Значення енергії електрона у стаціонарних станах для воднеподібних атомів

$$W_n = -Z^2 R h \frac{1}{n^2},$$

де Z – порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва

- Радіус стаціонарних орбіт

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- Комбінаційний принцип Рідберга – Рітца для визначення частот всіх серій випромінювання атома водню

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R c \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

де R – стала Рідберга; n і m – номери орбіт. Підставляючи в формулу $n = 1$ і $m = 2, 3, 4, \dots$ – отримаємо групу ліній спектра випромінювання, яка називається серією Лаймана (ультрафіолетовий спектр), якщо $n = 2, m = 3, 4, 5, \dots$ – серією Бальмера (видиме світло), якщо $n = 3, m = 4, 5, 6, \dots$ – серією Пашена (інфрачервоний спектр).

- Квантові числа та їх фізичний зміст
 - а) головне квантове число: значення числа $n = 1; 2; 3; 4; \dots$. Визначає енергію електрона в атомі та атомну оболонку;
 - б) орбітальне квантове число: значення числа: $l = 0; 1; 2; \dots; (n - 1)$. Визначає величини модулів механічного та магнітного моментів орбітального руху електрона та атомну підоболонку;
 - в) магнітне квантове число: значення числа: $m_l = l; -(l - 1); \dots; 0; 1; \dots; (l - 1); l$. Всього приймає $2l + 1$ значення. Визначає проекцію механічного та магнітного моментів орбітального руху електрона на виділений в просторі напрям;
 - г) спінове квантове число: значення числа: $m_s = +1/2; -1/2$. Визначає проекції власних механічного та магнітного моментів руху електрона на виділений в просторі напрям.
- Сукупність електронів у багатоелектронному атомі, які мають одне і те ж головне квантове число, називають електронною оболонкою. Електронні оболонки, починаючи від $n = 1$, позначаються великими літерами латинського алфавіту: $K, L, M, N, O, P \dots$.
У кожній із оболонок багатоелектронного атома, електрони розподіляються по підоболонках, які відповідають даному l . Підоболонки позначаються маленькими літерами латинського алфавіту: $s, p, d, f, g, \dots$

- Принцип Паулі (визначає специфіку статистики частинок з напівцілим спіном (ферміонів). Для електронів в атомах він сформулюється так: в квантових станах атома, які характеризуються набором всіх чотирьох квантових чисел, не може бути більше одного електрона.
- Формула Мозлі для ліній характеристичного рентгенівського спектру гальмівного випромінювання багатоелектронних атомів

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = (Z - \sigma_n)^2 R c \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

де σ_n – стала екранування.

Переходи електронів з вищих оболонок на оболонку K ($n = 1$), називаються K -серією; з вищих оболонок на оболонку L ($n = 2$) – L -серією. Перехід з оболонки L на оболонку K називаються K_α -лінією. Стала екранування для K -серії $\sigma_1 \approx 1$, для L -серії $\sigma_2 \approx 5,5$.

- Суцільний гальмівний рентгенівський спектр має короткохвильову межу, довжину хвилі якої (або частоту) визначає співвідношення

$$eU_{\Gamma} = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

де e – заряд електрона; U_{Γ} – напруга на рентгенівській трубці.

- Момент імпульсу (механічний орбітальний момент) електрона в атомі

$$L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$$

де l – орбітальне квантове число, яке при заданому n приймає значення $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$.

- Проекція вектора механічного орбітального моменту на виділений в просторі напрям зовнішніми полями

$$L_z = \hbar m_l,$$

де m_l – магнітне квантове число, яке при заданому l , приймає значення $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm l$.

Основи електроніки

- Розподіл Фермі – Дірака для кількості вільних електронів в одиниці об'єму металу, енергії яких лежать в інтервалі від W до $W+dW$

$$dn(W) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_e}{\hbar^2} \right)^{3/2} W^{1/2} dW.$$

- Енергія Фермі

$$W_F = \frac{\hbar^2}{2m_e} (3\pi^2 n)^{2/3},$$

де n – концентрація електронів у зоні провідності металі.

- Питома провідність власних напівпровідників

$$\gamma = \gamma_0 e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}$$

γ_0 – стала, яка характерна для даного напівпровідника; ΔW – ширина забороненої зони напівпровідника.

Ядро та ядерні процеси

- Масове число (число нуклонів в ядрі)

$$A = Z + N,$$

де Z – зарядове число (порядковий номер ізоотопу); N – кількість нейтронів в ядрі.

- Радіус ядра

$$R_{\text{я}} = R_0 (A)^{1/3},$$

де R_0 – стала величина, яку приймають рівною $(1,3 - 1,7) \cdot 10^{-15}$ м.

- Дефект маси ядра

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

де m_p – маса протона; m_n – маса нейтрона; $m_{\text{я}}$ – маса ядра ізоотопу.

- Енергія зв'язку ядра

$$W_{\text{зв}} = \Delta mc^2,$$

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

- Питома енергія зв'язку ядер

$$\varepsilon_{3B} = \frac{W_{3B}}{A}.$$

- Закон радіоактивного розпаду

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

де N – число ядер радіоактивного елемента, які не розпались на момент часу t ; N_0 – початкова кількість ядер радіоактивного елемента; λ – стала розпаду даного радіоактивного елемента.

- Стала радіоактивного розпаду

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}},$$

де $T_{1/2}$ – період напіврозпаду.

- Активність радіоактивного препарату

$$A = \frac{dN}{dt} = |\lambda N|$$

або

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

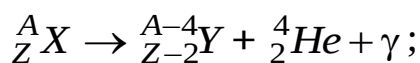
де dN – кількість ядер, що розпадеться за час dt , A_0 – початкова активність ізотопу.

- Середній час життя радіоактивного ядра

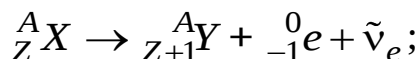
$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

- Правила зміщення при радіоактивних розпадах

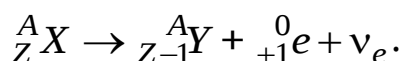
а) для α -розпаду



б) для β^- -розпаду



в) для β^+ -розпаду



де X – символ материнського ядра; Y – символ дочірнього ядра; ${}^4_2 He$ – ядро гелію (α -частинка); γ – гамма-випромінювання;

${}_{-1}^0e$ –електрон; $\tilde{\nu}_e$ – електронне антинейтрино; ${}_{+1}^0e$ – позитрон;
 ν_e – електронне нейтрино.

- Поглинання рентгенівських променів описується законом Бугера

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

де I – інтенсивність пучка променів, який пройшов через товщину x речовини; I_0 – інтенсивність пучка, який падає на речовину; μ – лінійний коефіцієнт поглинання речовини.

- Масовий коефіцієнт поглинання

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho},$$

де ρ – густина речовини.

- В усіх ядерних реакціях виконуються закони збереження:

- енергії;
- електричного заряду;
- числа нуклонів;
- імпульсу;
- моменту імпульсу;

- Енергія ядерної реакції

$$Q = c^2 (\Sigma m_1 - \Sigma m_2),$$

де Σm_1 – сума мас частинок до реакції; Σm_2 – сума мас частинок після реакції.

- Якщо $\Sigma m_1 > \Sigma m_2$ – то енергія вивільняється (реакція екзотермічна); Якщо $\Sigma m_1 < \Sigma m_2$ – то енергія поглинається (реакція ендотермічна).

5.2. Задачі до модуля «Основи квантової фізики та фізики ядра»

- 5.1. Муфельна піч має отвір площею 6 см^2 . Визначити довжину хвилі, на яку приходить максимум випромінювальної здатності для випромінювання, що виходить із цього отвору, якщо воно випромінює як абсолютно чорне тіло, а потік енергії становить 3 кДж/хв .
- 5.2. Абсолютно чорне тіло має температуру 2900 К . При охолодженні цього тіла довжина хвилі, на яку припадає максимум випромінювальної здатності, збільшилась на 9 мкм . До якої температури охолодилось тіло?
- 5.3. Вважаючи випромінювання Сонця сталим, визначити, за який час маса Сонця зменшиться удвічі. Температуру поверхні Сонця прийняти рівною 5800 К .
- 5.4. Яку потужність випромінює 1 см^2 поверхні свинцю при температурі кристалізації? Коефіцієнт сірості свинцю становить $0,6 \text{ см}^2$.
- 5.5. Визначити справжню температуру вольфрамової стрічки, якщо радіаційний пірометр показує температуру 2500 К . Поглинальна здатність вольфраму становить $0,35$.
- 5.6. Мідна куля діаметром 5 см перебуває у посудині з високим вакуумом, стінки якої підтримуються при температурі близькій до 0 К . Вважаючи поверхню кульки абсолютно чорною визначити, за який час її температура зменшиться від 300 К до 150 К .
- 5.7. Температура вольфрамової спіралі електричної лампочки потужністю 25 Вт становить 2450 К . Відношення випромінюваності спіралі до випромінюваності абсолютно чорного тіла при даній температурі становить $0,3$. Знайти величину випромінюючої поверхні спіралі.
- 5.8. Як і в скільки разів зміниться температура абсолютно чорного тіла, якщо максимум у спектрі випромінювання переміститься з довжини хвилі 1 мкм на довжину хвилі $0,5 \text{ мкм}$?

- 5.9. Знайти значення сонячної сталої, тобто потужність променистої енергії, що падає перпендикулярно на одиничну площадку на поверхні Землі. Температуру поверхні Сонця прийняти рівною 5800 К, випромінювання Сонця вважати близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла.
- 5.10. Абсолютно чорне тіло має температуру 300 К. Якою буде температура тіла, якщо в результаті нагрівання потік випромінювання збільшиться в 5 разів?
- 5.11. Потік випромінювання абсолютно чорного тіла 10 кВт, максимум енергії випромінювання приходить на довжину хвилі 0,8 мкм. Визначити площу випромінюючої поверхні.
- 5.12. Визначити коефіцієнт сірості тіла, для якого температура, виміряна радіаційним пірометром, становить 1400 К, а істинна температура тіла дорівнює 3200 К.
- 5.13. Муфельна піч, що споживає потужність 1 кВт, має отвір площею 100 см². Визначити частку потужності, що розсіюється через отвір печі, якщо температура її внутрішньої поверхні дорівнює 1000 К.
- 5.14. Середня енергетична світність поверхні Землі рівна 0,54 Дж/(см²·хв). Якою має бути температура поверхні Землі, якщо умовно вважати, що вона випромінює як сіре тіло з коефіцієнтом чорності 0,25?
- 5.15. Вважаючи, що атмосфера поглинає 10 % променистої енергії, яку посилає Сонце, знайти потужність, яку одержує від Сонця горизонтальна ділянка Землі площею 0,5 га. Висота Сонця над обрієм 30°. Випромінювання Сонця вважати близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла.
- 5.16. Температура поверхні тіла становить 1000 К. Потім одна половина цієї поверхні нагрівається на 100 К, інша охолоджується на 100 К. У скільки разів зміниться випромінюваність поверхні цього тіла?
- 5.17. Яку потужність необхідно підводити до зачорненої металевої кульки радіусом 2 см², щоб підтримати його температуру на 27 °С вище температури навколишнього середовища?

Температура навколишнього середовища $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вважати, що теплота втрачається тільки внаслідок випромінювання.

- 5.18. Абсолютно чорне тіло мало температуру 2000 K . У процесі нагрівання довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної випромінювальної здатності, зменшилась на 0.6 мкм . У скільки разів зросла випромінюваність тіла?
- 5.19. Знайти, на скільки зменшиться маса Сонця за рік внаслідок випромінювання. Температуру поверхні Сонця прийняти рівною 5800 K .
- 5.20. Розпечена металева поверхня площею 10 см^2 випромінює за 1 хв $4 \cdot 10^4\text{ Дж}$. Температура поверхні дорівнює 2500 K . Визначити енергетичну світність цієї поверхні, якби вона була абсолютно чорною? Який коефіцієнт відбивання поверхні тіла.
- 5.21. Визначити енергію, масу та імпульс фотона з довжиною хвилі $1,24\text{ нм}$.
- 5.22. На пластину падає монохроматичне світло довжиною хвилі $0,42\text{ мкм}$. Фотострум припиняється при затримуючій різниці потенціалів $0,95\text{ В}$. Визначити роботу виходу електрона з поверхні пластини.
- 5.23. На цинкову пластину падає пучок ультрафіолетових променів довжиною хвилі $0,2\text{ мкм}$. Визначити максимальну кінетичну енергію і максимальну швидкість фотоелектронів.
- 5.24. Точкове джерело потужністю 1 Вт випромінює світло з довжиною хвилі 589 нм . Визначити середню густину потоку фотонів на відстані 2 м від джерела і відстань, на якій у одному кубічному сантиметрі утримується один фотон.
- 5.25. Потік енергії, яка випромінюється електричною лампою, становить 600 Вт . На відстані 1 м від лампи перпендикулярно до падаючих променів, розташоване кругле плоске дзеркало діаметром 2 см . Визначити силу світлового тиску на дзеркало. Лампу розглядати як точковий ізотропний випромінювач.
- 5.26. Паралельний пучок монохроматичних променів з довжиною хвилі $0,663\text{ мкм}$ падає на зачорнену поверхню й чинить на неї

- тиск $0,3 \text{ мкПа}$. Визначити концентрацію фотонів у світловому пучку.
- 5.27. Визначити енергетичну освітленість дзеркальної поверхні, якщо тиск, що чиниться випромінюванням, становить 40 мкПа . Промені падають нормально до поверхні.
- 5.28. Визначити енергію, масу та імпульс фотона, якщо відповідна йому довжина хвилі становить $1,6 \text{ пм}$.
- 5.29. Тиск світла з довжиною хвилі 40 нм , що нормально падає на чорну поверхню, становить 2 нПа . Скільки фотонів падає за 10 с на площу 1 мм^2 цієї поверхні?
- 5.30. На відстані 5 м від точкового монохроматичного довжиною хвилі $0,5 \text{ мкм}$ ізотропного джерела розташована площадка 8 мм^2 перпендикулярно до падаючих променів. Визначити число фотонів, які щосекунди падають на площадку. Потужність випромінювання – 100 Вт .
- 5.31. Вважаючи Землю абсолютно чорним тілом, обчислити силу тиску сонячного випромінювання на земну кулю. Радіус Землі вважати рівним 6400 км .
- 5.32. На кожний 1 см^2 абсолютно чорної поверхні щосекунди падає $2,8 \cdot 10^{17}$ квантів випромінювання з довжиною хвилі 400 нм . Який тиск створює це випромінювання?
- 5.33. Ртутна дуга має потужність 125 Вт . Скільки квантів світла з довжиною хвилі 6123 Å випромінюється щосекунди? Інтенсивність цієї лінії складає 2% від інтенсивності ртутної дуги. Вважати, що 80% потужності йде на випромінювання.
- 5.34. З якою швидкістю має рухатися електрон, щоб його кінетична енергія дорівнювала енергії фотона з довжиною хвилі 5200 Å ?
- 5.35. З якою швидкістю має рухатися електрон, щоб його імпульс дорівнював імпульсу фотона з довжиною хвилі 5200 Å ?
- 5.36. Імпульс, який переноситься монохроматичним пучком фотонів через площадку 2 см^2 за час $0,5 \text{ хв}$, становить $3 \cdot 10^{-3} \text{ (г·см)/с}$. Визначити інтенсивність пучка світла.
- 5.37. Кванти світла з енергією $4,9 \text{ еВ}$ вибивають електрони з металу (робота виходу $4,5 \text{ еВ}$). Визначити максимальний імпульс, що

передається поверхні металу при вильоті кожного фотоелектрона.

- 5.38. При якій температурі кінетична енергія молекули двоатомного газу дорівнюватиме енергії фотона, довжина хвилі якого $5,89 \cdot 10^{-4}$ мм?
- 5.39. Фотон з енергією 10 еВ вибиває з поверхні срібла фотоелектрони. Визначити максимальну силу, яка діє на електрон. Рух електронів вважати рівноприскореним від нульової початкової швидкості за час дії хвильового пакета довжиною 0,1 м.
- 5.40. Червона межа фотоефекту для деякого металу дорівнює 2750 Å. Знайти роботу виходу електрона із цього металу, максимальну швидкість електронів, які вириваються із цього металу світлом з довжиною хвилі 1800 Å?
- 5.41. Знайти частоту світла, що вириває з поверхні металу електрони, які повністю затримуються негативним потенціалом 3 В. Фотоефект у цього металу починається при частоті падаючого світла $6 \cdot 10^{14}$ Гц.
- 5.42. Визначити сталу Планка, якщо відомо, що фотоелектрони, які вириваються із поверхні деякого металу світлом із частотою $2,2 \cdot 10^{15}$ Гц, повністю затримуються негативним потенціалом 6,6 В, а ті, які вириваються світлом з частотою $6 \cdot 10^{15}$ Гц потенціалом 16,5 В.
- 5.43. Червона межа фотоефекту для цинку 310 нм. Визначити максимальну кінетичну енергію фотоелектронів в електрон-вольтах, якщо на цезій падають промені з довжиною хвилі 200 нм.
- 5.44. Фотон з енергією 10 еВ падає на срібну пластину і викликає фотоефект. Визначити імпульс, отриманий пластиною, якщо прийняти, що напрямку руху фотона й фотоелектрона лежать на одній прямій, перпендикулярній поверхні пластин.
- 5.45. На поверхню металу падають монохроматичні промені довжиною хвилі 0,1 мкм. Червона межа фотоефекту 0,3 мкм.

- Яка частка енергії фотона витрачається на надання електрону кінетичної енергії?
- 5.46. Визначити кут розсіювання фотона на вільному електроні, якщо зміна довжини хвилі при розсіюванні 3,63 пм.
- 5.47. Фотон, енергія якого дорівнює енергії спокою електрона, розсіявся на вільному електроні на кут 120° . Визначити енергію розсіяного фотона та кінетичну енергію електрона віддачі (в одиницях m_0c^2).
- 5.48. Фотон при ефекті Комптона на вільному електроні був розсіяний на кут $\pi/2$. Визначити імпульс, якого набуває електрон, якщо енергія фотона до розсіювання була 0,51 MeV.
- 5.49. Рентгенівські промені з довжиною хвилі 1 нм розсіюються електронами, які можна вважати практично вільними. Визначити максимальну довжину хвилі рентгенівських променів у розсіяному пучку.
- 5.50. Яка частка енергії фотона приходить при ефекті Комптона на електрон віддачі, якщо розсіювання фотона відбувається на кут $\pi/2$. Енергія фотона до розсіювання 0,51 MeV.
- 5.51. Визначити максимальну зміну довжини хвилі при комптонівському розсіюванні світла на вільних електронах і вільних протонах.
- 5.52. Визначити кут розсіяння фотона, якщо при комптонівському розсіянні довжина хвилі збільшилась на 3,63 пм.
- 5.53. Фотон з початковою енергією 1,02 MeV розсіявся на вільному електроні під кутом 90° . Визначити імпульс, набутий електроном.
- 5.54. Рентгенівські промені з довжиною хвилі 1 пм розсіюються на вільних електронах. Визначити найбільшу довжину хвилі у розсіяному випромінюванні.
- 5.55. Фотон з довжиною хвилі 15 пм розсіявся на вільному електроні. Довжина хвилі розсіяного фотона 16 пм. Визначити кут розсіювання.

- 5.56. Фотон з енергією 0,51 MeV був розсіяний при ефекті Комптона на вільному електроні на кут 180° . Визначити кінетичну енергію електрона віддачі.
- 5.57. Визначити кут, на який був розсіяний γ -квант із енергією 1,53 MeV при ефекті Комптона, якщо кінетична енергія електрона віддачі 0,51 MeV .
- 5.58. Знайти довжину хвилі де Бройля для: електрона, що летить зі швидкістю 10^8 см/с; атома водню, що рухається зі швидкістю, що дорівнює середній квадратичній швидкості при температурі 300 K; кульки масою 1 г, що рухається зі швидкістю 1 см/с .
- 5.59. Знайти довжину хвилі де Бройля для електрона, кінетична енергія якого 10 keV, 1 MeV.
- 5.60. Заряджена частинка, прискорена різницею потенціалів 200 В, має довжину хвилі де Бройля, рівну 0,0202 Å. Знайти масу цієї частинки, якщо відомо, що її заряд дорівнює заряду електрона.
- 5.61. α -Частинка рухається по колу радіусом 0,83 см в однорідному магнітному полі, напруженість якого рівна 2500 А/м. Знайти довжину хвилі де Бройля для цієї α -частинки.
- 5.62. Знайти довжину хвилі де Бройля для атома водню, що рухається при температурі 20 °C з найбільш імовірною швидкістю.
- 5.63. Визначити енергію, яку необхідно додатково надати електрону, щоб його довжина хвилі де Бройля зменшилася з 0,2 мм до 0,1 нм.
- 5.64. Визначити найбільш ймовірну довжину хвилі де Бройля молекул азоту у повітрі за нормальних умов.
- 5.65. Якщо припустити, що невизначеність координати частинки, яка рухається, дорівнює довжині хвилі де Бройля, то якою буде відносна невизначеність імпульсу цієї частинки?
- 5.66. Протон має кінетичну енергію 1 keV. Визначити додаткову енергію, яку необхідно надати йому для того, щоб довжина хвилі де Бройля зменшилася втричі.
- 5.67. Визначити довжину хвилі де Бройля для частинки масою 1 мг, що рухається зі швидкістю 10 м/с. Чи потрібно враховувати в цьому випадку хвильові властивості частинки?

- 5.68. Обчислити довжину хвилі де Бройля електрона, який має кінетичною енергією 13,6 еВ (енергія іонізації атома водню). Порівняти отримане значення з діаметром атома водню.
- 5.69. Чи потрібно враховувати хвильові властивості електрона при вивченні руху електрона в атомі водню? Діаметр атома водню прийняти рівним подвоєному значенню борівського радіуса.
- 5.70. Електрон має кінетичну енергію 1,02 МеВ. У скільки разів зміниться довжина хвилі де Бройля, якщо кінетична енергія електрона зменшиться вдвічі?
- 5.71. Дві однакові нерелятивістські частинки рухаються перпендикулярно одна до одної, дебройлівські довжини хвиль становлять відповідно λ_1 і λ_2 . Визначити дебройлівські довжини хвиль у системі їх центра мас.
- 5.72. Кінетична енергія електрона дорівнює подвоєному значенню його енергії спокою. Обчислити довжину хвилі де Бройля для такого електрона.
- 5.73. Обчислити довжину хвилі де Бройля протона, який рухається зі швидкістю $0,6c$ (де c – швидкість світла у вакуумі).
- 5.74. Паралельний потік моноенергетичних електронів нормально падає на щілину шириною 1 мкм. На віддаленому на 1 м екрані спостерігається центральний дифракційний максимум шириною 1 мм. Визначити швидкість електронів.
- 5.75. Вузький пучок електронів з енергією 180 еВ падає нормально на поверхню монокристалу нікелю. Дифракційний максимум четвертого порядку спостерігається під кутом 1 рад до нормалі до поверхні. Визначити відстань між атомними площинами нікелю.
- 5.76. Пучок моноенергетичних електронів нормально падає на щілину шириною 10 мкм. Якою має бути енергія електронів, щоб на екрані, віддаленому від щілини на 1 м, спостерігалась дифракція Фраунгофера?
- 5.77. Оцінити швидкість атомів гелію, при якій можна спостерігати дифракцію на кристалічній решітці, відстань між атомними площинами якої становить 0,2 нм.

- 5.78. Використовуючи співвідношення невизначеностей, оцінити найменшу невизначеність швидкості електрона, якщо координата центра мас цієї частинки може бути встановлена з невизначеністю 0,01 мм.
- 5.79. Час життя збудженого ядра становить 1 нс, довжина хвилі випромінювання дорівнює 0,1 нм. З якою точністю може бути визначена енергія випромінювання?
- 5.80. Середній час життя атома у збудженому стані становить 1 нс. При переході у нормальний стан випромінюється фотон, середня довжина хвилі якого становить 600 нм. Оцінити ширину відповідної спектральної лінії.
- 5.81. Використовуючи співвідношення невизначеностей, оцінити ширину одновимірного потенціального ящика, в якому мінімальна енергія електрона дорівнює 10 еВ.
- 5.82. Імпульсний лазер на довжині хвилі 800 нм випромінює імпульси тривалістю 0,1 пс. З якою точністю можна визначити довжину хвилі випромінювання?
- 5.83. Електрон локалізований в області розміром 1 нм. Визначити відносну невизначеність його швидкості.
- 5.84. α -Частинка знаходиться в одновимірному потенціальному ящику. Використовуючи співвідношення невизначеностей, оцінити ширину ящика, якщо відомо, що мінімальна енергія α -частинки дорівнює 8 МеВ.
- 5.85. Електрон знаходиться в потенціальному ящику шириною 0,1 нм. Визначити в електрон-вольтах найменшу різницю енергетичних рівнів електрона.
- 5.86. Електрон перебуває у нескінченно глибокій одновимірній потенціальній ямі шириною l . Визначити ймовірність знаходження електрона у першій половині ями, якщо його енергія мінімальна.
- 5.87. Електрон перебуває в прямокутному потенціальному ящику з непроникними стінками. Ширина ящика 0,2 нм, енергія електрона 37,8 еВ. Визначити номер енергетичного рівня.

- 5.88. Частинка знаходиться в потенціальному ящику. Знайти відношення різниці сусідніх енергетичних рівнів до енергії частинки у випадках, якщо головне квантове число дорівнює: 2; 5; прямує до нескінченності.
- 5.89. В одновимірній потенціальній ямі шириною l з нескінченними стінками знаходиться один електрон. Визначити мінімальне значення повної енергії електрона в ямі.
- 5.90. Знайти енергетичний інтервал між двома сусідніми рівнями для електрона в металі, відстань між вузлами кристалічної решітки якого 0,5 мкм.
- 5.91. Нерелятивістський електрон налітає на потенціальний бар'єр висотою $W_{\text{п}}$ та шириною l . При яких товщинах бар'єра електрон з енергією $W > W_{\text{п}}$ не буде відбиватися від нього?
- 5.92. У сферичній порожнині відомого радіуса у стані з мінімальною енергією перебуває електрон. На основі співвідношення невизначеностей оцінити тиск електрона на стінки.
- 5.93. Ядро дейтерію (один протон плюс один нейтрон) має лише один енергетичний рівень 2,2 МеВ. Оцінити характерний розмір цього ядра.
- 5.94. На основі співвідношення невизначеностей оцінити мінімальну енергію протона у глибокій одновимірній потенціальній ямі шириною 0,2 нм.
- 5.95. Частинка у нескінченно глибокій одновимірній потенціальній ямі перебуває у стані з мінімальною енергією. Яка ймовірність знаходження частинки у крайній чверті ями?
- 5.96. За допомогою співвідношення невизначеностей оцінити мінімальну енергію електрона у атомі водню і відповідну ефективну відстань від ядра.
- 5.97. Знайти: радіуси перших трьох борівських електронних орбіт в атомі водню; швидкість електрона на них.
- 5.98. Знайти числове значення повної енергії електрона на першій борівській орбіті.
- 5.99. Знайти: період обертання електрона на першій борівській орбіті в атомі водню; його кутову швидкість.

- 5.100. Визначити найменшу та найбільшу довжину хвилі спектральних ліній водню у видимій частині спектра.
- 5.101. Знайти найбільшу довжину хвилі в ультрафіолетовій серії спектра водню. Яку найменшу швидкість повинні мати електрони, щоб при збудженні атомів водню ударами електронів з'явилася ця лінія?
- 5.102. Визначити потенціал іонізації атома водню.
- 5.103. Розрахувати перший потенціал збудження атома водню.
- 5.104. Яку найменшу енергію (в електрон-вольтах) повинні мати електрони, щоб при збудженні атомів водню ударами цих електронів з'явилися лінії всіх серій спектра водню? Яку найменшу швидкість повинні мати ці електрони?
- 5.105. Визначити період обертання електрона на другій борівській орбіті атома водню.
- 5.106. Визначити максимальну енергію фотона серії Бальмера в спектрі випромінювання атомарного водню.
- 5.107. В однозарядному іоні гелію електрон перейшов із третього енергетичного рівня на перший. Визначити довжину хвилі випромінювання іона гелію.
- 5.108. Електрон в атомі водню перебуває на третьому енергетичному рівні. Визначити потенціальну та повну енергію електрона. Відповідь виразити в електрон-вольтах.
- 5.109. Фотон вибиває з атома водню, який перебуває в основному стані, електрон з кінетичною енергією 10 еВ. Визначити енергію фотона.
- 5.110. В яких межах має лежати енергія електронів, які бомбардують атоми водню, щоб при збудженні атомів водню, їхній спектр мав тільки одну спектральну лінію?
- 5.111. Визначити потенціальну та кінетичну енергії електрона, який відповідає найменшому рівню енергії атома водню.
- 5.112. Атом водню, який перебуває в основному стані, поглинув квант світла з довжиною хвилі 102,6 нм. Визначити радіус орбіти збудженого електрона.
- 5.113. Визначити повну енергію електрона на другій борівській орбіті.

- 5.114. Фотон з енергією 15,5 еВ вибив електрон з атома водню, який знаходився в основному стані. Яку швидкість буде мати електрон удалині від ядра атома?
- 5.115. Які спектральні лінії з'являться при збудженні атомарного водню електронами з енергією 12,5 еВ?
- 5.116. Знайти границі серії Лаймана спектра атома водню.
- 5.117. На атом водню падає фотон і вибиває електрон з енергією 4,6 еВ. Яка енергія та частота падаючого фотона, якщо вибитий електрон перебував спочатку в 2р стані?
- 5.118. Електрон, пройшовши різницю потенціалів 4,9 В, зіштовхується з атомом ртуті та переводить його в перший збуджений стан. Яку довжину хвилі має фотон, що відповідає переходу атома ртуті в основний стан?
- 5.119. У скільки разів зміниться період обертання електрона в атомі водню, якщо при переході в основний стан атом випромінює фотон довжиною хвилі 97,5 нм?
- 5.120. В яких межах має лежати довжина хвилі монохроматичного світла, щоб при збудженні атомів водню квантами цього світла радіус орбіти електрона збільшився в 16 разів?
- 5.121. Якому атому може належати спостережувана в спектрі деяких зірок серія:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{(n+1/2)^2} \right).$$

- 5.122. Фотон головної лінії серії Лаймана іона гелію He^+ поглинається атомом водню в основному стані та іонізує його. Визначити кінетичну енергію, що одержить електрон.
- 5.123. Початково нерухомий атом водню випромінює фотон із частотою, яка відповідає головній лінії серії Лаймана. Яку швидкість набув атом після цього?
- 5.124. Визначити найменшу енергію, яку необхідно надати в основному стані тричі іонізованому атому берилію, щоб збудити повний його спектр.

- 5.125. Які лінії з'являться в спектрі атомарного водню, якщо його опромінювати ультрафіолетовим світлом довжиною хвилі 100 нм?
- 5.126. Яку швидкість набуде атом водню, якщо він випромінює фотон, що відповідає першій лінії серії Бальмера?
- 5.127. Визначити залежність моменту імпульсу електрона в атомі водню від головного квантового числа.
- 5.128. У випадку дослідження спектра атомарного водню оцінити мінімально можливу розділову здатність спектрального приладу, за допомогою якого можна розділити перші 20 ліній серії Лаймана.
- 5.129. Двічі іонізований атом літію випромінює фотон при переході електрона з першого збудженого стану в основний. Чи може такий фотон поглинатися атомами водню, які перебувають у стані $1s$?
- 5.130. Атомарний водень перебуває у рівноважному стані при температурі 1000 К. Користуючись розподілом Больцмана знайти відношення кількості атомів, що перебувають на першому і другому енергетичних рівнях.
- 5.131. Обчислити значення орбітального механічного моменту імпульсу електрона атома водню у d -стані. Які значення проекцій цього моменту на напрямок магнітного поля?
- 5.132. Чи буде атом водню поглинати випромінювання із хвильовим числом:
- $$a) \frac{1}{\lambda} = 3R; \quad б) \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{3}R; \quad в) \frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4}R?$$
- 5.133. Визначити значення орбітальних механічного й магнітного моментів електронів атома, що перебувають в p -стані. Які значення проекцій цих моментів на напрямок магнітного поля?
- 5.134. Визначити значення орбітальних механічного й магнітного моментів електронів атома, що перебуває в d -стані. Які значення проекцій цих моментів на напрямок магнітного поля?
- 5.135. Побудувати електронні оболонки атома кисню і записати значення квантових чисел для всіх його електронів.

- 5.136. Під якими кутами до напрямку магнітного поля може орієнтуватися орбітальний магнітний момент електрона, що перебуває в атомі в d -стані?
- 5.137. Під якими кутами до напрямку магнітного поля може орієнтуватися орбітальний магнітний момент електрона, що перебуває в атомі в p -стані?
- 5.138. Під якими кутами до напрямку магнітного поля може орієнтуватися орбітальний магнітний момент електрона, що перебуває в атомі в f -стані.
- 5.139. Обчислити за формулою Мозлі найбільшу довжину хвилі в K -серії характеристичних рентгенівських променів, якщо антикатод у трубці Рентгена молибденовий.
- 5.140. Яку найменшу різницю потенціалів потрібно прикласти до рентгенівської трубки, антикатод якої покритий сріблом, щоб з'явилися дві лінії L -серії спектра характеристичного рентгенівського випромінювання?
- 5.141. Чому дорівнює стала екранування для вольфраму, якщо при переході електрона в атомі вольфраму з M -шару на K -шар випромінюються рентгенівські промені довжиною хвилі $0,143 \text{ мкм}$?
- 5.142. Знайти найбільшу довжину хвилі K -серії характеристичного рентгенівського випромінювання платини.
- 5.143. Визначити енергію та імпульс кванта, що відповідає лінії $K\alpha$ у спектрі характеристичних рентгенівських променів марганцю.
- 5.144. Яку найменшу різницю потенціалів потрібно прикласти до рентгенівської трубки, антикатод якої покритий сріблом, щоб одержати всі лінії K -серії?
- 5.145. До електродів рентгенівської трубки прикладена різниця потенціалів 60 кВ . Найменша довжина хвилі рентгенівських променів, яку генерує ця трубка $0,194 \text{ \AA}$, Знайти на підставі цих даних сталу Планка.
- 5.146. Визначити короткохвильову границю неперервного рентгенівського спектра, якщо відомо, що зменшення

прикладеної до рентгенівської трубки напруги на 23 кВ збільшує шукану довжину хвилі вдвічі.

- 5.147. Найбільша довжина хвилі рентгенівського випромінювання К-серії деякого елемента $0,75 \text{ \AA}$. Визначити порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва.
- 5.148. Довжина хвилі γ -випромінювання радію рівна $0,016 \text{ \AA}$. Яку різницю потенціалів необхідно прикласти до рентгенівської трубки, щоб отримати промені із цією довжиною хвилі?
- 5.149. Температура підвищується від 300 до 310 К. У скільки разів зміниться при цьому провідність: а) метала, б) власного напівпровідника, ширина забороненої зони якого становить $0,3 \text{ eV}$?
- 5.150. Германієвий зразок нагрівають від 0°C до 20°C . Приймаючи ширину забороненої зони германію рівною $0,72 \text{ eV}$, визначити в скільки разів зросте його питома провідність.
- 5.151. Визначте ширину забороненої зони власного напівпровідника, якщо при температурах T_1 та T_2 ($T_2 > T_1$) його опори дорівнюють R_1 та R_2 , відповідно.
- 5.152. Визначити відносну кількість вільних електронів у металі при 0 К, енергія яких відрізняється від енергії Фермі не більш, ніж на $n \%$. Побудувати графік залежності цієї кількості від $n = 0,1..1 \%$.
- 5.153. Яка відносна кількість вільних електронів у металі при 0 К має кінетичну енергію, більшу за третину максимальної?
- 5.154. Скільки атомів полонію розпадається за добу з 1 млн. атомів?
- 5.155. Знайти число розпадів за 1 с 1 г радію.
- 5.156. Знайти масу радону, активність якого рівна 1 Кі.
- 5.157. Препарат урану масою 1 г випромінює за одну секунду 12400 α -частинок. Знайти період піврозпаду урану.
- 5.158. Знайти кількість полонію $^{210}_{84}\text{Po}$, активність якого дорівнює $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.
- 5.159. Знайти сталу розпаду радону, якщо відомо, що число атомів радону зменшується за добу на 18,2%.
- 5.160. Знайти питому активність: урану $^{235}_{92}\text{U}$ і радону $^{222}_{86}\text{Rn}$.

- 5.161. За допомогою іонізаційного лічильника досліджується швидкість розпаду деякого радіоактивного препарату. У початковий момент часу лічильник дає 75 імпульсів за 10 с. Яке число імпульсів за 10 с даватиме лічильник після закінчення часу $T/2$? Вважати період напіврозпаду рівним 10 діб.
- 5.162. Яку кількість теплоти виділяє 1 Кі радону за годину? Кінетична енергія α -частинки, що вилітає з радону, рівна 5 МеВ.
- 5.163. Скільки тепла виділяє 1 кг ${}^{238}_{92}\text{U}$ за середній час життя ядер урану?
- 5.164. Визначити теплову потужність 1 т ${}^{235}_{92}\text{U}$. Період напіврозпаду урану становить 4,5 млрд. років, а енергія α -частинки 3,5 МеВ. Вважати, виділення тепла зумовлене лише α -розпадом ядер урану.
- 5.165. У результаті розпаду 1 г радію за рік утворилася деяка кількість гелію, що займає при нормальних умовах об'єм 0,043 см³. Знайти на підставі цих даних число Авогадро.
- 5.166. У закриту посудину (в ампулу) поміщений препарат, що містить 1,5 г радію. Яка кількість радону накопичиться в цій ампулі за час $T/2$, де T період напіврозпаду радону?
- 5.167. Знайти період напіврозпаду радіоактивного ізотопу, якщо його активність за 10 діб зменшилась на 24% порівняно з початковою.
- 5.168. Яка частина ядер радіоактивного препарату не розпалась через інтервал часу, що дорівнює трьом середнім часам життя ядра.
- 5.169. Активність зразка старої тканини, зумовлена радіоактивним ізотопом вуглецю ${}^{14}_6\text{C}$, становить 9,2 розпади на один грам вуглецю. Концентрації ${}^{14}_6\text{C}$ у живих рослинах відповідає 14,0 розпадам за хвилину на один грам вуглецю. Період піврозпаду ${}^{14}_6\text{C}$ становить 5730 років. Визначити вік тканини.
- 5.170. Деяка кількість радону поміщена в порожню посудину. Побудувати криву залежності зміни кількості радону в посудині від часу в інтервалі $0 \leq t \leq 20$ діб через кожні 2 доби. Для радону стала розпаду дорівнює 0,181 доби⁻¹.

- 5.171. У таблиці наведені результати виміру залежності активності деякого радіоактивного ізотопу від часу:

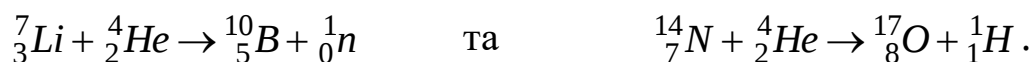
t , год.	0	3	6	9	12	15
A , мКі	21,6	7,6	4,2	2,4	2,4	1,8

Знайти період напіврозпаду цього ізотопу.

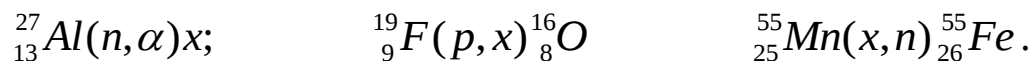
- 5.172. Побудувати графік ймовірності того, що ядро не розпадеться, від часу у межах $t = 1 \dots 10$ с. Середній час життя ядра становить 3 с.
- 5.173. До 10 мг радіоактивного ізотопу $^{47}_{20}\text{Ca}$ домішано 30 мг нерадіоактивного ізотопу $^{40}_{20}\text{Ca}$. На скільки зменшилась питома активність препарату?
- 5.174. Визначити масу ізотопу $^{131}_{53}\text{I}$, який має активність 37 ГБк та період піврозпаду 8 діб.
- 5.175. Знайти товщину шару половинного ослаблення рентгенівських променів деякої довжини хвилі для алюмінію, якщо відомо, що масовий коефіцієнт поглинання алюмінію для цієї довжини хвилі становить $5,3 \text{ м}^2/\text{кг}$.
- 5.176. У скільки разів зменшиться інтенсивність рентгенівських променів з довжиною хвилі $0,2 \text{ \AA}$ при проходженні шару заліза товщиною 0,15 мм? Масовий коефіцієнт поглинання заліза для цієї довжини хвилі дорівнює $1,1 \text{ м}^2/\text{кг}$.
- 5.177. Скільки шарів половинного ослаблення необхідно для зменшення інтенсивності рентгенівських променів у 20 разів?
- 5.178. Через екран, що складається із двох плит; свинцевої (товщиною 2 см) і залізної (товщиною 5 см), проходить вузький пучок γ -променів з енергією 3 МеВ. Визначити, у скільки разів зміниться інтенсивність γ -променів при проходженні цього екрана.
- 5.179. Товщина шару половинного ослаблення рентгенівських променів, енергія яких становить 1 МеВ, для води дорівнює 10,2 см, для заліза 1,56 см. Знайти лінійний і масовий коефіцієнти поглинання цих матеріалів для даної енергії рентгенівських променів.

- 5.180. Знайти енергію зв'язку нейтрона в ядрі ${}^4_2\text{He}$.
- 5.181. Розрахувати енергію зв'язку α -частинки в ядрі ${}^{10}_5\text{B}$.
- 5.182. Обчислити енергію зв'язку ядер ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ та ${}^{12}_3\text{C}$. Обчислити питому енергію зв'язку цих ядер та зробити висновок.
- 5.183. Обчислити питому енергію зв'язку для ядра атома ${}^{17}_8\text{O}$.
- 5.184. Розрахувати дефект маси та енергію зв'язку ядра ${}^7_3\text{Li}$.
- 5.185. Яку мінімальну енергію потрібно затратити, щоб видалити один протон з ядра ${}^4_2\text{He}$?
- 5.186. Знайти питому енергію зв'язку ядра атома ${}^8_4\text{Be}$.
- 5.187. Визначити енергію зв'язку нейтрона у ядрі ${}^4_2\text{He}$.
- 5.188. Який ізотоп утвориться з ${}^{232}_{90}\text{Th}$ після чотирьох α -розпадів і двох β -розпадів?
- 5.189. Який ізотоп утвориться із ${}^{238}_{92}\text{U}$ після трьох α -розпадів і двох β -розпадів?
- 5.190. Який ізотоп утвориться з ${}^{239}_{92}\text{U}$ після двох β -розпадів та одного α -розпаду?
- 5.191. Який ізотоп утвориться з радіоактивного ізотопу ${}^8_3\text{Li}$ після одного β -розпаду та одного α -розпаду?
- 5.192. Який ізотоп утвориться з радіоактивного ізотопу ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ після чотирьох β -розпадів?
- 5.193. Знайти енергію, що звільняється при ядерній реакції
- $${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}.$$
- 5.194. Розрахувати енергію, яка поглинається під час реакції
- $${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^{17}_8\text{O}.$$
- 5.195. Яку кількість води можна нагріти від 0°C до кипіння, якщо використати всю теплоту, що виділяється при реакції ${}^7_3\text{Li}(p, \alpha)$, при повному розкладанні 1 г літію?
- 5.196. Обчислити енергію ядерної реакції:
- $${}^3_1\text{H}(p, \gamma){}^4_2\text{He}.$$

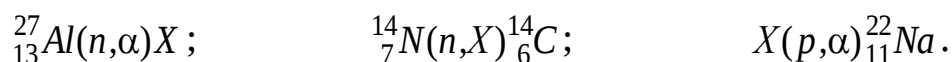
5.197. Визначити енергію при наступних ядерних реакціях та вказати, виділяється або поглинається ця енергія:



5.198. Написати відсутні члени в наступних ядерних реакціях:



5.199. Написати відсутні члени в наступних ядерних реакціях:



5.200. При бомбардуванні ізотопу алюмінію ${}^{27}_{13}\text{Al}$ α -частинками утворюється радіоактивний ізотоп фосфору ${}^{30}_{15}\text{P}$, який потім розпадається з виділенням позитрона. Написати рівняння обох реакцій. Знайти питому активність отриманого ізотопу, якщо відомо, що період його напіврозпаду дорівнює 130 с.

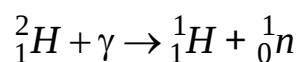
5.201. Визначити енергію, яка виділяється при радіоактивному розпаді нейтрона.

5.202. Написати відсутні позначення в наступних Ядерних реакціях, викликаних фотонами:



5.203. При бомбардуванні ізотопу літію ${}^7_3\text{Li}$ протонами, утворюються дві α - частинки. Енергія кожної в момент їх утворення дорівнює 9,15 МеВ. Знайти енергію протонів, що бомбардують літій.

5.204. Знайти найменше значення енергії γ -кванта, достатнє для здійснення реакції розкладання дейтрона:



5.205. Енергетична різниця між основним та збудженим станами ядра іридію становить 129 кеВ. Поглинач являє собою ядра іридію у вільному стані. З якою швидкістю мають наближатись джерело γ -квантів з енергією 129 кеВ та поглинач, щоб реалізувати максимум поглинання.

- 5.206. При вибуху водневої бомби протікає термоядерна реакція утворення гелію з дейтерію та тритію. Написати ядерну реакцію. Знайти енергію, що виділяється при цій реакції.
- 5.207. Позитрон та електрон анігілюють, утворюючи два фотони. Знайти енергію кожного з фотонів, які виникли, якщо вважати, що кінетична енергія електрона та позитрона до їхнього зіткнення мізерно мала. Знайти довжину хвилі цих фотонів.
- 5.208. Протон з кінетичною енергією 1,5 MeV захоплюється нерухомим ядром дейтерію. Визначити енергію збудження утвореного ядра.
- 5.209. Заряджені π -мезони з кінетичною енергією, рівною їх енергії спокою, утворюють вузький пучок. Знайти відношення потоків частинок у двох перерізах пучка, віддалених між собою на відстань 20 м. Власний середній час життя π -мезонів становить 25,5 нс.
- 5.210. Нерухомий нейтральний π -мезон, розпадаючись, перетворюється у два однакових фотони. Знайти енергію кожного фотона. Маса спокою π -мезона $264,2 m_e$, де m_e – маса спокою електрона.
- 5.211. Вважаючи, що в одному акті розпаду ядра урану ${}^{235}_{92}\text{U}$ вивільняється енергія 200 MeV, визначити масу цього ізотопу, який ділиться у результаті вибуху атомної бомби із тротиловим еквівалентом $30 \cdot 10^6$ кг, якщо тепловий еквівалент тротилу дорівнює 4,19 МДж/кг.
- 5.212. В електричному полі якої напруженості почнуть народжуватися електронно-позитронні пари, тобто почнеться пробій вакууму?
- 5.213. Фотон, частотою $7 \cdot 10^{20}$ Гц, пролітаючи повз важке ядро, породжує електрон-позитронну пару. Вважаючи енергії електрона та позитрона однаковими, визначити їхні швидкості у момент утворення.

ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ

Табл. 1. Основні фізичні одиниці Міжнародної системи (SI)

Назва	Одиниця вимірювання	Розмірність	Позначення українською	Міжнародне позначення
Довжина	1 метр	L	м	m
Маса	1 кілограм	M	кг	kg
Час	1 секунда	T	с	s
Сила електричного струму	1 Ампер	A	А	A
Термодинамічна температура	1 Кельвін	K	К	K
Кількість речовини	1 моль	N	моль	mol
Сила світла	1 кандела	Cd	кд	cd

Табл. 2. Основні фізичні сталі

Назва фізичної сталої	Позначення	Числове значення
Гравітаційна стала	γ	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Число Авогадро	N_A	$6,025 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Універсальна газова стала	R	$8,314 \cdot \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Стала Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Стала Стефана – Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Стала Віна	b	$2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Стала Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Заряд електрона	e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Швидкість світла у вакуумі	c	$2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Маса спокою електрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ а.о.м.}$
Маса спокою протона	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00759 \text{ а.о.м.}$
Маса спокою нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00899 \text{ а.о.м.}$
Стала Рідберга (для атома 1_1H)	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Електрична стала	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнітна стала	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Атомна одиниця маси	а.о.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Табл. 3. Співвідношення між фізичними величинами

Назва одиниці виміру	Значення в СІ
Температура за шкалою Цельсія (t °C)	$T = t$ °C + 273,15 K
Об'єм (1 літр)	10^{-3} м ³
Тиск (1 мм вод. ст.)	9,81 Па
Потужність (1 кінська сила)	736 Вт
Динамічна в'язкість (1 пуаз)	0,1 кг/(м·с)
Тепловий потік (1 кал/с)	4,19 Вт
Кінематична в'язкість (1 Стокс)	10^{-4} м ² /с
Звуковий тиск (1 дин/см ²)	0,1 Па
Оптична сила 1 дптр (діоптрія)	1 м ⁻¹
Активність ізотопа (1 Кюрі)	$3,7 \cdot 10^{10}$ розп/с
Поглинальна доза (1 рад)	10^{-2} Дж/кг
Експозиційна доза рентгенівського і гамма-випромінювання (1 Рентген)	$2,57976 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Один градус кута на площині (1°)	$\pi/180$ радіан

Табл. 4. Астрономічні величини

Середній радіус Землі	$6,37 \cdot 10^6$ м
Маса Землі	$5,96 \cdot 10^{24}$ кг
Середня густина Землі	$5,52 \cdot 10^3$ кг/м ³
Період обертання Землі навколо осі	1 доба = 24 год
Радіус Сонця	$6,95 \cdot 10^8$ м
Маса Сонця	$1,97 \cdot 10^{30}$ кг
Середня густина Сонця	$1,41 \cdot 10^3$ кг/м ³
Період обертання Сонця навколо осі	25,4 доби
Ефективна температура поверхні Сонця	5788 К
Радіус Місяця	$1,74 \cdot 10^6$ м
Маса Місяця	$7,35 \cdot 10^{22}$ кг
Середня густина Місяця	$3,30 \cdot 10^3$ кг/м ³
Період обертання Місяця навколо осі	27,3 доби
Середня відстань між центрами Місяця та Землі	$3,84 \cdot 10^8$ м
Середня відстань між центрами Землі та Сонця	$1,5 \cdot 10^{11}$ м
Період обертання Місяця навколо Землі	27 діб 7 год 43 хв

Табл. 5. Десяткові префікси до назв одиниць

Е – екса (10^{18})	М – мега (10^6)	с – санти (10^{-2})	п – піко (10^{-12})
П – пета (10^{15})	к – кіло (10^3)	м – мілі (10^{-3})	ф – фемто (10^{-15})
Т – тера (10^{12})	г – гекто (10^2)	мк – мікро (10^{-6})	а – ато (10^{-18})
Г – гіга (10^9)	д – деци (10^{-1})	н – нано (10^{-9})	

Табл. 6. Позасистемні одиниці

$1^\circ = 1,75 \cdot 10^{-2}$ рад	1 рік = 365 діб = $3,11 \cdot 10^7$ с	Å – ангстрем (10^{-10})
1 мм рт. ст. = 133,3 Па	1 доба = 86400 с	1 еВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж
1 кал = 4,18 Дж	1 кВт·год = $3,6 \cdot 10^6$ Дж	1 Кі(кюри) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

Табл. 7. Властивості твердих тіл

Речовина	Густина, 10^3 кг/м ³	Температура плавлення, °С	Питома теплоємність, Дж/(кг·К)	Питома теплота плавлення, 10^3 Дж/кг	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10^{-5} К ⁻¹
Алюміній	2,60	659	896	322	2,3
Залізо	7,90	1530	500	272	1,2
Латунь	8,40	900	386	-	1,9
Лід	0,90	0	2100	335	-
Мідь	8,60	1100	395	176	1,6
Олово	7,20	232	230	58,6	2,7
Платина	21,40	1770	117	113	0,89
Свинець	11,30	327	126	22,6	2,9
Срібло	10,50	960	234	88	1,9
Сталь	7,70	1300	460	-	1,06
Цинк	7,00	420	391	117	2,9
Корок	0,20	-	2050	-	-
Барій	3,50				
Ванадій	6,02				
Вісмут	9,80				
Літій	0,53				
Нікель	8,90				
Цезій	1,90				

Табл. 8. Властивості рідин

Речовина	Густина, 10^3 кг/м^3	Питома теплоємність, 10^3 Дж/(кг·К)	Коефіцієнт поверхневого натягу, 10^{-3} Н/м
Вода (при 4 °С)	1,00	4,19	73
Вода (при 0 °С)	-	-	75,6
Вода (при 100 °С)	-	-	58,8
Мильна вода	-	-	40
Бензол	0,88	1,72	30
Гліцерин	1,26	2,43	64
Касторове масло	0,90	1,80	35
Керосин	0,80	2,14	30
Ртуть	13,6	0,138	500
Спирт	0,79	2,51	20
Бензин	0,71÷0,75	2,05	
Гас	0,79÷0,82	2,09	24
Ацетон	0,78		
Сірководень	1,26		
Скипидар	0,86		
Нафта	0,73÷0,94	1,67÷2,09	30
Паливо дизельне	0,86		
Масло машинне	0,90÷0,92	1,67	
Мазут	0,89÷1,00		

Примітка. Значення характеристик рідин подано при нормальному атмосферному тиску і температурі 20 °С (якщо не вказано іншої температури). Значення коефіцієнтів поверхневого натягу вказано на межі рідини з повітрям.

Табл. 9. Питоми теплоємності речовин, Дж/(кгК)

Повітря	1000	Латунь	386
Водяна пара	2000	Лід	2100
Вода	4190	Дуб	2400
Цегла	880	Ялина, сосна	2700
Шифер	750	Бетон	880
Скло віконне	670	Камінь	840
Чавун	540	Плутоній $^{239}_{94}\text{Pu}$	100

Табл. 10. Густина газів за нормальних умов, кг/м^3

Водень	0,09	Гелій	0,18
Повітря (0 °С)	1,293	Оксиген	1,43
Метан CH ₄	0,717	Азот	1,25
Вуглекислий газ	1,977	Хлор	3,21
СО (при 0 °С)	1,250	Аміак	0,77

Табл. 11. Густина речовин і матеріалів, кг/м³

Дерево сухе:		Кам'яне вугілля	1200...1500
береза	600...800	Мармур	2600...2800
дуб	700...1000	Цегла	1400...1800
клен	500...800	Смола	1070
липа	300...600	Скло віконне	2400...2700
сосна	400...700	Шифер	2800
тополя	300...500	Гума	910...1400
ялина	400...700	Чавун	7000...7800
ясен	600...800	Золото	19320
Асфальт	1100...2800	Натрій	968
Бетон	1800...2400	Нікель	8900
Граніт	2500...2800	Ніхром	8100...8400
Графіт	2100...2520	Уран	19040
Крейда	1800...2600	Хром	7190

Примітка. Значення густини речовин подано для температури 20 °С (якщо не вказано іншої температури).

Табл. 12. Насипна густина будівельних матеріалів, кг/м³

Гравій	1500...1700	Кам'яне вугілля	800...850
Земля волога	1900...2000	Пісок сухий	1200...1650
Земля суха	1400...1600	Тирса	150...200

Табл. 13. Пружні властивості твердих тіл

Речовина	Межа міцності, 10^8 Н/м ²	Модуль Юнга, 10^{10} Н/м ²
Алюміній	1,1	6,90
Залізо	2,94	19,60
Мідь	2,45	11,80
Свинець	0,2	1,57
Срібло	2,9	7,40
Сталь	7,85	21,60

Табл. 14. Модуль Юнга окремих матеріалів, ГПа

Дерево (вздовж волокон):		Сталь інструментальна (вуглецева)	210...280
сосна	12	Сталь легована	210...220
дуб	14	Мідь	110
береза	18	Свинець	17
Бетон	10...30	Хром	240...250
Цегляна кладка	3	Цинк	80
Скло	50...80	Чавун сірий	115...150
Залізо	200...210	Манганін	124

Табл. 15. Границя міцності окремих матеріалів, ГПа

Цегла	0,005...0,01	Залізо	0,17...0,21
Бетон	0,02...0,048	Золото	0,14
Скло	0,06...0,12	Олово	0,027
Сталь вуглецева	0,344...0,47	Свинець	0,015
Сталь легована	0,8...1,0	Срібло	0,14
Трос сталевий	0,98	Цинк	0,11
Алюміній	0,05...0,11	Чавун сірий	0,25...0,55

Примітка. Для деяких матеріалів наведено орієнтовні значення границі міцності.

**Табл. 16. Залежність відносної долі молекул від відносної швидкості
(за розподілом Максвела)**

u	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$	u	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$	u	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$
0	0	0,9	0,81	1,8	0,29
0,1	0,02	1,0	0,83	1,9	0,22
0,2	0,09	1,1	0,82	2,0	0,16
0,3	0,18	1,2	0,78	2,1	0,12
0,4	0,31	1,3	0,71	2,2	0,09
0,5	0,44	1,4	0,63	2,3	0,06
0,6	0,57	1,5	0,54	2,4	0,04
0,7	0,68	1,6	0,46	2,5	0,03
0,8	0,76	1,7	0,36		

**Табл. 17. Відносна доля молекул, швидкості яких перевищують
задане значення відносної швидкості**

u	$\frac{N_x}{N}$	u	$\frac{N_x}{N}$
0	1,000	0,8	0,734
0,2	0,994	1,0	0,572
0,4	0,957	1,25	0,374
0,5	0,918	1,5	0,213
0,6	0,868	2,0	0,046
0,7	0,806	2,5	0,0057

Табл. 18. Ефективний діаметр молекул, 10^{-10} м

Азот	3,0·	Гелій	1,9·
Водень	2,3·	Кисень	2,7·

Табл. 19. Питома теплота згоряння деяких видів палива, МДж/кг

Дрова	8,4...11	Дизельне паливо	42,7
Вугілля деревне	31,5...34,4	Нафта	43,5...46
Вугілля кам'яне	26,5...27,5	Спирт	27,0
Антрацит	26,8...31,4	Газ природний	41...49
Бензин	44...47	Метан	50,0
Гас	44...46		

**Табл. 20. Питома теплота та температура плавлення деяких речовин
(за нормального атмосферного тиску)**

Речовина, метал чи сплав	Питома теплота плавлення, кДж/кг	Температура плавлення, °С
Лід	330	0,00
Алюміній	393	660,4
Латунь	—	900...1000
Мідь	176	1084,5
Олово	58,6	231,9
Платина	113	1772
Свинець	24,3	327,4
Сталь	84	1300...1500
Залізо	270	1539
Чавун	96...140	1100...1300
Цинк	112,2	419,5

Табл. 21. Температурний коефіцієнт лінійного розширення деяких матеріалів, 10^{-6} K^{-1}

Лід (в інтервалі температур від –20 до 0 °С)	51	Скло віконне (в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С)	10
Бетон (при 20 °С)	10...14	Шифер (при 20 °С)	10
Граніт (при 20 °С)	8	Сталь вуглецева	10...17
Цегла (при 20 °С)	3...9	Чавун (в інтервалі температур від 20 до 100 °С)	9...11
Деревина (в інтервалі температур від 2 до 34 °С):		Латунь	17...19
дуб уздовж волокон	4,9	Мідь	17
впоперек волокон	4,4	Срібло	20
сосна уздовж волокон	5,4	Залізо	12
впоперек волокон	34	Алюміній	2,4

Табл. 22. Теплопровідність твердих тіл, Вт/(мК)

Дерево	0,175	Повість	0,046
Цегла	0,55...0,84	Пісок сухий	0,325
Алюміній	210	Пробка	0,050
Залізо	58,7	Накип (на стінках котла)	0,60
Мідь	390	Ебоніт	0,174
Войлок	0,046	Кварц плавлений	1,37

Табл. 23. Критичні параметри деяких речовин

Речовина	T_k , К	P_k , 10^6 Па	Речовина	T_k , К	P_k , 10^6 Па
Водяна пара	647	22,0	Азот	126	3,40
Вуглекислий газ	304	7,38	водень	33	1,30
Оксиген	154	5,07	Гелій	5,2	0,23
Аргон	151	4,87			

Табл. 24. Питома теплота пароутворення води

t °С	0	50	100	200
r , 10^5 Дж/кг	24,9	23,8	22,6	19,4

Табл. 25. Діелектрична проникність речовин

Віск	7,8	Парафін	1,9...2,2
Вода	81	Папір парафіновий	2,2
Гас	2	Слюда	6
Ебоніт	2,6...3,5	Скло	6,0...10,0
Масло	5	Фарфор	4,4...6,8
Ацетон	31	Масло трансформаторне	2,2

Табл. 26. Питомий опір провідників, 10^{-8} Ом·м

Алюміній	2,8	Свинець	22,0
Срібло	1,6	Залізо	8,7
Золото	2,4	Сталь	14,0
Мідь	1,7	Вольфрам	5,5
Латунь	7,0...8,0	Цинк	6,1
Олово	12,0	Ніхром	10,0

Табл. 27. Магнітна проникність заліза при різних зовнішніх полях

H , А/м	100	500	1000	2000	4000	8000
μ , відн. од.	250	3000	7000	6000	5000	4000

Табл. 28. Рухливість іонів в газах, $10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$

Газ	Позитивні іони	Негативні іони
Азот	1,27	1,81
Водень	5,4	7,4
Повітря	1,4	1,9

Табл. 29. Робота виходу електронів з металів

Метал	A , Дж	A , еВ
Калій	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Літій	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубідій	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Срібло	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезій	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Табл. 30. Енергія іонізації

Матеріал	E_i , Дж	E_i , еВ
Водень	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелій	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Літій	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

Табл. 31. Показники заломлення речовин

Алмаз	2,42	Скипидар	1,48
Вода	1,33	Спирт етиловий	1,36
Лід	1,31	Скло	1,4...1,9
Гліцерин	1,47	Сірчаний вуглець	1,63

Табл. 32. Стала обертання площини поляризації кварцу

Кварц	для $\lambda=589 \text{ нм}$	21,7
Кварц	для $\lambda=404,7 \text{ нм}$	48,9

Табл. 33. Періоди напіврозпаду та атомні маси ізотопів

Ізотоп	Позначення	Маса, а.о.м.	Період напіврозпаду
Кобальт	$^{60}_{27}\text{Co}$	58,9332	5,26 роки
Полоній	$^{210}_{84}\text{Po}$	210	138 діб
Кальцій	$^{45}_{20}\text{Ca}$	40,08	164 діб
Стронцій	$^{90}_{38}\text{Sr}$	90	28 років
Радон	$^{90}_{38}\text{Rn}$	222	3,8 діб
Радій	$^{226}_{88}\text{Rn}$	226,0254	1598 років
Цезій	$^{137}_{55}\text{Cs}$	137	29,7 років
Уран	$^{235}_{92}\text{U}$	235,04393	$7,1 \cdot 10^8$ років
Уран	$^{238}_{92}\text{U}$	238	$4,5 \cdot 10^8$ років
Плутоній	$^{239}_{94}\text{Pu}$	239	$2,44 \cdot 10^4$ років

Табл. 34. Маса та енергія спокою частинок

Частинка	m_0		E_0	
	кг	а.о.м.	Дж	МеВ
Електрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -Частинка	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
π^0 -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

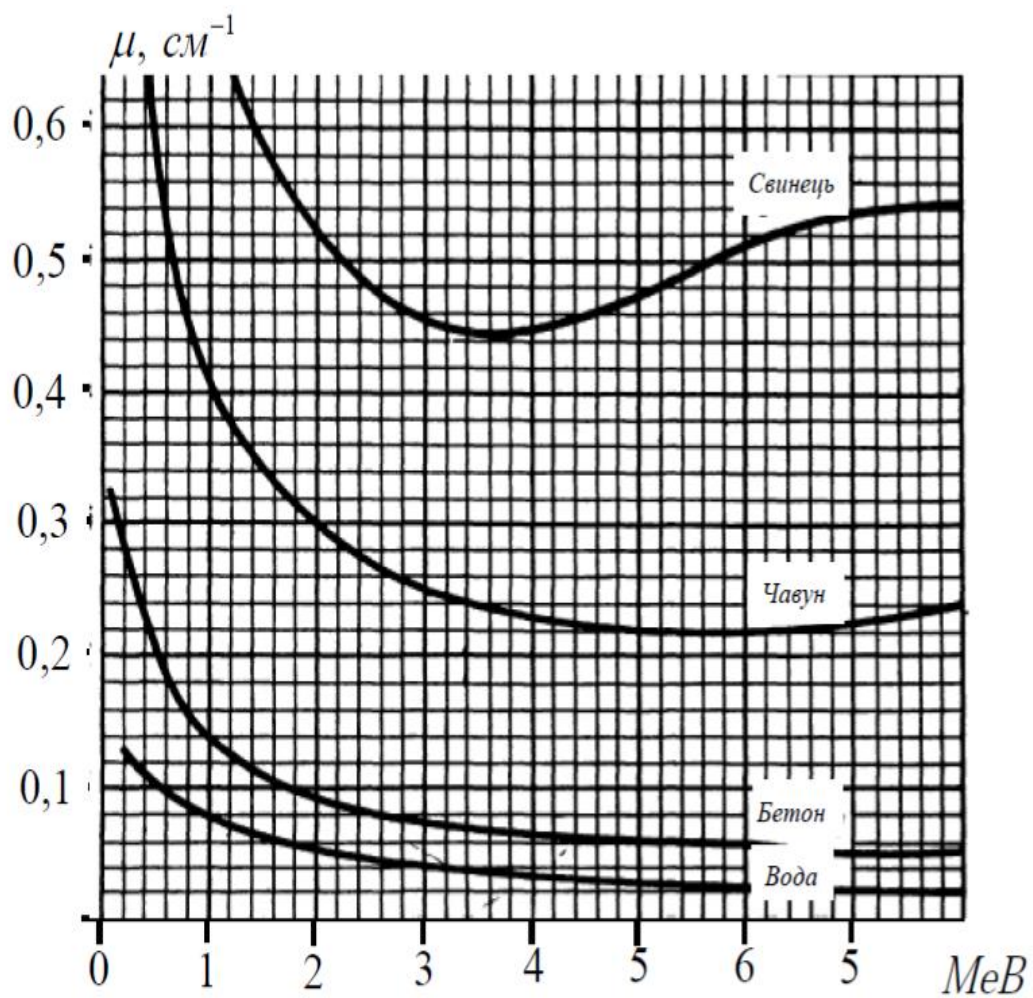
Табл. 35. Маси деяких нуклідів, а.о.м.

Нуклід	Маса	Нуклід	Маса	Нуклід	Маса
$^1_1\text{H}^1$	1,00783	^9_4Be	9,01218	$^{30}_{14}\text{Si}$	29,97377
$^2_1\text{H}^2$	2,01410	$^{10}_5\text{B}$	10,01294	$^{40}_{20}\text{Ca}$	39,96257
$^3_1\text{H}^3$	3,01605	$^{12}_6\text{C}$	12,0	$^{56}_{27}\text{Co}$	55,95769
^3_2He	3,01669	$^{13}_7\text{N}$	13,00987	$^{63}_{29}\text{Cu}$	62,94962
^4_2He	4,00388	$^{14}_7\text{N}$	14,00752	$^{113}_{48}\text{Cd}$	112,9420
^6_3Li	6,01703	$^{17}_8\text{O}$	17,00453	$^{200}_{50}\text{Hg}$	200,0280
^7_3Li	7,01823	$^{23}_{12}\text{Mg}$	23,00145	$^{235}_{92}\text{U}$	235,1175
^7_4Be	7,01916	$^{24}_{12}\text{Mg}$	23,99267	$^{238}_{92}\text{U}$	238,1237
^8_4Be	8,00785	$^{27}_{13}\text{Al}$	26,99010		

Табл. 36. Товщини шару половинного ослаблення та коефіцієнти поглинання γ -променів матеріалами

Матеріал	Товщина шару половинного ослаблення, м	Лінійний коефіцієнт поглинання, м^{-1}	Масовий коефіцієнт поглинання, $\text{м}^2/\text{кг}$
Бетон	0,1	6,93	$2,1710^{-3}$
Сталь (броня)	0,03	23,11	$2,9610^{-3}$
Свинець	0,02	34,66	$3,0610^{-3}$

Графік 1. Залежність лінійного коефіцієнта поглинання γ – випромінювання різних матеріалів від енергії γ - квантів



ЛІТЕРАТУРА

до першого видання посібника

1. *Физические основы механики: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов /сост.: И.Д. Кошелева, В.И.Клапченко. – К.: КИСИ, 1990. – 64 с.*
2. *Статистическая физика и термодинамика: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов. И.Д.Кошелева, В.И. Клапченко, Г.В. Кучерова.–К.:КИСИ, 1990. - 68с.*
3. *Электричество и магнетизм: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов /сост.: И.Д. Кошелева, В.И. Клапченко, Л.И. Ткачова – К.: КИСИ, 1990. – 100 с.*
4. *Физика колебаний и волн: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов /сост.: И.Д. Кошелева, В.И. Клапченко. – К.: КИСИ, 1990. – 44 с.*
5. *Квантовая физика: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов / сост.: И.Ю. Петренко, И.Д. Кошелева, В.И. Клапченко. – К.: КИСИ, 1990. – 56 с.*
6. *Збірник задач з фізики: навч. посібник / В.М. Казанський, Г.Д. Потапенко, Ю.І. Григораш та ін. – К.: ІСДО, 1993.*
7. *Методичні рекомендації та завдання до самостійної роботи з фізики для студентів усіх спеціальностей і форм навчання КНУБА. В 2 ч / Уклад.: В.І. Клапченко, В.О. Клименко, Г.Д. Потапенко та ін. – К.: КНУБА, 2000.*
8. *Фізика: Програма, методичні рекомендації та завдання до самостійної роботи /уклад.: В.І. Клапченко, Г.Д. Потапенко, І.О. Азнаурян та ін. – К.: КНУБА, 2001.*
9. *Розрахунково-графічні завдання до самостійної роботи з фізики: Для студентів усіх спеціальностей і форм навчання КНУБА / за ред. В.І. Клапченка. – К.: КНУБА, 2002.*
10. *Фізика. Практичний курс: навч. посібник // уклад.: В.І. Клапченко, Г.Д. Потапенко, І.О. Азнаурян та ін. – К.: КНУБА, 2005.*
11. *Кобушкин В.К. Методика решения задач по физике. –Л.: ЛГУ, 1972.*
12. *Загальний курс фізики: навч. посібник для студ. вищих техн. і пед. закладів освіти. В 3 т. / за ред. І.М. Кучерука. – К.: Техніка, 1999.*
13. *Чолтан П.П. Фізика: підручник. – К.: Вища шк., 2003.*

14. *Трофимова Т.И.* Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1990.
15. *Савельев И.В.* Курс физики: учеб. В 3-х т. – М.: Наука, 1989.
16. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики: учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 1989.
17. *Конспект лекцій з фізики (електрика та магнетизм) / уклад.: В.І. Клапченко.* – К.: КНУБА, 1999.
18. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие. – М.: Наука, 1985.
19. *Загальний курс фізики: збірник задач / І.П. Гаркуша, І.Т. Горбачук, В.П. Курінний та ін.; за ред. І.П.Гаркуші.* – К.: Техніка, 2003.
20. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во “Лань”, 2001.
21. *Трофимова Т.И.* Сборник задач по курсу физики: учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.

до другого видання посібника

22. *Фізика. Збірник задач: Навчальний посібник для студентів усіх спеціальностей / В.І.Клапченко, І.О.Азнаурян, В.А. Глива та ін.; за заг. ред. В.І.Клапченка.* – К.: КНУБА, 2009. – 252 с.
23. *Фізика. Електрика та магнетизм: методичні рекомендації до розв'язування задач та завдання до ІКР. /В.І.Клапченко, В.І.Тарасевич, О.М.Григорчук.* - Київ: КНУБА, 2024.-135 с.
24. *Клапченко В.І.* Тлумачник з фізики. Навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2018. – 168 с.
25. *Фізика в будівництві: навчальний посібник/ В.І.Клапченко, І.О.Азнаурян, Н.Б.Бурдейна та ін..* – К.: КНУБА, 2012. – 252 с.
26. *Чолпан П.П.* Фізика: підручник. – Київ: Знання, 2015,-663 с. (е-версія на Textbooks).
27. *Азнаурян І.О.* Фізика та фізичні методи дослідження: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2008. – 250 с.
28. Електронні версії згаданих вище посібників розміщені на інформаційних ресурсах КНУБА: <http://library.knuba.edu.ua/> Курс: Література | Головна (knuba.edu.ua) <http://repository.knuba.edu.ua/>

Для нотаток

Навчальне видання

КЛАПЧЕНКО Василь Іванович,
АЗНАУРЯН Ірина Олександрівна,
ТАРАСЕВИЧ Віталій Іванович,
КРАСНЯНСЬКИЙ Григорій Юхимович

ФІЗИКА

Збірник задач

видання друге, виправлене та доповнене

Комп'ютерне верстання А. П. Селівестрової

Ум. друк. арк. 15,81. Обл.-вид. арк. 15,1

Електронний документ.

Виконавець і виготовлювач Київський національний університет
будівництва і архітектури Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна,
03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої
справи ДК № 808 від 13.02.2002