

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 2026

УДК: 53(075)

Ф50

Автори: В. І. Клапченко, канд. техн. наук, доцент;
І. О. Азнаурян, доцент;
В. І. Тарасевич, канд. техн. 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 техн. 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, 2026. – 280 с.

ISBN 978-966-627-288-4

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

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

УДК: 53(075)

© В. І. Клапченко, І. О. Азнаурян,
В. І. Тарасевич та ін, 2026

ISBN 978-966-627-288-4

© КНУБА, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Програма навчальної дисципліни «ФІЗИКА».....	6
Методика розв'язування задач з фізики.....	12
Приклади розв'язання та оформлення задач.....	17
Вимоги до оформлення індивідуальних завдань.....	44
ГЛАВА 1. МЕХАНІКА.....	46
1.1. Коротка теоретична довідка.....	46
1.2. Задачі до модуля «Механіка».....	53
ГЛАВА 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА.....	106
2.1. Коротка теоретична довідка.....	106
2.2. Задачі до модуля «Молекулярна фізика».....	113
ГЛАВА 3. ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ.....	144
3.1. Коротка теоретична довідка.....	144
3.2. Задачі до модуля «Електрика та магнетизм».....	153
ГЛАВА 4. КОЛИВАЛЬНІ ТА ХВИЛЬОВІ ПРОЦЕСИ, ОПТИКА.....	194
4.1. Коротка теоретична довідка.....	194
4.2. Задачі до теми «Коливальні та хвильові процеси. Оптика».....	207
ГЛАВА 5. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ ТА ФІЗИКИ ЯДРА.....	238
5.1. Коротка теоретична довідка.....	238
5.2. Задачі до модуля «Основи квантової фізики та фізики ядра».....	2477
ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ.....	2655
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	2799

ВСТУП

Прошло понад 15 років з моменту першого видання цього посібника [22]. Загалом він із честю витримав випробування часом. Проте вже давно увагу авторів привертала деякі методичні помилки й неточності, а також неповнота та неоднозначність формулювань окремих задач. І назривав час для їх виправлення. Крім того, епідемія COVID-19 та широкомасштабна агресія проти нашої країни різко змінили умови роботи та навчання. В освітньому процесі відбулася корекція програм, обсягів та способів організації навчального процесу, що стало причиною оновлення навчально-методичних матеріалів, які видаються для забезпечення навчального процесу. Тобто зовнішні обставини стали додатковим аргументом до перевидання посібника.

До другого видання посібника була оновлена робоча програма з дисципліни «Фізика», що автоматично призвело до потреби оновити й короткі теоретичні відомості до всіх 5 змістовних модулів програми, доповнити друге видання новими літературними джерелами [23–27], перевагою яких є те, що вони автоматично отримують електронні версії та розміщуються на інформаційних ресурсах КНУБА [28].

Для покращення самостійної роботи студентів із посібником «Додатки» змінено на «Довідкові таблиці» з наданням їм номерів і назв для полегшення посилання на них. Крім того, доповнено розділ «Приклади розв'язування задач» новими задачами. Незмінними залишилися поради та рекомендації щодо розв'язування задач, їх оформлення, а також оформлення безпосередньо контрольної роботи.

Основною підготовчою роботою над перевиданням посібника все ж таки була ліквідація методичних і технічних помилок, а також термінологічних неточностей. До технічних помилок належать неправильні числові значення в умовах задач, відсутність необхідних числових значень або їх надлишок. Крім того, в окремих задачах зустрічалися неточності у формулюваннях або у 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 становлять задачі з

неоднозначністю у формулюванні умови. Наприклад, в умові йдеться про залежність швидкості від часу та середню швидкість на третій секунді і ставиться запитання «...визначити цю? швидкість для $t = 10 \text{ с}$?». Невизначеність перша: «швидкість?» чи «середня швидкість?». Невизначеність друга: «на кінець десятої секунди?» чи «за десяту 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 варіанта. І тільки тоді сформулювати умову задачі так, щоб її сприйняття будь-ким було однозначним.

Максимальну увагу автори проявили до виявлення та виправлення фізично некоректних задач, тобто таких, які не піддаються фізичному моделюванню. Інакше кажучи, такі задачі експериментально нездійсненні. Це надзвичайно важливо для підготовки майбутніх інженерів, під час навчання яких ми завжди робимо наголос на фізичному моделюванні явищ. Прикладом подібного типу задач є така: «Камінь, прикріплений до мотузки довжиною $l = 0,5 \text{ м}$, 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 цей навчальний посібник може бути використаним як на практичних аудиторних заняттях, так і для самостійної роботи студентів під час виконання 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. Загалом такі малі та великі правки стосувалися понад 350 задач попереднього видання. Тому, підводячи підсумки, авторський колектив вважає підготовлене друге видання посібника, в першу чергу, *виправленим*, і лише в другу чергу – *оновленим і доповненим*. А всім майбутнім користувачам перевиданого посібника автори бажають міцного здоров'я та насолоди від роботи з ним.

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 під час руху 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 й 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 і 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 у рідинах і 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 й 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 у 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. Силові 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 з перенесення заряду. Потенціальний характер електростатичного поля. Зв'язок напруженості електростатичного поля з потенціалом. Електричний диполь. Диполь в однорідному полі. Диполь у 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. 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 парамагнетика. Магнетика 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 з переміщення контуру зі струмом в магнітному полі. Закон Фарадея для явища електромагнітної індукції. Правило Ленца. Генератори електричного струму. Закон Генрі для явища самоіндукції. Індуктивність контуру. Процеси в колах з індуктивністю. Взаємоіндукція. Трансформатори. Енергія контуру 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 за гармонічних коливань. Подання гармонічних коливань у комплексній формі. Додавання однонаправлених коливань. Биття. Додавання взаємно 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 у 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 у 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 відчуття). 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 в разі відбивання та заломлення 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 Шредингера. 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 спектра. 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 погляду зонної теорії. Електропровідність напівпровідників. Донорна й 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 із 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 студентові процес навчання розв'язуванню задач з фізики, стимульований його *бажанням* навчитися робити це самостійно. Методиці розв'язування фізичних задач присвячено багато спеціальних посібників, зокрема [11], і за бажання 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 із них походить від поєднання двох термінів: «аналіз» (розклад цілого на окремі складові елементи) та «синтез» (об'єднання елементів у єдине ціле).

Другий походить від поняття «алгоритм», що означає скінчений набір правил та дій (свого роду інструкцію), що дає змогу 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 у 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 цього 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 потребують застосування *евристичних* прийомів, у посібнику збережено близько 5 % подібних задач. Наведемо оптимальну послідовність дій, які бажано виконувати під час розв'язання 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 намагатися 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 під час виконання контрольної роботи.

Другий етап. Аналіз фізичної суті задачі. Тобто йдеться 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 потрібно (за допомогою підручника чи короткого теоретичного довідника) виділити особливості явища, вписати закони, рівняння та інші співвідношення, що його описують, і занести їх до чернетки. При оформленні роботи цього важливого етапу в явній формі не видно. А це якраз основна аналітична робота з осмислення 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 у фізиці називається *ударом*. Удари розглядаються в механіці, у темі застосування законів збереження. Ідеалізуючи удари, їх ділять на абсолютно пружні й абсолютно непружні. Якщо куля застрягла (тобто між кулею та бруском 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, для розв'язання задачі потрібно буде застосувати ці два закони збереження.

Третій етап. Короткий запис і 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. Під час оформлення роботи короткий запис виділяють словом «Дано:» (див. приклади розв'язання задач у наступному розділі). Шукані величини відділяють рискою від заданих. Під час формування 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 за 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. В 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. В 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. В 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 неправильно. Але в деяких випадках такий аналіз є доцільним або необхідним. Наприклад, якщо в задачі на динаміку руху тіл за наявності сил тертя отримано результат для прискорення системи зі знаком мінус, це не означає, що виникла помилка у виборі напрямку руху і потрібно вважати результат правильним, 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 в оформленні задачі цей етап стає обов'язковим.

Дев'ятий етап. Відповідь. Після тієї великої роботи, яку ви провели на попередніх етапах, залишилося красиво подати результат. Сформулюйте, які величини ви отримали, їхні значення й одиниці вимірювання. Якщо є якісь особливі зауваження – зробіть їх. Які ж особливості в розглянутій послідовності дій для розв'язування задач накладає використання *алгоритмічного* прийому? Для оформлення задач – ніяких, для розв'язування – значні спрощення. Наприклад, ціла група задач кінематики на рух у полі сили тяжіння дає можливість розглядати 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 і 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 насамперед 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 для розв'язування, розглядаються за тією ж послідовністю дій, тобто охоплюють 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 дізнатися, що він має справу з подібною задачею? Про потрібність особливого підходу можна здогадатися 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.

У наступному розділі наведені приклади розв'язування й оформлення типових задач. Найбільшого навчального ефекту від цих прикладів можна досягти, використавши умови наведених там задач і 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:

$$\alpha = 45^\circ$$

$$v_0 = 600 \text{ м/с}$$

$H - ?$

$t_{\text{пол}} - ?$

$L - ?$

$v_{\text{к}} - ?$

$y = f(x) - ?$

Розв'язання

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

Виберемо декартову систему координат таким чином, щоб початок координат збігався 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 .

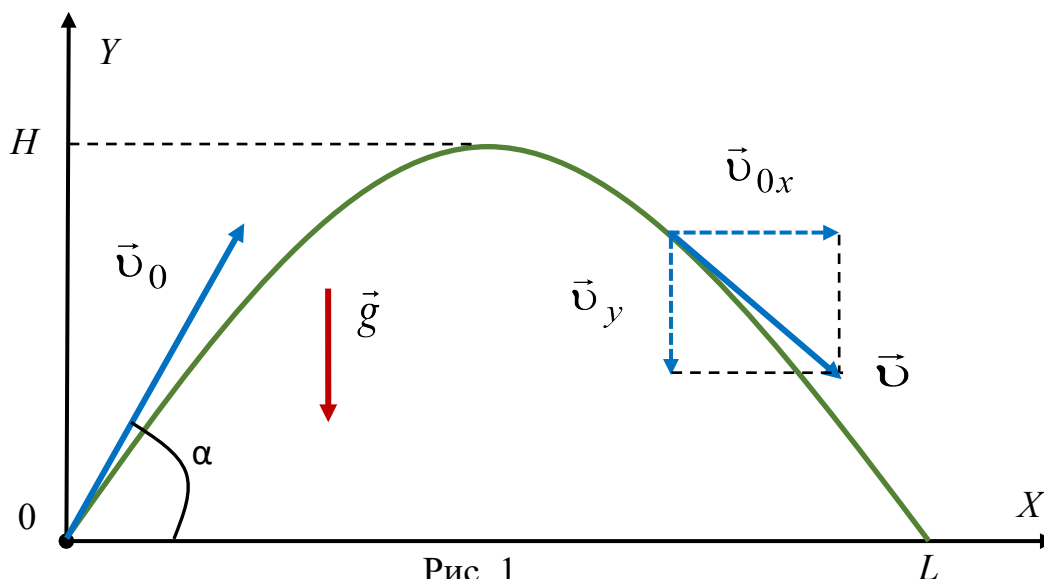


Рис. 1

Відлік часу почнемо в 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

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

Оскільки на максимальній висоті вертикальна складова швидкості v_y дорівнює нулю, то

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

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

Максимальна висота підйому снаряда H визначається

$$y(t_B) = H = v_0 t_B \sin \alpha - \frac{gt_B^2}{2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g};$$

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

Оскільки час руху снаряда вгору рівний часу його руху вниз, то час польоту буде $t_{\text{пол}} = 2t_{\text{під}} = 2 \cdot 43,3 = 86,6$ с. За цей же час уздовж 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 \vec{v}_k визначимо з підстановкою $t = t_{\text{пол}}$

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

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

таким чином, під час падіння снаряд має таку ж за величиною швидкість, що і в разі пострілу.

Рівняння траєкторії легко отримати з 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 $A = \text{tg } \alpha = \text{tg } 45 = 1;$

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

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

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 снаряда – 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:

$m = 1$ кг
 $m_1 = 2$ кг
 $m_2 = 3$ 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 блока, 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

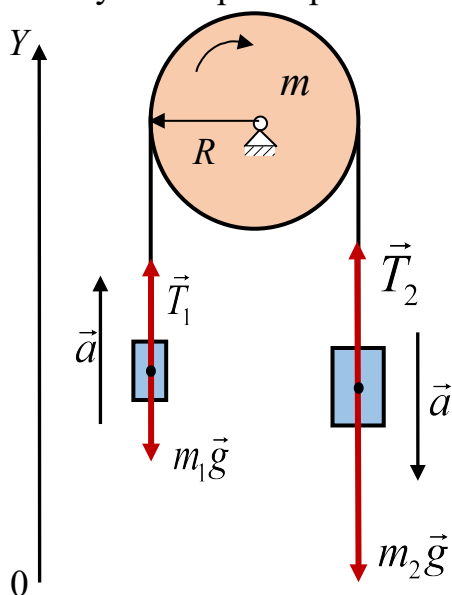


Рис. 2

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).

Для блока 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 , і складемо систему рівнянь для вантажів та блока

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

Для блока у вигляді однорідного диска, який 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 збігається з прискоренням вантажів) співвідношенням

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

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

$$a = \frac{g(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2 + m/2}, \quad a = \frac{9,81(3 - 2)}{2 + 3 + 1/2} \approx 1,78 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right);$$

$$T_1 = m_1 g \frac{2m_2 + m/2}{m_1 + m_2 + m/2}, \quad T_1 = 2 \cdot 9,8 \frac{2 \cdot 3 + 1/2}{2 + 3 + 1/2} \approx 23,2 \text{ (Н)};$$

$$T_2 = m_2 g \frac{2m_1 + m/2}{m_1 + m_2 + m/2}, \quad T_2 = 3 \cdot 9,8 \frac{2 \cdot 2 + 1/2}{2 + 3 + 1/2} \approx 24,1 \text{ (Н)}.$$

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 одне 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.

Дано:

$$m_1 = 64 \text{ кг}$$

$$m_2 = 32 \text{ кг}$$

$$v_1 = 5,4 \text{ км/год}$$

$$v_2 = 1,8 \text{ км/год}$$

$$v = ?$$

Розв'язання

Зробимо схематичне креслення за умовою задачі, спрямувавши горизонтальну вісь OX в напрямку руху людини (рис. 3).

Це класичний випадок абсолютно непружного удару, коли після зіткнення тіла рухаються як одне ціле. Для таких ударів завжди застосовний закон збереження імпульсу

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}.$$

У проєкціях 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.

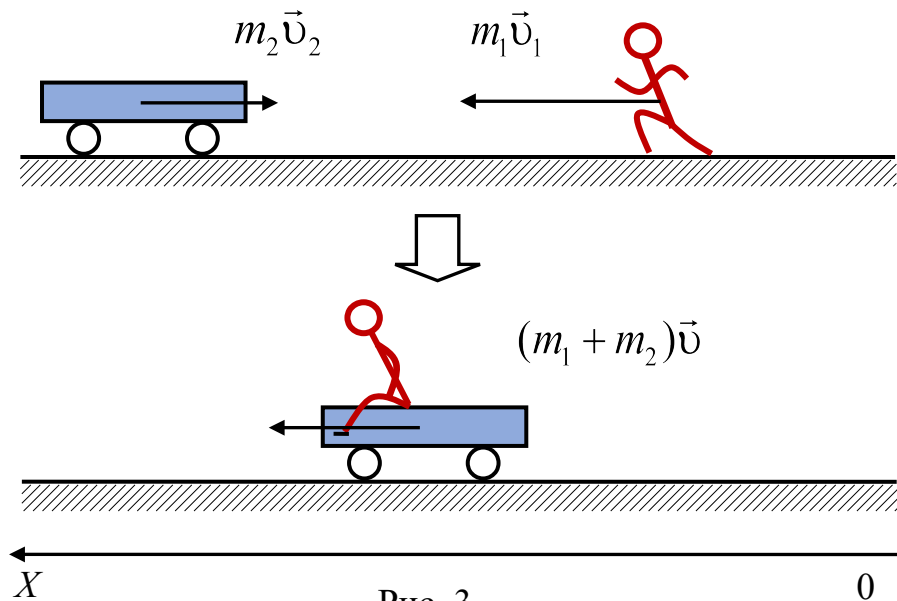


Рис. 3

З останнього рівняння отримаємо

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

Відмітимо, що внаслідок однорідності останньої формули байдуже, у яких одиницях вимірювання підставляти маси m_1 та m_2 ; потрібно 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 з 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 обертатиметься 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 з розмірами платформи людину вважатимемо матеріальною точкою.

До початку руху людини тіла системи були

$$\text{нерухомі} \quad L_1 = 0.$$

Після початку руху людини платформа почала обертатися 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

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

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

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

Дано:

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

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

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

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

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

$$T_2 = 290 \text{ К}$$

$$p_2 = ?$$

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 із них дає

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

Перевіримо другий доданок

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

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 в балоні, становить $p_2 = 0,364$ 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.

Дано:	Розв'язання
$Q_1 = 1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж}$ $T_1 = 500 \text{ К}$ $A = 350 \text{ Дж}$	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 $\eta = \text{Дж} / \text{Дж} = 1$ 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: ККД циклу теплової машини, яка працює за оборотним циклом Карно, дорівнює 0,35, а температура холодильника – 325 К.

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

Дано:

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

$$\tau = 25 \text{ нКл/м} = 25 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}$$

$$a_1 = 0,5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$a_2 = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

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

Розв'язання

Для визначення різниці потенціалів скористаємося 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 і 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)

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r},$$

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

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = - \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r} dr = - \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r};$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = - \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon} \ln \frac{r_2}{r_1};$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon} \ln \frac{r_1}{r_2}.$$

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 в 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 клеммах 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:

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$U = 15 \text{ В}$$

$$r = 1 \text{ Ом}$$

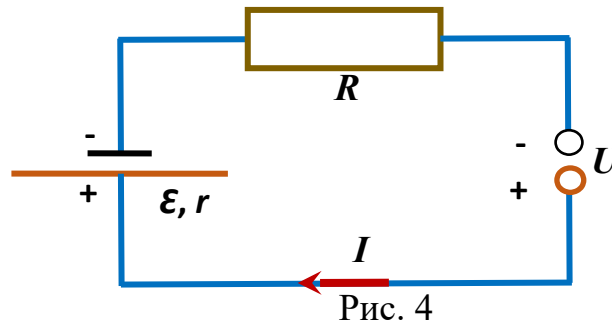
$$R_1 = 0,5 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 1 \text{ Ом}$$

$$U_{a1} - ?$$

$$U_{a2} - ?$$

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



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 « \rightarrow » 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 клеммах 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 $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$,

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

У випадку, коли цей опір дорівнює внутрішньому опорю 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 $0,5 \text{ Ом}$ і коли цей опір дорівнює внутрішньому опорю акумулятора, становить відповідно 14 В та $13,5 \text{ В}$.

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

Дано:	Розв'язання
$R = 20 \text{ Ом}$	Закон Джоуля – Ленца слухний для
$I_0 = 0 \text{ А}$	постійного струму
$I_{\max} = 6 \text{ А}$	$Q = I^2 R t$.
$t_1 = 0 \text{ с}; t_2 = 1 \text{ с},$	Якщо сила струму змінюється із часом, то
$t_3 = 2 \text{ с}$	закон виконується для нескінченно малого інтервалу
$Q = ?$	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, якщо $t_1 = 0$ с, початковий струм $I = I_0$, а якщо $t_3 = 2$ 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

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

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

Підставивши числові дані, отримуємо

$$Q = \frac{9 \cdot 20}{3} (1^2 - 0) ;$$

$$Q = \frac{9 \cdot 20}{3} (1^2 - 0) = 60 \text{ Дж.}$$

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 дає можливість 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

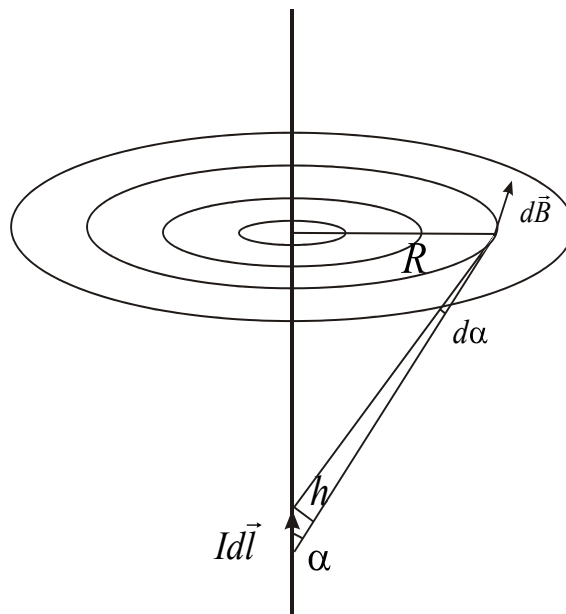


Рис. 5

відповідного радіуса (рис. 5).

Оскільки 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 рисунка 5 видно, що

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

Оскільки

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

$$dl = \frac{r d\alpha}{\sin \alpha} = \frac{R d\alpha}{\sin^2 \alpha}.$$

Отже,

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

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

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

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

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

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 нього на відстані 4 см, дорівнює 0,1 мТл.

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

Дано:

$$U = 400 \text{ В}$$

$$H = 1 \text{ кА/м} = 1000 \text{ А/м}$$

$R = ?$

Розв'язання

Радіус кривини електрона визначається з таких міркувань: на електрон, що рухається в магнітному полі, діє сила Лоренца:

$$\vec{F} = q [\vec{v} \times \vec{B}]$$

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.

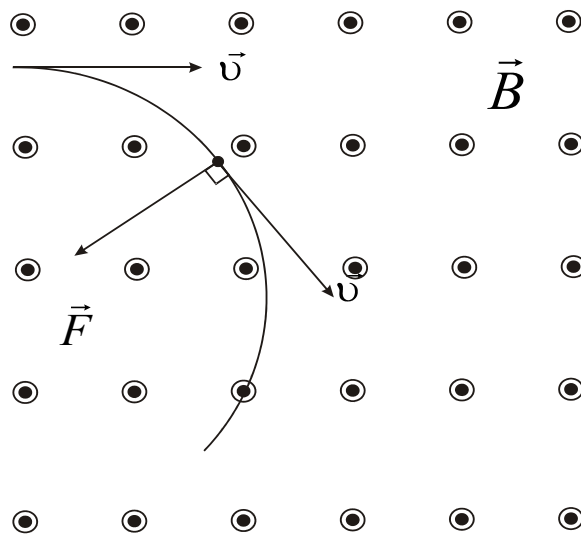


Рис. 6

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

$$R = \frac{m\nu}{eB}.$$

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

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

Або

$$m\nu = \sqrt{2mW_K}.$$

Зі свого боку, електричне поле виконує над електроном роботу

$$W_K = eU.$$

Тоді

$$m\nu = \sqrt{2meU}.$$

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 в 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 в 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:

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

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

$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

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

$$d_1 = ?$$

$$G = ?$$

$$D = ?$$

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 була б значно простішою, 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 (усі 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 і дає його уявне збільшене зображення B_2 .

Щоб краще запам'ятати цей принцип, достатньо один раз провести через подібну систему всього два промені – фіолетовий (через фокус лінзи

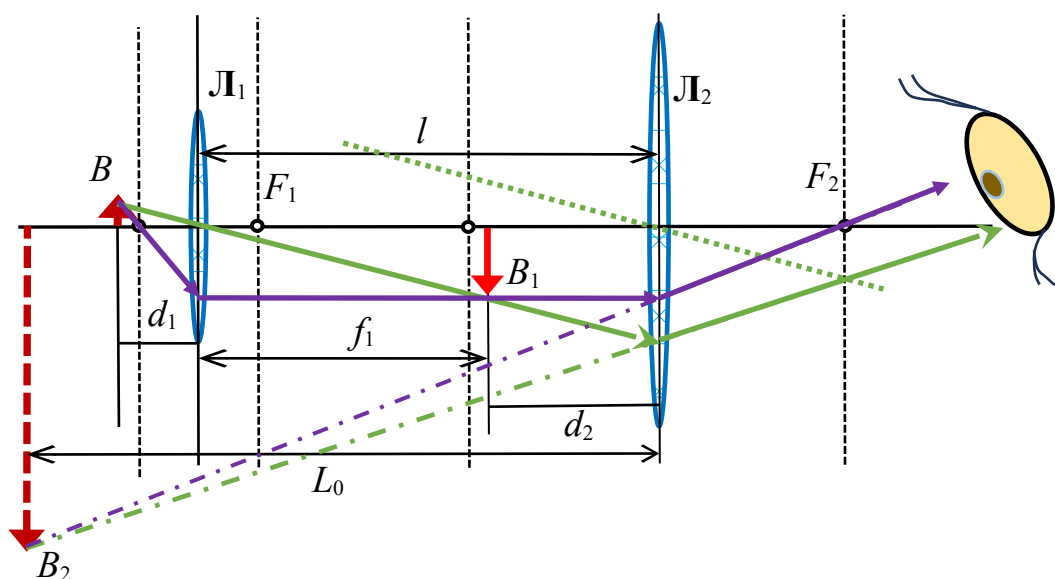


Рис. 7

Л₁) і зелений (через оптичний центр лінзи Л₁), що ми й зробили на рисунку 7. Надзвичайно просто провести фіолетовий промінь. Для проведення зеленого променя потрібно використати додаткову побудову (паралельна зелена пунктирна лінія через оптичний центр лінзи Л₂) 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) і 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 Л₁

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

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 потреба перевіряти розмірність величин, тому що у 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

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

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: відстань, на якій потрібно розмістити предмет від об'єктива, $d_1 = 1,061$ см.

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

Задача 13. На скляний клин із 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 вважати 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 грані.

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

Темні інтерференційні смуги (смуги однакової товщини)

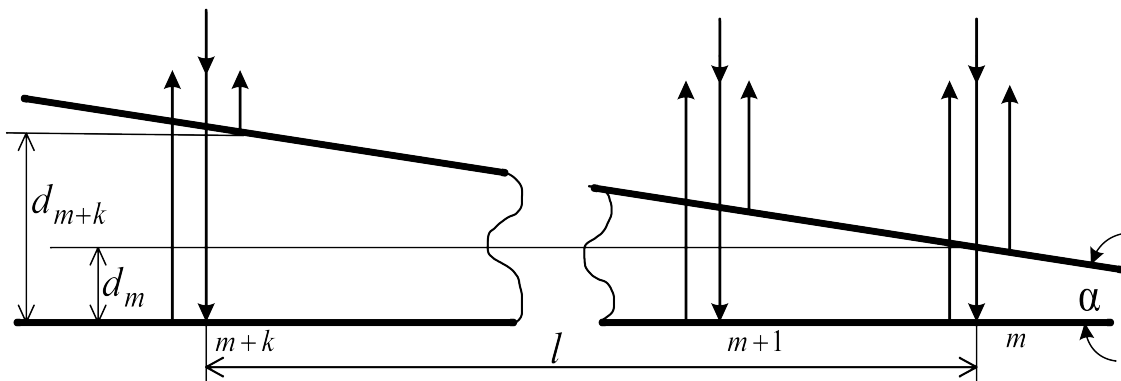


Рис. 8

спостерігатимуться 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 з різниці оптичних довжин шляхів відбитих променів і доданка $\lambda/2$. Цей доданок зумовлений тим, що в разі відбивання від оптично більш щільного середовища виникає додатковий зсув фаз на π .

Оскільки промені падають нормально, 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 -й смузі відповідає товщина клину d_m , то $m+k$ -й 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 рисунка 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 вважати, що $\sin \alpha \approx \alpha$.

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

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

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. Унаслідок нагрівання абсолютно чорного тіла (АЧТ) довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної випромінювальної здатності, змістилася з 2,7 мкм до 0,9 мкм. Визначити, у скільки разів змінилася 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

Скористаємося 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 дорівнюватиме 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

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

Остаточно 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:	Розв'язання
$m = 0,2 \cdot 10^{-9}$ кг	Активність радіоактивного препарату визначається за формулою:
$t = 6 \text{ год} = 2,16 \cdot 10^4$ с	$A = \lambda N $.
$T_{1/2} = 10 \text{ хв} = 600$ с	Згідно закону радіоактивного розпаду:
$\mu = 24 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	$N = N_0 e^{-\lambda t}$.
$A_0 - ?$	Отже, $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$.
$A - ?$	

Початкову активність препарату отримаємо за умови $t = 0$:

$$A_0 = \lambda N_0.$$

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

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

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

Стала радіоактивного розпаду:

Тоді формули для активностей A_0 та A набувають вигляду:

$$A_0 = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A, \quad A = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}, \quad A = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}.$$

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 формули:

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

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

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

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

Дано:

$$m_p = 1,00728 \text{ а.о.м.}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ а.о.м.}$$

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

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

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

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

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 у 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) залежать від навчальної дисципліни, тому існують загальні вимоги та рекомендації щодо її виконання, оформлення та подання.

ІКР є цілісним документом, який має титульний аркуш (макет якого наведено на наступній сторінці) та окремі аркуші правильно вирішених та оформлених завдань (у 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 й роздрукувати (або приєднати до файлу Word вашої ІКР, якщо буде призначено надсилання її в електронному вигляді).

Ми рекомендуємо як *основний спосіб паперового варіанта* оформлення контрольної роботи на аркушах паперу А4, зібраних у 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 і назву модуля (або модулів, якщо кількість контрольних робіт менша за кількість обов'язкових модулів), назву збірника завдань, номери задач його варіанта, дату видачі та кінцеву дату здачі контрольної роботи. Усе це заноситься у відповідні клітинки титульного аркуша разом із назвою групи, П. І. Б. студента та П. І. Б. викладача, який здійснюватиме перевірку й оцінювання роботи.

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

А саме:

- Кожну задачу починати розв'язувати з нової сторінки, вказуючи її номер.
- Скласти коротку умову задачі.
- Перевести всі значення фізичних величин у систему СІ.
- Рішення задач слід супроводжувати короткими, але вичерпними поясненнями; у разі потреби наводиться креслення, виконане за допомогою креслярського приладдя.
- Розв'язок задачі рекомендується подавати в загальному вигляді, тобто необхідно виразити шукану величину через символи (буквені позначення) величин, заданих в умові. За такого способу рішення значення проміжних величин не обчислюють.
- Отримавши розрахункову формулу, для перевірки її правильності слід виконати перевірку розмірності, тобто підставити у праву частину позначення одиниць усіх величин, провести над ними необхідні дії згідно з отриманих формул і переконатися в тому, що отримана при цьому одиниця відповідає шуканій величині.
- Під час підстановки в розрахункову формулу, а також у запису відповіді числові значення величин слід записувати в Е-представленні (тобто як добуток числа на 10 у 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 надсилає в електронному вигляді у відповідний курс фізики на навчальному сайті КНУБА: org2.knuba.edu.ua).

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 цій точці

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

де $v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$, $v_z = \frac{dz}{dt}$ – проєкції 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 $a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$, $a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$, $a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$ – проєкції вектора прискорення на координатні осі.

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

- Модуль миттєвого прискорення
- Вектор повного прискорення за криволінійного руху 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.

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

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

$$\vec{\varphi} = \vec{\varphi}_0 + \vec{\omega}_0 t + \frac{\vec{\varepsilon} t^2}{2},$$

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

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

- Миттєва кутова швидкість

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

- Миттєве кутове прискорення
- 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 за обертального руху пов'язані співвідношеннями

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

- 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, за 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

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

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

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

наприкінці стадії розгону

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

➤ Момент зовнішньої сили відносно центра обертання

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

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

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

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, за яких момент інерції $I = \text{const}$, закон динаміки обертального руху має вигляд

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

➤ 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

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

через центр мас перпендикулярно до стрижня

б) диска радіусом R відносно осі, що проходить через центр диска і

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

перпендикулярної до його площини

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 нулю

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

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: у замкнених консервативних системах тіл повна механічна енергія зберігається із 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

$$\text{потоці рідини (газу)} \quad F_C = 6\pi\eta r v$$

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

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

➤ Число (критерій) Рейнольдса

де ρ – густина речовини; v – швидкість течії; l – характерний розмір у 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

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

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

➤ Релятивістська маса тіла

➤ 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 у 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. Уздовж 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. У 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. У 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, що у 2 рази більша, ніж швидкість другої половини шляху. Середня швидкість на всьому шляху становила 4,0 км/год. Яка середня швидкість катера 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 з них затрачався той самий час.
- 1.9. Рух точки заданий рівнянням $x = 12t - 2t^2$ (x виражено в метрах, t – у 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 – у секундах). Де була розташована 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 розташовані 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 години проїхав шлях 90 км, а наступні 3 години 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 із середньою швидкістю 70 км/год, а іншу – із 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 десяту 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. За якої швидкості літаки можуть приземлитися на смугі аеродрому довжиною 800 м у разі гальмування 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 в 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 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 та 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 рухатиметься відносно землі і під яким кутом до меридіана 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 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 км.
- 1.35. Вертикально кинуте вгору тіло повернулося на землю через 3 с. Якою була початкова швидкість? На яку висоту піднялося 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 вдвічі? Опір повітря не враховувати.
- 1.37. З аеростата, що перебуває на висоті 300 м, упав камінь. Через який час камінь досягне землі, якщо: аеростат піднімається зі швидкістю $v = 5$ м/с, аеростат опускається зі швидкістю $v = 5$ м/с, аеростат нерухомий?
- 1.38. 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.
- 1.39. 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.
- 1.40. Тіло, що вільно падає, в останню секунду свого падіння проходить половину всього шляху. Визначити висоту, з якої падає тіло, та тривалість його падіння.
- 1.41. Тіло A кинуте вертикально вгору із 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.
- 1.42. 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.

- 1.43. 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.
- 1.44. Швидкість потяга, що рухається рівносповільнено, під час гальмування зменшується протягом 1 хв від 40 км/год до 28 км/год. Знайти прискорення гальмування потяга та відстань, яку проходить потяг за час гальмування.
- 1.45. 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?
- 1.46. Тіло A починає рухатися 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 напрямку починає рухатися тіло B з початковою швидкістю 12 м/с і з тим же прискоренням. Визначити найменше значення цього прискорення a , за якого тіло B не зможе наздогнати тіло A . Приведіть графічне обґрунтування розв'язку.
- 1.47. 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 с.
- 1.48. 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...4 с. Побудувати графіки для координати, швидкості та прискорення для $0 \leq t \leq 5$ через 1 с.
- 1.49. 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 дорівнюватиме 1 м/с^2 . Чому дорівнює середнє прискорення тіла за цей проміжок часу?
- 1.50. У скільки разів нормальне прискорення точки, що лежить на ободі колеса, більше її тангенціального прискорення для моменту, коли вектор повного прискорення цієї точки становить кут 30° з вектором її лінійної швидкості?

- 1.51. 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 розташована на відстані 0,1 м від осі обертання для моменту часу 4 с.
- 1.52. 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_t , нормальне a_n та повне a прискорення точки в момент часу 4 с.
- 1.53. Визначити повне прискорення в момент 3 с точки, яка розташована 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.
- 1.54. 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.
- 1.55. 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.
- 1.56. 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.
- 1.57. 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.
- 1.58. 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 в кінці шляху.
- 1.59. Колесо радіусом 10 см обертається так, що залежність лінійної швидкості точок на ободі колеса від часу має вигляд: $v = At + Bt^2$, де $A = 3$ см/с², $B = 1$ см/с³. Знайти кут між вектором повного прискорення та радіусом колеса в момент часу 2 с.
- 1.60. Визначити обумовлену обертанням Землі навколо своєї осі швидкість та доцентрове прискорення точок поверхні Землі на широті Києва (50°). Радіус Землі вважати 6370 км.

- 1.61. Тіло рухається рівносповільнено по закругленій частині шляху з радіусом кривизни 100 м за законом $S = A + Bt + Ct^2$, де $A = 50$ м; $B = 26$ м/с; $C = -1,5$ м/с². Знайти швидкість тіла, його тангенціальне, нормальне та повне прискорення через 2 с після початку руху.
- 1.62. У який момент часу у тіла, кинутого горизонтально з початковою швидкістю 19,6 м/с, тангенціальне прискорення дорівнюватиме нормальному?
- 1.63. Визначити швидкість тіла через 3,0 с після того, як його кинули горизонтально зі швидкістю 10 м/с.
- 1.64. Тіло кинуто під кутом 60° до горизонту з початковою швидкістю 10 м/с. Визначити момент часу, коли швидкість напрямлена під кутом 45° до горизонту.
- 1.65. 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.
- 1.66. З обриву в горизонтальному напрямку кидають камінь зі швидкістю 20 м/с. Визначити точку траєкторії, радіус кривизни, якій у вісім разів більший за радіус кривизни в початковій точці траєкторії. Прискорення вільного падіння вважати рівним 10 м/с². Розв'язок супроводити рисунком.
- 1.67. 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.
- 1.68. 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.
- 1.69. Кинутий горизонтально камінь упав 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 у точці його падіння на землю? Опором повітря знехтувати.
- 1.70. Кинутий горизонтально м'яч вдаряється об стіну, що розташована на відстані 5 м від місця кидання. Висота місця зіткнення м'яча зі стінкою на 1 м менша за висоту, з якої кинуто м'яч. З якої

швидкістю кинуто м'яч? Під яким кутом м'яч підлітає до поверхні стінки? Опором повітря знехтувати.

- 1.71. Камінь кинуто в 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.
- 1.72. Камінь кинуто горизонтально зі швидкістю 10 м/с. Знайти радіус кривизни траєкторії каменю через 3 с після початку руху. Опором повітря знехтувати.
- 1.73. 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 в русі. Опором повітря знехтувати.
- 1.74. На спортивних змаганнях у Києві спортсмен штовхнув ядро на відстань 16 м 20 см. На яку відстань полетить таке ж ядро в Ташкенті за таких самих умов (за такої ж початкової швидкості, напрямленій під таким же кутом до горизонту)? Прискорення сили тяжіння в Києві $981,2 \text{ см/с}^2$, у Ташкенті $980,3 \text{ см/с}^2$.
- 1.75. На горизонтальній поверхні тіло кинуто під кутом до горизонту. Тривалість всього польоту становить 4 с. Знайти найбільшу висоту підняття цього тіла. Опором повітря знехтувати. Прискорення вільного падіння вважати рівним 10 м/с^2 .
- 1.76. 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 за тієї самої початкової швидкості він упав на те ж саме місце?
- 1.77. Тіло кинуто зі швидкістю 14,7 м/с під кутом 30° до горизонту. Знайти нормальне та тангенціальне прискорення тіла через 1,25 с після початку руху. Опором повітря знехтувати.
- 1.78. 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.
- 1.79. З вежі висотою 25 м кинули камінь зі швидкістю 15 м/с під кутом 30° до горизонту. Визначити: скільки часу камінь буде в 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.

- 1.80. Хлопчик кидає м'яч зі швидкістю 10 м/с під кутом 45° до горизонту. М'яч ударяється об стіну, яка розташована на відстані 3 м від хлопчика. Визначити, коли м'яч ударяється об стіну (під час підйому м'яча чи під час його опускання), на якій висоті це трапиться (відраховуючи від висоти, з якої кинуто м'яч) та швидкість м'яча в момент удару. Опором повітря знехтувати.
- 1.81. 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.
- 1.82. З якою швидкістю має рухатися літак на екваторі зі сходу на захід, щоб пасажирам цього літака Сонце здавалося нерухомим на небі?
- 1.83. 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 в першому диску на кут 12° . Знайти швидкість кулі.
- 1.84. Знайти радіус колеса, що обертається, якщо відомо, що лінійна швидкість точки, що лежить на ободі, у 2,5 раза більша за лінійну швидкість точки, що лежить на 5 см ближче до осі.
- 1.85. Колесо, обертаючись рівноприскорено, досягло кутової швидкості 20 рад/с через 10 обертів після початку обертання. Знайти кутове прискорення колеса.
- 1.86. Колесо, обертаючись рівносповільнено, під час гальмування 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.
- 1.87. Вентилятор обертається із частотою 900 об/хв. Після вимкнення вентилятора, обертаючись рівносповільнено, зробив до зупинки 75 обертів. Скільки часу пройшло з моменту виключення вентилятора до повної його зупинки?
- 1.88. Вал обертається із частотою 180 об/хв. З деякого моменту часу вал гальмується й обертається рівносповільнено з кутовим

- прискоренням 3 рад/с^2 . Через який час вал зупиниться? Скільки обертів він зробить до зупинки?
- 1.89. 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? Чи буде вдвічі його більше?
 - 1.90. Точка рухається по колу радіусом 10 см із 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 .
 - 1.91. 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 $A = 8 \text{ м/с}$, $B = 0,1 \text{ м/с}^3$, φ – кут повороту радіуса-вектора.
 - 1.92. 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 .
 - 1.93. 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 вважати рівним $0,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, швидкість електрона на цій орбіті $2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.
 - 1.94. Колесо радіусом 10 см обертається з постійним кутовим прискоренням $3,14 \text{ рад/с}^2$. 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 становить напрямком повного прискорення з радіусом колеса.
 - 1.95. Точка рухається по колу так, що залежність шляху від часу $S = A + Bt + Ct^2$, де $B = -2 \text{ м/с}$ та $C = 1 \text{ м/с}^2$. 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 $0,5 \text{ м/с}^2$.
 - 1.96. 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.

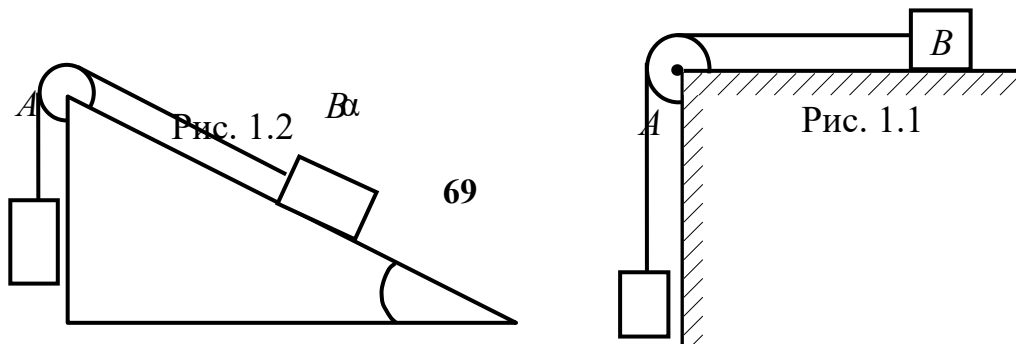
- 1.97. Колесо обертається з постійним кутовим прискоренням 2 рад/с^2 . Через $0,5 \text{ с}$ після початку руху повне прискорення колеса дорівнювало $13,6 \text{ см/с}^2$. Знайти радіус колеса.
- 1.98. Колесо радіусом $0,1 \text{ м}$ обертається так, що залежність кута повороту радіуса колеса від часу $\varphi = A + Bt + Ct^3$, 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.
- 1.99. 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 кожен секунду руху.
- 1.100. 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 моменті часу 2 с після початку руху.
- 1.101. 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 $3,46 \cdot 10^2 \text{ м/с}^2$.
- 1.102. Чому дорівнює вага космонавта під час зльоту ракети вертикально вгору з прискоренням $5g$? Маса космонавта 80 кг .
- 1.103. 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.
- 1.104. 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 із поверхнею пластини утворить ця сила?
- 1.105. У ліфті, що рухається прискорено, на пружинних терезах висить вантаж масою $0,1 \text{ кг}$. При цьому показник терезів становить $1,1 \text{ Н}$. Знайти прискорення ліфта.

- 1.106. 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.
- 1.107. 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 .
- 1.108. 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?
- 1.109. Маса ліфта з пасажирами 800 кг. Знайти, з яким прискоренням і в якому напрямку рухається ліфт, якщо відомо, що натяг троса, що утримує ліфт, у першому випадку 12 000 Н, у другому – 6000 Н.
- 1.110. До нитки підвішена гиря. Якщо піднімати її з прискоренням 2 м/с^2 , натяг нитки буде вдвічі меншим за натяг, за якого нитка розірветься. З яким максимальним прискоренням треба піднімати цю гирю, щоб нитка не розірвалася?
- 1.111. Автомобіль вагою 10^4 Н зупиняється в разі гальмування за 5 с, пройшовши при цьому рівносповільнено відстань 25 м. Знайти початкову швидкість руху автомобіля і силу гальмування.
- 1.112. 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.
- 1.113. 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.
- 1.114. Яку силу потрібно прикласти до вагона, що стоїть на рейках, щоб вагон почав рухатися 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.
- 1.115. Потяг вагою $4,9 \cdot 10^6 \text{ Н}$ після припинення дії тяги паровоза під дією сили тертя $9,8 \cdot 10^4 \text{ Н}$ зупиняється через 1 хв. З якою швидкістю рухався потяг?
- 1.116. Вагон масою 10^5 кг рухається рівносповільнено з прискоренням $0,3 \text{ м/с}^2$. Початкова швидкість вагона 54 км/год. Яка сила

гальмування діє на вагон? Через який час вагон зупиниться? Яку відстань вагон пройде до зупинки?

- 1.117. Тіло масою 0,5 кг рухається прямолінійно, причому залежність пройденого тілом шляху від часу має вигляд: $S = A - Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $C = 5 \text{ м/с}^2$ і $D = 1 \text{ м/с}^3$. Знайти силу, що діє на тіло наприкінці першої секунди руху.
- 1.118. 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 $C = 1 \text{ м/с}^3$.
- 1.119. Тіло масою 0,5 кг рухається так, що залежність пройденого шляху від часу руху має вигляд: $S = A \sin(\omega t)$, де $A = 5 \text{ см}$ і $\omega = \pi \text{ рад/с}$. Знайти силу, що діє на тіло через $1/6 \text{ с}$ після початку руху.
- 1.120. Молекула масою $4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$, 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.
- 1.121. Струмінь води перерізом 6 см^2 вдаряється об стіну під кутом 60° до нормалі та пружно відскакує від неї без втрати швидкості. Знайти силу, що діє на стінку, якщо відомо, що швидкість течії води в струмені 12 м/с.
- 1.122. Трамвай рушає з місця з постійним прискоренням $0,8 \text{ м/с}^2$. Через 12 с після початку руху двигун трамвая вимикається і 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.
- 1.123. 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 ?
- 1.124. Який кут із горизонтом становить поверхня бензину автомобільного бензобака, що рухається горизонтально з постійним прискоренням 2 м/с^2 ?
- 1.125. 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?

- 1.126. Залізничний вагон гальмується, і його швидкість рівномірно змінюється за 3,3 с від 47,5 км/год до 30 км/год. За якого граничного значення коефіцієнта тертя між валізою і полицею валіза під час гальмування починає ковзати по полиці?
- 1.127. Канат лежить на столі так, що частина його звисає зі стола й починає ковзати тоді, коли довжина частини, що звисає, становить 15 % усієї його довжини. Чому дорівнює коефіцієнт тертя каната по столу?
- 1.128. Автомобіль має масу 1 т. Під час руху на автомобіль діє сила тертя, що дорівнює 0,1 його ваги. Знайти силу тяги двигуна автомобіля під час руху його з постійною швидкістю на гору та з гори. Гора має нахил в 1 м на кожні 25 м шляху.
- 1.129. Кинутий по поверхні льоду зі швидкістю 2,44 м/с камінь масою 1,05 кг під дією сили тертя зупиняється через 10 с. Знайти силу тертя, вважаючи її постійною.
- 1.130. Знайти силу тяги двигуна автомобіля, що рухається на 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.
- 1.131. Тіло ковзає вниз по похилій площині, що утворює з горизонтом кут 45° . Пройшовши відстань 36,4 см, тіло набуває швидкості 2 м/с. Чому дорівнює коефіцієнт тертя тіла об площину?
- 1.132. Тіло ковзає вниз по похилій площині, що утворює 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.
- 1.133. 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.
- 1.134. Невагомий блок закріплений на вершині похилої площини (рис. 1.2), що складає з горизонтом кут 30° . Вантажі рівної маси в 1 кг з'єднані ниткою, перекинutoю через блок. Знайти прискорення, з яким рухаються вантажі, та натяг нитки. Тертям у блоці, а також тертям гирі B по похилій площині знехтувати.



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

1.136. Невагомий блок закріплений на вершині двох дотичних похилих

площин, що утворюють із 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, та натяг

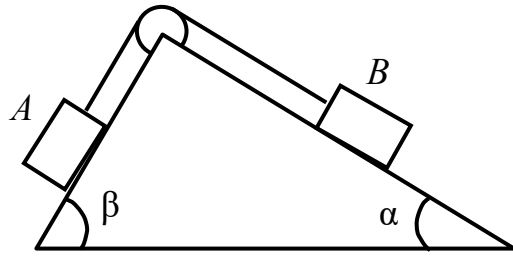


Рис. 1.3

нитки. Тертям гирь A і B об площини, а також тертям у блоці знехтувати.

1.137. Розв'язати попередню задачу за умови, що коефіцієнти тертя гирь A і B об площини $0,1$. Тертям у блоці знехтувати.

1.138. На яку долю зменшиться вага тіла на екваторі внаслідок обертання Землі навколо осі?

1.139. Якої тривалості була б доба на Землі, якби тіла на екваторі стали невагомими?

1.140. Трамвайний вагон масою $5 \cdot 10^3$ кг їде по закругленню радіусом 128 м. Знайти силу бічного тиску коліс на рейки за швидкості руху 9 км/год.

1.141. Відро з водою рівномірно обертають у вертикальній площині по колу радіусом 1 м. Знайти найменшу швидкість обертання відра, за якої в найвищій точці вода з нього не виливається, та визначити вагу води за цієї швидкості у найвищій і найнижчій точках кола. Маса води у відрі 5 кг, масою відра знехтувати.

1.142. Закріплений на тонкому стрижні довжиною 50 см камінь рівномірно обертають у вертикальній площині так, що стрижень весь час перебуває у стані розтягу. Знайти масу каменю, якщо різниця між максимальним і мінімальним натягами стрижня дорівнює 100 Н.

1.143. 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.

- 1.144. Гирька масою 50 г прив'язана до нитки довжиною 30 см та описує в горизонтальній площині коло радіусом 15 см. Знайти силу натягу нитки.
- 1.145. 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.
- 1.146. 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?
- 1.147. Літак, що летить зі швидкістю 900 км/год, робить «мертву петлю». Яким має бути її радіус, щоб найбільша сила, яка притискає льотчика до сидіння, дорівнювала п'ятикратній вазі льотчика?
- 1.148. Мотоцикліст їде по горизонтальній дорозі зі швидкістю 72 км/год, роблячи поворот радіусом кривизни 100 м. Яким має бути нахил мотоцикла, щоб не впасти під час повороту?
- 1.149. 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?
- 1.150. На закругленні дорога має ухил в 10° з радіусом закруглення 100 м. На яку оптимальну швидкість розрахована ділянка дороги?
- 1.151. Закріплений на нитці вантаж масою 1 кг відхиляють на кут 30° . Знайти натяг нитки в момент проходження вантажем положення рівноваги.
- 1.152. Хлопчик обертається на «велетенських кроках» із частотою 16 об/хв. Довжина канатів дорівнює 5 м. Який кут із вертикаллю становлять канати «велетенських кроків»? Який натяг канатів, якщо маса хлопчика дорівнює 45 кг. Яка лінійна швидкість обертання хлопчика?
- 1.153. Закріплений на невагомому стрижні довжиною 0,5 м вантаж масою 1 кг робить коливання у вертикальній площині. За якого кута відхилення стрижня від вертикалі кінетична енергія вантажу в його нижньому положенні дорівнює 2,45 Дж? У скільки разів за такого кута відхилення натяг стрижня у його середньому положенні більше за натяг стрижня у його крайньому положенні?

- 1.154. На невагомому стрижні висить вантаж, який відхиляють на кут 90° і відпускають. Знайти натяг стрижня під час проходження ним положення рівноваги.
- 1.155. Сталевий дріт деякого радіуса витримує навантаження до 3000 Н. На такому ж дроті підвішений вантаж масою 150 кг. На який найбільший кут можна відхилити дріт із вантажем, щоб він не розірвався під час проходження ним положення рівноваги?
- 1.156. 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?
- 1.157. Вода тече по трубі, яка розташована в горизонтальній площині та 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.
- 1.158. 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.
- 1.159. Під час вертикального підйому вантажу масою 2 кг на висоту 1 м постійною силою виконана робота 80 Дж. З яким прискоренням піднімали вантаж?
- 1.160. Літак піднімається і на висоті 5 км досягає швидкості 360 км/год. У скільки разів робота, виконана під час підйому проти сили тяжіння, більше за роботу, що йде на збільшення швидкості літака? Тертям знехтувати.
- 1.161. Яку роботу треба виконати, щоб змусити рухоме тіло масою 2 кг збільшити свою швидкість від 2 до 5 м/с і зупинитися за початкової швидкості 8 м/с?
- 1.162. 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.
- 1.163. Випущений по поверхні льоду зі швидкістю 2 м/с камінь пройшов до повної зупинки відстань 20,4 м. Знайти коефіцієнт тертя між каменем і льодом, вважаючи його постійним.

- 1.164. 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 та відстань, яку вагон пройде до зупинки.
- 1.165. Автомобіль починає гальмувати за 25 м від перешкоди на дорозі. Сила тертя під час гальмування автомобіля постійна й дорівнює 3840 Н, маса автомобіля 1 т. За якої граничної швидкості руху автомобіль встигне зупинитися перед перешкодою.
- 1.166. Трамвай рухається з прискоренням $49,0 \text{ см/с}^2$. Знайти коефіцієнт тертя, якщо відомо, що 50 % потужності двигуна йде на подолання сил тертя та 50 % – на збільшення швидкості руху.
- 1.167. 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.
- 1.168. Вага автомобіля $9,81 \cdot 10^3 \text{ Н}$. Під час руху 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 $4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$.
- 1.169. Яку масу бензину витрачає двигун автомобіля на шляху 100 км, якщо за середньої потужності двигуна 15 кВт середня швидкість його руху становить 30 км/год? ККД двигуна становить 22 %. Інші необхідні дані взяти з умови попередньої задачі.
- 1.170. Воду качають з криниці глибиною 20 м. Для відкачки поставлений насос із двигуном, потужність якого дорівнює 5 кВт. Знайти ККД двигуна, якщо відомо, що за 7 годин роботи насоса об'єм піднятої з криниці води дорівнює $3,8 \cdot 10^5 \text{ л}$.
- 1.171. Камінь масою 2 кг упав з деякої висоти. Падіння тривало 1,48 с. Знайти кінетичну й потенціальну енергії каменю в середній точці шляху. Опором повітря знехтувати.
- 1.172. 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.
- 1.173. Камінь кинули під кутом 60° до горизонту зі швидкістю 15 м/с. Знайти кінетичну, потенціальну й повну енергії каменю через 1 с

після початку руху. Маса каменю 0,2 кг. Опором повітря знехтувати.

- 1.174. 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.
- 1.175. 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 дорівнює $8 \cdot 10^{-4}$ Дж.
- 1.176. Уздовж похилої площини висотою 1 м і довжиною схилу 10 м вниз ковзає тіло масою 1 кг. Знайти кінетичну енергію тіла біля основи площини, швидкість тіла біля основи площини, відстань, пройдену тілом по горизонтальній частині шляху до зупинки. Коефіцієнт тертя ковзання на всьому шляху вважати постійним і рівним 0,05.
- 1.177. Тіло сковзає спочатку по похилій площині, що становить кут 8° з горизонтом, а потім по горизонтальній поверхні. Знайти коефіцієнт тертя, якщо відомо, що по горизонтальній поверхні тіло проходить таку ж відстань, як і по похилій площині.
- 1.178. Уздовж похилої площини висотою 0,5 м і довжиною схилу 1 м ковзає вниз тіло масою 3 кг і досягає основи похилої площини зі швидкістю 2,45 м/с. Знайти коефіцієнт тертя тіла по площині та кількість теплоти, що виділяється під час тертя. Початкова швидкість тіла дорівнює нулю.
- 1.179. Автомобіль масою $2 \cdot 10^3$ кг рухається на гору. Нахил гори дорівнює 4 м на кожні 100 м шляху. Коефіцієнт тертя дорівнює 0,08. Знайти роботу, що виконує двигун автомобіля на шляху 3 км, та його потужність, якщо цей шлях був пройдений за 4 хв.
- 1.180. Яку потужність розвиває двигун автомобіля масою 10^3 кг, якщо автомобіль їде з постійною швидкістю 36 км/год по горизонтальній дорозі; на гору з нахилом 5 м на кожні 100 м шляху; з гори з тим же нахилом. Коефіцієнт тертя дорівнює 0,07.
- 1.181. Автомобіль масою 1 т рухається з гори з виключеним двигуном з постійною швидкістю 54 км/год. Нахил гори дорівнює 4 м на кожні 100 м шляху. Яку потужність має розвивати двигун цього автомобіля, щоб автомобіль з тією ж швидкістю рухався на гору з тим самим нахилом?

- 1.182. Сталева пружина розтягується силою 50 Н. Коли пружину розтягують додатковою силою 80 Н, вона подовжується ще на 20 см. Яка робота виконується при цьому подовженні?
- 1.183. В автоматичному пістолеті під час пострілу відскакує спеціальний кожух і 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, становить 3 см, а для стиску пружини на 1 см необхідна сила 40 Н?
- 1.184. На чашку пружинних терезів з висоти 10 см падає вантаж масою 1 кг. Які показання терезів за такого удару? Відомо, що під дією цього вантажу в нерухомому стані чашка терезів опускається на 0,5 см.
- 1.185. 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.
- 1.186. Зі ствола автоматичного пістолета вилетіла куля масою 10 г зі швидкістю 300 м/с. Затвор пістолета масою 200 м притискається до ствола пружиною, коефіцієнт жорсткості якої 25 кН/м. На яку відстань відійде затвор після пострілу? Вважати, що пістолет жорстко закріплений.
- 1.187. Пружина з коефіцієнтом жорсткості 600 Н/м стиснута силою 100 Н. Визначити роботу зовнішньої сили, що додатково стискає цю пружину ще на 2 см.
- 1.188. Дві пружини з коефіцієнтами жорсткості 0,5 кН/м і 1 кН/м скріплені паралельно. Визначити потенціальну енергію цієї системи за абсолютної деформації 4 см.
- 1.189. Яку потрібно виконати роботу, щоб стиснуту на 6 см пружину з коефіцієнтом жорсткості 800 Н/м додатково стиснути ще на 8 см?
- 1.190. 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?
- 1.191. 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.

- 1.192. Налетівши на пружинний буфер, вагон масою 16 т, що рухався зі швидкістю 0,6 м/с, зупинився, стиснувши пружину на 8 см. Знайти загальний коефіцієнт жорсткості пружин буфера.
- 1.193. Із пружинного пістолета вистрілили кулею масою 5 г. Коефіцієнт жорсткості пружини 1,25 кН/м. Пружина була стиснута на 8 см. Визначити швидкість кулі під час вильоту її із пістолета.
- 1.194. Під час пострілу з 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.
- 1.195. Знайти роботу, яку треба виконати, щоб стиснути пружину на 20 см, якщо відомо, що сила пропорційна деформації і під дією сили 29,4 Н пружина стискується на 1 см.
- 1.196. 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.
- 1.197. Акробат стрибає на сітку з висоти 8 м. На якій граничній висоті над підлогою треба натягнути сітку, щоб акробат не вдарився об підлогу під час стрибку? Відомо, що сітка прогинається на 0,5 м, якщо акробат стрибає на неї з висоти 1 м.
- 1.198. Вантаж поклали на чашу пружинних терезів. Скільки поділок покаже стрілка терезів за початкового відхилення, якщо після припинення коливань вона показує 5 поділок?
- 1.199. З якою швидкістю рухався вагон масою 20 т, якщо після удару об стінку буфер стиснувся на 10 см? Відомо, що пружина буфера стискається на 1 см під дією сили 10 кН.
- 1.200. 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 під час польоту каменю знехтувати.
- 1.201. 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 порівняно з вагою вантажу, знайти відношення потенціальних енергій цих пружин.

- 1.202. На двох паралельних пружинах однакової довжини висить невагомий стрижень. Коефіцієнти жорсткості пружин дорівнюють 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?
- 1.203. 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.
- 1.204. Гирька вагою 4,9 Н прив'язана до гумового джгута певної довжини й описує в горизонтальній площині коло. Частота обертання 2 об/с. Кут відхилення гумового джгута від вертикалі 30° . Знайти довжину нерозтягнутого гумового джгута. Для розтягнення джгута на 1 см потрібна сила 6,0 Н.
- 1.205. 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.
- 1.206. М'яч радіусом 10 см плаває у воді так, що його центр розташований на 9 см вище поверхні води. Яку роботу слід виконати, щоб занурити м'яч у воду до діаметральної площини?
- 1.207. 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?
- 1.208. Куля діаметром 30 см плаває у воді. Яку роботу слід виконати, щоб занурити її у воду ще на 5 см. Густина матеріалу кулі 500 кг/м^3 .
- 1.209. Шматок льоду з площею поперечного перерізу 1 м^2 та висотою 0,4 м плаває у воді. Яку роботу слід виконати, щоб повністю занурити шматок льоду у воду?
- 1.210. На рейках стоїть платформа масою 10 т, на якій закріплена гармата масою 5 т. З неї стріляють уздовж рейок. Маса снаряда 100 кг; його початкова швидкість відносно гармати 500 м/с. Знайти швидкість платформи відразу після пострілу, якщо платформа стояла

нерухомо; рухалась зі швидкістю 18 км/год та постріл був виконаний у напрямку її руху; платформа рухалась зі швидкістю 18 км/год та постріл був виконаний у напрямку, протилежному напрямку її руху.

- 1.211. З рушниці масою 5 кг вилітає куля масою $5 \cdot 10^{-3}$ кг зі швидкістю 600 м/с. Знайти швидкість віддачі рушниці.
- 1.212. Людина масою 60 кг, що біжить зі швидкістю 8 км/год, наздоганяє візок масою 80 кг, що рухається зі швидкістю 2,9 км/год, і стрибає на нього. З якою швидкістю рухатиметься візок? З якою швидкістю рухатиметься візок, якщо людина бігла назустріч йому?
- 1.213. 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 у напрямку, протилежному рухові снаряда.
- 1.214. Граната, що летить зі швидкістю 10 м/с, розірвалася на два осколки. Більший осколок, маса якого становить 60 % маси всієї гранати, продовжив рухатись у тому ж напрямку, але зі збільшеною швидкістю – 25 м/с. Знайти швидкість меншого осколка.
- 1.215. Перше тіло масою 1 кг, що рухається горизонтально зі швидкістю 1 м/с, наздоганяє друге тіло масою 0,5 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 м/с в тому ж напрямку, що й перше тіло; друге тіло рухалось зі швидкістю 0,5 м/с у напрямку, протилежному напрямку руху першого тіла.
- 1.216. Людина та візок рухаються назустріч одне одному. Маса людини 64 кг, маса візка 32 кг. Швидкість людини 5,4 км/год, швидкість візка 1,8 км/год. Людина застрибає на візок. Знайти швидкість візка разом із людиною.
- 1.217. Людина, стоячи на нерухомому візку, кидає вперед у горизонтальному напрямку камінь масою 2 кг. Візок із людиною покотився назад та відразу після кидання каменю набув швидкості

- 0,1 м/с. Маса візка з людиною 100 кг. Знайти, яку кінетичну енергію матиме кинутий камінь?
- 1.218. Тіло масою 2 кг рухається назустріч іншому тілу масою 1,5 кг та непружно зіштовхується з ним. Швидкість тіл перед зіткненням відповідно 1 м/с та 2 м/с. Скільки часу рухатимуться ці тіла після зіткнення, якщо коефіцієнт тертя об поверхню дорівнює 0,05?
 - 1.219. Автомат випускає 600 куль/хв. Маса кожної кулі 4 г, її початкова швидкість 500 м/с. Знайти середню силу віддачі в разі стрільби чергою.
 - 1.220. На рейках стоїть платформа масою 10 т, на якій закріплена гармата масою 5 т. З неї вистрілюють вздовж рейок. Маса снаряда 100 кг; його початкова швидкість відносно гармати 500 м/с. На яку відстань відкотиться платформа під час пострілу, якщо вона стояла нерухомо; рухалась зі швидкістю 18 км/год та постріл був виконаний у напрямку її руху; платформа рухалась зі швидкістю 18 км/год та постріл був виконаний у напрямку, протилежному напрямку її руху. Коефіцієнт тертя платформи по рейках 0,002.
 - 1.221. Із гармати масою $5 \cdot 10^3$ кг вилітає снаряд масою 100 кг. Кінетична енергія снаряда під час вильоту $7,5 \cdot 10^6$ Дж. Яку кінетичну енергію отримує гармата внаслідок віддачі?
 - 1.222. 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.
 - 1.223. Знайдіть таке співвідношення між масами тіл у попередній задачі, щоб за пружного удару перше тіло після удару зупинилось.
 - 1.224. Тіло масою 3 кг рухається зі швидкістю 4 м/с та вдаряється в нерухоме тіло тієї ж маси. Вважаючи удар прямим, центральним і непружним, знайти кількість теплоти, яка виділилась унаслідок удару.
 - 1.225. Тіло масою 5 кг вдаряється в нерухоме тіло масою 2,5 кг. Останнє починає рухатись із кінетичною енергією 5 Дж. Вважаючи удар прямим, центральним і пружним, знайти кінетичну енергію першого тіла до та після удару.
 - 1.226. 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 і непружним, знайти кінетичну енергію першого тіла до удару.

- 1.227. 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 збігається з напрямком швидкості першого тіла й дорівнює 1 м/с. У скільки разів кінетична енергія першого тіла була більша за кінетичну енергію другого тіла?
- 1.228. 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?
- 1.229. Куля, що летить горизонтально, попадає у сферу, підвішену на дуже легкому жорсткому стрижні, та застрягає в ньому. Маса кулі в 1000 раз менше за масу 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° .
- 1.230. 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?
- 1.231. 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 унаслідок удару. Коефіцієнтом відновлення матеріалу називається відношення швидкості тіла після удару до швидкості до удару.
- 1.232. 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 унаслідок удару. Коефіцієнтом відновлення матеріалу називається відношення швидкості тіла після удару до швидкості до удару. Знайти імпульс сили, що діє на стінку під час удару.
- 1.233. 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.
- 1.234. 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?
 - 1.235. 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?
 - 1.236. Металева куля, падаючи з висоти 1 м на сталеву плиту, відскочила від неї на висоту 81 см. Знайти коефіцієнт відновлення кулі при ударі.
 - 1.237. 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.
 - 1.238. Рухоме тіло масою m_1 вдаряється в нерухоме тіло масою m_2 . Вважаючи удар абсолютно непружним, прямим і центральним, знайти, яка частина початкової кінетичної енергії переходить унаслідок удару в теплоту. Задачу розв'язати спочатку в загальному вигляді, а потім розглянути випадки: $m_1 = m_2$; $m_1 = 9m_2$.
 - 1.239. Рухоме тіло масою m_1 вдаряється в нерухоме тіло з масою m_2 . Вважаючи удар абсолютно пружним прямим і центральним, знайти, яку частину своєї початкової кінетичної енергії перше тіло передає другому внаслідок удару? Задачу розв'язати спочатку в загальному вигляді, а потім розглянути випадки: $m_1 = m_2$; $m_1 = 9m_2$.
 - 1.240. 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 раза? З якою кінетичною енергією при цьому починає рухатися друге тіло, якщо початкова кінетична енергія першого тіла дорівнює 1 кДж?
 - 1.241. Нейтрон масою m_0 вдаряється в нерухоме ядро атома вуглецю ($m = 12m_0$). Вважаючи удар абсолютно пружним прямим і центральним знайти, яку частину своєї швидкості втратить нейтрон унаслідок удару.

- 1.242. Нейтрон масою m_0 вдаряється в нерухоме ядро атома урану ($m = 235m_0$). Вважаючи удар абсолютно пружним прямим і центральним знайти, яку частину своєї енергії втратить нейтрон при ударі.
- 1.243. 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.
- 1.244. Вагон масою 35 т рухається до упорної стіни зі швидкістю 5 м/с. За повного гальмування вагона буферні пружини стискаються на 12 см. Визначити максимальну силу стискання буферних пружин та тривалість гальмування.
- 1.245. 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.
- 1.246. Човен довжиною 3 м і масою 120 кг стоїть на нерухомій воді. На носу та кормі стоять два рибалки масою відповідно 60 кг та 90 кг. На скільки зміститься човен відносно води, якщо рибалки пройдуть по човну та поміняються місцями?
- 1.247. Пліт масою 160 кг та довжиною 2 м плаває на воді. На плоту стоїть людина, що має масу 80 кг. З якою найменшою швидкістю та під яким кутом до горизонту повинен стрибнути чоловік уздовж плота, щоб потрапити на його протилежний край?
- 1.248. 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.
- 1.249. 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.
- 1.250. 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.

- 1.251. З похилої площини висотою 3 м і довжиною 5 м без тертя зісковзує тіло масою 0,5 кг. Визначити імпульс тіла в кінці площини.
- 1.252. 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.
- 1.253. 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 рейках у горизонтальному напрямі. Визначити швидкість візка з ящиком, якщо лоток нахилений під кутом 30° до рейок.
- 1.254. Куля масою m_1 , що рухається горизонтально зі швидкістю v_1 , зіштовхується з нерухомою кулею масою m_2 . Удар абсолютно пружний, центральний, прямий. Яку долю своєї кінетичної енергії перша куля передала другій?
- 1.255. 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.
- 1.256. Із човна масою 240 кг, що пливе зі швидкістю 2 м/с, людина масою 60 кг стрибає в горизонтальному напрямку зі швидкістю 4 м/с (відносно човна). Знайти швидкість човна після стрибка людини в напрямку руху човна та в протилежний бік.
- 1.257. Чоловік, що стояв у човні, зробив шість кроків уздовж човна та зупинився. На скільки кроків пересунувся човен, якщо маса човна вдвічі більша за масу людини, вдвічі менша за масу людини?
- 1.258. 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.
- 1.259. Куля, що рухалася горизонтально, зіштовхнулася з нерухомою кулею та передала їй 64 % своєї кінетичної енергії. Кулі абсолютно пружні, удар прямий, центральний. Знайти співвідношення мас куль.
- 1.260. 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) рухатиметься

- візок, якщо людина піде вздовж дошки зі швидкістю (відносно дошки) 1 м/с? Масою коліс нехтувати, тертя не враховувати.
- 1.261. Снаряд, який летів із швидкістю 400 м/с, розірвався на два осколки. Менший осколок, маса якого становить 40 % маси снаряда, полетів у протилежному напрямку зі швидкістю 150 м/с. Визначити швидкість більшого осколка.
- 1.262. 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 бруском і кулею відхилилася від вертикалі на кут 3° ? Розміром бруска нехтувати. Удар кулі вважати прямим, центральним.
- 1.263. Дві кулі рухаються назустріч одна одній з масами та швидкостями відповідно 1 кг і 4 м/с, 2 кг і 8 м/с. Які швидкості куль після зіткнення? Удар вважати абсолютно пружним і центральним.
- 1.264. Куля масою 3 кг, що рухається з швидкістю 2 м/с зіштовхується з нерухомою кулею масою 5 кг. Яка робота буде здійснена щодо деформування куль? Удар вважати абсолютно непружним, прямим, центральним.
- 1.265. 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.
- 1.266. 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.
- 1.267. Снаряд масою 8 кг, який летів горизонтально зі швидкістю 250 м/с, розривається на два осколки. Більший осколок масою 6 кг набув швидкості 400 м/с в напрямку польоту снаряда. Визначити напрямок і значення швидкості меншого осколка.
- 1.268. З візка, який вільно рухається по горизонтальному шляху зі швидкістю 3 м/с, стрибає людина в бік, протилежний напрямку руху візка, так, щоб залишитися нерухомою відносно землі (стрибок десантника). Визначити, з якою швидкістю продовжив рух візок. Маса візка 210 кг, людини – 70 кг.
- 1.269. Гармата, яка жорстко закріплена на залізничній платформі, стріляє вздовж залізничної колії під кутом 300° до горизонту. Визначити швидкість віддачі платформи, якщо снаряд вилітає зі швидкістю

480 м/с. Маса платформи з гарматою та снарядами 18 т, маса снаряда 60 кг.

- 1.270. Два однакові човни масою 200 кг кожний (разом із людиною та вантажем у 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.
- 1.271. Визначити імпульс, який отримала стінка внаслідок удару з нею кульки масою 200 г, якщо кулька рухалась із швидкістю 8 м/с під кутом 60° до площини стінки. Удар вважати абсолютно пружним.
- 1.272. 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 рухатимуться вантажі, якщо їх відпустити? Тертям і масою нитки нехтувати.
- 1.273. 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.
- 1.274. Циліндр, який розташований горизонтально, може обертатися навколо осі, яка збігається з віссю циліндра. Маса циліндра 12 кг. На циліндр намотаний шнур, до якого прив'язаний вантаж масою 1 кг. Визначити прискорення, з яким опускатиметься вантаж, і силу натягу шнура.
- 1.275. 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 рухатимуться вантажі, та сили натягу нитки по обидва боки від блока.
- 1.276. Два однакові 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. У якого маховика гальмуючий момент був більшим і в скільки разів?
- 1.277. Однорідна куля масою 5 кг скочується без ковзання по похилій площині висотою 1 м і довжиною 90 см. Яку лінійну швидкість матиме центр кулі в момент, коли вона скотиться з похилої

площини? Скільки часу куля буде котитися від вершини до підніжжя похилої площини?

- 1.278. Суцільний циліндр скотився з похилої площини висотою 20 см. Визначити швидкість поступального руху суцільного циліндру в кінці площини.
- 1.279. 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.
- 1.280. 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.
- 1.281. 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.
- 1.282. 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.
- 1.283. Горизонтальною площиною котиться диск зі швидкістю 8 м/с. Визначити коефіцієнт опору, якщо диск, наданий сам собі, зупинився, пройшовши шлях 18 м.
- 1.284. Визначити момент сили, який потрібно прикласти до блока, що обертається із частотою 12 с⁻¹, щоб він зупинився протягом 8 с. Діаметр блока 30 см. Маса блока 6 кг вважати рівномірно розподіленою по ободу.
- 1.285. 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.
- 1.286. 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.
- 1.287. Через блок, який має форму диска, перекинута невагомий шнур. До кінців шнура прив'язані вантажі масами 100 г та 110 г. З яким

- прискоренням рухатимуться вантажі, якщо маса блока 400 г рівномірно розподілена по його об'єму? Шнур по блоку не проковзує.
- 1.288. 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 обода диска. Тертям нехтувати.
 - 1.289. 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 опускатиметься вантаж, якщо його відпустити?
 - 1.290. 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.
 - 1.291. 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.
 - 1.292. До обода однорідного диска радіусом 0,2 м прикладена дотична сила 98,1 Н. З обертанням на диск діє гальмуючий момент 5 Н·м. Знайти масу диска, якщо відомо, що диск обертається з постійним кутовим прискоренням 100 рад/с^2 .
 - 1.293. Однорідний стрижень довжиною 1 м і масою 0,5 кг обертається у вертикальній площині навколо горизонтальної осі, яка проходить через його середину. З яким кутовим прискоренням обертається стрижень, якщо обертальний момент дорівнює $9,81 \cdot 10^{-2} \text{ Н·м}$?
 - 1.294. 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.
 - 1.295. Маховик з моментом інерції $63,6 \text{ кг·м}^2$, обертається зі сталою кутовою швидкістю $31,4 \text{ рад/с}$. Знайти гальмуючий момент, під дією якого маховик зупиниться через час 20 с.
 - 1.296. До обода 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 матиме частоту обертання 100 об/с?

- 1.297. Маховик радіусом 0,2 м і масою 10 кг з'єднаний з мотором приводним ременем. Сила натягу ременя 14,7 Н. Яку частоту обертання матиме маховик через 10 с після початку руху? Маховик вважати однорідним диском. Тертям нехтувати. Ремінь рухається без проковзування.
- 1.298. 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.
- 1.299. 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.
- 1.300. На барабан масою 9 кг намотаний шнур, до кінця якого прив'язаний вантаж масою 2 кг. Знайти прискорення, з яким опускатиметься вантаж. Тертям нехтувати.
- 1.301. 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 $2,04 \text{ м/с}^2$.
- 1.302. 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.
- 1.303. 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 – рухатися з прискоренням $1,6 \text{ м/с}$. Знайти різницю натягів нитки по обидва боки від блока.
- 1.304. 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.

- 1.305. Диск масою 2 кг котиться без ковзання по горизонтальній площині з швидкістю 4 м/с. Знайти кінетичну енергію диска.
- 1.306. Куля діаметром 6 см котиться без ковзання по горизонтальній площині з частотою обертання 4 об/с. Маса кулі 0,25 кг. Знайти кінетичну енергію кулі.
- 1.307. Обруч і диск мають однакову масу та котяться без проковзування з однаковою лінійною швидкістю. Кінетична енергія обруча 400 Дж. Знайти кінетичну енергію диска.
- 1.308. 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 внаслідок удару.
- 1.309. Диск, який має масу 1 кг та діаметр 60 см, обертається навколо осі, яка проходить через його центр перпендикулярно до площини, із частотою 20 об/с. Яку роботу треба виконати, щоб зупинити цей диск?
- 1.310. Вал, який обертається зі сталою частотою 5 об/с, має кінетичну енергію 60 Дж. Знайти момент імпульсу цього вала.
- 1.311. Знайти кінетичну енергію велосипедиста, який їде зі швидкістю 9 км/год. Маса велосипеда разом із людиною 78 кг, причому маса коліс становить 3 кг. Колеса велосипеда вважати обручами.
- 1.312. Хлопчик котить обруч по горизонтальній дорозі зі швидкістю 7,2 км/год. На яку відстань може вкотитися обруч на гору за рахунок його кінетичної енергії? Ухил гори 10 м на кожні 100 м шляху.
- 1.313. 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 у верхній точці петлі?
- 1.314. 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?
- 1.315. Знайти лінійні прискорення центрів мас кулі, диска й обруча, що скочуються без проковзування з похилої площини. Кут нахилу площини 300° . Початкова швидкість усіх тіл дорівнює нулю. Порівняти ці прискорення з прискоренням тіла, що зісковзує із цієї ж площини за відсутності тертя.

- 1.316. Знайти лінійні швидкості центрів мас кулі, диска й обруча, що скочуються без проковзування з похилої площини. Висота похилої площини 0,5 м, початкова швидкість усіх тіл дорівнює нулю. Порівняти ці швидкості зі швидкістю тіла, що зісковзує із цієї ж площини без тертя.
- 1.317. 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 нулю.
- 1.318. Колесо, що обертається рівносповільнено під час гальмування, 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.
- 1.319. Вентилятор обертається із 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.
- 1.320. Махове колесо, що має момент інерції $245 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, обертається із 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.
- 1.321. По ободу шківів, що насаджений на одну вісь із маховим колесом, намотана нитка, до кінця якої прив'язаний вантаж масою 1 кг. На яку відстань має опуститися вантаж, щоб колесо зі шківом оберталося із частотою 60 об/хв? Момент інерції колеса зі шківом $0,42 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, радіус шківів 10 см.
- 1.322. 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.
- 1.323. Маховик, який обертається із 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 у два рази.
- 1.324. До обода диска, що має масу 5 кг , прикладена стала дотична сила 20 Н . Яку кінетичну енергію матиме диск через 5 с після початку дії сили?
 - 1.325. На який кут треба відхилити однорідний стрижень, який насаджений на горизонтальну вісь, що проходить через верхній кінець стрижня, щоб нижній кінець стрижня під час проходження ним положення рівноваги мав швидкість 5 м/с ? Довжина стрижня 1 м .
 - 1.326. 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?
 - 1.327. Олівець, який поставлено вертикально, падає на стіл. Яку кутову та лінійну швидкості матимуть наприкінці падіння середина олівця та його верхній кінець? Довжина олівця 15 см .
 - 1.328. Знайти відносну похибку, яка виникає під час обчислення кінетичної енергії кулі, що котиться, якщо не враховувати обертання кулі.
 - 1.329. Знайти момент інерції та момент імпульсу земної кулі відносно осі обертання.
 - 1.330. Горизонтальна платформа, що має масу 100 кг , обертається навколо вертикальної осі, що проходить через її центр із 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 центру? Вважати платформу однорідним диском, а людину – точковою масою. Яку роботу виконає людина в разі переходу від краю платформи до її центру? Радіус платформи $1,5 \text{ м}$.
 - 1.331. Горизонтальна платформа, що має 80 кг та радіус 1 м , обертається із частотою 20 м/с . У центрі платформи стоїть людина, тримаючи в розведених руках гирі. З якою частотою обертатиметься платформа, якщо людина опустить руки, зменшивши свій момент інерції від $2,94$ до $0,98 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$? Вважати платформу однорідним диском.

- 1.332. Людина масою 60 кг перебуває 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.
- 1.333. Людина стоїть у центрі лави Жуковського та разом із 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 становитиме 0,4 м? Моментом інерції лави нехтувати.
- 1.334. 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 $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.
- 1.335. Людина стоїть на лаві, яка може обертатися навколо вертикальної осі, та тримає в руках стрижень, який розташований вздовж осі обертання. На кінці стрижня розташоване колесо, яке обертається з частотою 10 об/с. Лава з людиною спочатку нерухома. З якою кутовою швидкістю почне обертатися лава, якщо людина поверне стрижень із колесом на 180° ? 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.
- 1.336. Яку роботу треба виконати, щоб змусити маховик у вигляді обруча діаметром 1,5 м масою 500 кг обертатись із частотою 120 об/хв? Тертям нехтувати.
- 1.337. 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.
- 1.338. 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.
- 1.339. Ротор обертається з частотою 240 об/хв. Визначити силу натягу ременя, з яким мотор зв'язаний зі станком, якщо радіус шківа на валу мотора 10 см, а потужність мотора 1 кВт.
- 1.340. 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 для подолання сил опору.
- 1.341. Вал, який має масу 200 кг та радіус 10 см, обертається із частотою 5 об/с. До циліндричної поверхні вала притиснули гальмівну колодку із силою 40 Н. Через 20 с вал зупинився. Визначити коефіцієнт тертя.
- 1.342. 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 матиме людина, якщо вона перейде на край платформи?
- 1.343. 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 зі швидкістю 0,8 м/с. З якою кутовою швидкістю обертатиметься диск?
- 1.344. 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.
- 1.345. 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, що летів у горизонтальному напрямку на відстані 0,4 м від осі лави. Швидкість м'яча 5 м/с.

- 1.346. Людина стоїть на лаві Жуковського, яка може обертатися навколо вертикальної осі, та тримає в руках стрижень, який розташований вздовж осі обертання. На кінці стрижня розташоване колесо, яке обертається із частотою 15 об/с. Лава з людиною спочатку нерухома. З якою кутовою швидкістю почне обертатися лава, якщо людина поверне стрижень із колесом на кут 180° ? 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 розташований на осі лави.
- 1.347. Платформа, що має вигляд диска діаметром 3 м і масою 180 кг, може обертатися навколо вертикальної осі. З якою кутовою швидкістю обертатиметься ця платформа, якщо по її краю йтиме людина зі швидкістю 1,8 м/с відносно платформи? Маса людини 70 кг.
- 1.348. 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, маса людини 80 кг. Людину вважати матеріальною точкою.
- 1.349. Кулька масою 60 г, що прив'язана до нитки довжиною 1,2 м, обертається без тертя із частотою 2 об/с по поверхні горизонтальної площини. Нитку скорочують, наближаючи кульку до осі обертання на відстань 0,6 м. З якою частотою при цьому обертатиметься кулька? Яку роботу виконують зовнішні сили в разі скорочення нитки?
- 1.350. 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.
- 1.351. Знайти момент сили тяжіння лампи (рис. 1.4) відносно точок A , C і B , якщо $|CB| = 1 \text{ м}$, кут у вершині C дорівнює 60° і маса лампи 4 кг.
- 1.352. 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.

- 1.353. 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 із силою 48 Н , а маса світильника дорівнює 5 кг .

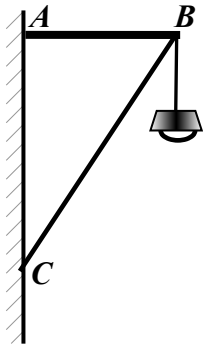


Рис. 1.4

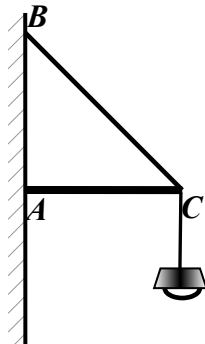


Рис. 1.5

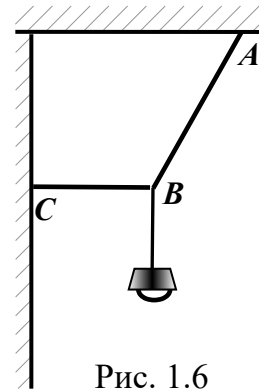


Рис. 1.6

- 1.354. Електрична лампа (рис. 1.6) підвішена на шнурі й відтягнута горизонтальною відтяжкою. Знайти силу натягу шнура AB і відтяжки BC , якщо маса лампи 1 кг , а кут у вершині B дорівнює 120° .
- 1.355. 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.
- 1.356. 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° .
- 1.357. Колода довжиною 12 м перебуває 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.
- 1.358. Знайти величини сил, які діють на підшипники A і B (рис. 1.7), якщо маса вала 10 кг , маса шківів 20 кг , а $|AB| = 1\text{ м}$, $|BC| = 0,4\text{ м}$?
- 1.359. Знайти величини сил тиску вала на підшипники A і B (рис. 1.8), якщо маса вала 7 кг , маса шківів 28 кг , $|AB| = 70\text{ см}$, $|BC| = 10\text{ см}$?

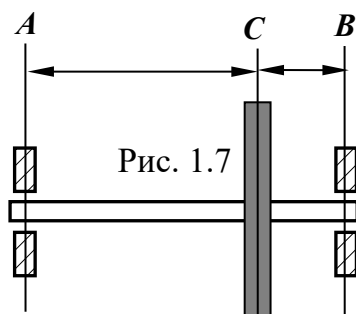


Рис. 1.7

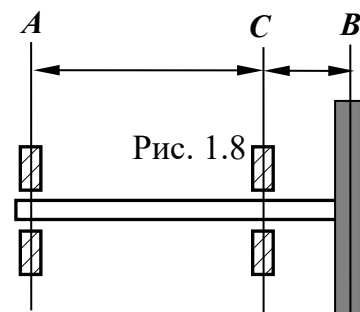


Рис. 1.8

- 1.360. 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.
- 1.361. 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?
- 1.362. 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?
- 1.363. Будівельник тримає за один кінець дошку, маса якої 40 кг, так, що дошка утворює кут 30° із горизонтальним напрямком (рис. 1.9). Яку силу треба прикласти будівельнику до дошки в цьому положенні, якщо сила прикладена перпендикулярно до дошки?
- 1.364. 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 .

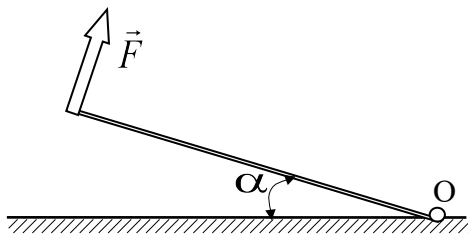


Рис. 1.9

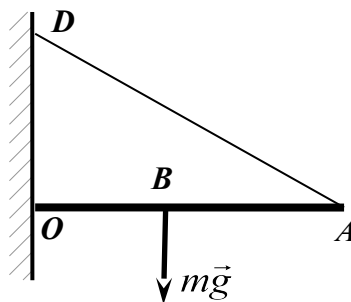


Рис. 1.10

- 1.365. 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 розташований на відстані 0,4 м від шарніра.
- 1.366. Драбина приставлена до рівної гладкої стіни. Коефіцієнт тертя між драбиною і підлогою дорівнює 0,4. Визначити найбільший кут між стіною і драбиною, за якого драбина не буде ковзати.

- 1.367. Однорідна балка лежить на нерухомій платформі так, що один її кінець виходить поза межі платформи. Довжина частини балки, яка розташована 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 підійматися. Знайти масу балки.
- 1.368. 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 із силою 20 кН. Довжина верстата 2 м.
- 1.369. Запобіжний клапан парового котла (рис. 1.11) має відкриватися під тиском 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?
- 1.370. До планки, яка обертається навколо осі O , що проходить через її середину, підвішені два тіла, занурені у воду (рис. 1.12). Густина першого тіла в 9 раз більша за густину води; а густина другого – у 3 рази більша за густину води, відстань $|OA|$ дорівнює 9 см. На якій відстані потрібно підвісити друге тіло, щоб система була зрівноважена, якщо тіла мають однакові об'єми? Якщо тіла мають однакові маси?

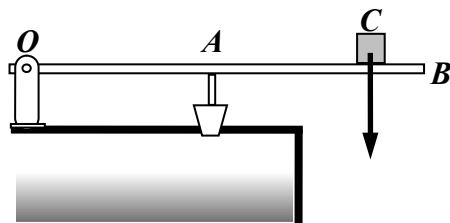


Рис. 1.11

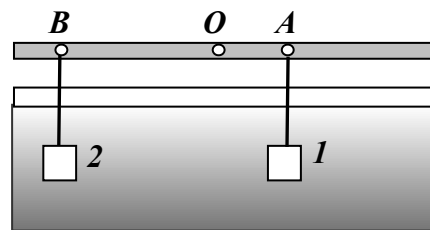


Рис. 1.12

- 1.371. Циліндр двигуна внутрішнього згорання має внутрішній діаметр 0,16 м. Кількість болтів, які закріплюють кришку циліндра, – 8. Під час згорання палива розвивається тиск 6 МПа. Яким має бути діаметр болтів, щоб забезпечити десятикратний запас міцності? Допустиме напруження у сталі 150 МПа.

- 1.372. На похилій площині з кутом нахилу 30° розташований однорідний брусок, висота якого 25 см. На якій відстані від центра тяжіння проходить сила реакції опори?
- 1.373. Два однорідні кулі з однаковими радіусами скріплені в точці дотику. Маса однієї кулі в два рази більша за масу другої кулі. Визначити положення центра тяжіння системи.
- 1.374. 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 розташовані на продовженні осі стрижня. Знайти положення центра тяжіння цієї системи.
- 1.375. Цеглина, розміри якої $28 \times 14 \times 7$ см, може займати три різні положення. Визначити тиск, силу тертя та відстань від площі опори до центра ваги в усіх положеннях, якщо густина цеглини 2700 кг/м^3 і коефіцієнт тертя з поверхнею 0,4. У якому положенні цеглина найстійкіша? Пояснити чому.
- 1.376. 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?
- 1.377. 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 сталевією 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.
- 1.378. З відсипанням дамби насипаний ґрунт утворює кут 60° від горизонту. Визначити коефіцієнт тертя між частинками ґрунту.
- 1.379. Будівельний кран С-391 Прилуцького заводу будівельних машин за максимального вильоту стріли 10 м піднімає вантаж 5 кН. Під яким кутом до горизонту потрібно встановити стрілу, щоб можна було піднімати вантаж 15 кН за тієї самої стійкості крана?
- 1.380. Для закінчення будівництва семиповерхового будинку баштовий кран СКВ-1 для підняття будівельних вантажів переобладнують. Стріла крана довжиною 20 м, яка спочатку утримувалася

горизонтально за 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.

- 1.381. 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.
- 1.382. Визначити найбільшу висоту будинку, який можна збудувати із цегли, якщо границя міцності цегли на стиск дорівнює 10 МПа, а густина цегли становить $2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
- 1.383. Під час забивання дерев'яних палів копром у ґрунт у палі виникають напруги, які досягають найбільшого значення за 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 висоти 145 см.
- 1.384. Одна половина циліндричного стрижня є залізною, а інша – алюмінієвою. Визначити положення центра тяжіння стрижня, якщо його довжина дорівнює 30 см.
- 1.385. 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 ?

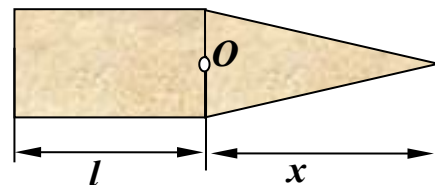


Рис. 1.13

- 1.386. Визначити положення центра мас рамки, яка зроблена з дротин однакового поперечного перерізу у формі рівностороннього трикутника. Дві сторони трикутника зроблені з алюмінію, а третя – з міді. Сторона трикутника дорівнює 1 м.
- 1.387. 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.

- 1.388. Визначити центр тяжіння однорідного диска радіуса $0,5$ м, з якого вирізаний отвір радіусом $0,25$ м (рис. 1.15). Центр тяжіння отвору розташований на відстані, що дорівнює половині радіуса диска.
- 1.389. 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?

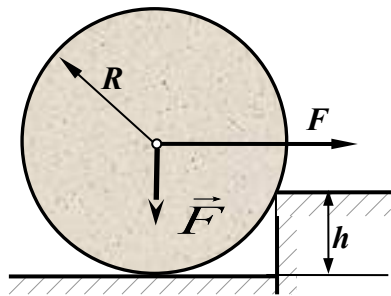


Рис. 1.14

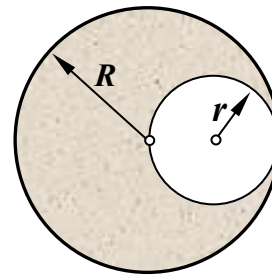


Рис. 1.15

- 1.390. Знайти швидкість течії по трубі вуглекислого газу, якщо відомо, що за пів години через поперечний переріз труби протікає $0,51$ кг газу. Густина газу дорівнює $7,5$ кг/м³. Діаметр труби – 2 см.
- 1.391. 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.
- 1.392. На столі стоїть посудина з водою, у боковій поверхні якої є малий отвір, 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) струмінь води падає на стіл? Задачу розв'язати для випадків: 1) $h_1 = 25$ см та $h_2 = 16$ см; 2) $h_1 = 16$ см та $h_2 = 25$ см.
- 1.393. Циліндричний бак висотою 1 м наповнений до країв водою. 1) За який час вся вода витече через отвір, розташований впритул до днища бака? Площа поперечного перерізу отвору в 400 разів менша за площу 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.

- 1.394. 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 трималася на сталому рівні, що дорівнює 8,3 см?
- 1.395. Який тиск створює компресор у фарбопульті, якщо струмина рідкої фарби витікає з нього зі швидкістю 25 м/с? Густина фарби 0,8 г/см³.
- 1.396. 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?
- 1.397. Якої найбільшої швидкості може набувати дощова крапля діаметром 0,3 мм, якщо динамічна в'язкість повітря дорівнює $1,2 \cdot 10^{-5}$ кг/м·с?
- 1.398. Стальна кулька діаметром 1 мм падає зі сталою швидкістю 0,185 см/с у великій посудині, наповненій рициновою олією. Знайти динамічну в'язкість рицинової олії.
- 1.399. Суміш свинцевих дробинок діаметром 3 мм і 1 мм опустили в бак із гліцерином глибиною 1 м. На скільки пізніше впадуть на дно дробинки меншого діаметра порівняно з дробинками більшого діаметра? Динамічна в'язкість гліцерину за температури досліду – 14,7 г/см·с.
- 1.400. Пробкова кулька радіусом 5 мм спливає в посудині, наповненій рициновою олією. Чому дорівнює динамічна та кінематична в'язкості рицинової олії в умовах досліду, якщо кулька спливає зі сталою швидкістю 3,5 с?
- 1.401. У бічну поверхню циліндричної посудини радіусом 2 см вставлений горизонтальний капіляр із внутрішнім радіусом 1 мм і довжиною 2 см. Посудина наповнена рициновою олією, динамічна в'язкість якої дорівнює 12 г/см·с. Знайти залежність швидкості зниження рівня рицинової олії в циліндричній посудині від висоти цього рівня над капіляром. Знайти числове значення цієї швидкості для висоти 26 см.
- 1.402. У бічну поверхню посудини вставлений горизонтальний капіляр із внутрішнім радіусом 1 мм і довжиною 1,5 см. У 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?

- 1.403. На столі стоїть посудина, у бічну поверхню якої вставлений горизонтальний капіляр на висоті 5 см від дна. Внутрішній радіус капіляра 1 мм, довжина 1 см. Посудина наповнена машинною оливою, що має густину 900 кг/м^3 і динамічну в'язкість $0,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Рівень оливи в посудині підтримується на висоті 50 см вище капіляра. Знайти, на якій відстані від кінця капіляра (по горизонталі) струмінь оливи падає на стіл.
- 1.404. Стальна кулька падає в широкій посудині, наповненій трансформаторною оливою, яка має густину 900 кг/м^3 та динамічну в'язкість $0,8 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Вважаючи, що в цьому випадку застосовна формула Стокса, знайти значення діаметра кульки.
- 1.405. Випав град із середнім діаметром кульових градин 3 мм. Середня густина кульки граду $0,5 \text{ г/см}^3$. Яку найбільшу швидкість падіння матимуть ці льодові кульки, якщо динамічна в'язкість повітря дорівнює $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$?
- 1.406. 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.
- 1.407. Штучний супутник Землі має практично колову орбіту із середньою відстанню 588 км від поверхні Землі. Визначити швидкість і кінетичну енергію супутника на орбіті. Маса супутника 84 кг.
- 1.408. Яку середню лінійну швидкість матиме штучний супутник, якщо період його обертання навколо Землі становить 88,6 хв? Орбіту вважати коловою.
- 1.409. Супутник запущений у площині екватора так, що весь час перебував над тією самою точкою екватора. Визначити радіус орбіти супутника, висоту над поверхнею Землі, орбітальну швидкість супутника.
- 1.410. Визначити період обертання й 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 $1,7 \cdot 10^6 \text{ м}$.
- 1.411. На якій висоті над поверхнею Землі прискорення вільного падіння становить $0,5 g$?

- 1.412. З якою лінійною швидкістю рухатиметься штучний супутник Землі по коловій орбіті на висоті над поверхнею Землі 200 км? 7000 км?
- 1.413. Який період обертання штучного супутника Землі, що рухається по коловій орбіті на висоті над поверхнею Землі 200 км? 7000 км?
- 1.414. Визначити потенціальну енергію ракети, що має масу 100 кг, на поверхні Землі та в разі віддалення її на відстань 4680 км від Землі. Чому при цьому дорівнює зміна енергії ракети?
- 1.415. 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.
- 1.416. Визначити напруженість гравітаційного поля на висоті 1000 км над поверхнею Землі.
- 1.417. Яка робота буде виконана силами гравітації в разі падіння на Землю тіла масою 2 кг з висоти 1000 км? З нескінченності?
- 1.418. Із нескінченності на поверхню Землі падає метеорит масою 30 кг. Яка робота при цьому буде виконана силами тяжіння Землі?
- 1.419. З поверхні Землі вертикально вгору запущена ракета зі швидкістю 5 м/с. На яку висоту вона підніметься?
- 1.420. По коловій орбіті навколо Землі обертається супутник із періодом 65 хв. Визначити відстань від поверхні Землі до супутника.
- 1.421. На якій відстані від центра Землі розташована точка, у якій напруженість сумарного гравітаційного поля Землі та Місяця дорівнює нулю? Вважати, що маса Землі у 81 раз більша за масу Місяця та що відстань від центра Землі до центра Місяця становить 60 радіусів Землі.
- 1.422. Супутник обертається навколо Землі по коловій орбіті на висоті 520 км. Визначити період обертання супутника.
- 1.423. Визначити лінійну та кутову швидкості супутника Землі, який обертається по коловій орбіті на висоті 1000 км.
- 1.424. Штучний супутник обертається навколо Землі по коловій орбіті на висоті 3200 км над поверхнею Землі. Визначити лінійну швидкість супутника.

- 1.425. Визначити масу та середню густину речовини Місяця, якщо прискорення вільного падіння на її поверхні приблизно дорівнює $1,6 \text{ м/с}^2$. Радіус Місяця $1,73 \cdot 10^6 \text{ м}$.
- 1.426. 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.
- 1.427. У точці поля тяжіння на матеріальну точку, що має масу 1 кг, діє сила тяжіння 9,8 Н. Визначити напруженість гравітаційного поля в цій точці.
- 1.428. 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.
- 1.429. Обчислити масу вантажу, який зміг би підняти чоловік 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 у 81 раз. Чому дорівнює прискорення вільного падіння на Місяці?
- 1.430. На яку максимальну висоту змогло би піднятися тіло, якщо його кинуто вертикально вгору на Марсі, якщо на Землі за тієї самої швидкості кидка воно піднялося би на висоту 10 м. Співвідношення між радіусами та масами Марса та Землі мають вигляд: $R_M = 0,53 R_Z$, $M_M = 0,11 M_Z$.
- 1.431. Знайти силу притягання між двома протонами, що розташовані на відстані 10^{-10} м один від одного. Протони вважати точковими масами.
- 1.432. Дві мідні кульки, що мають діаметри 4 см та 6 см, дотикаються одна до одної. Знайти потенціальну енергію гравітаційної взаємодії цієї системи.
- 1.433. Обчислити гравітаційну сталу, якщо відомо радіус Землі, середню густину Землі та прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі.
- 1.434. Космічна ракета летить на Місяць. У якій точці прямої, що з'єднує центри Землі та Місяця, ракета притягуватиметься до Землі та Місяця з однаковою силою?
- 1.435. Порівняти прискорення вільного падіння на поверхні Місяця з тією ж величиною на поверхні Землі.

- 1.436. 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.
- 1.437. Обчислити другу космічну швидкість, тобто таку швидкість, яку треба надати тілу поблизу поверхні Землі, щоб воно подолато земне притягання й назавжди віддалилося від Землі.
- 1.438. З якою лінійною швидкістю рухатиметься штучний супутник Землі по коловій орбіті на висоті 200 км? 7000 км? Знайти періоди обертання навколо Землі штучного супутника за цих умов.
- 1.439. Знайти доцентрове прискорення, з яким штучний супутник Землі, що перебуває на висоті 200 км, обертається по коловій орбіті.
- 1.440. Радіус орбіти Нептуна в 30 разів більше радіуса орбіти Землі. Яка тривалість року на Нептуні?
- 1.441. Планета Марс має два супутники – Фобос і Деймос. Перший перебуває на відстані 9500 км від центра Марса, другий – на відстані 24000 км. Знайти періоди обертання цих супутників навколо Марсу.
- 1.442. Штучний супутник Землі рухається по коловій орбіті в площині екватора із заходу на схід. На якій відстані від поверхні Землі має перебувати цей супутник, щоб він був нерухомим відносно спостерігача, що перебуває на Землі?
- 1.443. 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.
- 1.444. Обчислити першу та другу космічні швидкості для Місяця (див. задачі 1.445 та 1.446).
- 1.445. На якій відстані від Землі прискорення вільного падіння дорівнює 2 м/с^2 .
- 1.446. У скільки разів кінетична енергія штучного супутника Землі, що рухається по коловій орбіті, менша за його потенціальну енергію гравітаційної взаємодії?
- 1.447. 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.

- 1.448. Визначити прискорення вільного падіння на висоті, що дорівнює радіусу Землі, якщо на Землі прискорення вільного падіння $9,8 \text{ м/с}^2$.
- 1.449. На якій висоті над поверхнею Землі сила тяжіння тіл зменшиться в 5 разів?
- 1.450. Визначити густину кулеподібної планети, якщо вага тіла на полюсі у 2 рази більше, ніж на екваторі. Період обертання планети навколо власної осі – 2 год 40 хв.
- 1.451. Знайти кутову та лінійну швидкості орбітального руху штучного супутника Землі, якщо період його обертання навколо Землі становить 4 години.
- 1.452. Протон пролітає відстань $1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$ між Сонцем і Землею зі швидкістю, що дорівнює $0,8$ швидкості світла. Якою є ця відстань у системі відліку, що зв'язана з протоном?
- 1.453. Який час потрібен протону для проходження відстані $1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$ зі швидкістю, що дорівнює $0,8$ швидкості світла, у системах відліку, що пов'язані із Землею та протоном?
- 1.454. Дві частинки, які рухаються одна за одною зі 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 із Землею, та в системі координат, яка зв'язана із частинками.
- 1.455. Ракета рухається відносно нерухомого спостерігача зі швидкістю, що дорівнює $0,99$ швидкості світла. Який час мине на годиннику нерухомого спостерігача, якщо на годиннику, який рухається разом із ракетою, минув один рік?
- 1.456. Дві ракети рухаються назустріч одна одній зі швидкостями, що дорівнюють $3/4$ швидкості світла, відносно нерухомого спостерігача. Визначити швидкість зближення ракет за класичною та релятивістською формулами додавання швидкостей.
- 1.457. Який час мине на Землі, якщо в ракеті, яка рухається відносно Землі зі швидкістю, що дорівнює $0,98$ швидкості світла, мине 10 років?
- 1.458. Літак рухається зі швидкістю 800 км/год назустріч нерухомому джерелу світла. З якою швидкістю літак зближається з фотонами?
- 1.459. Який час мине за годинником, який розміщено в ракеті, що рухається рівномірно та прямолінійно, якщо за годинником, який

міститься в інерціальній системі відліку, відносно якої рухається ракета, минула одна година? Швидкість ракети 3000 км/год; 100 000 км/год; 250 000 км/год.

- 1.460. 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.
- 1.461. Мюон, який народжується у верхніх прошарках атмосфери, пролітає до розпаду відстань 5 км. Визначити, з якою швидкістю він летить, якщо його власний час життя становить $2,21 \cdot 10^{-6}$ с.
- 1.462. За якої відносної швидкості руху релятивістське скорочення довжини рухомого тіла становитиме 25 %?
- 1.463. Яку швидкість матиме рухоме тіло, якщо його повздовжні розміри зменшилися у 2 рази?
- 1.464. Мезони космічних променів досягають поверхні Землі з різними швидкостями. Знайти релятивістське скорочення розмірів мезонів, які мають швидкість, що дорівнює 0,95 швидкості світла.
- 1.465. Мезон, який входить до складу космічних променів, рухається зі швидкістю, що дорівнює 0,95 швидкості світла. Який проміжок часу за годинником земного спостерігача відповідає 1 с власного часу мезона?
- 1.466. Електрон рухається зі швидкістю, що дорівнює 0,8 швидкості світла. Визначити повну та кінетичну енергію електрона.
- 1.467. З якою швидкістю наближаються два фотони, якщо кожний із них відносно нерухомого спостерігача рухається зі швидкістю світла? Яка буде відповідь за класичною формулою додавання швидкостей?
- 1.468. Знайти відносне релятивістське скорочення протона, який рухається зі швидкістю, що дорівнює 0,98 швидкості світла.
- 1.469. З якою швидкістю рухається тіло, якщо його повздовжні розміри зменшилися в 3 рази?
- 1.470. Який проміжок часу за годинником земного спостерігача відповідає 3 с власного часу частинки, що рухається зі швидкістю $2,5 \cdot 10^5$ км/с?
- 1.471. Починаючи з якої швидкості стає помітним скорочення лінійних розмірів рухомих частинок, які можуть бути виміряні з точністю до 5 %?

- 1.472. Визначити швидкість електрона, що має кінетичну енергію 1,53 МеВ.
- 1.473. Визначити імпульс електрона, що має кінетичну енергію 5 МеВ.
- 1.474. Визначити імпульс і кінетичну енергію електрона, який рухається зі швидкістю, що дорівнює 0,9 швидкості світла.
- 1.475. Частинка рухається зі швидкістю, що дорівнює $1/3$ швидкості світла. Яку долю порівняно з енергією спокою становить кінетична енергія частинки?
- 1.476. Протон із кінетичною енергією 3 ГеВ під час гальмування втрачає третю частину цієї енергії. Визначити, у скільки разів змінився імпульс частинки.
- 1.477. За якої швидкості (у долях швидкості світла) маса частинки в 3 рази більша її маси спокою?
- 1.478. У скільки разів маса електрона, що має кінетичну енергію 1,53 МеВ, більша маси спокою?
- 1.479. Яку швидкість (у долях швидкості світла) треба надати частинці, щоб її кінетична енергія дорівнювала би подвійному значенню енергії спокою?
- 1.480. Частинка рухається зі швидкістю, що дорівнює $3/4$ швидкості світла, відносно нерухомого спостерігача. У скільки разів маса цієї частинки більша її маси спокою?
- 1.481. Тіло масою 1 кг рухається зі швидкістю $2 \cdot 10^5$ км/с. Визначити масу цього тіла для нерухомого спостерігача.
- 1.482. З якою швидкістю рухається тіло, маса якого для нерухомого спостерігача дорівнює 4 кг, якщо його маса спокою 2,4 кг.
- 1.483. Який імпульс має електрон, якщо його швидкість дорівнює $4/5$ швидкості світла.
- 1.484. Маса рухомого електрона в 11 разів більша його маси спокою. Визначити кінетичну енергію електрона та його імпульс.
- 1.485. Яка енергія виділялася би в разі повного перетворення речовини масою 1 г у випромінювання?
- 1.486. Яка зміна маси відповідає енергії, що виробляється за 1 годину електростанцією з потужністю $2,5 \cdot 10^3$ МВт?
- 1.487. До якої енергії можна прискорити частинки в циклотроні, якщо відносне збільшення маси частинки має не перевищувати 5 %? Задачу розв'язати для електрона, протона, дейтрона.

1.488. Знайти швидкість мезона, якщо його повна енергія у 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 містяться в об'ємі V газу, ρ – густина газу, μ – молярна маса газу, N_A – число Авогадро.

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

- Кількість речовини (кількість молей)
- 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 $1,013 \cdot 10^5$ 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, $V = \text{const}$)

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

➤ 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 дає змогу визначити частку молекул ΔN від усіх молекул N в цьому об'ємі газу, швидкість яких лежить в

$$u = \frac{v}{v_{\text{ім}}}$$

інтервалі від u до $u + \Delta u$; $v_{\text{ім}}$ – відносна швидкість; Δu – інтервал відносних швидкостей, малий порівняно із самою швидкістю u ; v –

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

швидкість молекул; v_{im} – найбільш імовірна швидкість молекул. Для розв’язування задач варто скористатися двома табличними представленнями функції Максвелла (табл. 16 та 17), що спрощує розв’язок.

➤ З розподілу Максвелла можуть бути визначені

а) середньоквадратична швидкість молекул

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} ;$$

б) середньоарифметична швидкість молекул

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

в) найбільш імовірна швидкість молекул

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

➤ Розподіл молекул у силовому полі (розподіл Больцмана)

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

де n – концентрація молекул газу на висоті h ; n_0 – концентрація молекул; $W_{п}$ – 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 за сталого об'єму

$$c_{\mu V} = \mu \cdot c_V = \frac{m}{\mu} \cdot \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_V; \quad c_{\mu V} = \frac{i}{2} \cdot R$$

- Молярна теплоємність ідеального газу за сталого тиску

$$c_{\mu p} = \mu \cdot c_p = \frac{m}{\mu} \cdot \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_p; \quad c_{\mu p} = \frac{i+2}{2} \cdot R$$

- 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 ізопроесів та адіабатного процесу

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

$$\Delta Q = A; \quad p \Delta V = \text{const}; \quad A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2};$$

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

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

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

$$\Delta Q = \Delta U + A; \quad A = p(V_2 - V_1);$$

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

$$\Delta Q = 0; \quad A = -\Delta U; \quad A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R (T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} \ln \frac{p_1}{p_2}$$

- Рівняння Пуассона для адіабатного процесу

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

де $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$ – показник адіапати.

➤ 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 у 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

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

а) дифузія (закон Фіка)

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;

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

✓ коефіцієнт дифузії для газів
де $\langle v \rangle$ – середня швидкість; $\langle l \rangle$ – середня довжина вільного пробігу молекул газу;

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

б) теплопровідність (закон Фур'є)

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

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

✓ коефіцієнт теплопровідності для газів

де ρ – густина; c_V – питома теплоємність газу за сталого об'єму;

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 у напрямку, перпендикулярному до поверхні площини dS ;

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

✓ коефіцієнт динамічної в'язкості для газів

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 за ізотермічної зміни 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

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

рідини

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 (за повного змочування стінок трубки рідиною $\theta = 0$; за повного незмочування $\theta = \pi$); ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння; R – внутрішній радіус трубки.

- Висота підйому рідини між двома близькими, паралельними одна

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

одній площинами:

де d – відстань між площинами.

- Рівняння Клапейрона – Клаузіуса для фазових переходів у 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 за фазового переходу.

2.2. Задачі до модуля «Молекулярна фізика»

- 2.1. Яку температуру мають 2 г азоту, що займає об'єм 820 см^3 , під тиском $0,2 \text{ МПа}$?
- 2.2. Який об'єм займають 10 г кисню під тиском 100 кПа і за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 2.3. Балон об'ємом 12 л наповнений азотом під тиском $8,1 \text{ МПа}$ і за температури $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Яка кількість азоту міститься в балоні?
- 2.4. Тиск повітря всередині щільно закоркованої пляшки за температури $7 \text{ }^\circ\text{C}$ становив 100 кПа . Під час нагрівання пляшки корок вилетів. Визначити, до якої температури нагріли пляшку, якщо відомо, що корок вилетів під тиском повітря у пляшці 130 кПа .
- 2.5. Знайти найменший об'єм балона, який містить $6,4 \text{ кг}$ кисню, якщо його стінки за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$ витримують тиск $15,7 \text{ МПа}$.
- 2.6. У балоні містилося 10 кг газу під тиском 10 МПа . Визначити, яку кількість газу взяли з балона, якщо остаточний тиск встановився $2,5 \text{ МПа}$.
- 2.7. Знайти масу сірчаного газу (SO_2), який займає об'єм 25 л за температури $27 \text{ }^\circ\text{C}$ і під тиском 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 $0,029 \text{ кг}$.
- 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 в балоні об'ємом 10 м^3 під тиском 96 кПа і за температури $17 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 2.11. Азот масою 5 г , який міститься в закритій посудині об'ємом 4 л за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$, нагрівають до температури $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Знайти тиск газу до та після нагрівання.
- 2.12. За температури $50 \text{ }^\circ\text{C}$ тиск насиченої водяної пари становить $12,3 \text{ кПа}$. Знайти за таких умов густину водяної пари.
- 2.13. Визначити густину водню за температури $15 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску $97,3 \text{ кПа}$.
- 2.14. Густина деякого газу за температури $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ за температури $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Після нагрівання газу за сталого тиску його густина становить $0,6 \text{ кг/м}^3$. До якої температури нагріли газ?
- 2.17. Кисень масою 10 г кисню перебуває під тиском 304 кПа за температури $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Після розширення внаслідок нагрівання за сталого 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 за температури $27 \text{ }^\circ\text{C}$ і під тиском 185 кПа. Який це газ?
- 2.19. Густина газу під тиском $0,96 \cdot 10^5 \text{ Па}$ і за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 , за температур 3 К та 1000 К .
- 2.21. Визначити кількість молекул, що містяться в 1 мм^3 води, і масу молекули води. Вважаючи умовно, що молекули води мають вигляд кульок, які торкаються одна одної, визначити діаметр молекул.
- 2.22. У балоні об'ємом 10 л міститься гелій під тиском 1 МПа за температури 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 за температури $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 за температури 300 К. Коли з балона 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 міститься в балоні під тиском 2 МПа за температури 400 К.
- 2.30. Визначити густину азоту, що перебуває за температури 400 К і під тиском 2 МПа.
- 2.31. У посудині об'ємом 40 л міститься кисень. Температура кисню 300 К. Коли частину кисню витратили, тиск у балоні зменшився на 100 кПа. Визначити масу витраченого кисню, якщо температура газу в балоні не змінилася.
- 2.32. Визначити густину водяної пари, яка перебуває під тиском 2,5 кПа за температури 250 К.
- 2.33. Із балона зі стисненим повітрям виходить газ через пошкоджений вентиль. Спочатку, за температури 7 °С, манометр на балоні показував тиск 500 кПа. Через деякий час, за температури 17 °С, манометр показує той самий тиск. Наскільки змінилася концентрація газу в балоні? Яка маса газу витекла з балона, якщо його об'єм становить 10 л?
- 2.34. Газ під тиском $8,1 \cdot 10^5$ Па і за температури 12 °С займає об'єм 855 л. Яким буде тиск, якщо та ж маса газу за температури 320 К займе об'єм 800 л?
- 2.35. Деяка маса газу під тиском 126 кПа і за температури 300 К займає об'єм 0,6 м³. Визначити об'єм газу за нормальних умов.
- 2.36. Балон містить стиснений газ за температури 27 °С і під тиском $4 \cdot 10^5$ Па. Якими стануть тиск і концентрація газу, якщо з балона вилучити половину маси газу, а температуру знизити до 12 °С?
- 2.37. Газ під тиском $6 \cdot 10^5$ Па і за температури 293 К займає об'єм 586 л. Визначити об'єм, який займатиме та ж сама маса газу за температури 248 К і під тиском $4 \cdot 10^5$ Па.
- 2.38. Об'єм газу під тиском $7,2 \cdot 10^5$ Па і за температури 288 К становить 0,6 м³. За якої температури та ж сама маса газу займатиме об'єм 1,6 м³, якщо тиск становитиме $2,25 \cdot 10^5$ Па?
- 2.39. Газ під тиском $3,2 \cdot 10^4$ Па і за температури 290 К займає об'єм 87 л. Визначити об'єм газу за нормальних умов.
- 2.40. Який тиск створює 40 л кисню за температури 103 °С, якщо за нормальних умов та сама маса газу займає об'єм 13,65 л? Знайти масу газу.
- 2.41. За якої температури тиск 240 л водню становить 126 кПа, якщо за

- нормальних умов та ж сама маса газу займає об'єм 364 л?
- 2.42. Визначити густину повітря на висоті 10 км над рівнем моря за температури $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску $3 \cdot 10^4\text{ Па}$, якщо на рівні моря атмосферні умови нормальні.
 - 2.43. Знайти відношення густини вуглекислого газу під тиском 93,1 кПа і за температури 250 К до густини водню під тиском $6 \cdot 10^5\text{ Па}$ і за температури 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 в ізотермічному, ізобаричному й ізохорному процесах.
 - 2.47. У скільки разів збільшиться об'єм повітряної кулі, якщо її внести з вулиці в тепле приміщення? Температура назовні $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, у приміщенні $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - 2.48. Об'єм деякої маси газу внаслідок нагрівання на 10 К за сталого тиску збільшився на 0,03 від свого початкового об'єму. Визначити початкову температуру газу.
 - 2.49. До якої температури за нормального атмосферного 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 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$? Об'єм кімнати 60 м^3 за нормального атмосферного тиску.
 - 2.51. У середині закритого з обох кінців горизонтального циліндра розташований тонкий поршень, який може ковзати без тертя. З одного боку від поршня міститься водень масою 3 г, з іншого – азот масою 23 г. Яку частину об'єму циліндра займає водень?
 - 2.52. У сталений балон об'ємом 10 л нагнітається водень за температури 290 К. Скільки водню можна вмістити в балон, якщо стінки балона витримують максимальний тиск 50 МПа?
 - 2.53. Визначити густину кисню за температури 300 К і тиску $1,6 \cdot 10^5\text{ Па}$. Розрахувати масу 200 м^3 кисню за цих умов.

- 2.54. Визначити концентрацію молекул ідеального газу за нормального тиску і температури 23 °С. Скільки таких молекул перебуватиме в колбі об'ємом 200 мл?
- 2.55. Визначити кількість молів і число молекул кисню масою 0,5 кг.
- 2.56. Визначити молярну масу і масу однієї молекули кухонної солі.
- 2.57. Визначити кількість молекул, які містяться в 1 г азоту; в 1 м³ кисню за нормальних умов.
- 2.58. Визначити кількість атомів, які містяться в 1 г гелію; в 1 м³ аргону за нормальних умов.
- 2.59. Обчислити концентрацію молекул ідеального газу за нормальних умов.
- 2.60. Водень масою 2 г міститься в посудині об'ємом 10 л за температури 100 °С. Визначити повну кінетичну енергію поступального хаотичного руху молекул і значення середньої квадратичної швидкості молекул.
- 2.61. 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.
- 2.62. У посудині об'ємом 5 л міститься 1 г водню за температури 80 °С. Визначити повну кінетичну енергію поступального хаотичного руху молекул і значення середньої квадратичної швидкості молекул.
- 2.63. Визначити тиск одноатомного газу, який займає об'єм 2 л, якщо його внутрішня енергія дорівнює 300 Дж.
- 2.64. Визначити повну кінетичну енергію молекул вуглекислого газу за температури 223 К.
- 2.65. Визначити кінетичну енергію поступального руху молекул водню за температур 173 К; 273 К; 423 К.
- 2.66. За яких температур молекули кисню мають середню квадратичну швидкість 200 м/с; 700 м/с? Наскільки зміниться внутрішня енергія газу в разі переходу від більш високої із знайдених температур до найнижчої?
- 2.67. Визначити середню кінетичну енергію обертального руху однієї молекули кисню за температури 350 К, а також кінетичну енергію обертального руху всіх молекул кисню масою 4 г.
- 2.68. Визначити повну кінетичну енергію, а також кінетичну енергію однієї молекули аміаку (NH₃) за температури 27 °С.

- 2.69. Кількість молів кисню дорівнює 0,5. Визначити внутрішню енергію кисню, а також середню кінетичну енергію молекули цього газу за температури 300 К.
- 2.70. Визначити сумарну кінетичну енергію поступального руху всіх молекул газу, який міститься в посудині об'ємом 3 л під тиском 540 кПа.
- 2.71. Кількість молів гелію дорівнює 1,5, а температура становить 120 К. Визначити сумарну кінетичну енергію поступального руху всіх молекул газу.
- 2.72. 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.
- 2.73. Визначити середню кінетичну енергію однієї молекули водяної пари за температури 500 К.
- 2.74. Водень перебуває за температури 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.
- 2.75. За якої температури середня кінетична енергія поступального руху газу становить $4,14 \cdot 10^{-21}$ Дж?
- 2.76. В азоті зважені дрібні частинки пилу, які рухаються так, нібито вони дуже великі молекули. Маса кожної частинки дорівнює $6 \cdot 10^{-10}$ г. Газ перебуває за температури 400 К. Визначити середні квадратичні швидкості, а також середні кінетичні енергії поступального руху молекули азоту та частинки.
- 2.77. Чому дорівнює енергія теплового руху 20 г кисню за температури 10 °С. Яка частина цієї енергії припадає на поступальний рух і яка частина – на обертальний?
- 2.78. Визначити кінетичну енергію теплового руху молекул, які містяться в 1 г повітря за температури 15 °С. Повітря вважати однорідним газом, а молярна маса становить $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.
- 2.79. Знайти енергію обертального руху молекул, які містяться в 1 кг азоту за температури 7 °С?
- 2.80. Знайти енергію теплового руху молекул двохатомного газу, що перебуває під тиском $1,5 \cdot 10^5$ Па в посудині об'ємом 2 л?
- 2.81. 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 перебуває азот.

- 2.82. За якої температури середня кінетична енергія теплового руху атомів гелію буде достатньою для того, щоб атоми гелію здолали земне тяжіння і назавжди покинули земну атмосферу?
- 2.83. Двохатомний газ масою 1 кг перебуває під тиском $8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ і має густину 4 кг/м^3 . Визначити енергію теплового руху молекул газу за таких умов.
- 2.84. Яка кількість молекул двухатомного газу займає об'єм 10 см^3 під тиском $5,3 \text{ кПа}$ і за температури $27 \text{ }^\circ\text{C}$? Яку енергію теплового руху мають ці молекули?
- 2.85. У посудині міститься 8 г кисню за температури 1600 К . Яка кількість молекул кисню має кінетичну енергію поступального руху, що перевищує значення $6,65 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$?
- 2.86. 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 .
- 2.87. 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.
- 2.88. 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.
- 2.89. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу становить 450 м/с . Тиск газу $5 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Визначити густину газу за цих умов.
- 2.90. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу за нормальних умов становить 461 м/с . Яка кількість молекул міститься в 1 г такого газу.
- 2.91. Визначити коефіцієнт теплопровідності водню, якщо відомо, що коефіцієнт внутрішнього тертя для нього за таких умов дорівнює $8,6 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$.
- 2.92. Визначити коефіцієнт теплопровідності повітря за температури $10 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 100 кПа . Діаметр молекули повітря вважати $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.
- 2.93. Побудувати графік залежності коефіцієнта теплопровідності водню

- від температури в інтервалі $100 \text{ K} \leq T \leq 600 \text{ K}$ через кожні 100 K .
- 2.94. У посудині об'ємом 2 л міститься $4 \cdot 10^{22}$ молекул двохатомного газу. Коефіцієнт теплопровідності газу $14 \text{ мВт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Визначити коефіцієнт дифузії газу за таких умов.
- 2.95. Вуглекислий газ і азот перебувають за однакових температур і тиску. Визначити для цих газів відношення коефіцієнтів дифузії; коефіцієнтів внутрішнього тертя і коефіцієнтів теплопровідності. Діаметри молекул цих газів вважати однаковими.
- 2.96. 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 $101,3 \text{ кПа}$.
- 2.97. Між двома пластинами, які розташовані на відстані 1 мм одна від одної, перебуває повітря. Між пластинами підтримується різниця температур 1 К . 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 перебуває за нормальних умов. Діаметр молекул повітря вважати $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
- 2.98. Визначити коефіцієнт дифузії водню за нормальних умов, якщо середня довжина вільного пробігу молекул становить $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.
- 2.99. Визначити коефіцієнт дифузії гелію за нормальних умов.
- 2.100. Побудувати графік залежності коефіцієнта дифузії водню від температури в інтервалі $100 \text{ K} \leq T \leq 600 \text{ K}$ через кожні 100 K за сталого тиску 100 кПа .
- 2.101. Визначити масу азоту, який пройшов унаслідок дифузії через поверхню площею 100 см^2 за 10 с , якщо градієнт густини в напрямку, перпендикулярному до поверхні, становить $1,26 \text{ кг}/\text{м}^4$. Температура азоту $27 \text{ }^\circ\text{C}$, середня довжина вільного пробігу азоту 10^{-5} см .
- 2.102. За якого тиску відношення коефіцієнта внутрішнього тертя деякого газу до коефіцієнта його дифузії становить $0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$, а середня квадратична швидкість його молекул дорівнює $632 \text{ м}/\text{с}$?
- 2.103. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул гелію за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску $101,3 \text{ кПа}$, якщо за таких умов коефіцієнт

внутрішнього тертя (динамічна в'язкість) для нього дорівнює $13 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$.

- 2.104. Визначити діаметр молекули кисню, якщо відомо, що за температури 0°C коефіцієнт внутрішнього тертя для кисню дорівнює $18,8 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$.
- 2.105. Побудувати графік залежності коефіцієнта внутрішнього тертя азоту від температури в інтервалі $100 \text{ K} \leq T \leq 600 \text{ K}$ через кожні 100 K .
- 2.106. Визначити коефіцієнт дифузії і коефіцієнт внутрішнього тертя повітря під тиском $101,3 \text{ кПа}$ і за температури 10°C . Діаметр молекули повітря дорівнює $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.
- 2.107. У скільки разів коефіцієнт внутрішнього тертя кисню більший за коефіцієнт внутрішнього тертя азоту? Температура газів однакова.
- 2.108. 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.
- 2.109. 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.
- 2.110. Крапелька води діаметром $0,01 \text{ мм}$ зважена в струмені повітря, який підіймається від поверхні Землі зі швидкістю 2 м/с . Визначити швидкість крапельки відносно Землі, якщо динамічна в'язкість повітря $2 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$.
- 2.111. 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?
- 2.112. Якої найбільшої швидкості може досягти дощова крапля діаметром $0,4 \text{ мм}$, якщо коефіцієнт динамічної в'язкості повітря дорівнює $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$.
- 2.113. У воді опускається рівномірно гладенька кулька з радіусом 1 м , яка виготовлена з матеріалу густиною $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Коефіцієнт в'язкості води $0,01 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$. Визначити роботу сил внутрішнього тертя, яка виконується за 1 хв під час падіння кульки.
- 2.114. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу, що міститься в посудині об'ємом 2 л під тиском 200 кПа . Маса газу $0,3 \text{ г}$.
- 2.115. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу, густина

- якого під тиском 100 кПа становить $0,082 \text{ кг/м}^3$. Знайти масу одного моля такого газу, якщо значення густини наведено для температури $17 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 2.116. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу за нормальних умов становить 461 м/с . Яка кількість молекул міститься в 1 г такого газу?
 - 2.117. Визначити середню квадратичну швидкість молекул повітря за температури $17 \text{ }^\circ\text{C}$, вважаючи повітря однорідним газом, молярна маса одного моля якого дорівнює $0,029 \text{ кг/моль}$.
 - 2.118. Визначити відношення середніх квадратичних швидкостей молекул повітря і водню за однакових температур.
 - 2.119. Під час вибуху атомної бомби розвивається температура, яка сягає приблизно 10^7 К . Вважаючи, що за такої температури молекули повністю дисоціюють на атоми, а атоми іонізовані, визначити середню квадратичну швидкість іона водню.
 - 2.120. 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 $0,029 \text{ кг/моль}$.
 - 2.121. Визначити середню квадратичну швидкість руху молекул водню за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - 2.122. Частинки гумігугу діаметром 1 мм здійснюють броунівський рух. Густина гумігугу $1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Визначити середню квадратичну швидкість частинок гумігугу за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - 2.123. Яка частина молекул азоту за температури 900 К має швидкості, які перебувають в інтервалі від $v_{\text{ім}}$ до $v_{\text{ім}} + \Delta v$, де $\Delta v = 20 \text{ м/с}$?
 - 2.124. Яка частина від загальної кількості молекул має швидкості, менші за найбільш імовірну швидкість?
 - 2.125. Визначити середню арифметичну, середню квадратичну та найбільш імовірну швидкості молекул газу, густина якого під тиском 40 кПа дорівнює $0,3 \text{ кг/м}^3$.
 - 2.126. За якої температури середня квадратична швидкість молекул азоту перевищує їхню найбільш імовірну швидкість на 50 м/с ?
 - 2.127. Яка частина молекул кисню за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$ має швидкості в інтервалі $100 \div 110 \text{ м/с}$?
 - 2.128. Яка частина молекул азоту за температури $150 \text{ }^\circ\text{C}$ має швидкості в інтервалі від 300 м/с до 325 м/с ?

- 2.129. Яка частина молекул водню за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ має швидкості в інтервалі від 2000 м/с до 2100 м/с ?
- 2.130. Яка частина молекул азоту за температури 400 К має швидкості, що перебувають в інтервалі між v_{im} до $v_{im} + \Delta v$, де $\Delta v = 20\text{ м/с}$?
- 2.131. Яка частина від загальної кількості молекул має швидкості, що перевищують їхню найбільш імовірну швидкість?
- 2.132. У балоні міститься $2,5\text{ г}$ кисню. Визначити кількість молекул кисню, швидкості яких перевищують значення середньої квадратичної швидкості.
- 2.133. 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 ?
- 2.134. За якої температури 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 ?
- 2.135. У деякому об'ємі міститься число Авогадро молекул ідеального газу. Визначити кількість молекул, швидкості яких менші ніж $0,001$ від найбільш імовірної швидкості.
- 2.136. Висотна метеорологічна станція розташована на висоті 3250 м . Визначити тиск повітря на такій висоті. Температуру вважати сталою та рівною $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, молярну масу повітря – рівною $29 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$. Тиск біля поверхні Землі дорівнює $101,3\text{ кПа}$.
- 2.137. На якій висоті тиск повітря становить 75% від тиску на рівні моря? Температуру вважати сталою та рівною $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2.138. 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 та ззовні літака. Середню температуру зовнішнього повітря вважати рівною $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2.139. Визначити з умови попередньої задачі, у скільки разів густина повітря всередині літака більша за густину повітря ззовні, якщо температура зовнішнього середовища становить $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура всередині салону $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2.140. Визначити густину повітря на висоті 4 км над поверхнею Землі. Температуру повітря вважати сталою і рівною $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тиск повітря поблизу поверхні Землі 100 кПа .

- 2.141. На якій висоті тиск повітря становить 50 % від тиску на рівні моря? Температуру повітря вважати сталою і рівною 0 °С.
- 2.142. За допомогою іонізаційного манометра, встановленого на третьому радянському штучному супутнику Землі, було виявлено, що на висоті 300 км від поверхні Землі в 1 см³ атмосфери перебуває близько мільярда частинок газу. Визначити середню довжину вільного пробігу частинок газу на такій висоті. Діаметр частинок вважати рівним $2 \cdot 10^{-10}$ м.
- 2.143. Середня довжина вільного пробігу молекул кисню за нормальних умов становить $6,5 \cdot 10^{-8}$ м. Визначити середню арифметичну швидкість молекул і кількість зіткнень за 1 с.
- 2.144. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул вуглекислого газу за температури 100 °С і тиску 13,3 Па. Діаметр молекули вуглекислого газу дорівнює $3,2 \cdot 10^{-8}$ см.
- 2.145. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул повітря за нормальних умов. Діаметр молекули повітря умовно дорівнює $3 \cdot 10^{-8}$ м.
- 2.146. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул вуглекислого газу за температури 100 °С, якщо середня довжина вільного пробігу за таких умов становить $8,7 \cdot 10^{-2}$ см.
- 2.147. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул азоту за температури 27 °С і тиску 53,33 кПа.
- 2.148. У посудині об'ємом 0,5 л міститься кисень за нормальних умов. Визначити кількість зіткнень між молекулами кисню у посудині за 1 с.
- 2.149. У скільки разів зменшиться кількість зіткнень за 1 с молекул двохатомного газу, якщо його об'єм адіабатично збільшити вдвічі?
- 2.150. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул азоту за температури 17 °С і тиску 100 кПа.
- 2.151. Визначити середню довжину вільного пробігу атомів гелію, густина якого дорівнює $2,1 \cdot 10^{-2}$ кг/м³.
- 2.152. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул водню під тиском 0,133 Па і за температури 50 °С?
- 2.153. За температури 0 °С і деякому тиску середня довжина вільного пробігу молекул кисню становить $9,5 \cdot 10^{-8}$ м. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекули кисню, якщо тиск у посудині відкачати до 0,01 від початкового тиску? Температура залишається незмінною.
- 2.154. За деяких умов середня довжина вільного пробігу молекул газу становить $1,6 \cdot 10^{-7}$ м, а середня арифметична швидкість його

молекул дорівнює $1,95 \text{ км/с}$. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул такого газу, якщо за тієї самої температури тиск газу зменшити в $1,27$ рази?

- 2.155. У колбі об'ємом 100 см^3 міститься $0,5 \text{ г}$ азоту. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул азоту за таких умов.
- 2.156. У посудині міститься вуглекислий газ, густина якого $1,7 \text{ кг/м}^3$; середня довжина вільного пробігу його молекул за таких умов $7,9 \cdot 10^{-6} \text{ см}$. Визначити діаметр молекул вуглекислого газу.
- 2.157. Визначити середній час між двома послідовними зіткненнями молекул азоту за температури $10 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 133 Па .
- 2.158. Посудину з повітрям відкачали до тиску $1,33 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$. Визначити за таких умов густину повітря в посудині, концентрацію молекул і середню довжину вільного пробігу молекул. Діаметр молекул повітря вважати $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, а молярну масу – $0,029 \text{ кг/моль}$. Температура повітря становить $17 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 2.159. Яка найменша кількість молекул газу має міститися в 1 см^3 сферичної посудини, діаметр якої дорівнює 15 см , щоб молекули не зіштовхувались одна з одною? Діаметр молекули газу дорівнює $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.
- 2.160. 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 $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, а температуру газу $0 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 2.161. У сферичній колбі об'ємом 1 л міститься азот. За якої густини азоту середня довжина вільного пробігу його молекул більша за розміри посудини?
- 2.162. Відстань між катодом і анодом у розрядній трубці становить 15 см . Який тиск треба створити в розрядній трубці, щоб електрони не зіштовхувались із молекулами повітря на шляху від катода до анода? Температура повітря становить $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Діаметр молекули повітря вважати рівним $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Середня довжина вільного пробігу електронів у газі приблизно в $5,7$ рази більша за середню довжину вільного пробігу молекул самого газу.
- 2.163. Визначити середню кількість зіткнень за 1 с молекул деякого газу, якщо середня довжина вільного пробігу його молекул за таких умов становить $5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, а середня квадратична швидкість молекул 500 м/с .

- 2.164. Визначити середню довжину вільного пробігу молекули водню під тиском 0,133 Па і за температури 173 °С.
- 2.165. Визначити середню кількість зіткнень за одиницю часу та довжину вільного пробігу молекули гелію, якщо газ перебуває під тиском 2 кПа за температури 200 К.
- 2.166. Визначити середню довжину вільного пробігу молекули азоту в посудині об'ємом 5 л. Маса газу 0,5 г.
- 2.167. Водень перебуває під тиском 20 мкПа і має температуру 300 К. Визначити середню довжину вільного пробігу молекули такого газу.
- 2.168. За нормальних умов довжина вільного пробігу молекули водню становить 0,112 пм. Визначити діаметр молекули водню.
- 2.169. Визначити середню арифметичну швидкість молекул кисню за нормальних умов, якщо відомо, що середня довжина вільного пробігу молекули кисню за таких умов становить 100 нм.
- 2.170. Кисень перебуває під тиском 1,33 нПа за температури 200 К. Визначити середню кількість зіткнень молекул кисню за одиницю часу за цих умов.
- 2.171. Водень масою 2 г займає об'єм 2,5 л. Визначити середню кількість зіткнень молекул водню за одиницю часу.
- 2.172. Середня довжина вільного пробігу молекули водню за деяких умов становить 2 мм. Визначити густину водню за таких умов.
- 2.173. Унаслідок адіабатичного стискання тиск повітря був збільшений від 50 кПа до 0,5 МПа. Потім, за незмінного об'єму, температура повітря була знижена до початкової. Визначити тиск повітря наприкінці процесу.
- 2.174. Кисень нагрівається за сталого тиску від 17 °С до 100 °С. У скільки разів зміниться при цьому кількість зіткнень молекул газу за 1 с?
- 2.175. Визначити діаметр пор у ґрунті, якщо за нормального атмосферного тиску й температури 0 °С в них існує технічний вакуум. Діаметр молекул повітря дорівнює $3 \cdot 10^{-8}$ см.
- 2.176. 10 г кисню перебуває під тиском 300 кПа за температури 10 °С. Після нагрівання за сталого тиску газ зайняв об'єм 10 л. Визначити кількість теплоти, отриманої газом; зміну внутрішньої енергії газу; роботу, яку виконує газ під час розширення.
- 2.177. Під час ізобаричного розширення двоатомного газу була виконана робота 156,8 Дж. Яку кількість теплоти було надано газу?
- 2.178. Водень масою 6,5 г, який перебуває за температури 27 °С,

- розширюється вдвічі за сталого тиску за рахунок притоку теплоти. Визначити роботу розширення; зміну внутрішньої енергії газу; кількість теплоти, наданої газу.
- 2.179. 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.
- 2.180. Вуглекислий газ кількістю 2 молі за сталого тиску нагрівають на 50 К. Визначити зміну його внутрішньої енергії, роботу розширення та кількість теплоти, наданої газу.
- 2.181. Двохатомному газу надана кількість теплоти 2,093 кДж. Визначити роботу розширення газу, якщо газ розширюється за сталого тиску.
- 2.182. Газ, який займає об'єм 5 л, перебуває під тиском $2 \cdot 10^5$ Па і за температури 17°C, був нагрітий та ізобарично розширився. Робота розширення газу становила 196 Дж. Наскільки збільшилася температура газу внаслідок нагрівання?
- 2.183. Вуглекислий газ масою 7 г нагріли на 10 К в умовах вільного розширення. Визначити роботу розширення газу та зміну його внутрішньої енергії.
- 2.184. 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.
- 2.185. У посудині під поршнем міститься 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.
- 2.186. Азот масою 10,5 г ізотермічно розширюється за температури -23 °С від тиску 250 кПа до 100 кПа. Визначити роботу, яку виконав газ під час розширення.
- 2.187. Під час ізотермічного розширення 10 г азоту, який перебуває за температури 17 °С, була виконана робота у 860 Дж. У скільки разів змінився тиск азоту під час розширення?
- 2.188. Робота ізотермічного розширення вдвічі деякого газу масою 10 г дорівнює 575 Дж. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу за цієї температури.

- 2.189. Гелій об'ємом 1 л, який перебуває 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.
- 2.190. Під час ізотермічного розширення 2 м^3 газу його тиск змінився від 0,5 МПа до 0,4 МПа. Визначити роботу газу, виконану під час розширення.
- 2.191. Кисень масою 2 кг займає об'єм 1 м^3 і перебуває під тиском 0,2 МПа. Під час нагрівання газ спочатку розширюється за сталого тиску до об'єму 3 м^3 , а потім його тиск зростає до 0,5 МПа за сталого об'єму. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, виконану ним роботу та теплоту, надану газу.
- 2.192. Яку кількість теплоти поглинає 0,2 кг водню, що нагрівається від $0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ за сталого тиску? Наскільки зміниться внутрішня енергія газу? Яку роботу виконає газ?
- 2.193. Кисень масою 200 г займає об'єм 100 л і перебуває під тиском 200 кПа. Під час нагрівання газ спочатку розширюється за сталого тиску до об'єму 300 л, а потім його тиск зростає до 500 кПа за сталого об'єму. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, виконану ним роботу та теплоту, надану газу. Побудувати графік процесу.
- 2.194. 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.
- 2.195. 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.
- 2.196. У скільки разів збільшиться об'єм водню кількістю 0,4 моля під час ізотермічного розширення, якщо газ отримає теплоту 800 Дж. Температура водню 300 К.
- 2.197. Водень займає об'єм 10 м^3 під тиском 0,1 МПа. Під час нагрівання за сталого об'єму тиск газу зріс до 0,3 МПа. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, роботу, виконану газом і теплоту, надану газу.
- 2.198. Кисень нагрівають за незмінного 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.

- 2.199. У циліндрі під поршнем міститься азот масою 0,6 кг, який займає об'єм $1,2 \text{ м}^3$ за температури 560 К. Унаслідок 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.
- 2.200. До якої температури охолоне повітря, що має температуру $0 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо воно адіабатично розширюється вдвічі?
- 2.201. Кисень об'ємом 7,5 л адіабатично стискається до об'єму 1 л. У кінці стискання встановився тиск 1,6 МПа. Під яким тиском перебував газ до стискання?
- 2.202. Повітря в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння стискається адіабатично, і його тиск при цьому змінюється від 0,1 МПа до 100 МПа. Початкова температура повітря $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити температуру повітря наприкінці стискання.
- 2.203. Унаслідок адіабатичного розширення газу його об'єм збільшується вдвічі, а температура зменшується в 1,32 рази. Яку кількість степенів вільності мають молекули цього газу?
- 2.204. Двохатомний газ перебуває за температури $27 \text{ }^\circ\text{C}$ і під тиском 2 МПа. Унаслідок адіабатичного стискання газу його об'єм зменшується вдвічі. Визначити температуру і тиск газу після стискання.
- 2.205. У посудині під поршнем міститься гримучий газ, який за нормальних умов займає об'єм 10^{-4} м^3 . Унаслідок швидкого стиснення газу він загоряється. Визначити температуру горіння гримучого газу, якщо відомо, що робота стискання дорівнює 46,35 Дж.
- 2.206. У посудині під поршнем міститься 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 цього газу відношення теплоємностей за сталих тиску й об'єму. Площа поперечного перерізу невагомого поршня дорівнює 10 см^2 .
- 2.207. У циліндрі під поршнем міститься водень масою 0,02 кг за температури 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.
- 2.208. Водень масою 40 г перебуває за температури 300 К. Унаслідок адіабатичного розширення газ збільшив свій об'єм у 3 рази. Згодом, під час ізотермічного стискання, об'єм газу зменшився у 2 рази. Визначити повну роботу, виконану газом, і температуру газу.
- 2.209. У балоні за температури 145 К і тиску 2 МПа міститься кисень. Якими стануть температура та тиск кисню після того, як із балона дуже швидко випустити половину газу.
- 2.210. Двохатомний газ займає об'єм 0,5 л під тиском 50 кПа. Спочатку газ адіабатично стискається, а після цього охолоджується за сталого об'єму до початкової температури. Тиск газу стає рівним 100 кПа. Визначити значення об'єму та тиску газу наприкінці адіабатичного процесу. Накреслити графік такого процесу.
- 2.211. Газ адіабатично розширюється так, що його тиск падає з 200 кПа до 100 кПа. Далі він нагрівається за сталого об'єму до початкової температури, а його тиск зростає до 122 кПа. Визначити відношення теплоємностей за сталих тиску й об'ємів для цього газу. Накреслити графік такого процесу.
- 2.212. Об'єм одного кіломоля азоту, який перебуває за нормальних умов, зростає у 5 разів за рахунок адіабатичного розширення. Визначити зміну внутрішньої енергії газу та роботу, виконану під час розширення.
- 2.213. 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?
- 2.214. Під час адіабатичного стискання одного моля двохатомного газу була здійснена робота 146 Дж. Наскільки зросла температура газу внаслідок стискання?
- 2.215. У скільки разів зменшиться середня квадратична швидкість молекул двохатомного газу під час адіабатичного збільшення його об'єму в 2 рази?
- 2.216. 10 г кисню, який перебуває за нормальних умов, ізотермічно стискається до об'єму $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Визначити тиск кисню після стискання. Обчислити роботу стискання.
- 2.217. Азот масою 28 г, що перебуває за температури 40 °С і під тиском 100 кПа, зменшує об'єм 13 л. Визначити температуру та тиск азоту

після стискання, якщо процес ізотермічний, адіабатичний.
Визначити роботу стискання в кожному випадку.

- 2.218. Два різні гази, один з яких одноатомний, а другий двоатомний, перебувають за однакової температури і займають однаковий об'єм. Гази стискаються адіабатично так, що їхній об'єм зменшується у 2 рази. Який із газів нагрівається більше і у скільки разів?
- 2.219. Повітря масою 1 кг має температуру 30 °С і тиск 150 кПа. Унаслідок адіабатичного розширення тиск повітря зменшується до 100 кПа. Визначити ступінь розширення, кінцеву температуру повітря та роботу, яку виконав газ під час розширення.
- 2.220. Кисень масою 1 моль перебуває 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 ; $2 V_0$; $3 V_0$; $4 V_0$; $5 V_0$.
- 2.221. Кисень кількістю 1 моль перебуває 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 ; $2 V_0$; $3 V_0$; $4 V_0$; $5 V_0$.
- 2.222. Триатомний газ під тиском 240 кПа і за температури 20 °С займає об'єм 10 л. Визначити теплоємність цього газу за сталого тиску.
- 2.223. Одноатомний газ за нормальних умов займає об'єм 10 л. Визначити теплоємність цього газу за сталого об'єму.
- 2.224. Визначити питому теплоємність за сталого тиску кисню, гелію та вуглекислого газу.
- 2.225. Кисень масою 10 г перебуває під тиском 0,3 МПа за температури 10 °С. Після нагрівання за сталого тиску газ зайняв об'єм 10 л. Визначити кількість теплоти, отриманої газом; енергію теплового руху молекул газу до та після нагрівання.
- 2.226. Для деякого двоатомного газу питома теплоємність за сталого тиску становить 14,7 кДж/(кг·К). Розрахувати масу 1 моля цього газу.
- 2.227. Визначити питомі теплоємності за сталих об'єму та тиску двоатомного газу, якщо його густина за нормальних умов становить 1,43 кг/м³?
- 2.228. Визначити питомі теплоємності за сталих об'єму та тиску деякого газу, якщо відомо, що молярна маса цього газу дорівнює 0,03 кг/моль, а показник адіабати 1,4.

- 2.229. У скільки разів теплоємність за сталого об'ємі гримучого газу більша за теплоємність водяної пари, яка утворилася внаслідок його згоряння?
- 2.230. Азот об'ємом 2 л перебуває під тиском 10^5 Па. Яку кількість теплоти потрібно надати азоту для того, щоб за сталого тиску збільшити об'єм вдвічі?
- 2.231. У закупореній посудині міститься 14 г азоту під тиском 10^5 Па і за температури 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.
- 2.232. Яку кількість теплоти треба надати 12 г кисню, щоб нагріти його на 50 К за сталого тиску?
- 2.233. Для нагрівання 40 г кисню від 16°C до 40°C витрачено 628 Дж. За яких умов (за сталого об'єму чи за сталого тиску) здійснювалося нагрівання газу?
- 2.234. Обчислити питомі теплоємності за сталого об'єму і сталого тиску неону та водню, вважаючи ці гази ідеальними.
- 2.235. 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?
- 2.236. Яку кількість вуглекислого газу можна нагріти від 20°C до 100°C , надаючи йому кількість теплоти 222 Дж? Наскільки зміниться після нагрівання кінетична енергія однієї молекули? Під час нагрівання газ розширюється за сталого тиску.
- 2.237. Молекула газу складається з двох атомів. Різниця питомих теплоємностей газу за сталого тиску і сталого об'єму становить $260 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Визначити молярну масу газу та його питому теплоємність за сталих об'єму та тиску.
- 2.238. У закупореній посудині об'ємом 2 л міститься азот, густина якого $1,4 \text{ кг}/\text{м}^3$. Яку кількість теплоти потрібно надати азоту для того, щоб за таких умов нагріти його на 100 К?
- 2.239. Азот міститься в закупореній посудині об'ємом 3 л за температури 27°C і під тиском 0,3 МПа. Після нагрівання тиск у посудині зріс до 2,5 МПа. Визначити температуру азоту після нагрівання та кількість наданої йому теплоти.
- 2.240. Для нагрівання деякої кількості газу на 50°C за сталого тиску потрібно витратити 670 Дж. Під час охолодження такої ж кількості

- газу на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ за сталого об'єму виділяється 1005 Дж . Яку кількість степенів вільності мають молекули цього газу?
- 2.241. Азот масою 10 г міститься в закупореній посудині за температури $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яку кількість теплоти потрібно надати азоту, щоб вдвічі збільшити середню квадратичну швидкість його молекул? У скільки разів при цьому зміняться температура газу та його тиск на стінки посудини?
- 2.242. Гелій міститься в закупореній посудині об'ємом 2 л за температури $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і під тиском 10^5 Па . Яку кількість теплоти треба надати гелію, щоб підвищити його температуру на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$? Визначити середню квадратичну швидкість його молекул за нової температури. Яким буде тиск у посудині?
- 2.243. У закупореній посудині об'ємом 2 л міститься однакова кількість азоту й аргону за нормальних умов. Яку кількість теплоти потрібно надати, щоб нагріти таку газову суміш на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 2.244. У посудині під поршнем міститься 10 г азоту. Яку кількість теплоти треба витратити для того, щоб нагріти азот на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$? Наскільки під час нагрівання підніметься поршень? Маса поршня $1,5\text{ кг}$, площа його поперечного перерізу 10 см^2 . Тиск над поршнем $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$.
- 2.245. 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 ?
- 2.246. Розв'язати попередню задачу за умови, що розширення відбувається за сталого тиску.
- 2.247. Яку кількість теплоти поглинає 200 г водню під час нагрівання від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ за сталого тиску? Наскільки змінюється внутрішня енергія газу? Яку роботу виконує газ?
- 2.248. У скільки разів теплоємність гримучого газу більша за теплоємність водяної пари, яка утворилася внаслідок його згоряння? Задачу розв'язати для випадку сталого тиску.
- 2.249. Азот об'ємом 2 л міститься під тиском 10^5 Па . Яку кількість теплоти потрібно надати азоту для того, щоб за сталого об'єму вдвічі збільшити тиск?
- 2.250. Гелій міститься в закупореній посудині об'ємом 2 л за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і під тиском 10^5 Па . Яку кількість теплоти треба надати гелію для того, щоб підвищити його температуру на

150 °C?

- 2.251. Визначити зміну ентропії під час перетворення 10 г льоду за температури -20 °C у пару за температури 100 °C .
- 2.252. Визначити зміну ентропії під час нагрівання 0,1 кг води від 0 °C до 100 °C та наступному перетворенні води в пару за тієї самої температури.
- 2.253. Кисень масою 10 г, який перебуває 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.
- 2.254. Визначити зміну ентропії під час плавлення 1 кг льоду, який перебуває за температури 0 °C .
- 2.255. Розплавлений свинець масою 640 г за температури плавлення вилили на лід при 0 °C . Визначити зміну ентропії під час такого процесу.
- 2.256. Визначити зміну ентропії під час переходу 8 г кисню від об'єму 10 л за температури 80 °C до об'єму 40 л за температури 300 °C .
- 2.257. Визначити зміну ентропії за переходу 6 г водню від об'єму 20 л під тиском $1,5 \cdot 10^5\text{ Па}$ до об'єму 60 л під тиском $1 \cdot 10^5\text{ Па}$.
- 2.258. Водень масою 6,6 г ізобарично розширюється вдвічі. Визначити зміну ентропії під час такого розширення.
- 2.259. Визначити зміну ентропії під час ізобаричного розширення 8 г гелію від об'єму 10 л до об'єму 25 л.
- 2.260. 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.
- 2.261. Азот масою 10,5 г ізотермічно розширюються від об'єму 2 л до об'єму 5 л. Визначити зміну ентропії під час такого процесу.
- 2.262. Кисень масою 10 г нагрівається від 50 °C до 150 °C . Визначити зміну ентропії під час нагрівання за умови, що воно відбувається ізохорично, ізобарично.
- 2.263. Під час нагрівання 1 моля двохатомного газу його абсолютна температура зростає в 1,5 раза. Визначити зміну ентропії, якщо нагрівання проходить ізохорично, ізобарично.
- 2.264. Унаслідок нагрівання 22 г азоту його абсолютна температура зросла в 1,2 раза, а ентропія збільшилася на 4,19 Дж/К. За яких умов (за сталого об'єму чи за сталого тиску) проводилося

нагрівання?

- 2.265. Визначити зміну ентропії, що відбувається під час змішування 5 кг води за температури 289 К та 8 кг води за температури 350 К.
- 2.266. Один кубічний метр повітря, який має температуру 0 °С і тиск 98 кПа, ізотермічно розширюється вдвічі. Визначити зміну ентропії під час такого процесу.
- 2.267. 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.
- 2.268. Залізо масою 0,2 кг за температури 100 °С занурено в калориметр, у якому міститься 0,3 кг води за температури 12 °С. Як зміниться ентропія системи внаслідок вирівнювання температур? Теплоємністю калориметра знехтувати.
- 2.269. Визначити зміну ентропії під час ізотермічного розширення 10 г кисню від об'єму 25 л до об'єму 100 л.
- 2.270. Визначити зміну ентропії під час переходу 18 г кисню від об'єму 10 л за температури 180 °С до об'єму 40 л за температури 300 °С.
- 2.271. Об'єм гелію, маса якого 2 кг, збільшився в 5 разів ізотермічно, адіабатично. Визначити зміну ентропії в таких випадках.
- 2.272. Визначити зміну ентропії 1 моля ідеального газу в ізохорному, ізобарному й ізотермічному процесах.
- 2.273. Лід масою 100 г, який перебуває за температури –30 °С, перетворюється на пару. Визначити зміну ентропії під час такого перетворення.
- 2.274. Залізо масою 1 кг за температури 100 °С перебуває в тепловому контакті з таким же шматком заліза за температури 0 °С. Визначити зміну ентропії після досягнення рівноважної температури 50 °С. Вважати, що молярна теплоємність заліза становить 25,14 Дж/К.
- 2.275. Визначити зміну ентропії під час охолодження 4 кг свинцю від 327 °С до 0 °С.
- 2.276. Нагрівач теплової машини, що працює за циклом Карно, має температуру 200 °С. 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.

- 2.277. Визначити роботу ідеальної теплової машини за один цикл, якщо вона отримує від нагрівача кількість теплоти 2095 Дж. Температура нагрівача дорівнює 500 К, а холодильника – 300 К.
- 2.278. Температура нагрівача теплової машини, що працює за циклом Карно, дорівнює 480 К, а температура холодильника – 390 К. Якою має бути температура нагрівача за незмінної температури холодильника для того, щоб ККД машини збільшився у 2 рази?
- 2.279. За рахунок 1 кДж теплоти, отриманої від нагрівача, машина, що працює за циклом Карно, виконує роботу 0,5 кДж. Температура нагрівача 500 К. Визначити температуру холодильника.
- 2.280. Теплова машина, що працює за прямим циклом Карно, виконує роботу 220 Дж. Температура нагрівача 375 К, а холодильника – 300 К. Визначити кількість теплоти, яку отримує машина від нагрівача.
- 2.281. Визначити, на скільки процентів зміниться ККД прямого циклу Карно, якщо температура нагрівача 894 К, а температура холодильника зменшилася від 494 К до 394 К.
- 2.282. Здійснюючи прямий цикл Карно, газ віддав охолоджувачу 25 % теплоти, отриманої від нагрівача. Визначити температуру холодильника, якщо температура нагрівача 500 К.
- 2.283. Яка частина теплоти, отриманої від нагрівача, віддається холодильнику за прямим циклом Карно, якщо температура нагрівача 500 К, а температура холодильника – 125 К?
- 2.284. Визначити ККД циклу, що складається з двох ізобар і двох адіабат, якщо температури чотирьох характерних точок дорівнюють: першої – 370 К, другої – 600 К, третьої – 500 К, четвертої 350 К. Рішення пояснити p - V -діаграмою.
- 2.285. Ідеальна теплова машина, що працює за циклом Карно, отримує від нагрівача за кожен цикл 2,512 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.
- 2.286. Ідеальна теплова машина, що працює за циклом Карно, виконує за один цикл роботу $7,35 \cdot 10^4$ Дж. Температура нагрівача 100 °С, а температура холодильника – 0 °С. Визначити ККД машини; кількість теплоти, яку отримує машина від нагрівача, та кількість теплоти, яку вона віддає холодильнику за один цикл.
- 2.287. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Кількість

теплоти, отриманої від нагрівача, дорівнює 6,28 кДж. Під час роботи машини 80 % теплоти, отриманої від нагрівача, передається холодильнику. Визначити ККД циклу та роботу, виконану за повний цикл.

- 2.288. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Робочим тілом є нагріте повітря, що має початковий тиск 708 кПа, температуру 127 °С 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.
- 2.289. 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.
- 2.290. Ідеальна холодильна машина, яка працює за зворотним циклом Карно, виконує за один цикл роботу, що становить $3,7 \cdot 10^4 \text{ Дж}$. Під час роботи машина бере теплоту від тіла з температурою -10 °С і передає тілу з температурою 17 °С . Визначити ККД циклу, кількість теплоти, відібраної від холодного тіла, та кількість теплоти, переданої гарячому тілу, за один цикл.
- 2.291. Ідеальна холодильна машина, яка працює за зворотним циклом Карно, передає теплоту від холодильника з водою за температури 0 °С кип'ятильнику з водою за температури 100 °С . Яку кількість води потрібно заморозити в холодильнику для того, щоб перетворити в пару 1 кг води, що міститься в кип'ятильнику?
- 2.292. Приміщення опалюється холодильною машиною, яка працює за зворотним циклом Карно. У скільки разів кількість теплоти, яку отримує приміщення від згоряння деревини в 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 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Приміщення потрібно підтримувати за температури $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура навколишнього повітря – $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2.293. Парова машина потужністю $14,7\text{ кВт}$ споживає за одну годину роботи $8,1\text{ кг}$ вугілля з теплотворною здатністю $3,3 \cdot 10^7\text{ Дж/кг}$. Температура котла $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура холодильника $58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Визначити фактичний ККД машини та порівняти його з ККД ідеальної теплової машини, яка працює за циклом Карно між такими самими температурами.
- 2.294. Визначити роботу ізотермічного стиснення газу, що здійснює цикл Карно, ККД якого дорівнює $0,4$. Робота ізотермічного розширення в такому циклі дорівнює 8 Дж .
- 2.295. Газ, що над яким здійснюється цикл Карно, віддав холодильнику теплоту 14 кДж . Визначити температуру нагрівача за умови, що за температури охолоджувача 280 К , робота циклу дорівнює 6 кДж .
- 2.296. Газ, який є робочою речовиною в циклі Карно, отримав від нагрівача теплоту $4,38\text{ кДж}$ і виконав роботу $2,4\text{ кДж}$. Визначити температуру нагрівача, якщо температура охолоджувача 273 К .
- 2.297. Газ, який здійснює цикл Карно, віддав охолоджувачу 67% теплоти, отриманої від нагрівача. Визначити температуру охолоджувача, якщо температура нагрівача 430 К .
- 2.298. У скільки разів збільшиться ККД циклу Карно внаслідок підвищення температури нагрівача від 380 К до 560 К ? Температура охолоджувача 280 К .
- 2.299. Ідеальна тепла 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 стиснення була виконана робота 70 Дж .
- 2.300. Газ, який здійснює цикл Карно, отримує теплоту 84 кДж . Яку роботу виконує газ, якщо температура нагрівача втричі більша за температуру охолоджувача?
- 2.301. Здійснюючи цикл Карно, газ отримав від нагрівача теплоту 500 Дж і виконав роботу 100 Дж . Температура нагрівача 400 К . Визначити температуру охолоджувача.
- 2.302. Газ здійснює цикл Карно. Абсолютна температура нагрівача втричі вища за температуру охолоджувача. Нагрівач передав газу $41,9\text{ кДж}$ теплоти. Яку роботу виконав газ?
- 2.303. 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.

- 2.304. Визначити тиск повітря в бульбашці діаметром 0,01 мм, яка перебуває на глибині 0,2 м під поверхнею води. Зовнішній тиск дорівнює $1,013 \cdot 10^5$ Па.
- 2.305. Яку роботу проти сил поверхневого натягу потрібно виконати для того, щоб розбити сферичну краплю ртуті радіусом 3 мм на дві однакові краплі?
- 2.306. Яку роботу потрібно виконати під час видування мильної бульбашки, щоб збільшити її об'єм від 8 см^3 до 16 см^3 ?
- 2.307. Яка енергія виділяється внаслідок злиття двох крапель ртуті діаметрами 0,8 мм і 1,2 мм в одну краплю?
- 2.308. Визначити тиск усередині повітряної бульбашки діаметром 4 мм, яка перебуває у воді біля самої її поверхні. Атмосферний тиск вважати нормальним.
- 2.309. Визначити масу води, що ввійшла в скляну трубку з діаметром каналу 0,8 мм, занурену у воду на малу глибину. Змочування вважати повним.
- 2.310. Яку роботу потрібно виконати під час видування мильної бульбашки, щоб збільшити її об'єм від 27 см^3 до 54 см^3 ? Процес вважати ізотермічним.
- 2.311. Яка енергія виділяється внаслідок злиття двох крапель ртуті діаметрами 0,6 мм і 1,0 мм в одну краплю?
- 2.312. Визначити тиск усередині повітряної бульбашки діаметром 3 мм, яка перебуває у воді біля самої її поверхні. Атмосферний тиск вважати нормальним.
- 2.313. 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 ввігнутим. Діаметр меніска дорівнює відстані між пластинами.
- 2.314. Гліцерин піднявся в капілярній трубці з діаметром каналу 1 мм на висоту 20 мм. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу гліцерину. Змочування вважати повним.
- 2.315. У воду на дуже малу глибину занурена скляна трубка з діаметром каналу 1 мм. Визначити масу води, що ввійшла в трубку.

- 2.316. Наскільки тиск повітря всередині мильної бульбашки більший за нормальний атмосферний тиск, якщо діаметр кульки становить 5 мм? Коефіцієнт поверхневого натягу мильної води взяти з довідкових таблиць.
- 2.317. 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.
- 2.318. Дві мильні бульбашки радіусами 10 см і 5 см видули на різних кінцях тієї самої трубки. Якщо бульбашки надати самим собі, то в разі зміни радіуса більшої бульбашки на 0,1 см радіус меншої зміниться на 0,4 см. Наскільки зміниться при цьому потенціальна енергія поверхневого шару системи двох бульбашок?
- 2.319. Яку роботу проти сил поверхневого натягу потрібно виконати для того, щоб вдвічі збільшити об'єм мильної бульбашки радіусом 1 см? Коефіцієнт поверхневого натягу розчину 0,043 Н/м.
- 2.320. Яку роботу проти сил поверхневого натягу потрібно виконати для того, щоб видути мильну бульбашку діаметром 4 см? У скільки разів збільшиться ця робота в разі збільшення діаметра мильної бульбашки вдвічі? Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину вважати рівним 0,043 Н/м.
- 2.321. Повітряна бульбашка діаметром 2,2 мкм перебуває у воді біля самої її поверхні. Визначити густину повітря всередині бульбашки за нормальних умов повітря над поверхнею води.
- 2.322. Дві краплі ртуті, радіусом 1,2 мм кожна, злилися в одну велику краплю. Визначити енергію, що виділиться під час такого злиття. Процес вважати ізотермічним.
- 2.323. Визначити додатковий тиск усередині мильної бульбашки діаметром 10 см. Яку роботу треба виконати для того, щоб видути таку бульбашку?
- 2.324. Визначити, на якій глибині під водою перебуває повітряна бульбашка, якщо відомо, що густина повітря всередині бульбашки становить 2 кг/м^3 . Діаметр бульбашки 0,015 мм, температура $20 \text{ }^\circ\text{C}$, атмосферний тиск 101,3 кПа.
- 2.325. Тиск повітря всередині мильної бульбашки на 133,3 Па більший за атмосферний. Визначити діаметр бульбашки. Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину вважати рівним 0,043 Н/м.
- 2.326. У широку посудину з водою опущений капіляр. Його верхній

- кінець на 2 см вищий за рівень води в посудині. Внутрішній радіус капіляра 0,5 мм. Визначити радіус кривизни меніска в капілярі. Змочування вважати повним.
- 2.327. У широку посудину із ртуттю опущений капіляр. Його верхній кінець на 2 см нижчий за рівень ртуті в посудині. Внутрішній радіус капіляра 0,5 мм. Визначити радіус кривизни меніска в капілярі, якщо спостерігається незмочування.
- 2.328. У відкритому капілярі міститься крапля води. За вертикального положення капіляра крапля утворює водяний стовпчик довжиною 2 см, 4 см. Внутрішній діаметр капіляра 1 мм. Визначити радіус кривизни верхнього і нижнього менісків у кожному із цих випадків. Змочування вважати повним.
- 2.329. На дні посудини із ртуттю є отвір. Яким має бути найбільший діаметр отвору за умови, що ртуть не виліватиметься з посудини за висоти стовпчика ртуті 3 см?
- 2.330. Яку енергію треба витратити для того, щоб видути мильну бульбашку діаметром 12 см? Визначити додатковий тиск усередині такої бульбашки.
- 2.331. Трубка має діаметр 0,2 см. На нижньому кінці трубки зависла крапля води, яка має форму кульки. Визначити діаметр краплі.
- 2.332. Яку силу треба прикласти до горизонтального алюмінієвого кільця висотою 10 мм, із внутрішнім діаметром 50 мм і зовнішнім діаметром 52 мм, щоб відірвати його від поверхні води? Яку частину від знайденої сили становлять сили поверхневого натягу?
- 2.333. Яку енергію треба витратити для того, щоб видути мильну бульбашку діаметром 5 см? Визначити додатковий тиск усередині такої бульбашки.
- 2.334. Спирт по краплям витікає з посудини через вертикальну трубку з 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.
- 2.335. Під час плавлення нижнього кінця вертикально підвішеного свинцевого дроту діаметром 1 мм утворилося 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.

- 2.336. 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.
- 2.337. У скільки разів густина повітря в бульбашці, що перебуває на глибині 5 м під водою, більша за густину повітря за атмосферного тиску? Температуру повітря вважати однаковою. Радіус бульбашки $5 \cdot 10^{-4}$ мм.
- 2.338. У посудину, заповнену ртуттю, опущений відкритий капіляр із внутрішнім діаметром 3 мм. Різниця рівнів ртуті в посудині та капілярі становить 3,7 мм. Визначити радіус кривизни ртутного меніска в капілярі.
- 2.339. 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.
- 2.340. На яку висоту піднімається бензол у капілярі з внутрішнім діаметром 1 мм? Змочування вважати повним.
- 2.341. Яким має бути внутрішній діаметр капіляра, щоб за умови повного змочування вода піднялася в ньому на 2 см?
- 2.342. Визначити різницю рівнів ртуті у двох сполучених капілярах із діаметрами 1 мм і 2 мм. Незмочування вважати повним.
- 2.343. 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.
- 2.344. Капіляр із внутрішнім радіусом 2 мм опущений у рідину. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідини, якщо відомо, що маса рідини, яка піднялася в капілярі, становить 0,09 г.
- 2.345. Капілярна трубка з внутрішнім радіусом 0,16 мм опущена вертикально в посудину з водою. Яким має бути тиск повітря над рідиною у капілярі, щоб рівень води в капілярі та в широкій посудині був однаковим? Зовнішній тиск становить 101,3 кПа. Змочування вважати повним.
- 2.346. 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 довелося

- занурити у воду на 1,5 % від її довжини. Визначити внутрішній діаметр трубки. Зовнішній тиск становить 100 кПа. Змочування вважати повним.
- 2.347. 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?
- 2.348. Між двома вертикальними плоскопаралельними скляними пластинками, що розташовані 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.
- 2.349. 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 вважати рівним 0,05 Н/м.
- 2.350. Визначити різницю висот рівнів ртуті в трубках, занурених у посудину із ртуттю, якщо діаметри трубок 0,1 мм і 1 мм.
- 2.351. У капілярі з радіусом 0,1 мм спирт піднявся на висоту 56 мм. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу спирту. Змочування вважати повним.
- 2.352. Під час вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу спирту використовувалася капілярна трубка з діаметром каналу 0,15 мм. За температури 293 К спирт піднявся в ній на висоту 7,6 см. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу спирту.
- 2.353. Крапля води витікає з вертикальної скляної трубки діаметром 1 мм. Температура води 20 °С. Визначити вагу краплі.
- 2.354. Гас витікає з отвору трубки діаметром 1,8 мм. Скільки крапель утвориться з 1 см^3 гасу за температури 20 °С?
- 2.355. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу олії, якщо під час пропускання через піпетку 4 см^3 олії отримано 304 краплі. Діаметр шийки піпетки 1,2 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 -го 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, у 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 цю точку поля; $A_{1 \rightarrow \infty}$ – робота сил електростатичного поля з переміщення заряду q_0 із цієї 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, у якій визначається потенціал.

➤ Потенціал електричного поля, створеного системою N зарядів,

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

де φ_i – потенціал у цій 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 з перенесення 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

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

пластинами d

б) відокремленої провідної сфери радіусом R

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

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

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 L}{\ln(R_2/R_1)};$$

г) сферичного конденсатора з радіусами внутрішньої та зовнішньої поверхні сфер R_1 та R_2

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$$

➤ Електроємність батареї N конденсаторів за

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i};$$

а) послідовного з'єднання

$$C = \sum_{i=1}^N C_i.$$

б) паралельного з'єднання

➤ Сила взаємного притягання пластин конденсатора

$$F = \frac{\sigma^2 S}{2\epsilon\epsilon_0}.$$

➤ Енергія зарядженого конденсатора $W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$

➤ Енергія електростатичного поля в об'ємі V

$$W = \int_V \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} dV.$$

➤ Об'ємна густина енергії електростатичного поля

$$\varpi = \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{D^2}{2\epsilon\epsilon_0} = \frac{ED}{2},$$

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 замкненого 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

$$\sum_{i=2}^n I_i = 0$$

а) перше правило для вузла електричної схеми; де n – кількість струмів, що сходяться у вузлі (струми, що входять у вузол, вважаються додатними, ті, що виходять, – від’ємними);

$$\sum_{i=1}^m I_i R_i = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i,$$

б) друге правило для замкненого контуру; 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 за $t = 0$ °С;

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника.

➤ Загальний опір провідників за їх з'єднань

$$R = \sum_{i=1}^n R_i ;$$

а) послідовного

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} .$$

б) паралельного

➤ 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 знака, 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

$$d\vec{F} = \left[Id\vec{l} \times \vec{B} \right],$$

- Закон Ампера у векторній формі

де $Id\vec{l}$ – елемент струму; \vec{B} – вектор індукції магнітного поля, що діє на цей елемент.

- Закон Біо – Савара – Лапласа

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

де μ – магнітна проникність середовища, μ_0 – магнітна стала, \vec{r} – радіус-вектор, спрямований від елемента провідника $Id\vec{l}$ до точки, у 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

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

- в) індукція магнітного поля прямолінійної ділянки струму

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2);$$

де φ_1 і φ_2 – кути між напрямком протікання струму та напрямками, що сполучають кінці провідника з точкою, у 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

$$\oint_L (\vec{H} \cdot d\vec{l}) = \sum_{i=1}^N I_i,$$

довжиною L)

де I_i – сили струмів у провідниках, охоплених цим контуром.

- Закон повного струму для магнітного поля в 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)

$$B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I = \mu\mu_0 nI$$

- 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 у 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.

$$\oint_S (\vec{B} \cdot d\vec{S}) \equiv 0$$

- Теорема Гауса для магнітного поля

- Робота з переміщення замкнутого контуру (провідника зі струмом)

$$A = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} Id\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I\Delta\Phi$$

у магнітному полі

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 і 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 в перехідних процесах у колі з джерелом струму е.р.с, активним опором R та індуктивністю L

а) за вмикання кола

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-(R/L) \cdot t} \right),$$

де t – час після замикання кола;

б) за вимикання кола

$$I = \frac{\varepsilon}{R} e^{-(R/L) \cdot t}$$

- Енергія магнітного поля контуру зі струмом I

$$W_m = \int_0^I LI dI = \frac{LI^2}{2} .$$

- 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 точкові заряди 30 нКл та -10 нКл перебувають у просторі на відстані 10 см один від одного. Визначити напруженість поля, що створюється цими зарядами в 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 $6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}$, становить 5 см . Знайти напруженість поля в 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 становить 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 в 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 точкові однойменні 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 в 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 із 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 в рівновазі у плоскому конденсаторі з відстанню між обкладинками 4 мм. Визначити різницю потенціалів між обкладинками.
- 3.11. Два точкові однойменні заряди 20 і 50 нКл перебувають у повітрі на відстані 1 м. Визначити роботу, яку треба виконати, щоб наблизити їх до відстані 0,5 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 однакові точкові заряди по 1 нКл розташовані у вершинах рівностороннього трикутника. Який заряд треба розмістити в центрі трикутника, щоб наведена система зарядів була в рівновазі?
- 3.15. Два точкові електричні 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 в 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 становить 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 прискорювальну різницю потенціалів має подолати електрон, щоб отримати швидкість $8 \cdot 10^6$ м/с?
- 3.21. Електрон із початковою швидкістю $3 \cdot 10^6$ м/с влітає в 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 однакові точкові 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 однакові 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 $2 \cdot 10^{-10}$ Кл. Який негативний заряд треба розташувати в 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 в рівновазі. Визначити значення та знак заряду.
- 3.26. По тонкому металевому кільцю радіусом 10 см рівномірно розподілений заряд 20 нКл. Яка напруженість електричного поля в 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/м²?
- 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 в одну. Який потенціал краплі, що утворилася?
- 3.31. Вісім однакових крапель ртуті, заряджених до потенціалу 4 В, зливаються в одну. Знайти потенціал краплі, що утворилася.
- 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 в електричне поле в 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 в напрямі силових ліній поля. Яку швидкість матиме електрон, подолавши в 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 в $4 \cdot 10^{-9}$ 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. 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.
- 3.43. Порошинка масою 5 нг, яка несе на собі заряд у 10 електронів, прискорена у вакуумі різницею потенціалів в 1 МВ. Знайти кінетичну енергію порошинки. Якої швидкості вона набула?
- 3.44. 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.
- 3.45. 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.
- 3.46. Два конденсатори ємністю 5 мкФ та 8 мкФ з'єднані послідовно й підключені до батареї з ЕРС 80 В. Визначити заряд кожного конденсатора та різницю потенціалів між його обкладинками.
- 3.47. Два однакові плоскі повітряні 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 в трансформаторну оливу.
- 3.48. Визначити роботу, яка виконується під час розсування обкладинок плоского конденсатора площею 100 см^2 кожна на відстань 1,5 см за умови, що обкладинки несуть заряд 0,4 мкКл.
- 3.49. Знайти електроємність сфери радіусом 20 мм. На скільки зміниться потенціал сфери, якщо їй надати заряд 0,5 Кл.
- 3.50. Два конденсатори однакової ємності 6 мкФ заряджені: один до 100 В, другий – 200 В. Після цього конденсатори з'єднані послідовно. Визначити зміну енергії системи.
- 3.51. 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 в момент під'єднання другого конденсатора?

- 3.52. До батареї з ЕРС 300 В підключено два плоскі конденсатори ємністю 2 пФ та 3 пФ. Визначити заряди й напруги на пластинах конденсаторів за паралельного з'єднання.
- 3.53. 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.
- 3.54. 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.
- 3.55. 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?
- 3.56. 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.
- 3.57. 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'єднаний від батареї.
- 3.58. Знайти електроємність земної кулі. Радіус земної кулі 6400 км. На скільки зміниться потенціал земної кулі, якщо йому надати заряд 1 Кл?
- 3.59. Вісім заряджених водяних краплин радіусом 1 мм та зарядами в 10^{-10} Кл кожна зливаються в одну водяну краплю. Визначити потенціал великої краплі.
- 3.60. 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 в оливу, щоб мати таку електроємність?
- 3.61. У яких межах може змінюватися електроємність системи, що складається з двох конденсаторів змінної ємності, якщо ємність кожного може змінюватися від 10 до 450 пФ?

- 3.62. Заряджена куля радіусом 2 см торкається незарядженої кулі радіусом 3 см. Після того як кулі роз'єднали, енергія другої кулі становить 0,4 Дж. Який заряд був на першій кулі до їхнього доторкання?
- 3.63. 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 під час його розряду виділилося $4,19 \cdot 10^{-30}$ Дж тепла.
- 3.64. Плоский повітряний конденсатор, відстань між пластинами якого 2 см, заряджений до потенціалу 3000 В. Якою буде напруженість поля в конденсаторі, якщо, не відмикаючи джерело напруги, пластини розсунуті на відстань 5 см? Обчислити енергії конденсатора до та після розсування. Площа пластини 100 см^2 .
- 3.65. Плоский конденсатор заповнюється діелектриком, і на його пластини подано якусь різницю потенціалів. Його енергія при цьому становить $2 \cdot 10^{-5}$ 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.
- 3.66. Електрична лампа напругою 120 В має волосок із діаметром поперечного перерізу 0,44 мм. Визначити напруженість поля у волоску за температури $2400 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо опір лампи в робочому стані 10 Ом.
- 3.67. 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.
- 3.68. Вольфрамівим волоском лампи розжарювання тече електрострум 0,125 А. Визначити напруженість електричного струму у волоску лампи, якщо його діаметр 0,02 мм, а температура $2400 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 3.69. Мідним дротом із поперечним перерізом 1 мм^2 тече електрострум 1 А. Визначити швидкість спрямованого руху електронів, якщо концентрація електронів провідності 10^{23} см^{-3} .
- 3.70. 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?

- 3.71. Амперметр, опір якого $0,16 \text{ Ом}$, зашунтовано опором $0,04 \text{ Ом}$. Амперметр показує 8 А . Визначити силу струму в колі.
- 3.72. Для вимірювання електричних струмів до 10 А є амперметр опором $0,18 \text{ Ом}$, шкала якого розділена на 100 поділок. Який опір треба взяти і як його ввімкнути, щоб цим амперметром можна було вимірювати силу струму в 100 А ? Як при цьому зміниться ціна поділки амперметра?
- 3.73. Для вимірювання різниці потенціалів до 30 В є вольтметр опором 2000 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?
- 3.74. 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 в електромережі 220 В ? Скільки метрів ніхромового дроту діаметром $0,3 \text{ мм}$ треба взяти, щоб отримати цей опір?
- 3.75. Потужності трьох електричних ламп, розрахованих на напругу 110 В , дорівнюють відповідно $40, 40, 80 \text{ Вт}$. Як треба ввімкнути лампи, щоб вони давали нормальне розжарювання за напруги в електромережі 220 В ?
- 3.76. Скільки витків ніхромового дроту діаметром 1 мм треба намотати на керамічний циліндр радіуса $2,5 \text{ см}$, щоб отримати нагрівач опором 40 Ом ?
- 3.77. Котушка з мідного дроту має опір 10 Ом . Вага дроту – 34 Н . Скільки метрів дроту і якого діаметра намотано на котушку?
- 3.78. Знайти падіння потенціалу на мідному дроті довжиною 500 м і діаметром 2 мм , якщо сила струму в ньому 2 А .
- 3.79. Елемент з ЕРС $1,1 \text{ В}$ та внутрішнім опором 1 Ом замкнений на зовнішній опір 1 Ом . Знайти силу струму в колі, падіння потенціалу в елементі живлення, з яким ККД працює елемент.
- 3.80. Яка різниця потенціалів на затискачах двох елементів електроживлення, з'єднаних паралельно, якщо їхні ЕРС дорівнюють $1,4 \text{ В}$ та $1,2 \text{ В}$, а внутрішні опори – $0,6 \text{ Ом}$ та $0,4 \text{ Ом}$?
- 3.81. Прилад з опором 6 Ом увімкнений послідовно з двома паралельно з'єднаними джерелами струму з ЕРС $2,2 \text{ В}$ і $2,4 \text{ В}$ і внутрішніми опорами $0,8 \text{ Ом}$ і $0,2 \text{ Ом}$. Визначити силу струму в цьому приладі

- та напругу на затискачах другого джерела.
- 3.82. Елемент з ЕРС 2 В має внутрішній опір 0,5 Ом. Визначити падіння потенціалу в елементі, якщо сила струму в колі 0,25 А. Знайти зовнішній опір у колі за цих умов.
 - 3.83. ЕРС елемента 1,6 В, його внутрішній опір 0,5 Ом. Знайти ККД елемента, якщо сила струму в колі 2,4 А?
 - 3.84. Елемент електроживлення, реостат і амперметр увімкнені послідовно. Елемент має ЕРС 2 В і внутрішній опір 0,4 Ом. Амперметр показує силу струму 1 А. З яким ККД працює елемент?
 - 3.85. Опір 5 Ом, вольтметр та джерело струму увімкнені 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.
 - 3.86. 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.
 - 3.87. Визначити силу струму в 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.
 - 3.88. Визначити силу струму в 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.
 - 3.89. Котушка й амперметр увімкнені послідовно та під'єднані 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 становить похибка, якщо під час визначення опору котушки не буде враховано опір вольтметра?
 - 3.90. 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.
 - 3.91. Визначити силу струму, який споживає електрична лампа за температури вольфрамової нитки 2000 °С, якщо діаметр нитки 0,02 мм, а напруженість електричного поля в ній 800 В/м.
 - 3.92. Визначити різницю потенціалів на кінцях ніхромового провідника довжиною 1 м, якщо густина струму, що ним протікає, $2 \cdot 10^8$ А/м².

- 3.93. Визначити густину струму, що тече резистором довжиною 5 м, якщо на його кінцях підтримується різниця потенціалів 2 В. Питомий опір матеріалу $2 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.
- 3.94. 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 $2 \cdot 10^6$ А/м².
- 3.95. Визначити заряд, що пройшов резистором за 10 с, якщо сила струму за цей час рівномірно зростала від 0 до 5 А.
- 3.96. 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 в другому та третьому опорах.
- 3.97. 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.

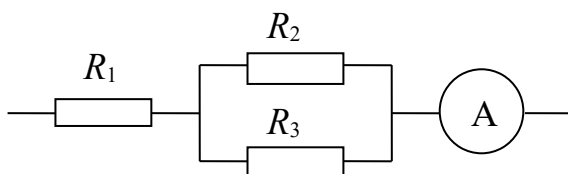


Рис. 3.1

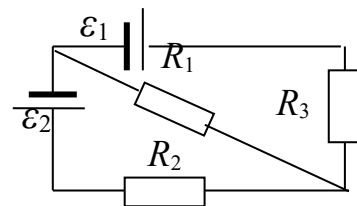


Рис. 3.2

- 3.98. Визначити силу струму в 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.
- 3.99. Дві батареї з ЕРС та опорами 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 в батареях і реостаті.
- 3.100. Три опори значеннями 6 Ом, 3 Ом, 2 Ом відповідно та батарею з електрорушійною силою 1,5 В з'єднано так, як показано на рисунку 3.4. Визначити ЕРС додаткового джерела, яке потрібно підключити в розрив кола, щоб третім опором протікав струм силою 1 А у напрямку, вказаному стрілкою. Опорами джерел знехтувати.

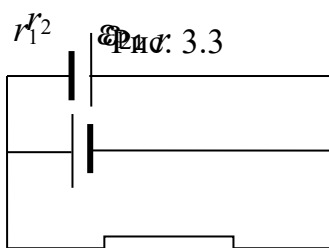


Рис. 3.3

168

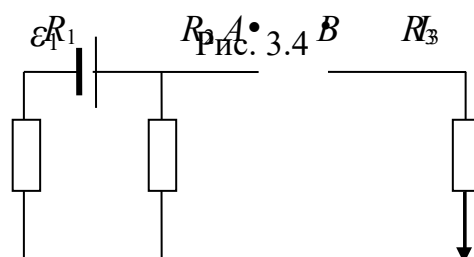


Рис. 3.4

- 3.101. 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.
- 3.102. 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.

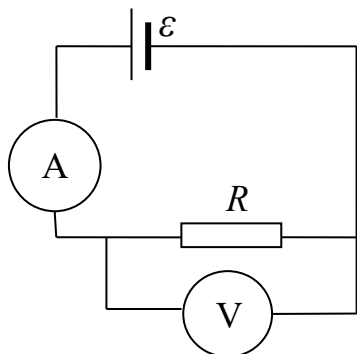


Рис. 3.5

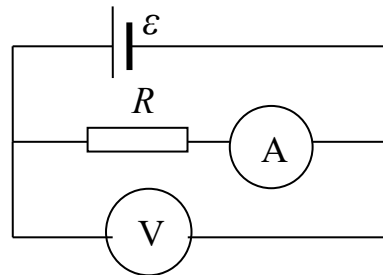


Рис. 3.6

- 3.103. 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.
- 3.104. Визначити напруги на всіх опорах, значення яких відповідно 2 Ом, 4 Ом, 4 Ом, 2 Ом, з'єднаних, як наведено на рисунку 3.8, якщо значення ЕРС відповідно 10 В та 4 В. Опорами джерел знехтувати.
- 3.105. 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 в кожному джерелі та в усьому колі.

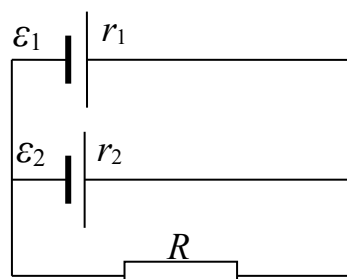


Рис. 3.7

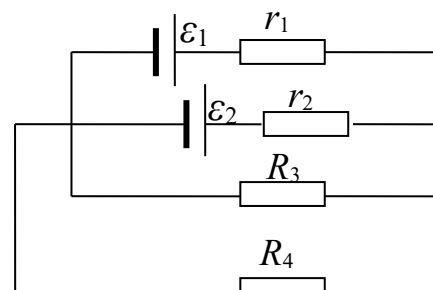


Рис. 3.8

- 3.106. У схемі (рис. 3.10) зовнішній опір становить 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.

- 3.107. Визначити силу струму, яку показує амперметр (рис. 3.11). Напруга на затискачах елемента живлення в замкненому колі 2,1 В. Опори відповідно 5 Ом, 6 Ом та 3 Ом. Опором амперметра знехтувати.

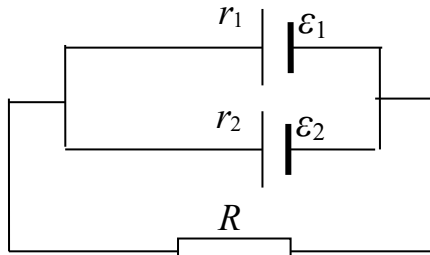


Рис. 3.9

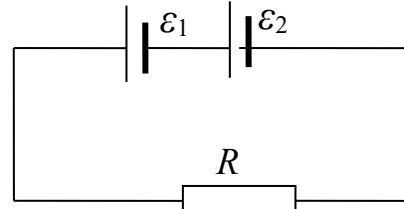


Рис. 3.10

- 3.108. У схемі (рис. 3.12) усі зовнішні опори по 200 Ом. Вольтметр показує 100 В; опір вольтметра 1000 Ом. Знайти ЕРС батареї. Опором батареї знехтувати.
- 3.109. 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.

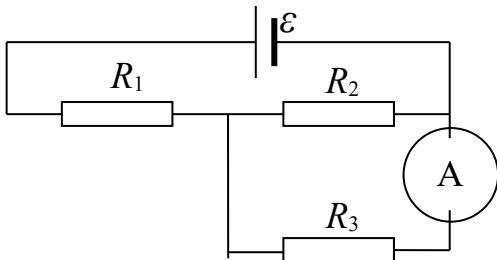


Рис. 3.11

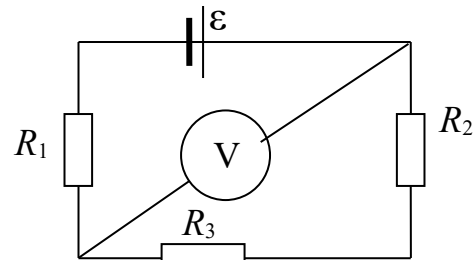


Рис. 3.12

- 3.110. 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.

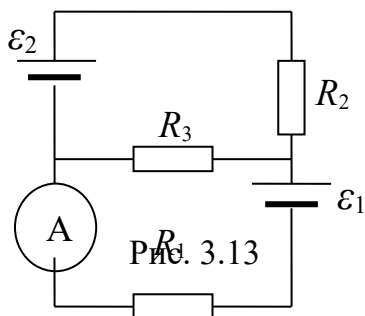


Рис. 3.13

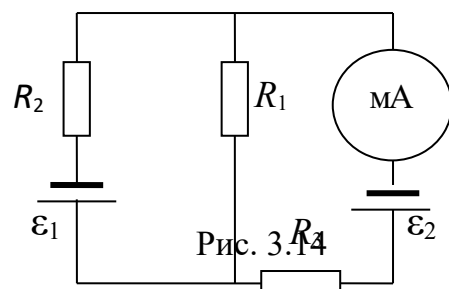


Рис. 3.14

3.111. 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.

3.112. У схемі (рис. 3.15) ЕРС джерел по 110 В. Зовнішні опори по 200 Ом, опір вольтметра 1000 Ом. Знайти покази вольтметра. Опорами джерел знехтувати.

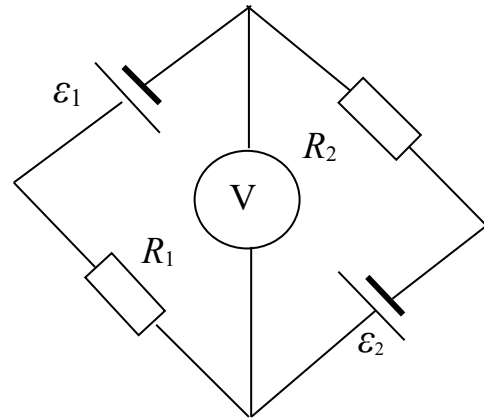


Рис. 3.15

3.113. 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.

3.114. Визначити роботу електричних сил та кількість теплоти, що виділяється впродовж 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.

3.115. Визначити роботу електричних сил та кількість теплоти, що виділяється впродовж 1 с в акумуляторі, який заряджається струмом 1 А, якщо напруга між клемми акумулятора 2 В, ЕРС акумулятора становить 1,3 В.

3.116. Батарея акумуляторів з ЕРС 12 В заряджається за напруги 12,5 В струмом 3 А. Вважаючи, що внутрішній опір під час зарядки та розрядки однаковий, визначити ККД електричного кола в разі зарядки струмами 30 А і 3 А.

3.117. Визначити роботу електричних сил та кількість теплоти, що виділяється впродовж 2 с в акумуляторі, який заряджається струмом 1 А, якщо напруга між клемми акумулятора 1,8 В. ЕРС акумулятора становить 1,1 В.

3.118. Сила струму в 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.

3.119. ЕРС батареї 80 В, внутрішній опір 5 Ом. Зовнішнє коло споживає потужність 100 Вт. Визначити силу струму в колі, напругу, під якою перебуває зовнішнє коло, та його опір.

- 3.120. Визначити кількість теплоти, що виділяється в резисторі за перші дві секунди, якщо сила струму в ньому за цей час лінійно зростає від нуля до 4 А. Опір резистора 10 Ом.
- 3.121. 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?
- 3.122. ЕРС акумулятора 12 В. За сили струму 3 А його ККД 0,8. Визначити внутрішній опір акумулятора.
- 3.123. 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 й елементі, ККД елемента.
- 3.124. Визначити струм короткого замикання батареї, ЕРС якої 15 В, якщо за під'єднання до неї резистора опором 3 Ом сила струму в колі 4 А.
- 3.125. Джерело постійного струму один раз з'єднують із резистором опором 9 Ом, другий раз із резистором опором 16 Ом. У першому та другому випадках за однаковий час виділяється однакова кількість теплоти. Визначити внутрішній опір джерела струму.
- 3.126. 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.
- 3.127. Сила струму в резисторі зростає від нуля впродовж 10 с. За цей час виділилося 500 Дж теплоти. Визначити швидкість зростання струму, якщо опір резистора 10 Ом.
- 3.128. Від батареї з ЕРС 600 В треба передати енергію на відстань 1 км. Споживана потужність 5 кВт. Знайти мінімальні втрати потужності в мережі, якщо діаметр мідних дротів 0,5 см.
- 3.129. Максимальна ЕРС батареї 24 В. Найбільша сила струму, яку може дати батарея, 10 А. Визначити максимальну потужність, яка може виділитися в зовнішньому колі.
- 3.130. За зовнішнього опору 8 Ом сила струму в колі 0,8 А, за зовнішнього опору 15 Ом – 0,5 А. Визначити силу струму короткого замикання джерела ЕРС.
- 3.131. 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.

- 3.132. ЕРС батареї 12 В. Сила струму – 4 А, при цьому ККД батареї 0,6. Визначити внутрішній опір батареї.
- 3.133. Струм у провіднику опором 10 Ом за час 50 с рівномірно зростає від 4 А до 10 А. Визначити кількість теплоти, що виділилося в провіднику за цей час.
- 3.134. 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 в провіднику за цей проміжок часу.
- 3.135. Сила струму в 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.
- 3.136. Батарея складається з п'яти послідовно з'єднаних елементів. ЕРС кожного 1,4 В, а внутрішній опір 0,3 Ом. За якого струму корисна потужність батареї становитиме 8 Вт? Визначити максимальну корисну потужність батареї.
- 3.137. Визначити внутрішній опір генератора, якщо відомо, що потужність, яка виділяється в зовнішньому колі, однакова за двох значень зовнішнього опору 5 Ом та 0,2 Ом. Знайти ККД генератора в кожному випадку.
- 3.138. 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 в кожному з випадків потужність, яка виділяється в зовнішньому колі, однакова та дорівнює 2,54 Вт.
- 3.139. Джерело ЕРС замикають на зовнішній опір. Найбільша потужність у зовнішньому колі 9 Вт. Сила струму при цьому в колі 3 А. Знайти величини ЕРС та внутрішнього опору.
- 3.140. Різниця потенціалів між двома точками становить 9 В. Є два провідники, опори яких відповідно 5 та 3 Ом. Визначити кількість теплоти, що виділяється в кожному з провідників за 1 с, якщо вони ввімкнені між цими точками послідовно та паралельно.
- 3.141. Дві електричні лампи ввімкнені в мережу паралельно. Опір першої лампи 360 Ом, другої – 240 Ом. Яка лампа поглинає більшу потужність? У скільки разів?
- 3.142. Скільки води можна закип'ятити, витративши 3 ГВт·год електроенергії? Початкова температура води 10 °С. Втратами тепла знехтувати.

- 3.143. Яку потужність споживає нагрівач електричного чайника, якщо 1 л води закипає через 5 хвилин? Який опір нагрівача, якщо напруга в мережі 120 В? Початкова температура води 13,5 °С.
- 3.144. На плитці потужністю 0,5 кВт стоїть чайник з 1 л води за температури 16 °С. Вода в чайнику закипіла за 20 хвилин після вмикання плитки. Яку кількість теплоти втрачено під час нагрівання самого чайника, на випромінювання і т. ін.?
- 3.145. Намотка в 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 °С, напруга в мережі 110 В, ККД нагрівача 85 %.
- 3.146. Електричний чайник має дві обмотки. У разі вмикання однієї з них вода в чайнику закипає через 15 хвилин, у разі вмикання іншої – через 30 хвилин. За який час закипає вода в чайнику, якщо обидві обмотки ввімкнуті послідовно, паралельно?
- 3.147. Від батареї, ЕРС якої 110 В, потрібно передати енергію на відстань 250 м. Споживана потужність 10 кВт. Знайти мінімальні втрати в мережі, якщо діаметр мідних дротів становить 1,5 мм?
- 3.148. Від генератора, ЕРС якого 110 В, треба передати енергію на відстань 250 м. Споживана потужність 100 кВт. Знайти мінімальний переріз дротів, якщо втрата потужності в мережі не перевищує 1 %.
- 3.149. У коло з'єднані послідовно мідний і сталевий дроти однакових довжин і діаметрів. Знайти відношення кількостей теплоти, що виділяються в цих дротах, відношення падінь напруг на них.
- 3.150. У коло з'єднані паралельно мідний та алюмінієвий дроти однакових довжин і діаметрів. Знайти відношення кількостей теплоти, що виділяються в цих дротах.
- 3.151. 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.
- 3.152. Визначити загальну потужність, корисну потужність і ККД батареї, ЕРС якої 240 В, якщо зовнішній опір 23 Ом та опір батареї 10 Ом.
- 3.153. Для нагрівання 4,5 л води від 23 °С до кипіння нагрівач споживає 0,5 кВт·год електроенергії. Чому дорівнює ККД нагрівача?

- 3.154. 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 потрібно для обмотки такого нагрівача, якщо діаметр дроту 1 мм; потужність нагрівача.
- 3.155. Визначити кількість електронів, що проходять за 1 с поперечним перерізом залізного дроту довжиною 20 м, якщо напруга на його кінцях 16 В.
- 3.156. Два джерела струму, ЕРС яких по 2 В та внутрішні опори по 2,5 м, з'єднані послідовно. За якого зовнішнього опору споживана корисна потужність буде максимальною?
- 3.157. 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?
- 3.158. Знайти кількість теплоти, яка виділяється за одну секунду в одиниці об'єму мідного дроту за густини струму 30 А/см^2 ?
- 3.159. Електрон із початковою швидкістю 10^5 м/с влітає у простір, у якому створені два взаємно перпендикулярні магнітні поля індукціями 0,3 мкТл та 0,4 мкТл. Визначити траєкторію руху електрона, якщо вектори індукції магнітних полів перпендикулярні вектору швидкості електрона.
- 3.160. Частинка, яка має енергію 16 МеВ, рухається в магнітному полі з індукцією 2,4 Тл по колу радіусом 24,5 см. Визначити заряд цієї частинки, якщо її швидкість $2,72 \cdot 10^7 \text{ м/с}$.
- 3.161. 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, напрям його руху перпендикулярний вектору індукції.
- 3.162. 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.
- 3.163. Якою має бути швидкість електрона, щоб його траєкторія була прямолінійною під час руху у взаємно перпендикулярних магнітному й електричному полях? Поля однорідні і мають напруженості 100 А/м та 500 В/м.

- 3.164. Протон влітає у магнітне поле перпендикулярно лініям індукції та описує дугу радіусом 10 см. Визначити швидкість протона, якщо магнітна індукція поля 1 Тл.
- 3.165. Визначити частоту обертання електрона круговою орбітою у магнітному полі індукцією 1 Тл.
- 3.166. Електрон в однорідному магнітному полі рухається гвинтовою траєкторією радіусом 5 см і кроком 20 см. Визначити швидкість електрона, якщо індукція поля 0,1 мТл.
- 3.167. В однорідному магнітному полі з індукцією 0,01 Тл розташовано провідник довжиною 20 см. Визначити силу, яка впливає на провідник, якщо ним тече струм 50 А, а кут між напрямком струму та вектором магнітної індукції 30° .
- 3.168. 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.
- 3.169. Заряджена частинка з кінетичною енергією 2 кеВ рухається в однорідному магнітному полі по колу радіусом 4 мм. Визначити силу Лоренца, яка впливає на частинку.
- 3.170. Електрон рухається по колу в однорідному магнітному полі напруженістю $5 \cdot 10^3$ А/м. Визначити частоту обертання електрона.
- 3.171. Електрон рухається в магнітному полі з індукцією 4 мТл по колу радіусом 0,8 см. Яка кінетична енергія електрона?
- 3.172. Частинка, яка несе один елементарний заряд, влітає в однорідне магнітне поле індукцією 0,2 Тл під кутом 30° до напрямку ліній індукції. Визначити силу Лоренца, якщо швидкість частинки 10^5 м/с.
- 3.173. Електрон, подолавши різницю потенціалів 400 В, потрапив в однорідне магнітне поле напруженістю 10^3 А/м. Визначити радіус кривини траєкторії та частоту обертання електрона в магнітному полі. Вектор швидкості перпендикулярний лініям напруженості поля.
- 3.174. Рамка зі струмом 5 А містить 20 витків тонкого дроту. Визначити магнітний момент рамки зі струмом, якщо її площа 10 см².
- 3.175. Витком радіусом 10 см тече струм 30 А. Виток вміщено в однорідне магнітне поле індукцією 0,2 Тл. Визначити момент

сили, яка впливає на виток, якщо площа витка складає з лініями індукції кут 60° .

- 3.176. Протон влетів у магнітне поле перпендикулярно до ліній індукції і описав дугу радіусом 10 см. Визначити швидкість протона, якщо магнітна індукція 1 Тл.
- 3.177. Визначити частоту обертання електрона круговою орбітою у магнітному полі з індукцією 1 Тл.
- 3.178. Електрон в однорідному магнітному полі рухається гвинтовою траєкторією радіусом 5 см і кроком 20 см. Визначити швидкість електрона, якщо магнітна індукція 0,1 Тл.
- 3.179. 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.
- 3.180. Напруженість магнітного поля в центрі кругового витка 500 А/м. Магнітний момент витка 6 Ам^2 . Визначити силу струму у витку та його радіус.
- 3.181. Між полюсами електромагніта створюється однорідне магнітне поле індукцією 0,1 Тл. Провідником довжиною 20 см, вміщеному перпендикулярно силовим лініям, тече струм 70 А. Знайти силу, яка впливає на провідник.
- 3.182. Протон влітає у схрещені під кутом 120° магнітне (50 мТл) та електричне (200 В/м) поля. Визначити прискорення протона, якщо його швидкість $4 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ перпендикулярна векторам обох полів.
- 3.183. 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.
- 3.184. 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.
- 3.185. Магнітне (2 мТл) та електричне (1,6 кВ/м) поля спрямовані однаково. Перпендикулярно векторам полів влітає електрон зі швидкістю $0,8 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. Визначити прискорення електрона.
- 3.186. Протон рухається по колу радіусом 0,5 см з лінійною швидкістю 10^6 м/с . Визначити магнітний момент, який створюється еквівалентним круговим струмом.

- 3.187. Заряд $0,1 \text{ мкКл}$ рівномірно розподілений по стержню довжиною 50 см . Стержень обертається з кутовою швидкістю 20 с^{-1} відносно осі, перпендикулярній середині стержня. Знайти магнітний момент, обумовлений обертанням стержня.
- 3.188. Електрон в атомі водню рухається навколо ядра (протона) по колу радіусом 53 пм . Визначити магнітний момент еквівалентного кругового струму.
- 3.189. Два іони різних мас з однаковими зарядами влетіли в однорідне магнітне поле й почали рухатися колами радіусами $1,73 \text{ см}$ та 3 см . Визначити відношення мас іонів, якщо вони були прискорені однаковою різницею потенціалів.
- 3.190. Однозарядний іон натрію, прискорений різницею потенціалів 1 кВ , влетів перпендикулярно лініям магнітної індукції в однорідне магнітне поле з індукцією $0,5 \text{ Тл}$. Визначити відносну атомну масу іона, якщо він рухався по колу радіусом $4,37 \text{ см}$.
- 3.191. 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.
- 3.192. 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.
- 3.193. Заряджена частинка, прискорена різницею потенціалів 100 В , влетівши в однорідне магнітне поле індукцією $0,1 \text{ Тл}$, почала рухатися гвинтовою лінією радіусом 1 см та кроком $6,5 \text{ см}$. Визначити відношення заряду частинки до її маси.
- 3.194. Електрон влетів в однорідне магнітне поле індукцією 200 мТл перпендикулярно до ліній індукції. Визначити силу еквівалентного кругового струму, який створюється рухом електрона в магнітному полі.
- 3.195. Протон, прискорений різницею потенціалів 30 В , влетів в однорідне магнітне поле індукцією 20 мТл під кутом 30° до ліній магнітної індукції. Визначити крок і радіус гвинтової лінії, якою рухатиметься протон у магнітному полі.
- 3.196. Альфа-частинка, прискорена невідомою різницею потенціалів, почала рухатися в однорідному магнітному полі індукцією 50 мТл

- гвинтовою лінією з кроком 5 см і радіусом 1 см. Визначити невідому різницю потенціалів, яку пододала альфа-частинка.
- 3.197. Двома паралельними дротами довжиною 3 м кожний протікають однакові струми 300 А. Відстань між дротами 10 см. Визначити силу взаємодії дротів.
- 3.198. 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.
- 3.199. 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 й обертальний момент, який діє на котушку, якщо вісь котушки становить з лініями поля кут 30° .
- 3.200. Тонке провідне кільце зі струмом 40 А вміщено в однорідне магнітне поле індукцією 10 мТл. Площина кільця перпендикулярна до ліній магнітної індукції. Радіус кільця 20 см. Знайти силу, що розтягує кільце.
- 3.201. Тонким кільцем радіусом 10 см рівномірно розподілений заряд із лінійною густиною 50 нКл/м. Кільце обертається відносно осі, перпендикулярної до його площини, яка проходить через його центр, із частотою 10 с^{-1} . Визначити магнітний момент, обумовлений обертанням кільця.
- 3.202. Котушка гальванометра, яка складається із 400 витків тонкого дроту, намотаного на прямокутний каркас довжиною 3 см та заввишки 2 см, підвішена на нитці в магнітному полі індукцією 0,1 Тл. Котушкою тече струм 10^{-7} А. Знайти обертальний момент, що впливає на котушку, якщо площина котушки становить кут 60° з напрямком магнітного поля.
- 3.203. Електрон, прискорений різницею потенціалів 1000 В, влітає в однорідне магнітне поле, перпендикулярне до напрямку його руху. Індукція магнітного поля $1,19 \cdot 10^{-3}$ Тл. Знайти радіус кривизни траєкторії електрона та період його обертання по колу.
- 3.204. 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?

- 3.205. Електрон влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до силових ліній. Швидкість електрона $4 \cdot 10^7$ м/с. Чому дорівнюють тангенціальне і нормальне прискорення електрона в магнітному полі?
- 3.206. Протон та електрон, рухаючись з однаковою швидкістю, потрапляють в однорідне магнітне поле. У скільки разів радіус кривизни траєкторії протона більший за радіус кривизни траєкторії електрона?
- 3.207. На фотографії, отриманій у камері Вільсона, вміщеній у магнітне поле, траєкторія електрона має вигляд дуги радіусом 10 см. Індукція магнітного поля 10^{-2} Тл. Знайти кінетичну енергію електрона.
- 3.208. Заряджена частинка рухається в 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.
- 3.209. Протон і альфа-частинка влітають в однорідне магнітне поле. Швидкості частинок спрямовані перпендикулярно до силових ліній поля. У скільки разів період обертання протона більший за період обертання альфа-частинки?
- 3.210. 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.
- 3.211. 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.
- 3.212. Однозарядні іони ізотопів калію з відносними атомними масами 39 та 41 прискорюються різницями потенціалів 300 В, а потім потрапляють в однорідне магнітне поле, перпендикулярне до напрямку їхнього руху. Індукція поля 0,08 Тл. Знайти радіуси кривини траєкторій іонів.
- 3.213. Знайти кінетичну енергію протона, що рухається дугою кола радіусом 60 см у магнітному полі індукцією 1 Тл.
- 3.214. Знайти відношення заряду до маси зарядженої частинки, якщо вона, влітаючи зі швидкістю 10^8 м/с в однорідне магнітне поле напруженістю 200 кА/м, рухається дугою радіусом 8,3 см.

Напрямок швидкості руху частинки перпендикулярний до напрямку магнітного поля.

- 3.215. Коротка котушка площею поперечного перерізу 250 см^2 , що має 500 витків дроту, яким тече струм 5 А , вміщена в однорідне магнітне поле напруженістю $10\,000 \text{ А/м}$. Знайти магнітний момент котушки, обертальний момент, що діє на котушку, якщо її вісь становить кут 30° з лініями поля.
- 3.216. Виток дроту діаметром 10 см може обертатися навколо вертикальної осі, яка збігається з одним із діаметрів витка. Виток встановили у площині магнітного меридіану і пропустили ним струм 40 А . Який обертальний момент треба прикласти до витка, щоб утримати його в початковому положенні? Горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі дорівнює 20 мкТл .
- 3.217. 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.
- 3.218. Двома нескінченно довгими прямолінійними дротами, розташованими паралельно на відстані 10 см , протікають струми $0,5 \text{ А}$ та 10 А . Визначити магнітну індукцію поля в точці, віддаленій на 10 см від кожного дроту. Розглянути всі можливі випадки. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.219. 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 в центрі кільця. Розглянути всі можливі випадки. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.220. 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 в центрі витків. Розглянути всі можливі випадки. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.221. Двома нескінченно довгими прямолінійними дротами, розташованими паралельно на відстані 10 см , протікають електроструми в однаковому напрямку. Напруженість магнітного

- поля в точці, віддаленій на 10 см від кожного дроту, 16,33 А/м. Одним дротом тече струм силою 0,5 А. Визначити силу струму, який тече другим дротом. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.222. Два кругові витки зі струмом розташовані в одній площині і мають спільний центр. Радіус більшого витка 12 см, меншого – 8 см. Напруженість магнітного поля в 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.
- 3.223. 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.
- 3.224. Двома круговими провідниками радіусом 0,12 м протікає струм силою 0,2 А. Перпендикулярно до площини кругового провідника проходить нескінченно довгий прямолінійний провідник, яким тече струм 0,1 А. Індукція магнітного поля в центрі кругового провідника $11,3 \cdot 10^{-7}$ Тл. Визначити, на якій відстані від центра кругового провідника розташований прямолінійний провідник. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.225. Провідник довжиною 1 м зігнуто у вигляді квадрата. Визначити індукцію та напруженість магнітного поля в точці перетину діагоналей квадрата, якщо провідником тече струм 4 А. Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.226. 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 в точці перетину діагоналей була 19 А/м? Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.227. Прямий провідник довжиною 90 см зігнуто у вигляді рівнобічного трикутника. Якої сили струм треба пропустити цим провідником, щоб індукція магнітного поля в точці перетину висот трикутника становила $1,24 \cdot 10^{-6}$ Тл? Розв'язок супроводити рисунком.
- 3.228. Двома довгими паралельними дротами течуть в однаковому напрямку струми 10 А та 15 А. Відстань між дротами 10 см. Визначити напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см, а від другого – на 6 см.

- 3.229. Двома довгими паралельними дротами течуть у протилежних напрямках струми 10 А та 15 А. Визначити напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см, а від другого – на 6 см.
- 3.230. Тонким дротом, зігнутим у вигляді правильного шестикутника зі стороною 10 см, тече струм 10 А. Визначити магнітну індукцію у центрі шестикутника.
- 3.231. Двома довгими паралельними дротами, відстань між якими 5 см, течуть однакові струми 10 А. Визначити індукцію та напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від кожного дроту на відстань 5 см, якщо струми протікають в однаковому напрямку.
- 3.232. Двома довгими паралельними дротами, відстань між якими 5 см, течуть однакові струми 10 А. Визначити індукцію та напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від кожного дроту на відстань 5 см, якщо струми протікають у протилежних напрямках.
- 3.233. Контуром у вигляді рівнобічного трикутника тече струм 50 А. Сторона трикутника 20 см. Визначити магнітну індукцію у точці перетину висот трикутника.
- 3.234. Два нескінченно довгі прямі провідники схрещені під прямим кутом. Провідниками протікають струми 60 А та 50 А. Відстань між провідниками 20 см. Визначити індукцію магнітного поля в точці, розташованій на середині спільного перпендикуляра до провідників.
- 3.235. Струм силою 50 А протікає провідником, зігнутим під прямим кутом. Знайти напруженість магнітного поля в точці, розташованій на бісектрисі кута на відстані 20 см від вершини. Вважати, що обидва кінці провідника розташовані дуже далеко від вершини.
- 3.236. Провідником, зігнутим у коло, тече струм. Напруженість магнітного поля у центрі кола 50 А/м. Не змінюючи сили струму в провіднику, йому надали форму квадрата. Визначити напруженість магнітного поля в центрі квадрата.
- 3.237. Двома довгими паралельними провідниками в однаковому напрямку течуть струми 10 А та 15 А. Відстань між провідниками 10 см. Визначити напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см, а від другого – на 6 см.

- 3.238. Двома довгими паралельними провідниками в протилежних напрямках течуть струми 10 А та 15 А. Відстань між провідниками 10 см. Визначити напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від першого провідника на 15 см, а від другого – на 10 см.
- 3.239. 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.
- 3.240. Два паралельні нескінченно довгі провідники, якими в одному напрямку течуть струми 60 А, розташовані на відстані 10 см один від одного. Визначити магнітну індукцію поля в точці, яка розташована на відстані 5 см від одного провідника та на відстані 12 см – від іншого.
- 3.241. Провідником, зігнутих у вигляді квадрата зі стороною 10 см, тече струм 100 А. Знайти магнітну індукцію у точці перетину діагоналей квадрата.
- 3.242. Провідником у вигляді прямокутника зі сторонами 8 см і 12 см тече струм 50 А. Визначити напруженість та індукцію магнітного поля в точці перетину діагоналей прямокутника.
- 3.243. Визначити напруженість магнітного поля в точці, віддаленій на 2 см від нескінченно довгого провідника, яким тече струм 5 А.
- 3.244. Знайти напруженість магнітного поля в центрі кругового дротяного витка радіусом 1 см, яким тече струм 1 А.
- 3.245. Два прямолінійні провідники розташовані паралельно на відстані 10 см один від одного. Провідниками течуть струми 5 А у протилежних напрямках. Знайти значення та напрямки напруженості магнітного поля в точці, розташованій на відстані 10 см від кожного провідника.
- 3.246. Довгим вертикальним провідником зверху вниз 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.
- 3.247. Обчислити напруженість магнітного поля, що створюється відрізком прямолінійного провідника в точці, розташованій на перпендикулярі до середини відрізка на відстані 5 см від нього. Відрізком тече струм 20 А. Кінці відрізка видно з вибраної точки під кутом 60° .

- 3.248. 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 із цієї точки під кутом 90° .
- 3.249. 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 в цій точці, якщо провідник зі струмом має довжину 20 см? Точка розташована на перпендикулярі до середини провідника.
- 3.250. Кільцем з мідного дроту перерізом 1 мм^2 тече струм 20 А, створюючи в центрі кільця магнітне поле напруженістю 178 А/м. Яка різниця потенціалів прикладена до кінців дроту, з якого зроблене кільце?
- 3.251. Знайти напруженість магнітного поля на осі кругового контуру на відстані 3 см від його площини. Радіус контуру 4 см, струм у ньому 2 А.
- 3.252. Напруженість магнітного поля в центрі кругового витка радіусом 11 см дорівнює 63,3 А/м. Знайти напруженість магнітного поля на відстані 10 см від його площини.
- 3.253. Два кругові витки 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.
- 3.254. Два кругові 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.
- 3.255. Два кругові витки радіусами по 4 см розташовані в паралельних площинах на одній осі на відстані 5 см. Витками течуть струми 4 А. Знайти напруженість магнітного поля в центрі одного з витків. Задачу розв'язати для випадків, коли струми протікають у одному напрямку та в протилежних напрямках.
- 3.256. Два кругові витки розташовані у двох взаємно перпендикулярних площинах так, що їхні центри збігаються. Радіуси витків по 2 см,

а струми в них по 5 А. Знайти напруженості магнітного поля в центрах витків.

- 3.257. 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 вдвічі більшого діаметра та зробленого з такого ж дроту?
- 3.258. У дротяній рамці, яка має форму правильного шестикутника, тече струм 2 А. При цьому в центрі рамки виникає магнітне поле напруженістю 33 А/м. Знайти довжину дроту, з якого зроблено рамку.
- 3.259. Нескінченно довгий дріт створює кругову петлю, дотичну до дроту. Дротом тече струм силою 5 А. Знайти радіус петлі, якщо відомо, що напруженість магнітного поля в центрі петлі становить 40 А.
- 3.260. Котушка довжиною 30 см складається з 1000 витків. Знайти напруженість магнітного поля всередині котушки, якщо нею тече струм силою 2 А. Діаметр котушки вважати малим порівняно з її довжиною.
- 3.261. 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.
- 3.262. 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 складатиметься обмотка, якщо витки намотувати щільно один до одного? Діаметр котушки вважати малим порівняно з її довжиною.
- 3.263. Визначити напруженість магнітного поля в центрі рівнобічного трикутника зі стороною 20 см, зробленого з дроту, яким тече струм силою 10 А.
- 3.264. 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.

- 3.265. Напруженість магнітного поля в центрі кругового дротяного 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.
- 3.266. 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.
- 3.267. Тонкий мідний дріт масою 5 г зігнуто у вигляді квадрата, кінці замкнені. Квадрат вміщено в однорідне магнітне поле індукцією 0,2 Тл так, що його площина перпендикулярна лініям поля. Визначити заряд, який протече провідником, якщо квадрат, потягнувши за протилежні вершини, витягнути в лінію.
- 3.268. Рамка з дроту опором 0,04 Ом рівномірно обертається в 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 за зміни кута між нормаллю до рамки і лініями індукції від нуля до 45° .
- 3.269. Дротяний виток діаметром 5 см та опором 0,02 Ом перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,3 Тл. Площина витка становить з лініями індукції кут 45° . Який заряд протече витком у разі вимкнення поля?
- 3.270. 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 в 0,05 Тл. Визначити максимальну ЕРС, яка індукується в рамці за частоти її обертання 40 с^{-1} .
- 3.271. Прямий провідний стрижень довжиною 40 см перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,1 Тл. Кінці стрижня замкнені гнучким дротом, який розташований 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 ?
- 3.272. 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} .

- 3.273. Кільце з мідного дроту масою 10 г вміщено в однорідне магнітне поле індукцією 0,1 Тл так, що площина кільця становить кут 60° з лініями магнітної індукції. Визначити заряд, який протече кільцем, якщо поле вимкнути.
- 3.274. 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 потрібно виконати, щоб обернути контур на 90° навколо осі, яка збігається з діаметром контуру?
- 3.275. 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.
- 3.276. Кільце радіусом 10 см перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,3 Тл. Площина кільця становить кут 30° з лініями індукції. Обчислити магнітний потік крізь кільце.
- 3.277. Провідником, зігнутих 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.
- 3.278. 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.
- 3.279. 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 до ліній індукції, а рамка обертається із частотою 960 обертів за хвилину.
- 3.280. Кільце з дроту з опором 1 мОм перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,4 Тл. Площина кільця становить кут 90° з лініями індукції. Визначити заряд, який протече кільцем, якщо його витягти з поля. Площа кільця 10 см^2 .

- 3.281. Соленоїд містить 400 витків дроту. Соленоїдом тече струм 10 А. Визначити магнітний потік усередині соленоїда, якщо його індуктивність 0,4 Гн.
- 3.282. 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 см^2 . Знайти максимальну ЕРС індукції у котушці.
- 3.283. В однорідному магнітному полі індукцією 0,1 Тл рівномірно, із частотою 10 с^{-1} обертається рамка, яка містить 100 витків. Площа рамки 150 см^2 . Визначити миттєву ЕРС індукції, яка відповідає куту повороту 30° .
- 3.284. 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.
- 3.285. Скільки витків містить котушка індуктивністю 0,001 Гн, у якій за зміни струму на 4 А виникає потік магнітної індукції $5 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$?
- 3.286. Кільце з дроту рівномірно обертається в магнітному полі напруженістю 2000 А/м зі швидкістю 20 обертів за секунду. Визначити найбільшу ЕРС у кільці, якщо його площа 100 см^2 .
- 3.287. Плоский контур площею 20 см^2 перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,03 Тл. Визначити магнітний потік, що пронизує контур, якщо його площина становить із напрямком ліній індукції поля кут 60° .
- 3.288. Магнітний потік крізь переріз соленоїда дорівнює 50 мкВб. Довжина соленоїда 50 см. Знайти магнітний момент соленоїда, якщо його витки щільно прилягають один до одного.
- 3.289. 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.
- 3.290. В однорідному магнітному полі з індукцією 125,6 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 $0,1$ мкВ. Визначити довжину стрижня.
- 3.291. В однорідному магнітному полі з індукцією $0,01$ Тл під кутом 30° до поля розташована мідна квадратна рамка зі стороною $0,5$ м. Діаметр дроту $0,2$ мм. Рамку повернули перпендикулярно до поля. Яка кількість електрики протекла рамкою?
- 3.292. Визначити магнітний потік, який пронизує соленоїд, якщо його довжина 50 см, а магнітний момент $0,4$ А·м².
- 3.293. В однорідному магнітному полі з індукцією $0,5$ Тл із 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.
- 3.294. 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.
- 3.295. Кільце з дроту опором 1 мОм перебуває в однорідному магнітному полі індукцією $0,4$ Тл. Площина кільця складає з лініями індукції кут 90° . Визначити заряд, який протече кільцем, якщо його витягти з поля. Площа кільця 10 см².
- 3.296. 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.
- 3.297. З якою швидкістю рухається в повітрі перпендикулярно магнітному полю напруженістю 1 кА/м прямий провідник довжиною 20 см та опором $0,1$ Ом, якщо із замиканням провідника по ньому тече струм силою $0,05$ А? Опором перемички знехтувати.
- 3.298. 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?

- 3.299. Обмотка соленоїда складається з двох шарів щільно прилеглих один до одного витків дроту діаметром 0,2 мм. Визначити магнітну індукцію на осі соленоїда, якщо дротом тече струм 0,5 А.
- 3.300. 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.
- 3.301. 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 із частотою 960 обертів за хвилину.
- 3.302. Кільце радіусом 10 см перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,3 Тл. Площина кільця становить з лініями індукції кут 60° . Визначити магнітний потік, що пронизує кільце.
- 3.303. В однорідне магнітне поле, напруженість якого 80 кА/м, вміщено квадратну рамку. Її площина становить із напрямком магнітного поля кут 45° . Сторона рамки 4 см. Визначити магнітний потік, що пронизує рамку.
- 3.304. 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 стержнем за один оберт.
- 3.305. 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 в разі вимкнення поля впродовж 0,01 с?
- 3.306. 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 становитиме 1 мВ?
- 3.307. 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 в надітому витку, якщо струм у соленоїді вимикається за 0,001 с?

- 3.308. 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?
- 3.309. Дві котушки намотані 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 в першій котушці, вимкнута впродовж 0,001 с?
- 3.310. У магнітне поле індукцією 0,05 Тл вміщено котушку з 200 витків дроту. Опір котушки 40 Ом. Площа її поперечного перерізу 12 см². Котушку розміщено так, що її вісь становить із напрямком магнітного поля кут 60°. Яка кількість електрики протече котушкою у разі зникнення магнітного поля?
- 3.311. В однорідному магнітному полі перпендикулярно лініям індукції розташований плоский контур площею 100 см². Підтримуючи в контурі постійну силу струму 50 А, його перемістили в область простору, де поле відсутнє. Визначити магнітну індукцію поля, якщо під час переміщення контуру було виконано роботу 0,4 Дж.
- 3.312. Плоский контур зі струмом силою 5 А розташований в однорідному магнітному полі індукцією 0,6 Тл так, що нормаль до контуру перпендикулярна лініям магнітної індукції. Визначити роботу, яка виконується силами поля за повільного обертання контуру навколо осі, що лежить у площині контуру, на кут 30°.
- 3.313. 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 під час його пересування на 40 см, якщо напрямок перпендикулярний лініям індукції?
- 3.314. 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?
- 3.315. 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.

- 3.316. 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 під час обертання провідника впродовж 5 хвилин.
- 3.317. Визначити роботу зовнішніх сил, яка виконується в разі пересування провідника в 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.
- 3.318. 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 збільшуватиметься від нуля до 2 Тл упродовж 0,1 с?
- 3.319. У 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?
- 3.320. У магнітному полі індукцією 0,25 Тл перпендикулярно лініям індукції зі швидкістю 0,5 м/с рухається провідник довжиною 1,2 м. Знайти ЕРС індукції у провіднику.
- 3.321. Магнітний потік, що пронизує контур провідника, рівномірно змінився на 0,6 Вб так, що ЕРС індукції становила 1,2 В. Знайти час зміни магнітного потоку та силу індукційного струму. Опір провідника 0,24 Ом.
- 3.322. Котушка опором 100 Ом та площею поперечного перерізу 5 см^2 , 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?
- 3.323. З якою швидкістю потрібно пересувати провідник довжиною 50 см в однорідному магнітному полі індукцією 0,4 Тл під кутом 60° до силових ліній, щоб у провіднику виникла ЕРС 1 В?
- 3.324. 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 $5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$?

- 3.325. Знайти індуктивність котушки, яка має 400 витків на довжині 20 см. Площа поперечного перерізу котушки 9 см^2 . Знайти індуктивність цієї котушки у випадку, коли всередину неї введено залізне осердя. Магнітна проникність матеріалу осердя в умовах роботи дорівнює 400.
- 3.326. Обмотка соленоїда виконана з мідного дроту поперечного перерізу 1 мм^2 . Довжина соленоїда 25 см, а його опір – 0,2 Ом. Знайти індуктивність соленоїда.
- 3.327. 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.
- 3.328. 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.
- 3.329. Котушка із залізним осердям має довжину 40 см, площу поперечного перерізу 20 см^2 та 500 витків. Індуктивність котушки з осердям 0,12 Гн за сили струму в обмотці 5 А. Знайти магнітну проникність залізного осердя в таких умовах.
- 3.330. Скільки витків має котушка, індуктивність якої 0,0001 Гн, якщо за сили струму 1 А магнітний потік крізь котушку становить 2 мкВб?
- 3.331. Соленоїд із залізним осердям має довжину 50 см, площу поперечного перерізу 10 см^2 та 1000 витків. Знайти його індуктивність, якщо обмоткою течуть струми 0,1 А, 0,2 А, 2 А.
- 3.332. Соленоїдом тече струм силою 1 А. Магнітний потік, що пронизує поперечний переріз осердя 2 мкВб. Визначити індуктивність соленоїда, якщо він має 500 витків.
- 3.333. Знайти індуктивність соленоїда, якщо за швидкості зміни струму 20 А/с середнє значення виникаючої ЕРС самоіндукції становить 0,04 В.
- 3.334. 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 с в обмотці виділяється кількість теплоти, яка дорівнює енергії поля соленоїда?
- 3.335. Соленоїдом довжиною 0,2 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.
- 3.336. Соленоїд містить 4000 витків дроту, яким тече струм 20 А . Визначити магнітний потік, якщо індуктивність $0,4 \text{ Гн}$.
- 3.337. 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 .
- 3.338. Обмоткою соленоїда індуктивністю $0,2 \text{ Гн}$ тече струм 10 А . Визначити енергію магнітного поля соленоїда.
- 3.339. Індуктивність соленоїда, намотаного в один шар на немагнітний каркас, становить $0,5 \text{ Гн}$, довжина соленоїда – $0,6 \text{ см}$, діаметр – 2 см . Визначити кількість витків, яка припадає на одиницю довжини соленоїда.
- 3.340. Соленоїд містить 600 витків. За сили струму 10 А магнітний потік становить 80 мкВб . Визначити індуктивність соленоїда.
- 3.341. Силу струму в котушці рівномірно збільшують зі швидкістю $0,6 \text{ А/с}$. Знайти середнє значення ЕРС соленоїда, якщо індуктивність котушки 5 мГн .
- 3.342. 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 $0,8 \text{ мс}$.
- 3.343. 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.
- 3.344. В електричному колі, яке містить опір 20 Ом та індуктивність $0,06 \text{ Гн}$, тече струм силою 20 А . Визначити силу струму в колі за $0,2 \text{ мс}$ після його розмикання.
- 3.345. У замкненому колі з опором 20 Ом тече електрострум. За 8 мс після розмикання кола сила струму в ньому зменшилася у 20 разів. Визначити індуктивність кола.
- 3.346. 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.

- 3.347. Джерело струму замкнули на котушку опором 10 Ом та індуктивністю 0,2 Гн. За який час сила струму в колі досягне половини максимального значення?
- 3.348. Джерело струму замкнули на котушку опором 20 Ом. За 0,1 с сила струму замикання досягла 0,95 граничного значення. Визначити індуктивність котушки.
- 3.349. У соленоїді перерізом 5 см^2 створений магнітний потік 20 мкВб. Визначити об'ємну густину енергії магнітного поля соленоїда. Осердя відсутнє. Магнітне поле в усьому об'ємі вважати однорідним.
- 3.350. Магнітний потік у соленоїді, який містить 1000 витків, становить 0,2 мВб. Визначити енергію магнітного поля соленоїда, якщо сила струму, що тече витками соленоїда, – 1 А. Осердя відсутнє. Магнітне поле в усьому об'ємі соленоїда вважати однорідним.
- 3.351. Діаметр тороїда (за середньою лінією) 50 см. Тороїд містить 2000 витків та має переріз 20 см^2 . Визначити енергію магнітного поля тороїда за сили струму в обмотці 5 А. Вважати магнітне поле однорідним. Осердя зроблене з немагнітного матеріалу.
- 3.352. Провідником у вигляді кільця радіусом 20 см, який має 500 витків, тече струм 1 А. Визначити об'ємну густину енергії магнітного поля кільця.
- 3.353. За якої сили струму в прямолінійному провіднику нескінченної довжини на відстані 5 см від нього об'ємна густина енергії магнітного поля становитиме 1 мДж/м^3 ?
- 3.354. Обмотка тороїда має 110 витків на кожен сантиметр довжини (за середньою лінією тороїда). Визначити об'ємну густину енергії магнітного поля за сили струму в обмотці 10 А. Осердя зроблене з немагнітного матеріалу. Магнітне поле вважати однорідним.
- 3.355. 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.
- 3.356. 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.

- 3.357. 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.
- 3.358. 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.
- 3.359. 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?
- 3.360. Котушка має опір 10 Ом та індуктивність 0,1 Гн. За який час після вмикання струм у котушці становитиме половину максимального?
- 3.361. Сила струму в соленоїді рівномірно зростає від нуля до 10 А за хвилину. При цьому соленоїд накопичує енергію 20 Дж. Яка ЕРС виникає у соленоїді?
- 3.362. Якою довжини треба взяти дріт діаметром 1 мм, щоб виготовити одношаровий соленоїд індуктивністю 1 Гн? Площа поперечного перерізу соленоїда $7,5 \text{ см}^2$. Осердя відсутнє.
- 3.363. Соленоїдом зі 1000 витків тече струм силою 1 А. Яка індуктивність соленоїда, якщо магнітний потік, що створюється цим струмом, становить 0,5 мВб?
- 3.364. Визначити силу струму в колі за 0,01 с після його розмикання. Опір кола 20 Ом, а індуктивність – 0,1 Гн. Сила струму в колі до розмикання 50 А.
- 3.365. Скільки ампер-витків треба для того, щоб усередині соленоїда малого діаметра та довжиною 30 см об'ємна густина енергії магнітного поля становила $1,75 \text{ Дж/м}^3$?
- 3.366. 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 ?
- 3.367. Визначити магнітну індукцію у замкненому залізному осерді тороїда довжиною 20 см, якщо число ампер-витків тороїда становить 1500. Знайти магнітну проникність матеріалу осердя за цих умов.

- 3.368. Соленоїд перерізом 10 см^2 має 1000 витків. За сили струму 5 А індукція магнітного поля всередині соленоїда 0,05 Тл. Визначити індуктивність соленоїда.
- 3.369. 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.
- 3.370. Котушкою індуктивністю 8 мкГн тече струм силою 6 А. Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції у контурі, якщо сила струму в разі вимкнення змінюється до нуля за 5 мс?
- 3.371. В електричному колі, яке містить резистор опором 20 Ом і котушку індуктивністю 0,06 Гн, тече струм силою 20 А. Визначити силу струму в колі за 0,2 мс після його розмикання.
- 3.372. Джерело струму замкнули на котушку опором 20 Ом та індуктивністю 0,8 Гн. За який час сила струму в колі досягне половини максимальної?
- 3.373. 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?
- 3.374. 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?
- 3.375. Соленоїд з осердям із немагнітного матеріалу містить 1200 витків дроту, щільно прилеглих один до одного. За сили струму в соленоїді 4 А магнітний потік у ньому 6 Вб. Визначити індуктивність соленоїда та енергію магнітного поля соленоїда.
- 3.376. 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.
- 3.377. 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?
- 3.378. Визначити енергію магнітного поля котушки з 1000 витків, якщо за струму 0,5 А у ній виникає магнітний потік 0,03 Вб.

- 3.379. Струм у котушці зменшився с 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?
- 3.380. Під час протікання контуром струму силою 12 А зчеплений із контуром магнітний потік становить $4 \cdot 10^{-5}$ Вб. Яка максимальна кількість тепла може виділитись у контурі завдяки струму самоіндукції, якщо струм зникне?
- 3.381. Під час протікання контуром струму силою 0,5 А зчеплений із контуром магнітний потік становить $2 \cdot 10^{-5}$ Вб. Яка максимальна кількість тепла може виділитись у контурі завдяки струму самоіндукції, якщо струм зникне?
- 3.382. За якої сили струму у витках соленоїда густина енергії магнітного поля в центрі соленоїда становитиме 40 Дж/м³? Довжина соленоїда 60 см, число витків 200.
- 3.383. Обмотка електромагніта має опір 100 Ом, індуктивність 0,5 Гн та перебуває під постійною напругою. Упродовж якого часу в обмотці виділиться кількість теплоти, яка дорівнює енергії магнітного поля в осерді?
- 3.384. Обмотка електромагніта має опір 300 Ом, індуктивність 0,9 Гн та перебуває під постійною напругою. Упродовж якого часу в обмотці виділиться кількість теплоти, яка дорівнює енергії магнітного поля в осерді?
- 3.385. Обмотка електромагніта має опір 10 Ом, індуктивність 0,2 Гн та перебуває під постійною напругою. Упродовж якого часу в обмотці виділиться кількість теплоти, яка дорівнює енергії магнітного поля у осерді?
- 3.386. Джерело струму замкнули на котушку опором 80 Ом. За 0,4 с струм у котушці досяг 0,95 граничного значення. Визначити індуктивність котушки.
- 3.387. Джерело струму замкнули на котушку опором 300 Ом. За 0,5 с струм у котушці досяг 0,95 граничного значення. Визначити індуктивність котушки.
- 3.388. Соленоїд має 1000 витків площею 5 см² кожний. Довжина котушки велика порівняно з діаметром витка, каркас котушки немагнітний. Визначити індуктивність котушки, якщо відомо, що у разі струму 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

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

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 за гармонічних незгасаючих коливань

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad v = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad a = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- Енергія матеріальної точки за незгасаючих гармонічних коливань

$$W_{\text{к}} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0); \quad W_{\text{п}} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- 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

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

а) пружинний маятник

де m – його маса; k – жорсткість пружини;

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

б) математичний маятник

де l – довжина нитки; g – прискорення вільного падіння;

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}},$$

в) фізичний маятник

де I – момент інерції; m – маса; d – відстань від центра мас до точки підвісу маятника.

- Рівнянням результуючого коливання із додаванням 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

$$\delta = \frac{r}{2m},$$

а) пружинного маятника

де r – коефіцієнт опору; m – його маса;

$$\delta = \frac{r}{2I},$$

б) фізичного маятника

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

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t,$$

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 за малих значень логарифмічного декременту 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 в 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 $0x$

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

де ξ – зміщення частинки пружного середовища від положення рівноваги момент часу t ; x – координата частинки на осі $0x$; A – амплітуда коливань; ω – циклічна частота власних коливань частинки; $k = 2\pi/\lambda = \omega/v$ – хвильове число.

- Довжина хвилі

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \nu T,$$

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

$$x_{\text{п}} = \pm m \frac{\lambda}{2}, \quad x_{\text{в}} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

- 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

$$\overline{\omega}_{\text{сер}} = \frac{\rho A^2 \omega^2}{2}; \quad I = v \overline{\omega}_{\text{сер}} = \frac{\rho v A^2 \omega^2}{2}.$$

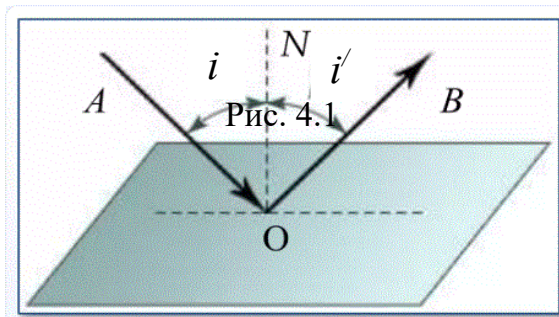
Геометрична оптика

Основу геометричної оптики становлять її закони.

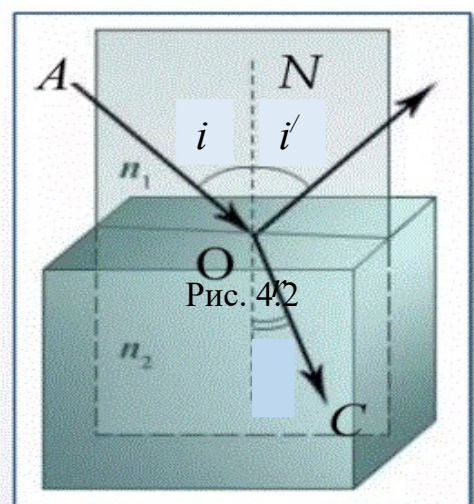
- Закон про прямолінійність розповсюдження світла в однорідному середовищі.
- Закони відбивання світла: кут падіння i променю AO , перпендикуляр (ON), проведений до границі розподілу двох середовищ у точці падіння променю (ON), та кут відбивання променю i' лежать в одній площині; кут падіння i дорівнює 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

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1},$$

де n_1 та n_2 – абсолютні показники заломлення середовищ; $n_{1,2}$ – відносний показник заломлення.



6



- Закон про взаємну оборотність ходу променів: за зміни напрямку розповсюдження променю світла на протилежний він проходить по всіх тих просторових точках, по яких проходив у прямому напрямі.
- Закон про не взаємодію променів, що перетинаються, у лінійному середовищі.

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

- Абсолютний показник заломлення середовища 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 в 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.

- Згідно із вказаними законами під час проходження світла через плоскопаралельну пластинку товщиною d спостерігається

$$\Delta L = \frac{n-1}{n} d;$$

а) повздовжній зсув променю

$$\Delta l = \frac{\sin(i-r)}{\cos r} d;$$

б) поперечний зсув променю

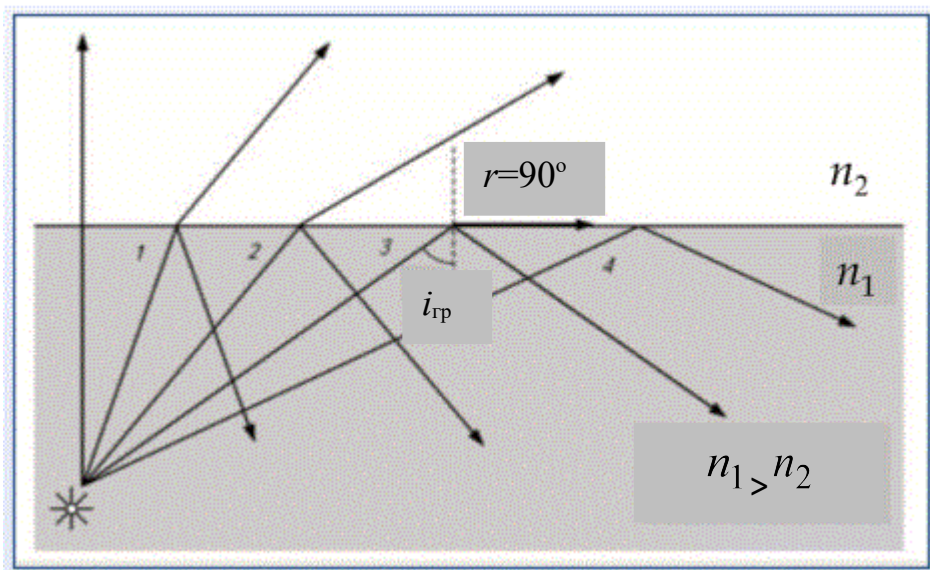


Рис. 4.3

- Відхилення променів призмою (оптичний клин із 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 – заломлювальний кут призми,
 n_1 – показник заломлення навколишнього середовища,
 n_2 – показник заломлення призми.

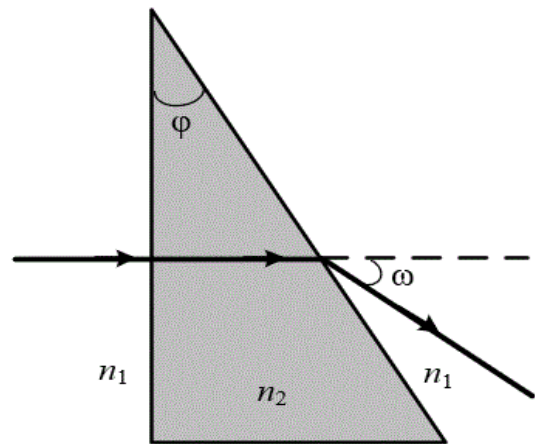


Рис. 4.4

- 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 з показниками заломлення n_1 та n_2 , і тонкі лінзи.

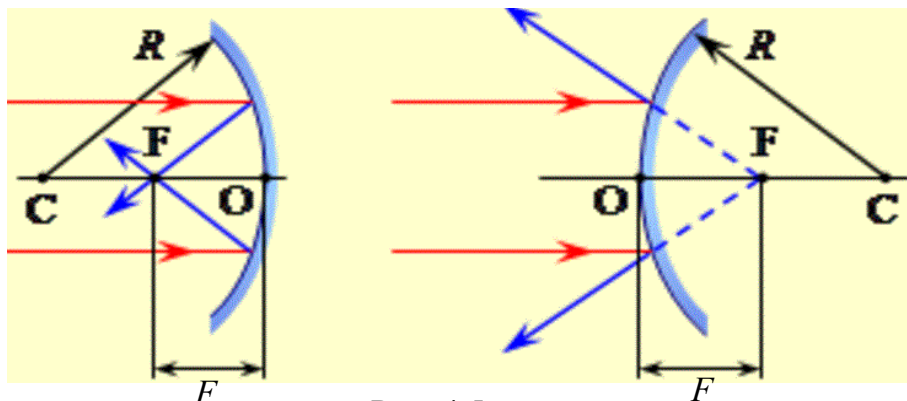


Рис. 4.5

- 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 заломлювальної 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 O поверхні, а n_1 – з протилежної сторони.

- Оптична сила тонкої лінзи, враховуючи наявність двох заломлювальних поверхонь, є сумою оптичних сил обох поверхонь

$$D = \frac{1}{F} = D_1 + D_2,$$

і в разі правильного застосування формули для оптичної сили окремої заломлювальної поверхні приводить до правильного вибору варіанта 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 потрібно кожен раз контролювати, користуючись єдиним правилом знаків: якщо спосіб визначення величин, що входять у формулу тонкої лінзи, збігається за напрямом із ходом променів, то ці величини повинні бути зі знаком «+». Якщо проти ходу променів – тоді знак «-». Очевидно, що при цьому величина d завжди матиме знак «+». Більшість задач геометричної оптики рекомендовано розпочинати із графічних побудов. Це може бути проведення променів через задані елементи оптичних систем на основі законів геометричної оптики або ж побудова зображень із використанням властивостей характерних для оптичної системи точок (*фокуси, оптичний центр*), ліній (*головна оптична вісь*) та площин (*фокальні*

площини, площина лінзи). Іноді така побудова може стати власне вирішенням самої задачі. У 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.

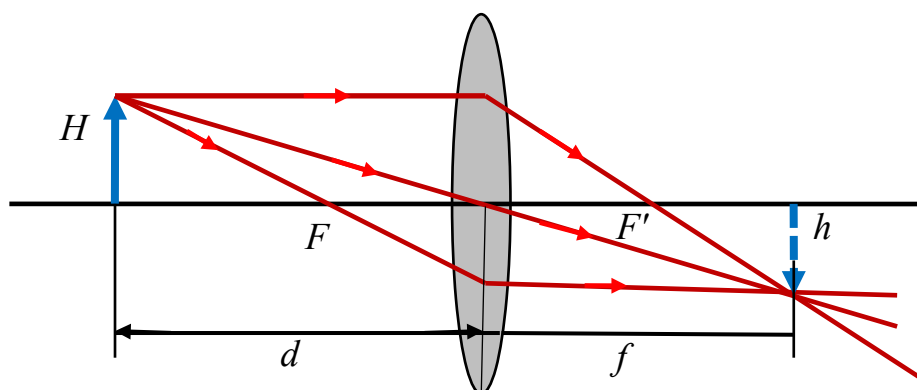


Рис. 4.6

- Реальні оптичні системи часто є сукупністю кількох простих елементів. Такою, зокрема, є товста лінза, оптичну силу якої слід розраховувати таким 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 заломлювальних 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 і телескоп (зорова труба).

- Кутове збільшення лупи

$$\Gamma \approx \frac{L_0}{F},$$

де L_0 – відстань найкращого зору (для нормального ока $L_0 = 25$ см); F – фокусна відстань лупи.

$$\Gamma = \Gamma_{\text{об}} \cdot \Gamma_{\text{ок}} \approx \frac{l \cdot L_0}{F_{\text{об}} \cdot F_{\text{ок}}},$$

- Кутове збільшення мікроскопа

де $\Gamma_{\text{об}}$ і $\Gamma_{\text{ок}}$ – збільшення об'єктива й окуляра; l – довжина тубуса (труби) мікроскопа; $F_{\text{об}}$ і $F_{\text{ок}}$ – фокусні відстані об'єктива й окуляра.

- Кутове збільшення телескопічної системи (зорової труби)

$$\Gamma = \frac{F_{\text{об}}}{F_{\text{ок}}} \approx \frac{D_{\text{вх}}}{D_{\text{вих}}},$$

де $D_{\text{вх}}$ і $D_{\text{вих}}$ – діаметри вхідного та вихідного пучків світла за 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

$$\nu = \frac{v \pm v_{\text{пр}}}{v \mp v_{\text{дж}}} \nu_0,$$

де ν – частота, що фіксується приймачем коливань; ν_0 – частота коливань джерела; v – швидкість хвилі, $v_{\text{пр}}$ – швидкість приймача, $v_{\text{дж}}$ – швидкість джерела; верхній знак відповідає взаємному наближенню джерела та приймача, а нижній – взаємному віддаленню.

- Інтенсивність світла за 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

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

хвиль

де λ – довжина світлової хвилі.

➤ Умови головних інтерференційних максимумів $\Delta_{\max} = \pm m\lambda$,
де $m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок максимуму.

➤ Умови головних інтерференційних мінімумів

$$\Delta_{\min} = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

➤ 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

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{d};$$

а) для відбитого світла

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

$$\Delta = 2bn - \frac{\lambda}{2}.$$

падіння

➤ Радіус зовнішньої границі m -ї зони Френеля за 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 екрана.

- Радіус m -ї зони Френеля за 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 за 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 і площиною поверхні кристала).

- Роздільна здатність дифракційної решітки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN,$$

де $\Delta\lambda$ – найменша різниця довжин хвиль, які ще розділяє решітка в m -му порядку дифракційного спектра, N – кількість штрихів.

- Закон Брюстера, що визначає кут падіння, за якого відбита світлова

$$\operatorname{tg} i_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

хвиля є повністю поляризованою

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 в 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 заданий момент відхилення точки становить 5 см, швидкість – 0,2 м/с, а прискорення – 0,8 м/с². Визначити амплітуду, циклічну частоту, період коливань, а також значення фази для цього моменту часу.
- 4.3. Точка коливається за законом $x = A \sin \omega t$, де $A = 5$ см, а циклічна частота $\omega = 2$ с⁻¹. Визначити перший момент часу, коли кінетична енергія становить 10⁻⁴ Дж, а діюча на точку сила дорівнює $5 \cdot 10^{-3}$ Н.
- 4.4. Матеріальна точка масою 20 г виконує коливання за законом: $x = A \sin \omega t$, де $A = 0,15$ м, $\omega = 4\pi$ 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 0,3 м/с. Написати рівняння коливань.
- 4.7. Матеріальна точка коливається за законом: $x = A \sin \omega t$, де $A = 5$ см, $\omega = 4\pi$ рад/с. У 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 через край диска перпендикулярно до його площини.
- 4.10. На стержні завдовжки 30 см закріплено два однакові вантажі: один – посередині стержня, 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 й відпустили. Визначити період малих вертикальних коливань циліндра.
- 4.15. Накресліть на одному графіку два гармонічні коливання з однаковими амплітудами ($A_1 = A_2 = 2$ см) і однаковими періодами ($T_1 = T_2 = 8$ с) за 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 дорівнюватиме 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. У разі відхилення точки від положення рівноваги на 2,4 см швидкість становить 3 см/с, а в разі відхилення 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 в межах одного періоду побудувати графік залежності кінетичної 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 налаштований 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 в ньому дорівнює 0,1 А.
- 4.26. Визначити максимальну напругу на обкладинках конденсатора в 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 в 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 в 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 у 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 у 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 разі 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 внаслідок додавання дали коливання з такою ж самою амплітудою. Визначити фазу результуючого коливання.
- 4.38. Написати рівняння результуючого коливання, отриманого внаслідок 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 у 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 у 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 у 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 у 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 у 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 кристала 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 в 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. З коефіцієнтом 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} зі збільшенням жорсткості пружини у 2 рази 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, протягом 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 дошка прогинається на 0,1 м, а коли йде по ній зі швидкістю 0,5 м/с, 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. За якої частоти 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 кгм^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 за резонансу в разі періодичної дії тієї самої сили.
- 4.61. За якого коефіцієнта опору для математичного маятника (його дані наведені в попередній задачі) резонанс не спостерігатиметься?
- 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 в 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 зі 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 зі 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 й визначити відхилення вказаних точок у момент часу 1,2 с, якщо амплітуда 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 в 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, чути в кімнаті як звук із рівнем 40 дБ. Визначити відношення інтенсивності звуку на вулиці та 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 хвилі – 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. Вважаючи 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 із 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 за температур -20 °С, 0 °С та 20 °С.
- 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 під тиском 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 звуки відрізняються за рівнем гучності на 1 фон. Визначити відношення інтенсивності цих звуків.
- 4.84. Два звуки 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: у 3000 разів, у 30 000 разів?
- 4.86. Два потяги рухаються назустріч один одному зі швидкостями 72 км/год і 54 км/год. Перший потяг дає гудок за частотою 600 Гц. Визначити частоту звуку, який чує пасажир другого потяга 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 когерентні джерела світла розміщені на відстані 0,2 см один від одного й 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, розташовані на відстані 10 м один від одного, коливаються з різницею фаз π . У яких точках на прямій, що з'єднує динаміки, чутність буде мінімальною? Швидкість звуку в повітрі – 340 м/с, частота звукових коливань – 330 Гц.
- 4.96. Два когерентні джерела звукових хвиль із частотою 170 Гц розташовані на відстані 10 м один від одного. Визначити найкоротшу відстань від одного з джерел до мінімумів першого і другого порядку. Швидкість звуку в повітрі – 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 змінилася на протилежну. За якої найменшої товщини 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, міститься рідина. Визначити показник заломлення рідини, якщо радіус третього темного кільця Ньютона за спостереження 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 відрізку 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 під час відбивання.
- 4.104. На скляну платівку нанесений шар прозорої рідини з показником переломлення 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 освітлювалися монохроматичним світлом з довжиною хвилі 600 нм. Відстань між щілинами становить 1 мм, а відстань від щілин до екрана – 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° . За якої найменшої товщини плівки відбиті промені будуть забарвлені в жовтий колір?
- 4.109. Мильна плівка, розташована вертикально, унаслідок 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?
- 4.111. Знайти відстань між третім та шістнадцятим темними кільцями Ньютона, якщо відстань між другим і двадцятим темними кільцями становить 4,8 мм. Спостереження проводиться у відбитому світлі.
- 4.112. У досліді з інтерферометром Майкельсона інтерференційна картина зсунулася на 500 інтерференційних смуг зі зміщенням 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 викачали повітря. Кінці трубки закриті плоскопаралельними скельцями. Із заповненням трубки аміаком інтерференційна картина для довжини хвилі 0,59 мкм змістилася на інтерференційних 180 смуг. Визначити показник заломлення аміаку.
- 4.114. Сонячне світло падає на дві паралельні щілини. Оцінити максимальну відстань між щілинами, за якої 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 ($\lambda = 7000 \text{ \AA}$)?

- 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. За якої найбільшої товщини пластини у відбитому світлі ще спостерігатиметься 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 становить 1 м, від хвильової поверхні до точки спостереження – 1 м, а довжина хвилі – 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 за дифракції світла від далекої зірки на краї Місяця. Відстань від Землі до Місяця становить 400 000 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. За якої найменшої 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 спостерігатимуться 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 спостерігатиметься третій дифракційний мінімум?
- 4.127. Приймач розташований на відстані 2 м від точкового джерела ультразвукових хвиль довжиною 0,1 см. Посередині між джерелом і 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 дає можливість розділити в 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 із довжиною хвилі 600 нм, які можна спостерігати роздільно з допомогою такої дифракційної решітки.
- 4.133. На дифракційну решітку нормально падає пучок світла. Червону лінію із 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'явилася 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 із 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 за дифракції світла на щілині за умов попередньої задачі.
- 4.138. При освітленні дифракційної решітки світлом із 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 у разі накладання спектрів першого та другого порядків під кутом 41° збігалися максимумами двох ліній з довжинами хвиль 460 нм та 680 нм.
- 4.140. Стала дифракційної решітки в чотири рази більше за довжину світової 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 перебуває 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 променю 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 в разі проходження через обидві призми? Коефіцієнт поглинання світла в призмі Ніколя становить 0,05. Втратами на відбивання знехтувати.
- 4.149. Плоскополяризований монохроматичний промінь світла, який падає на поляроїд, повністю поглинається. Коли на шляху променю розташувати кварцову пластину, то інтенсивність світла після поляроїда зменшиться лише у два рази. Визначити товщину кварцової пластинки. Поглинанням і відбиванням світла знехтувати. Стала обертання площини поляризації становить 49 град/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 променю, що вийшов із другої призми.
- 4.151. Промінь природного світла падає на поверхню скла під кутом 60° . При цьому відбитий промінь виявився максимально поляризованим. Визначити кут заломлення променю.
- 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. За якої найменшої товщини пластинки поле зору буде максимально яскравим? Стала обертання площини поляризації становить 27 град/мм.
- 4.155. З проходженням світла через трубку довжиною 20 см, заповнену розчином цукру з концентрацією $0,4 \text{ г/см}^3$, площина поляризації повернулася на кут $13,3^\circ$. В іншому розчині цукру, налитому в трубку довжиною 15 см, площина поляризації повернулася на кут $5,2^\circ$. Визначити концентрацію другого розчину.
- 4.156. Визначити кут повної поляризації світла в разі відбивання 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 в 4 рази. Нехтуючи відбиванням, визначити коефіцієнт поглинання світла в 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 становлять 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 з 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 в посудині покладена скляна пластинка. Визначити, під яким кутом має падати на пластинку промінь світла, щоб від поверхні поділу води зі склом відбулося 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' у ввігнутому сферичному дзеркалі. За допомогою графічної побудови знайти центр і фокус дзеркала.
- 4.168. На плоскопаралельну 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 становить 1,6, а кут з вершиною 5° , помістили у воду. Визначити, на скільки градусів відхиляється світловий промінь, що проходить крізь цей клин.
- 4.170. Побудувати зображення довільної точки, що лежить на головній оптичній осі: а) збиральної лінзи; б) розсіювальної лінзи.

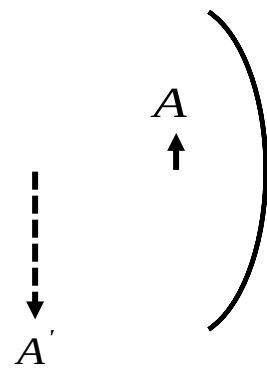


Рис. 4.5

- 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 в 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 вмістилося в кадрі висотою 24 мм?
- 4.174. Фокусна відстань збиральної лінзи 10 см. На якій відстані від лінзи потрібно розмістити предмет, щоб його уявне зображення утворилося 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 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 й 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 даватиме утворена система?
- 4.181. Чому мають дорівнювати радіуси кривини однакових сферичних поверхонь, що обмежують лупу, щоб 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 розташований 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 розташований від об'єктива на відстані 5,6 мм. Визначити видиме збільшення мікроскопа для нормального ока та довжину мікроскопа (відстань між об'єктивом і окуляром).
- 4.184. Оптичні сили об'єктива й 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.

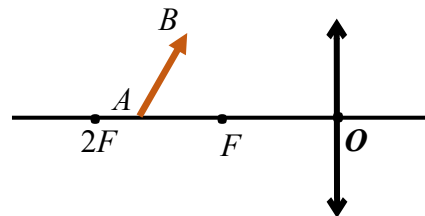


Рис. 4.6

- 4.186. Фокусна відстань об'єктива телескопа 1 м. Телескоп спочатку наводять на будинок, що розташований на відстані 1 км, потім на Місяць. У 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, розташований дуже далеко?
- 4.188. Оптична сила об'єктива телескопа 0,5 дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення в 10 разів. Яке збільшення дає телескоп?
- 4.189. На рисунку 4.7 показаний хід променя крізь збиральну лінзу.

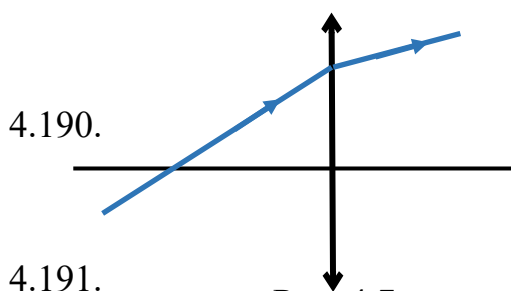
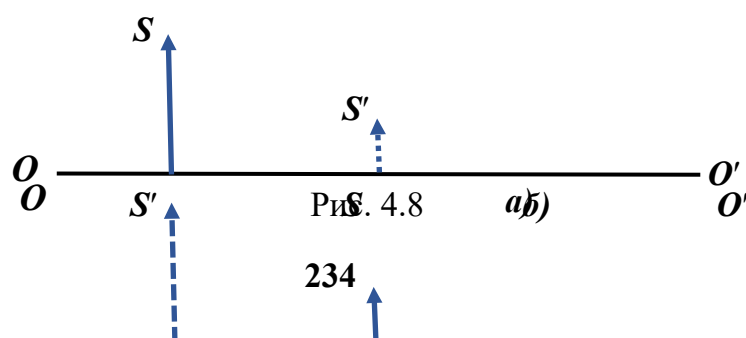


Рис. 4.7

- 4.190. Визначити побудовою положення фокусів лінзи.
- 4.191. Під яким кутом до горизонту плавець, що пірнув у воду, побачить захід Сонця? Сонце на рівні горизонту.
- Два малі плоскі дзеркала розміщені на однаковій відстані одне від одного й 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 відбувалося 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 перебуває 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 та 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, *a*, *б*) визначити побудовою положення оптичного центра лінзи та її фокусів для обох випадків.



- 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 у 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.

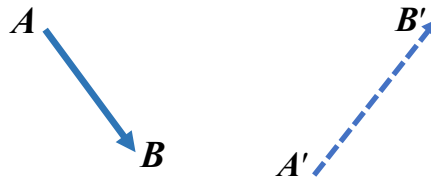


Рис. 4.9

- 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 віддалені предмети, якщо в разі спостереження 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 ішов з першого середовища в друге, кут падіння дорівнював 60° , а кут заломлення – 45° . Коли промінь ішов із першого середовища в третє, кут падіння був 60° , а кут заломлення – 30° . Коли промінь ішов з другого середовища у 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 променю на межу поділу між водою і склом 30° . Визначити кут заломлення. За якого найменшого значення 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 зі скипидару в повітря. Граничний кут повного відбивання для цього променю 45° . Чому дорівнює швидкість розповсюдження світла у скипидарі?
- 4.212. Показники заломлення скла для червоного і фіолетового променів дорівнюють відповідно 1,51 і 1,53. Знайти граничні кути повного відбивання в разі падіння цих променів на межу скло – повітря.
- 4.213. Показник заломлення матеріалу призми для деякого монохроматичного променю 1,6. Яким має бути найбільший кут падіння цього променю на призму, щоб при виході променю з неї не відбулося повне внутрішнє відбивання? Кут заломлення призми 45° .
- 4.214. Пучок світла поширюється вздовж бокової грані рівнобедреної призми. Під яким граничним кутом 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, 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. Під час пропускання струму крізь гальванометр дзеркальце повернулося, причому світлова пляма на шкалі перемістилася 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 змістилася вгору на 3,5 см. Визначити кут падіння променя на дзеркальце, якщо відстань від дзеркальця до екрана 50 см.
- 4.220. Два плоскі дзеркала поставлені під кутом одне до одного, і між ними розміщене точкове джерело світла. Зображення джерела в першому дзеркалі перебуває 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 доти, доки не буде чітко видно нижню поверхню пластини (для зручності спостереження 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 плоскопаралельну 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 плоскопаралельну пластину, якщо товщина її d , показник

заломлення n , а кут падіння променя i ? Чи може зміщення променя бути більшим за товщину пластинки?

- 4.225. Пучок паралельних променів падає на товсту скляну пластину під кутом 60° і, заломлюючись, переходить у скло. Ширина пучка в 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. За яких значень кута α світло, що падає нормально на грань АВ, повністю досягне грані АС?
- 4.229. За яких значень показника заломлення прямокутної призми можливий хід променя, що зображений на рисунку 4.11? Переріз призми – рівнобедрений трикутник; промінь падає на грань АВ нормально.

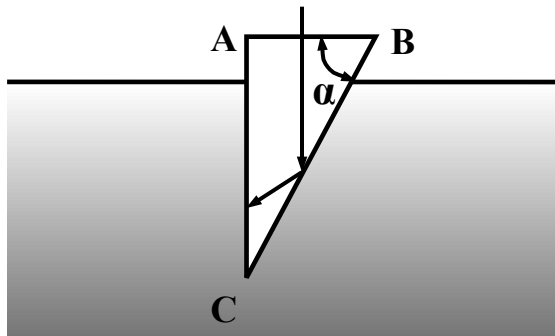


Рис. 4.10

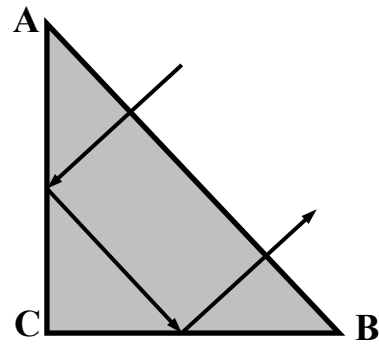


Рис. 4.11

- 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 й отримують на екрані друге чітке зображення предмета. Визначити його величину.
- 4.233. Під час фотографування автомобіля довжиною 4 м плівку розмістили від об'єктива на відстані 60 мм. З якої відстані фотографували автомобіль, якщо довжина його зображення становить 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 встановлено 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.

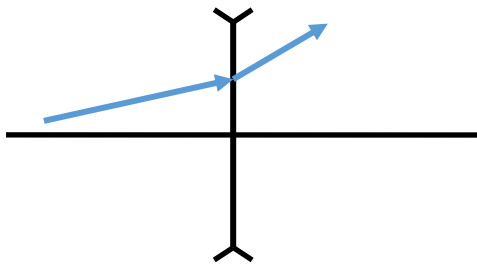


Рис. 4.12

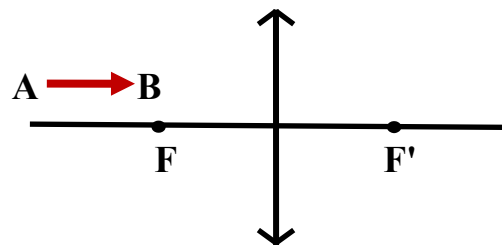


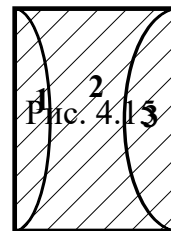
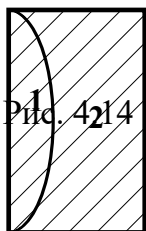
Рис. 4.13

- 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 розташована на головній оптичній осі збиральної лінзи. Фокусна відстань лінзи – 20 см, а відстань між лінзою і точкою – 15 см. Де перебуває 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 бути розташоване 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 за її фокусну відстань. 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 за 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 й 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 вважати 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

розташований на відстані 48 см від першої лінзи. На якій відстані від другої лінзи отримаємо 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 отримаємо 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 розташований 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 розташований на відстані $10a$ від першої лінзи.
- 4.258. Збиральні лінзи с фокусними відстанями 30 см розташовані на відстані 15 см. Знайдіть, за яких положень 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.



- 4.261. Лінзи з оптичними силами 4 дптр та 5 дптр розташовані на відстані 0,9 м одна від одної. Де має бути 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 із 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 аберацию 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 аберацию (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. Для виготовлення об'єктива фотокамери з двома лінзами конструктор використав розсіювальну лінзу з фокусною відстанню 5 см, помістивши її на відстані 45 см від плівки. Де потрібно 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 десяті міліметрову шкалу, щоб на знімку вона була зменшена в 10 разів, якщо фокусна відстань об'єктива 5 см?
- 4.267. За найбільшого віддалення об'єктива від плівки фотоапарат дає чіткі знімки предметів, що розташовані 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, розташована 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 48×600 мм. З якої відстані потрібно проводити зйомку, щоб отримати максимальний розмір зображення? Яка частина кадру (за площею) 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 зазвичай вона користується окулярами з оптичною силою 4 дптр?
- 4.273. Визначити, наскільки може змінюватися 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 бути розташовано об'єктив, щоб зображення негатива збільшилося в сім разів?
- 4.277. Лінзу з оптичною силою 50 дптр використовують як лупу. 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-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 бути розташовано об'єктив, щоб отримати зображення 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 окуляра, вважаючи відстань найкращого бачення для нормального ока 25 см.

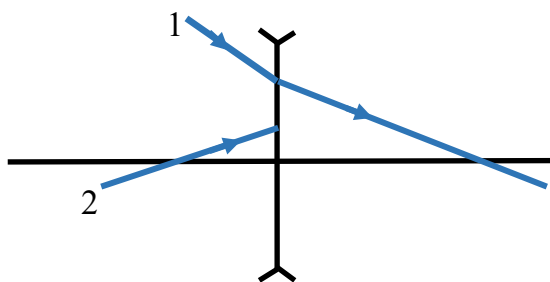


Рис. 4.16

- 4.283. На рисунку 4.16 показаний хід променю 1 та напрямок падіння променю 2 на розсіювальну лінзу. Визначити побудовою хід променю 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 й 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 розташований 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 розташований на відстані 0,2 мм від фокуса об'єктива:

- а) яка довжина тубуса мікроскопа; б) яке збільшення цього мікроскопа?
- 4.288. Предмет розташований на відстані 6,1 мм від об'єктива мікроскопа. Фокусна відстань окуляра 1,25 см. Знайти фокусну відстань об'єктива, якщо мікроскоп дає збільшення в 1200 разів.
- 4.289. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа 8 мм, окуляра 4 см. Предмет розташований 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 розташований предмет?
- 4.291. Оптична сила об'єктива телескопа 0,5 дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення в 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 із 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 в усьому 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)

$$a_{\text{АЧТ}}(\lambda, T) = 1;$$

б) сірого тіла

$$a_c(\lambda, T) < 1; a_c(\lambda, T) = \text{const} = \epsilon; \text{ якщо } T = \text{const}.$$

- 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 спектра 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 за частотами

$$r_{\text{АЧТ}}(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

- 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 за нормального падіння 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 за їх розсіювання на частинках із 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

$$\lambda_{\text{К}} = \frac{h}{m_e c} = 2,42621 \cdot 10^{-12} \text{ м}.$$

- Довжина хвилі де Бройля

$$\lambda_{\text{д}} = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\nu},$$

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

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

імпульсу частинки;

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 цьому енергетичному стані.

Теорія атома

➤ Рівняння Шредінгера для стаціонарних станів

$$\Delta \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} (W - W_{\text{п}}) \Psi = 0,$$

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; $W_{\text{п}}(x, y, z)$ – потенціальна енергія частинки.

➤ Енергія частинки в одновимірній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками

$$W_{\text{п}} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

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'єра

$$D = e^{-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - W)} \cdot l}$$

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 за його руху 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 орбітах.

- Значення енергії електрона у стаціонарних станах в атомі водню

$$W_n = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \frac{1}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

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

$$R = \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

- 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

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- Комбінаційний принцип Рідберга – Рітца для визначення частот усіх серій випромінювання атома водню

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

де R – стала Рідберга; n і m – номери орбіт. Підставляючи у 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 й 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 й атомну підоболонку;

в) магнітне квантове число значення числа: $m_l = l, -(l - 1), \dots, 0, 1, \dots, (l - 1), l$.
Усього приймає $2l + 1$ значення. Визначає проєкцію 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 проєкції власних механічного та магнітного моментів руху електрона на виділений в просторі напрям.

➤ Сукупність електронів у багатоелектронному атомі, які мають те саме 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 з оболонок багатоелектронного атома електрони розподіляються по підоболонках, які відповідають цьому l . Підоболонки позначаються маленькими літерами латинського алфавіту: s, p, d, f, g, \dots

➤ Принцип Паулі (визначає специфіку статистики частинок із напівцілим спіном (ферміонів). Для електронів в атомах він сформулюється так: у квантових станах атома, які характеризуються набором усіх чотирьох квантових чисел, не може бути більше ніж один електрон.

➤ Формула Мозлі для ліній характеристичного рентгенівського спектра 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 називається

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 за заданого n має 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 за заданого l має 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 цього 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 ізотопу); N – кількість нейтронів у ядрі.

- Радіус ядра

$$R_{\text{я}} = R_0 (A)^{3/2},$$

де R_0 – стала величина, яку вважають 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 ізотопу.

- 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

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

- Закон радіоактивного розпаду

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

де N – число ядер радіоактивного елемента, які не розпалися на момент часу t ; N_0 – початкова кількість ядер радіоактивного елемента; λ – стала розпаду цього 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

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

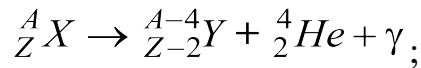
де dN – кількість ядер, що розпадеться за час dt , A_0 – початкова активність ізотопу.

- Середній час життя радіоактивного ядра

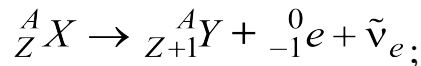
$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

- Правила зміщення за радіоактивних розпадів

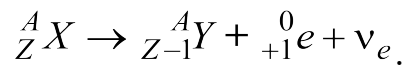
а) для α -розпаду



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; ${}^0_{-1} e$ – електрон; $\tilde{\nu}_e$ – електронне антинейтрино; ${}^0_{+1} e$ – 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 припадає 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 . У разі охолодження цього тіла довжина хвилі, на яку припадає максимум випромінювальної здатності, збільшилася на 9 мкм . До якої температури охолодилося тіло?
- 5.3. Вважаючи випромінювання Сонця сталим, визначити, за який час маса Сонця зменшиться вдвічі. Температуру поверхні Сонця прийняти рівною 5800 К .
- 5.4. Яку потужність випромінює 1 см^2 поверхні свинцю за температури 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 за температури, 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 за цієї температури 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 вважати рівною 5800 К , випромінювання Сонця – близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла.

- 5.10. Абсолютно чорне тіло має температуру 300 К. Якою буде температура тіла, якщо внаслідок нагрівання потік випромінювання збільшиться у 5 разів?
- 5.11. Потік випромінювання абсолютно чорного тіла 10 кВт, максимум енергії випромінювання припадає 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 см^2 . Визначити частку потужності, що розсіюється через отвір печі, якщо температура її внутрішньої поверхні дорівнює 1000 К.
- 5.14. Середня енергетична світність поверхні Землі рівна $0,54 \text{ Дж}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$. 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 потрібно підводити до зачорненої металевої кульки радіусом 2 см^2 , щоб підтримати його температуру на 27°C вище за температуру навколишнього середовища? Температура навколишнього середовища 20°C . Вважати, що теплота втрачається тільки внаслідок випромінювання.
- 5.18. Абсолютно чорне тіло мало температуру 2000 К. У процесі нагрівання довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної випромінювальної здатності, зменшилася на 0,6 мкм. У скільки разів зросла випромінюваність тіла?
- 5.19. Знайти, на скільки зменшиться маса Сонця за рік унаслідок випромінювання. Температуру поверхні Сонця вважати рівною 5800 К.

- 5.20. Розпечена металева поверхня площею 10 см^2 випромінює за 1 хв $4 \cdot 10^4 \text{ Дж}$. Температура поверхні дорівнює 2500 К . Визначити енергетичну світність цієї поверхні, якби вона була абсолютно чорною? Який коефіцієнт відбивання поверхні тіла.
- 5.21. Визначити енергію, масу й імпульс фотона з довжиною хвилі $1,24 \text{ нм}$.
- 5.22. На пластину падає монохроматичне світло довжиною хвилі $0,42 \text{ мкм}$. Фотострум припиняється за затримувальної 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 в 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 із довжиною хвилі $0,663 \text{ мкм}$ падає на зачорнену поверхню та 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 й 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 \AA випромінюється щосекунди? Інтенсивність цієї лінії становить 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 \AA ?
 - 5.35. З якою швидкістю має рухатися електрон, щоб його імпульс дорівнював імпульсу фотона з довжиною хвилі 5200 \AA ?
 - 5.36. Імпульс, який переноситься монохроматичним пучком фотонів через площадку 2 см^2 за час 0,5 хв, становить $3 \cdot 10^{-3} \text{ (г}\cdot\text{см)/с}$. Визначити інтенсивність пучка світла.
 - 5.37. Кванти світла з енергією 4,9 еВ виривають електрони з металу (робота виходу 4,5 еВ). Визначити максимальний імпульс, що передається поверхні металу під час вильоту кожного фотоелектрона.
 - 5.38. За якої температури кінетична енергія молекули двохатомного газу дорівнюватиме енергії фотона, довжина хвилі якого $5,89 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$?
 - 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 \AA . Знайти роботу виходу електрона із цього металу, максимальну швидкість електронів, які вириваються із цього металу світлом із довжиною хвилі 1800 \AA ?
 - 5.41. Знайти частоту світла, що вириває з поверхні металу електрони, які повністю затримуються негативним потенціалом 3 В.

Фотоефект у цього металу починається за частоти падаючого світла $6 \cdot 10^{14}$ Гц.

- 5.42. Визначити сталу Планка, якщо відомо, що фотоелектрони, які вириваються з поверхні деякого металу світлом із частотою $2,2 \cdot 10^{15}$ Гц, повністю затримуються негативним потенціалом 6,6 В, а ті, що вириваються світлом із 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 вважати, що напрямки 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 під час розсіювання становить 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 за ефекту Комптона на вільному електроні був розсіяний на кут $\pi/2$. Визначити імпульс, якого набуває електрон, якщо енергія фотона до розсіювання становила 0,51 МеВ.
- 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 припадає за ефекту Комптона на електрон віддачі, якщо розсіювання фотона відбувається на кут $\pi/2$. Енергія фотона до розсіювання – 0,51 МеВ.
- 5.51. Визначити максимальну зміну довжини хвилі за комптонівського розсіювання світла на вільних електронах і вільних протонах.
- 5.52. Визначити кут розсіювання фотона, якщо за комптонівського розсіювання довжина хвилі збільшилася на 3,63 пм.

- 5.53. Фотон із початковою енергією 1,02 MeV розсіявся на вільному електроні під кутом 90° . Визначити імпульс, набутий електронем.
- 5.54. Рентгенівські промені з довжиною хвилі 1 пм розсіюються на вільних електронах. Визначити найбільшу довжину хвилі в розсіяному випромінюванні.
- 5.55. Фотон із 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 за ефекту Комптона на вільному електроні на кут 180° . Визначити кінетичну енергію електрона віддачі.
- 5.57. Визначити кут, на який був розсіяний γ -квант з енергією 1,53 MeV за ефекту 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 за температури 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 кеВ, 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 дорівнює 2500 А/м. Знайти довжину хвилі де Бройля для цієї α -частинки.
- 5.62. Знайти довжину хвилі де Бройля для атома водню, що рухається за температури 20°C з найбільш імовірною швидкістю.
- 5.63. Визначити енергію, яку потрібно додатково надати електроні, щоб його довжина хвилі де Бройля зменшилася з 0,2 мм до 0,1 нм.
- 5.64. Визначити найбільш імовірну довжину хвилі де Бройля молекул азоту в 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 кеВ. Визначити додаткову енергію, яку потрібно 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 кінетичну енергію 13,6 еВ (енергія іонізації атома водню). Порівняти отримане значення з діаметром атома водню.
- 5.69. Чи потрібно враховувати хвильові властивості електрона під час вивчення руху електрона в атомі водню? Діаметр атома водню вважати 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. Вузкий 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, спостерігалася дифракція Фраунгофера?

- 5.77. Оцінити швидкість атомів гелію, за якої 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 нм.
- 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. У разі переходу в нормальний стан випромінюється фотон, середня довжина хвилі якого становить 600 нм. Оцінити ширину відповідної спектральної лінії.
- 5.81. Використовуючи співвідношення невизначеностей, оцінити ширину одномірного потенціального ящика, у 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 перебуває в одновимірному потенціальному ящику. Використовуючи співвідношення невизначеностей, оцінити ширину ящика, якщо відомо, що мінімальна енергія α -частинки дорівнює 8 МеВ.
- 5.85. Електрон перебуває у 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 в 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 перебуває у 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 перебуває 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 . За яких товщин бар'єра електрон з енергією $W > W_{\text{п}}$ не відбиватиметься 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 в 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 у разі збудження 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 у разі збудження 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 у 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 із кінетичною енергією 10 еВ. Визначити енергію фотона.
- 5.110. У яких межах має лежати енергія електронів, які бомбардують атоми водню, щоб у разі збудження 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 перебував в основному стані. Яку швидкість матиме електрон удалині від ядра атома?
- 5.115. Які спектральні лінії з'являться в разі збудження 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 $2p$ 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 за переходу в основний стан атом випромінює фотон довжиною хвилі 97,5 нм?
- 5.120. У яких межах має лежати довжина хвилі монохроматичного світла, щоб у разі збудження 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 набуде атом після цього?
- 5.124. Визначити найменшу енергію, яку потрібно 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 роздільну здатність спектрального приладу,

за допомогою якого можна розділити перші 20 ліній серії Лаймана.

- 5.129. Двічі іонізований атом літію випромінює фотон за переходу 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 за температури 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 проєкцій цього моменту на напрямок магнітного поля?
- 5.132. Чи буде атом водню поглинати випромінювання із хвильовим числом:
- $$a) \frac{1}{\lambda} = 3R ; \quad b) \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{3}R ; \quad в) \frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4}R ?$$
- 5.133. Визначити значення орбітальних механічного й магнітного моментів електронів атома, що перебувають у p -стані. Які значення проєкцій цих моментів на напрямок магнітного поля?
- 5.134. Визначити значення орбітальних механічного й магнітного моментів електронів атома, що перебуває у d -стані. Які значення проєкцій 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 молібденовий.

- 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 за переходу електрона в атомі вольфраму з M -шару на K -шар випромінюються рентгенівські промені довжиною хвилі $0,143$ 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 K -серії деякого елемента $0,75 \text{ \AA}$. Визначити порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва.
- 5.148. Довжина хвилі γ -випромінювання радіо рівна $0,016 \text{ \AA}$. Яку різницю потенціалів потрібно 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 $0,3$ еВ?
- 5.150. Германієвий зразок нагрівають від 0 до 20 °С. Вважаючи ширину забороненої зони германію рівною $0,72$ еВ, визначити, у скільки разів зросте його питомо провідність.

- 5.151. Визначте ширину забороненої зони власного напівпровідника, якщо за температур 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 за 0 К, енергія яких відрізняється від енергії Фермі не більш ніж на n %. Побудувати графік залежності цієї кількості від $n = 0,1 \dots 1$ %.
- 5.153. Яка відносна кількість вільних електронів у металі за 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 дорівнює 1 Кі.
- 5.157. Препарат урану масою 1 г випромінює за одну секунду 12 400 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, що виділення тепла зумовлене лише α -розпадом ядер урану.
- 5.165. Унаслідок розпаду 1 г радію за рік утворилася деяка кількість гелію, що займає за нормальних умов 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 радю. 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 зменшилася на 24 % порівняно з початковою.
- 5.168. Яка частина ядер радіоактивного препарату не розпалася 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 розпаду на один грам вуглецю. Концентрації $^{14}_6\text{C}$ у живих рослинах відповідає 14 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 імовірності того, що ядро не розпадеться, від часу в 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 зменшилася 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 із довжиною хвилі $0,2 \text{ \AA}$ за проходження шару заліза товщиною $0,15 \text{ мм}$? Масовий коефіцієнт поглинання заліза для цієї довжини хвилі дорівнює $1,1 \text{ м}^2/\text{кг}$.
- 5.177. Скільки шарів половинного ослаблення потрібно для зменшення інтенсивності рентгенівських променів у 20 разів?
- 5.178. Через екран, що складається з 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 у разі проходження цього екрана.
- 5.179. Товщина шару половинного ослаблення рентгенівських променів, енергія яких становить 1 МеВ , для води дорівнює $10,2 \text{ см}$, для заліза – $1,56 \text{ см}$. Знайти лінійний і масовий коефіцієнти поглинання цих матеріалів для цієї енергії рентгенівських променів.
- 5.180. Знайти енергію зв'язку нейтрона у 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 і зробити висновок.
- 5.183. Обчислити питому енергію зв'язку для ядра атома ${}^{17}_8\text{O}$.
- 5.184. Розрахувати дефект маси й 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 й 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 внаслідок ядерної 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 внаслідок реакції ${}^7_3\text{Li}(p, \alpha)$, за повного розкладання 1 г літію?
- 5.196. Обчислити енергію ядерної реакції: ${}^3_1\text{H}(p, \gamma){}^4_2\text{He}$.
- 5.197. Визначити енергію під час таких ядерних реакцій і вказати, виділяється або поглинається ця енергія:
- $${}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \quad \text{та} \quad {}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}.$$
- 5.198. Написати відсутні члени в таких ядерних реакціях:
- $${}^{27}_{13}\text{Al}(n, \alpha)x; \quad {}^{19}_9\text{F}(p, x){}^{16}_8\text{O} \quad {}^{55}_{25}\text{Mn}(x, n){}^{55}_{26}\text{Fe}.$$
- 5.199. Написати відсутні члени в таких ядерних реакціях:
- $${}^{27}_{13}\text{Al}(n, \alpha)X; \quad {}^{14}_7\text{N}(n, X){}^{14}_6\text{C}; \quad X(p, \alpha){}^{22}_{11}\text{Na}.$$
- 5.200. Унаслідок бомбардування 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 в разі радіоактивного розпаду нейтрона.
- 5.202. Написати відсутні позначення в таких ядерних реакціях, викликаних фотонами:



- 5.203. Унаслідок бомбардування 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: ${}^2_1\text{H} + \gamma \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^1_0\text{n}$.
- 5.205. Енергетична різниця між основним і збудженим станами ядра іридію становить 129 кеВ. Поглинач являє собою ядра іридію у вільному стані. З якою швидкістю мають наближатися джерело γ -квантів з енергією 129 кеВ та поглинач, щоб реалізувати максимум поглинання.
- 5.206. У разі вибуху водневої бомби протікає термоядерна реакція утворення гелію з дейтерію та тритію. Написати ядерну реакцію. Знайти енергію, що виділяється внаслідок цієї 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 із кінетичною енергією 1,5 МеВ 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 однакові 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 МеВ, визначити масу цього ізотопу, який ділиться внаслідок вибуху атомної бомби з тротилівим

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 в момент утворення.

ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ

Таблиця 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

Таблиця 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	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$
Число Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл}/\text{моль}$
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	$2,998 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с}$
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	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м}$
Магнітна стала	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Атомна одиниця маси	а.о.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Таблиця 3

Співвідношення між фізичними величинами

Назва одиниці виміру	Значення в СІ
Температура за шкалою Цельсія (t °C)	$T = t$ °C + 273,15 К
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 ізотопу (1 Кюрі)	$3,7 \cdot 10^{10}$ розп/с
Поглиналина 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

Таблиця 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

Таблиця 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})	

Таблиця 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 (кюрі) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

Таблиця 7

Властивості твердих тіл

Речовина	Густина , 10^3 кг/м ³	Температура а плавлення, °С	Питома теплоємність , Дж/(кг·К)	Питома теплота плавлення , 10^3 Дж/кг	Температурни й 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				

Властивості рідин

Речовина	Густина, 10^3 кг/м^3	Питома теплоємність, $10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$	Коефіцієнт поверхневого натягу, 10^{-3} Н/м
Вода (за 4 °С)	1,00	4,19	73
Вода (за 0 °С)	–	–	75,6
Вода (за 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 наведено за нормального атмосферного тиску і температури 20 °С (якщо не вказано іншої температури). Значення коефіцієнтів поверхневого натягу вказано на межі рідини з повітрям.

Питомі 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

Таблиця 10

Густина газів за нормальних умов, кг/м³

Водень	0,09	Гелій	0,18
Повітря (0 °С)	1,293	Оксиген	1,43
Метан СН ₄	0,717	Азот	1,25
Вуглекислий газ	1,977	Хлор	3,21
СО (при 0 °С)	1,250	Аміак	0,77

Таблиця 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).

Таблиця 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

Таблиця 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

Таблиця 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

Таблиця 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.

Таблиця 16

**Залежність відносної долі молекул від відносної швидкості
(за розподілом Максвелла)**

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		

Таблиця 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

Таблиця 18

Ефективний діаметр молекул, 10^{-10} м

Азот	3,0·	Гелій	1,9·
Водень	2,3·	Кисень	2,7·

Таблиця 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		

Таблиця 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

Таблиця 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 (за 20 °С)	10...14	Шифер (за 20 °С)	10
Граніт (за 20 °С)	8	Сталь вуглецева	10...17
Цегла (за 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
упоперек волокон	4,4	Срібло	20
сосна уздовж волокон	5,4	Залізо	12
впоперек волокон	34	Алюміній	2,4

Таблиця 22

Теплопровідність твердих тіл, Вт/(мК)

Дерево	0,175	Повсть	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

Таблиця 23

Критичні параметри деяких речовин

Речовина	$T_k, \text{ K}$	$P_k, 10^6$ Па	Речовина	$T_k, \text{ K}$	$P_k, 10^6$ 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			

Таблиця 24

Питома теплота пароутворення води

t °С	0	50	100	200
r , 10^5 Дж/кг	24,9	23,8	22,6	19,4

Таблиця 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

Таблиця 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

Таблиця 27

Магнітна проникність заліза за різних зовнішніх полів

H , А/м	100	500	1000	2000	4000	8000
μ , відн. од.	250	3000	7000	6000	5000	4000

Таблиця 28

Рухливість іонів в газах, 10^{-4} м²/(В·с)

Газ	Позитивні іони	Негативні іони
Азот	1,27	1,81
Водень	5,4	7,4
Повітря	1,4	1,9

Таблиця 29

Робота виходу електронів з металів

Метал	A, Дж	A, eB
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

Таблиця 30

Енергія іонізації

Матеріал	E_i , Дж	E_i , eB
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

Таблиця 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

Таблиця 32

Стала обертання площини поляризації кварцу

Кварц	для $\lambda = 589$ нм	21,7
Кварц	для $\lambda = 404,7$ нм	48,9

Таблиця 33

Періоди напіврозпаду та атомні маси ізотопів

Ізотоп	Позначення	Маса, а.о.м.	Період напіврозпаду
Кобальт	${}^{60}_{27}\text{Co}$	58,9332	5,26 року
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 доби
Радій	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	226,0254	1598 років
Цезій	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	137	29,7 року
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

Таблиця 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

Таблиця 35

Маси деяких нуклідів, а.о.м.

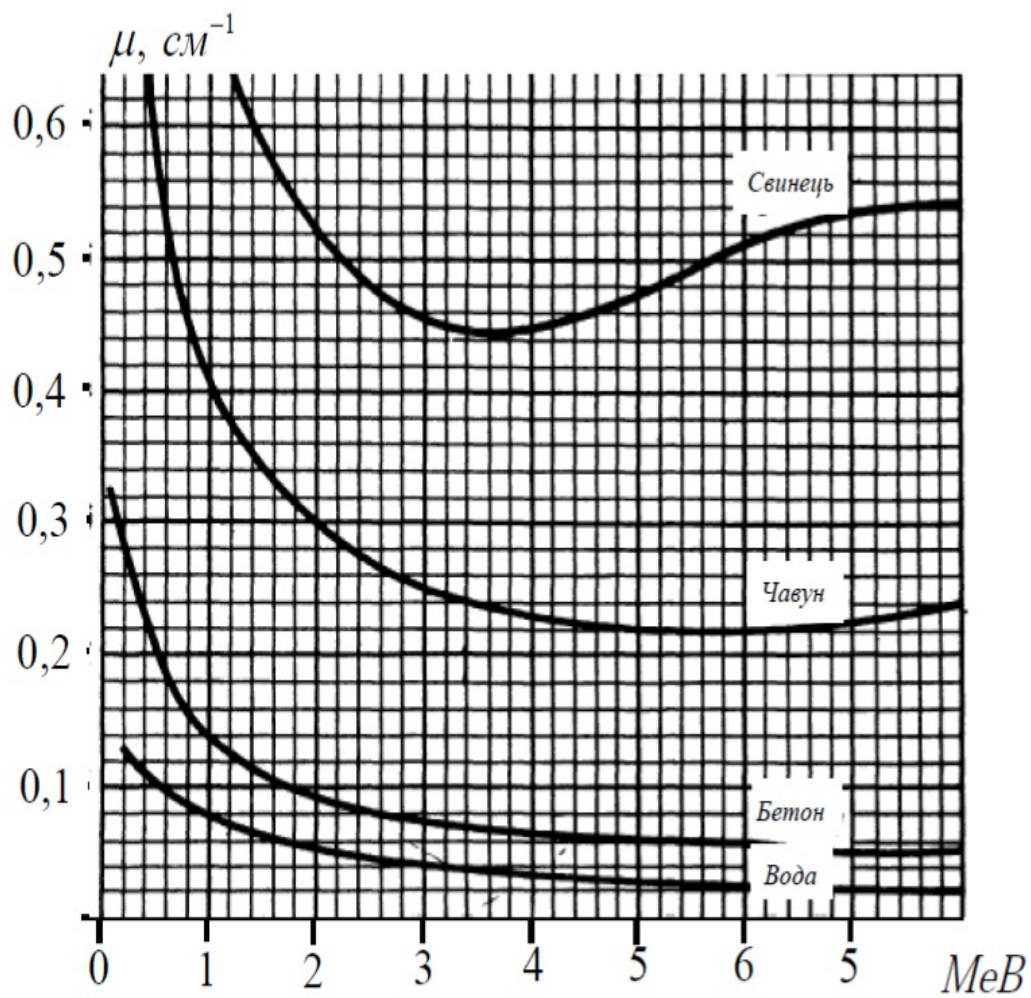
Нуклід	Маса	Нуклід	Маса	Нуклід	Маса
${}^1_1\text{H}^1$	1,00783	${}^9_4\text{Be}^9$	9,01218	${}^{30}_{14}\text{Si}^{30}$	29,97377
${}^2_1\text{H}^2$	2,01410	${}^{10}_5\text{B}^{10}$	10,01294	${}^{40}_{20}\text{Ca}^{40}$	39,96257
${}^3_1\text{H}^3$	3,01605	${}^{12}_6\text{C}^{12}$	12,0	${}^{56}_{27}\text{Co}^{56}$	55,95769
${}^3_2\text{He}^3$	3,01669	${}^{13}_7\text{N}^{13}$	13,00987	${}^{63}_{29}\text{Cu}^{63}$	62,94962
${}^4_2\text{He}^4$	4,00388	${}^{14}_7\text{N}^{14}$	14,00752	${}^{113}_{48}\text{Cd}^{113}$	112,9420
${}^6_3\text{Li}^6$	6,01703	${}^{17}_8\text{O}^{17}$	17,00453	${}^{200}_{50}\text{Hg}^{200}$	200,0280
${}^7_3\text{Li}^7$	7,01823	${}^{23}_{12}\text{Mg}^{23}$	23,00145	${}^{235}_{92}\text{U}^{235}$	235,1175
${}^7_4\text{Be}^7$	7,01916	${}^{24}_{12}\text{Mg}^{24}$	23,99267	${}^{238}_{92}\text{U}^{238}$	238,1237
${}^8_4\text{Be}^8$	8,00785	${}^{27}_{13}\text{Al}^{27}$	26,99010		

Таблиця 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.* – Киев : КИСИ, 1990. – 64 с.
2. *Статистическая физика и термодинамика: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов / сост. И. Д. Кошелева, В. И. Клапченко, Г. В. Кучерова.* – Киев : КИСИ, 1990. – 68 с.
3. *Электричество и магнетизм: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов / сост.: И. Д. Кошелева, В. И. Клапченко, Л. И. Ткачова* – Киев : КИСИ, 1990. – 100 с.
4. *Физика колебаний и волн: Индивидуальные задания по физике для самостоятельной работы студентов / сост.: И. Д. Кошелева, В. И. Клапченко.* – Киев : 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.* – Киев : КИСИ, 1990. – 56 с.
6. *Збірник задач з фізики : навч. посібник / В. М. Казанський, Г. Д. Потапенко, Ю. І. Григораш та ін.* – Київ : 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.* – Київ : КНУБА, 2000.
8. *Фізика: Програма, методичні рекомендації та завдання до самостійної роботи / уклад.: В. І. Клапченко, Г. Д. Потапенко, І. О. Азнаурян та ін.* – Київ : КНУБА, 2001.
9. *Розрахунково-графічні завдання до самостійної роботи з фізики : для студентів усіх спеціальностей і форм навчання КНУБА / за ред. В. І. Клапченка.* – Київ : КНУБА, 2002.
10. *Фізика. Практичний курс : навч. посібник / уклад.: В. І. Клапченко, Г. Д. Потапенко, І. О. Азнаурян та ін.* – Київ : 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.* – Київ : Техніка, 1999.

13. *Чолпан П. П.* Фізика : підручник. – Київ : Вища шк., 2003.
14. *Трофимова Т. И.* Курс фізики : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 1990.
15. *Савельев И. В.* Курс фізики : учебник. В 3 т. – М. : Наука, 1989.
16. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс фізики : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 1989.
17. *Конспект лекцій з фізики (електрика та магнетизм) / уклад.: В. І. Клапченко.* – Київ : КНУБА, 1999.
18. *Волькенштейн В. С.* Сборник задач по общему курсу фізики : 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.* – Київ : 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 фізики : учеб. пособие для вузов. – 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. – Київ : 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. – Київ : 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. – Київ : 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/>.

Навчальне видання

КЛАПЧЕНКО Василь Іванович,
АЗНАУРЯН Ірина Олександрівна,
ТАРАСЕВИЧ Віталій Іванович,
КРАСНЯНСЬКИЙ Григорій Юхимович

ФІЗИКА

Збірник задач

(видання друге, виправлене та доповнене)

Редагування та коректура *Т. В. Івченко*

Комп'ютерне верстання *А.П. Селівестрової*

Підписано до друку 18.03. 2026. Формат $60 \times 84_{1/16}$

Ум. друк. арк. 16,27. Обл.-вид. акр. 17,25

Тираж 25 прим. Вид. № 7/І-26. Зам. № 5/1-26

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних сил України, 31, Київ, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002

