

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки
для самостійного вивчення та
виконання контрольних робіт з курсу

“ФІЗИКА”

для слухачів факультету довузівської підготовки
(заочна форма навчання)

Одеса-2013

Методичні вказівки для самостійного вивчення та виконання контрольних робіт з курсу “ФІЗИКА” для слухачів факультету довузівської підготовки (заочна форма навчання).

Укладачі: Расторгуєва Т.Є., Галич Є.А., Ткаченко Н.А., Хохлова О.П.
Одеса, ОДЕКУ, 2013 р., 87 с. укр. мова.

ЗМІСТ

Передмова.....	4
1 Перелік тем курсу фізики.....	5
1.1 Вступ до предмету	5
1.2 Механіка.....	5
1.3 Молекулярна фізика і термодинаміка.....	6
1.4 Електродинаміка.....	7
1.5 Фізика коливань	8
1.6 Фізика атома і атомного ядра	8
2 Організація самостійної роботи.....	9
2.1 Правила виконання контрольних робіт.....	9
2.2 Вибір варіанту контрольних робіт.....	10
3 Завдання на самостійну роботу.....	11
3.1 Контрольні роботи № 1, № 2 “Механіка”.....	11
3.1.1 Головні теоретичні положення.....	11
3.1.2 Зразки розв'язання задач.....	20
3.1.3 Задачі для самостійного рішення.....	22
3.2 Контрольні роботи № 3, № 4 “Молекулярна фізика і термодинаміка”	25
3.2.1 Головні теоретичні положення.....	25
3.2.2 Зразки розв'язання задач.....	34
3.2.3 Задачі для самостійного рішення.....	34
3.3 Контрольні роботи № 5, № 6 “Електродинаміка”.....	38
3.3.1 Головні теоретичні положення.....	38
3.3.2 Зразки розв'язання задач.....	47
3.3.3 Задачі для самостійного рішення.....	47
3.4 Контрольна робота № 7 “Фізика коливань. Оптика. “Фізика атома і атомного ядра”	50
3.4.1 Головні теоретичні положення.....	50
3.4.2 Зразки розв'язання задач.....	66
3.4.3 Задачі для самостійного рішення.....	68
Додатки	70
Перелік навчальної літератури.....	86

ПЕРЕДМОВА

Фізика – фундаментальна наука, яка є основою для опанування усіх спеціальних природничонаукових дисциплін.

Мета дисципліни фізики – доведення студентам основних принципів та законів фізики, їх математичної форми; ознайомлення з фундаментальними фізичними явищами та методами їх спостереження. Даний курс фізики розрахований на учнів XI класів середньої школи, а також на осіб, які закінчили повний курс середньо освітньої школи.

Мета цих методичних вказівок – допомогти слухачам факультету довузівської підготовки заочної форми навчання в самостійній роботі при вивченні фізики у рамках програми середньої школи. Після вивчення курсу фізики слухачі підготовчого відділення повинні **знати**:

- основні поняття і формулювання законів фізики;
- основні типи взаємодії матеріальних об'єктів;
- основні фізичні величини і характеристики, зв'язки між ними, області використання кількісних співвідношень що їх пов'язують;
- фізичні теорії, що дозволяють пояснити відомі наукові результати;
- одиниці вимірювання фізичних величин в системі СІ, а також позасистемні одиниці, які часто вживаються у практиці.

На основі одержаних знань слухачі повинні **вміти**:

- застосовувати закони і співвідношення між відповідними величинами для розв'язання задач;
- будувати малюнки і графіки, які допомагають розв'язанню задач та ілюструють результат;
- виконувати необхідні обчислення і аналізувати отриманий результат з точки зору його правдоподібності;
- користуватися навчальною та довідковою літературою;
- бути ознайомленими з методами вимірювання основних фізичних величин та відповідним устаткуванням.

В методичних вказівках дається завдання на виконання 4 контрольних робіт, які згідно програмі охоплюють усі розділи курсу фізики: “Механіка”, “Молекулярна фізика та термодинаміка”, “Електродинаміка”, “Фізика коливань”, Оптика”, “Фізика атома і атомного ядра”.

Кожна контрольна робота в свою чергу містить в собі:

- головні теоретичні положення;
- приклади розв'язання задач
- задачі для самостійного рішення (задачі згідно визначеному варіанту завдання)

1 ПЕРЕЛІК ТЕМ КУРСУ ФІЗИКИ

Теми занять і розподіл годин, що відводяться на вивчення цих тем, відповідають затвердженню в ОДЕКУ навчальному плану і програмі курсу фізики.

1.1 Вступ до предмету – 2 год.

Природа. Об'єкти природи та їх структура. Матерія. Речовина та фізичне поле. Час та фізичний простір. Фізичні форми руху та фізичні явища. Фізичні величини та їх вимірювання. Структура фізики.

1.2 Механіка – 70 год.

Основи кінематики. Система відліку. Механічний рух. Відносність спокою. Матеріальна точка. Траєкторія, шлях, переміщення. Середня та миттєва швидкість. Середнє та миттєве прискорення. Прямолінійний рівномірний рух. Рівноприскорений рух. Рівняння та графіки залежності кінематичних величин від часу в прямолінійному рівномірному та прямолінійному рівноприскореному рухах. Прискорення вільного падіння. Вільне падіння як окремий випадок рівноприскореного руху. Рух тіла, кинутого під кутом. Додавання переміщень і швидкостей. Кінематичні характеристики в різних системах відліку. Рівномірний рух по колу. Кутове переміщення. Кутова швидкість. Період і частота. Зв'язок модуля миттєвої швидкості з кутовою швидкістю. Доцентрове прискорення.

Основи динаміки. Закон інерції Галілея. Перший закон Ньютона. Інерціальні та неінерціальні системи відліку. Інерція та інертність. Маса. Сила. Принцип суперпозиції сил. Третій закон Ньютона. Основне рівняння динаміки поступального руху. Принцип відносності Галілея. Гравітаційні та електромагнітні сили. Закон унесвітнього тяжіння. Центр мас. Сила пружності. Закон Гука. Вага тіла. Невагомість. Сила тертя спокою та ковзання. Коефіцієнт тертя ковзання. Статика як окремий випадок динаміки. Момент сили. Умови рівноваги тіла.

Робота. Потужність. Енергія. Механічна робота. Консервативні сили. Робота сил тяжіння та пружності. Потужність. Енергія. Механічна енергія системи тіл. Зв'язок роботи з енергією. Кінетична та потенціальна енергії. Закон збереження енергії в механічних системах.

Статика та динаміка рідин і газів. Тиск. Закон Паскаля. Сполучені посудини. Атмосферний тиск. Дослід Торрічеллі. Зміна атмосферного тиску з висотою. Архімедова сила. Умови плавання тіл. Рівняння Бернуллі.

1.3 Молекулярна фізика і термодинаміка - 24 год.

Вступ до молекулярної фізики. Тепловий рух і теплові явища. Статистичні (мікроскопічні) і термодинамічні (макроскопічні) фізичні величини. Статистичні та термодинамічні методи опису теплових явищ. Молекулярно-кінетична теорія і термодинаміка.

Основи молекулярно-кінетичної теорії. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії та їх дослідні обґрунтування. Дифузія і броунівський рух. Маса та розміри молекул. Число Авогадро. Взаємодія атомів і молекул речовини в різних агрегатних станах. Ідеальний газ. Основне рівняння молекулярно - кінетичної теорії. Термодинамічна рівновага. Температура та її вимірювання. Температурні шкали. Абсолютний нуль. Шкала Кельвіна. Рівняння Менделєєва-Клапейрона як наслідок основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії. Ізопроцеси в газах.

Основи термодинаміки. Внутрішня енергія речовини. Теплопередача (теплообмін). Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини. Робота газу. Способи змінювання внутрішньої енергії. Перший закон термодинаміки. Застосування цього закону до ізопроцесів. Питомі теплоємності газів за сталого тиску й об'єму. Адіабатичний процес. Плавлення та твердіння тіл. Температура плавлення (твердіння). Питома теплоємність плавлення. Випаровування і конденсація. Кипіння. Температура кипіння. Питома теплота пароутворення. Рівняння теплового балансу для найпростіших теплових процесів. Насичена та ненасичена пара. Залежність температури кипіння рідини від тиску. Теплові явища в атмосфері. Особливості теплового розширення води та його значення в природі. Незворотність теплових процесів. Принцип дії теплових двигунів. Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна. Екологічні проблеми використання теплових машин.

1.4 Електродинаміка – 25,5 год.

Вступ до електродинаміки. Електромагнітна взаємодія. Електричний заряд. Будова атома. Взаємодія елементарних частинок. Елементарний заряд. Закон дискретності електричного заряду. Закон збереження електричного заряду. Структура електродинаміки.

Електростатика. Взаємодія заряджених тіл. Точковий заряд. Закон Кулона. Принцип суперпозиції електростатичних взаємодій. Електричне поле. Напруженість. Лінії напруженості. Однорідне електричне поле. Електричне поле точкового заряду. Діелектрична проникність середовища. Робота електричного поля під час переміщення заряду. Різниця потенціалів. Потенціал. Потенціал поля точкового заряду. Потенціальність електростатичного поля. Еквіпотенціальна поверхня.

Зв'язок між напруженістю однорідного поля та різницею потенціалів. Електроємність провідника. Конденсатор. Електроємність плоского конденсатора. Енергія електричного поля.

Постійний струм. Електричний струм. Сила струму. Умови існування електричного струму. Електричний опір. Закон Ома для однорідної ділянки кола. Джерело струму. Електрорушійна сила (ЕРС). Закон Ома для повного кола. Робота і потужність струму. Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику зі струмом (закон Джоуля-Ленца). Електричний струм у металах, вакуумі, газах. Надпровідність. Електрона емісія. Несамостійний і самостійний розряди. Поняття плазми. Електропровідність напівпровідників. Електронно-дірковий перехід.

Магнітні взаємодії. Магнітне поле. Електромагнітна індукція. Взаємодія провідників зі струмом. Магнітне поле. Магнітна індукція. Однорідне поле. Лінії магнітної індукції. Магнітний потік. Сила Ампера. Сила Лоренца. Рух електричних зарядів в електричному та магнітному полях. Магнітні властивості речовини. Магнітна проникність. Взаємозв'язок електричного та магнітного полів. Спостереження явища електромагнітної індукції. Індукційне електричне поле. ЕРС індукції. Закон електромагнітної індукції. Правило Ленца. Індуктивність. Самоіндукція. Енергія магнітного поля.

1.5 Фізика коливань – 12 год.

Механічні коливання та хвилі. Коливальний рух. Вільні коливання. Амплітуда. Період. Частота. Математичний маятник. Період коливання математичного маятника. Коливання вантажу на пружині. Звукові хвилі. Довжина хвилі. Зв'язок довжини хвилі зі швидкістю її поширення, періодом і частотою. Гучність звуку. Висота тону. Відбиття звуку (луна).

Змінний струм. Одержання змінного синусоїдального струму. Закономірності змінного струму. Діюче значення змінного струму. Опір змінного струму. Закон Ома для змінного струму. Трансформатор змінного струму.

Електромагнітні коливання та хвилі. Коливальний контур. Вільні електромагнітні коливання в контурі. Власна частота коливань в контурі. Формула Томсона. Вимушені електромагнітні коливання. Принцип дії генератора змінного струму. Електромагнітне поле. Електромагнітні хвилі та швидкість їх поширення. Енергія електромагнітної хвилі. Випромінювання електромагнітних хвиль. Електромагнітне випромінювання різних діапазонів довжин хвиль: радіохвилі; інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове та рентгенівське проміння.

1.6 Оптика – 13,5 год.

Хвильова оптика. Світло як електромагнітна хвиля. Швидкість поширення світла. Монохроматичне світло. Зломлення світла. Дисперсія світла. Розподіл енергії в спектрі білого світла. Теплове випромінювання. Інтерференція світла. Дифракція світла. Дифракційні ґрати. Поляризація світла. Види спектрів. Спектральний аналіз.

Геометрична оптика як метод опису поширення світлової енергії. Закони геометричної оптики. Явище повного відбивання. Плоске і сферичне дзеркало. Лінза. Формула тонкої лінзи. Збільшення лінзи. Оптичні прилади. Світловий потік. Сила світла. Освітленість. Закони освітленості.

Квантова оптика. Випромінювання нагрітого тіла. Гіпотеза Планка. Квант випромінювання. Світлові кванти. Фотоелектричний ефект. Закон фотоэффекту. Рівняння Ейнштейна. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Фотон. Тиск світла.

1.7 Фізика атома і атомного ядра – 9 год.

Планетарная модель атома Розефорда. Постулати Бора. Борівські орбіти. Відкриття протона і нейтрона. Теорія будови ядра. Енергія зв'язку ядра. Дефект маси. Природна радіоактивність. Штучна радіоактивність часткове звільнення внутрішньоядерної енергії при екзотермічних реакціях. Закон радіоактивного розпаду.

2 ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

2.1 Правила виконання контрольних робіт

При виконанні контрольних робіт по фізиці слід керуватися рядом важливих правил:

- рішення контрольних робіт, пов'язаних з певним розділом курсу фізики, повинне обов'язково передувати вивчення теоретичного матеріалу всього розділу. Не слід намагатися вирішити задачі, не засвоївши заздалегідь теорію. Для вивчення підручники та посібники (1 - 9);
- приступаючи до рішення задачі, переписіть повністю умову і запишіть дано, де всі величини слід виразити в Міжнародній системі одиниць СІ;
- рішення задачі частіше за все потрібно починати з креслення. Правильне креслення (малюнок) багато в чому полегшить рішення. У ряді випадків креслення обов'язкове, оскільки на ньому обґрунтовані всі міркування і викладення. Креслення повинне бути чітким і опрятним. Його не слід захаращувати цифрами, використовуйте загальноприйняті буквені позначення;

- ретельно проаналізувавши умову задачі, з'ясувавши єство фізичного явища, що лежить в основі, подумайте, які закони, формули можна використовувати в рішенні. Якщо існує декілька рішень, постарайтеся вибрати найраціональніше;
- починайте рішення завжди із загальновідомих законів і формул. Якщо формула не є загальновідомою, а застосовна тільки до конкретних умов задачі, її слід вивести. Записуючи формули, пояснюйте, що позначають в них величини;
- вирішуйте задачі до кінця у алгеброїчному вигляді (буквенному). Лише у одержану остаточну формулу, що виражає шукану величину, підставляйте цифри з одиницями вимірювань. Одиниці вимірювань обов'язково перевірте. Якщо вони не відповідають шуканій величині – значить у рішенні допущена помилка. Таким чином, перевірка розмірності відповіді є додатковим методом самостійного контролю правильності рішення задачі. Можна підставити у формулу тільки числа, (заздалегідь виразити всі величини в системі СІ), а підстановку одиниць вимірювання виконати окремо і переконатися в правильності одержаних одиниць;
- розрахунок відповіді слід виконувати з тим ступенем точності, з якою задана умова задачі. Наприклад, якщо в умові сказано, що маса складає 2,00 кг, відповідь потрібно рахувати з точністю до трьох цифр.

2.1 Вибір варіанту контрольних робіт

Щоб визначити номер вашого варіанту, треба знайти в таблиці букву, з якої починається ваше прізвище та ім'я, потім знайти суму відповідних їм цифр - це буде номер варіанту. Наприклад, Ганєв Дмитро Г-2. Д-1:

2 + 1=3, варіант № 3, завдання 102, 105, 108, 111, 114, 117, 202, 205, 208, 211, 214, 217, 302, 305, 308, 311, 314, 317, 402, 405, 408, 411.

Таблиця вибору номеру варіанту

1	А В Д Є З І К М О Р Т Ф Ц Ш Ю
2	Б Г Е Ж Й Л Н П С У Х Ч Щ Я

Варіанти завдань

Номер варіанта	Номер контрольної роботи	Номери задач	Номер контр. роботи	Номери задач
2	1	101, 104, 107	5	301, 304, 307,
3		102, 105, 108		302, 305, 308
4		103. 106. 109		303, 306, 309
2	2	110, 113, 116	6	310, 313, 316,
3		111, 114, 117		311, 314, 317,
4		112. 115. 118		312. 315. 318
2	3	201, 204, 207	7	401, 404, 407, 410
3		202, 205, 208		402, 405, 408, 411,
4		203. 208. 209		403, 406, 409, 412.
2	4	210, 213, 216		
3		211, 214, 217		
4		212. 215. 218		

3 ЗАВДАННЯ НА САМОСТІЙНУ РОБОТУ

3.1 Контрольні роботи № 1, №2

«МЕХАНІКА»

3.1.1 Головні теоретичні положення

«КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ». *Середня швидкість змінного руху* – це відношення усього шляху (S) до усього часу (t), за який тіло проходить цей шлях

$$v_{cp} = S / t, \quad (3.1.1)$$
$$[v] = \text{м/с}.$$

Миттєва швидкість змінного руху – це швидкість в даний момент часу:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta \vec{r} / \Delta t, \quad (3.1.2)$$

де Δr - це вектор переміщення, $[\Delta r] = \text{м}$; $\Delta t = t - t_0$, де t_0 - початковий час; t - кінцевий час, якщо $t_0 = 0$, тоді $\Delta t_i = t$. $[t] = \text{с}$.

Вектор миттєвої швидкості напрямлений уздовж дотичної до траєкторії руху.

Миттєве прискорення – це відношення зміни швидкості ($\Delta \vec{v}$) до часу (Δt), за який ця зміна відбулася. Прискорення – векторна величина

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta \vec{v} / \Delta t, \quad (3.1.3)$$
$$\Delta t \rightarrow 0, \quad [a] = \text{м/с}^2,$$

де $\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$, \vec{v} – кінцева швидкість (швидкість у момент часу t); \vec{v}_0 – початкова швидкість ($t = 0$), Δt – час, за який відбулася зміна швидкості.

Якщо рух тіла криволінійний, то вектор прискорення \vec{a} має напрям під кутом до вектора швидкості; \vec{a} – це повне прискорення. Проекція вектора повного прискорення на дотичну до траєкторії руху називається *тангенціальним прискоренням* \vec{a}_τ . Проекція вектора повного прискорення на напрям, перпендикулярний дотичній, називається нормальним або *доцентровим прискоренням* \vec{a}_n .

Вектора \vec{a} дорівнює

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

а модуль вектора \vec{a}

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \quad (3.1.4)$$

Якщо рух тіла *прямолінійний*, тоді $\vec{a}_n = 0$, $\vec{a} = \vec{a}_\tau$.

Якщо прискорення однакове в усіх точках шляху і у будь-який момент часу, то рух називається *рівнозмінним*. Рівняння рівнозмінного руху:

$$\vec{a} = \Delta\vec{v} / \Delta t = \vec{v} - \vec{v}_0 / \Delta t = \text{const}, \quad \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \Delta t. \quad (3.1.5)$$

При проектуванні швидкості та прискорення на напрям вісі Ox рівняння рівнозмінного руху мають вигляд:

$$\begin{aligned} v_x &= \pm v_0 \pm a \Delta t, \\ \Delta x = x - x_0 &= \pm v_0 \Delta t \pm a \Delta t^2 / 2 = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2a} \geq 0, \\ x = x_0 + \Delta x &\geq 0, \quad s = s_0 + |\Delta x| \geq 0, \end{aligned} \quad (3.1.6)$$

де x – кінцева координата, x_0 - початкова координата, S – шлях.

У формулах (1.6) знак „+” ставлять перед швидкістю та прискоренням, якщо їх напрям співпадає с напрямом вісі Ox , і знак „-” ставлять, якщо їх напрям протилежний напрямку вісі Ox .

Вільне падіння тіл ($\vec{v}_0 = 0, \vec{a} = \vec{g}$) і рух тіла, кинутого вертикально вгору ($\vec{v}_0 \neq 0, \vec{a} = \vec{g}$) - це приклад рівнозмінного руху.

При проектуванні швидкості та прискорення на напрям вісі Oy , рівняння цих рухів відповідно мають вигляд:

$$\begin{aligned} g_y &= -g, \quad v_{0y} = 0, & g_y &= -g, \quad v_{0y} \neq 0, \quad v_k = 0, \\ v_y &= v_{0y} - g \Delta t, & v_y &= -g \Delta t, \\ y &= h - g \Delta t^2 / 2, & y &= v_{0y} g \Delta t^2 / 2, \end{aligned}$$

$$v_k^2 = 2gh, \quad y = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}, \quad (3.1.7)$$

$$y_{\max} = h = \frac{v^2}{2g}$$

У цих формулах h – висота; $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння; v_k - кінцева швидкість

Рух точки по колу з постійною за модулем швидкістю – це приклад рівномірного *криволінійного* руху. ($\vec{a}_\tau = 0$; $\vec{a} = \vec{a}_n$)

Відношення кута повороту ($\Delta\varphi$) до часу (Δt), за який цей поворот відбувся, називається *кутовою швидкістю* (ω), якщо $\Delta t = T$:

$$\omega = \Delta\varphi / \Delta t = 2\pi / T = 2\pi\nu, \quad [\omega] = \text{с}^{-1}, \quad (3.1.8)$$

де T – період (час одного повного оберту), $[T] = \text{с}$; $\nu = 1/T$ – частота обертання (кількість обертів за одиницю часу) $[\nu] = \text{с}^{-1}$,

Якщо точка рухається по колу радіусу R з постійною лінійною швидкістю ($v = \text{const}$) і $\Delta t = T$, тоді

$$\Delta S = 2\pi R,$$

$$v = \Delta S / \Delta t = 2\pi R / T = 2\pi R\nu = \omega R \quad (3.1.9)$$

При цьому русі змінюється тільки напрям вектора швидкості. Зміну напрямку вектора швидкості характеризує доцентрове прискорення, яке напрямлене вздовж радіуса до центра кола і дорівнює:

$$a_n = v^2 / R = \omega^2 R = 4\pi^2 \nu^2 R \quad (3.1.10)$$

«ДИНАМІКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ». Фізичне тіло, розмірами якого можна нехтувати в даному завданні, називається *матеріальною точкою*.

Основою динаміки точки є три закони Ньютона:

I закон Ньютона - закон інерції. Тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на нього не діють інші тіла або дії інших тіл урівноважені.

Властивість тіл зберігати стан спокою або рівномірного прямолінійного руху називається **інерцією**.

Мірою **інертності** тіла є його **маса**. Маса матеріальної точки дорівнює масі тіла.

Маса – це особлива властивість матерії. Вона виявляється в тому, що тіла мають інерцію (інерційна маса) і що між тілами діють сили тяжіння (гравітаційна маса), [m] = кг.

Фізична величина, яка характеризує дію одних тіл на інші, називається **силою**. В результаті дії сили тіла отримують прискорення або деформуються. Сила - це міра взаємодії тіл. Сила - векторна величина. Вона має чисельне значення, напрям дії і точку прикладення. Точку прикладення сили можна переносити вздовж напрямку її дії.

II закон Ньютона. Прискорення тіла прямо пропорційне силі (\vec{F}), яка діє на тіло, і обернено пропорційне до маси тіла (m):

$$\vec{a} = \vec{F} / m, \quad (3.1.11)$$

тоді,

$$\vec{F} = m \vec{a}, \quad (3.1.12)$$

$$[F] = [m] \cdot [a] = \text{кг} \cdot \text{м/с}^2 = \text{Н (Ньютон)}$$

Оскільки дії сил на тіло не залежать одна від одної, то можна записати узагальнене рівняння

$$m \vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i, \quad (3.1.13)$$

де $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i$ – рівнодіюча всіх сил, які прикладені до тіла.

III закон Ньютона. Сили з якими два тіла діють одне на одне, рівні по величині і протилежні по напрямку:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \text{ або } |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| \quad (3.1.14)$$

При взаємодії тіл, сили \vec{F}_{12} і \vec{F}_{21} прикладені до різних тіл.

«ВИДИ СИЛ В МЕХАНІЦІ». У механіці розглядають два види взаємодії тіл: гравітаційне і електромагнітне. Електромагнітною взаємодією пояснюються сили пружності і сили тертя.

Явища взаємного тяжіння всіх тіл природи називається **гравітацією** або **тяжінням**. Математичний вираз для гравітаційних сил дає **закон всесвітнього тяжіння Ньютона**: Сила гравітації між двома матеріальними точками прямо пропорційна добутку мас цих точок і обернено пропорційна квадрату відстані (r) між ними:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (3.1.15)$$

де $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ - гравітаційна постійна.

Цей закон можна застосовувати для тіл, які мають форму кулі. В цьому випадку беруть відстань між центрами куль.

Силоне поле - це вид матерії, при якому тіла взаємодіють на відстані.

Гравітаційне поле - це силоне поле, яке здійснює взаємодію за законом всесвітнього тяжіння.

Сила тяжіння - це сила, з якою тіло притягується до Землі. Вона дорівнює

$$\vec{F} = m\vec{g} \quad (3.1.16)$$

Прискоренням вільного падіння або **напруженістю гравітаційного поля** називають векторну величину, що дорівнює силі тяжіння, яка діє на тіло масою в 1 кг:

$$\vec{g} = \vec{F} / m \quad (3.1.17)$$

Вагою називають силу, з якою тіло тисне на горизонтальну опору, або розтягує нитку. Сила ваги прикладена до опори або нитки, але не до тіла.

Сили тертя. Для того, щоб примусити рухатися одне тіло по поверхні іншого, потрібно прикласти до нього деяку силу. **Сила тертя спокою** чисельно дорівнює силі, яка діє на тіло, що покоїться, в напрямку можливого руху. Вона має напрям, протилежний можливному руху. Максимальне значення сили тертя спокою дорівнює **силі тертя ковзання**.

Сила тертя ковзання ($\vec{F}_{\text{тр}}$) пропорційна силі реакції опори (\vec{N}):

$$\vec{F}_{\text{тр}} = \mu \cdot \vec{N}, \quad (3.1.18)$$

де μ - коефіцієнт тертя. Сила реакції опору (N) чисельно дорівнює силі нормального тиску тіла на опору (F_n). Сила тертя ковзання має напрям, протилежний напрямку швидкості тіла.

Пружні сили. Якщо тіло при дії зовнішньої сили деформується, то в тілі виникають сили пружності:

$$F_{pr} = -k \cdot \Delta x, \quad (3.1.19)$$

де Δx – деформація тіл; k - коефіцієнт пружності (жорсткість), $[k] = \text{Н/м}$.

Знак мінус в цьому рівнянні стоїть тому, що сила пружності має напрям, протилежний деформації. Силу пружності можна визначити із закону Гюкю:

$$F/S = E \cdot (l - l_0) / l_0 \text{ або } \sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (3.1.20)$$

де $\sigma = F/S$ – пружна напруга, $[\sigma] = \text{Н/м}^2 = \text{Па}$ (Паскаль); $\varepsilon = (l - l_0) / l_0$ – відносна деформація; E – модуль пружності (модуль Юнга); S – площа поперечного перетину; $l - l_0 = x$ – деформація стрижня; l_0 – початкова довжина; l - кінцева довжина стрижня.

«ІМПУЛЬС ТІЛА. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ» . Якщо підставити у формулу (1.12) значення прискорення (1.5), то отримаємо

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0 \quad (3.1.21)$$

Добуток маси тіла на його швидкість ($\vec{P} = m \cdot \vec{v}$) називають **імпульсом** (або кількістю руху) тіла.

$$\vec{P} \text{ – вектор, } \vec{P} \uparrow \vec{v}, [P] = \text{кг} \cdot \text{м/с}$$

Добуток сили на час її дії ($\vec{F} \Delta t$) називають **імпульсом сили**:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \vec{P} - \vec{P}_0 = \Delta \vec{P} \quad (3.1.22)$$

Зміна імпульсу пропорційна добутку сили, яка діє на тіло, на час її дії і відбувається в напрямку дії сили або дії рівнодіючої сил (Це теж **II закон Ньютона**).

Два, три тіла або декілька тіл називаються **системою тіл**.

Сили взаємодії між тілами системи називають **внутрішніми силами**.

Зовнішніми називають такі сили, які діють на тіла даної системи з боку інших тіл.

Якщо на систему тіл зовнішні сили не діють, то система називається **замкненою** або **ізолюваною системою**. У замкненій системі тіл діють тільки внутрішні сили. *При взаємодії тіл замкненої системи загальний імпульс цієї системи не змінюється - закон збереження імпульсу.*

Для системи, яка складається з двох тіл, тоді з II та III законів Ньютона маємо

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2, \quad (3.1.23)$$

де $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02}$ – значення імпульсу до взаємодії між тілами системи;

$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$ – імпульс цієї системи після взаємодії між тілами.

При розв'язанні задач треба вибрати вісь проєкцій (вісь Ox) і проєктувати імпульси тіл на цю вісь.

«ЕЛЕМЕНТИ СТАТИКИ». Статика вивчає умови рівноваги матеріальної точки і тіла. Умова рівноваги матеріальної точки виходить з I закону Ньютона

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad (3.1.24)$$

Матеріальна точка знаходиться в рівновазі (спокої), якщо векторна сума сил, що діють на неї, дорівнює нулю.

Моментом сили F щодо осі O називають добуток цієї сили на плече l :

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot l, \quad [M] = \text{Н}\cdot\text{м}. \quad (3.1.25)$$

Плече сили – це відрізок перпендикуляра, що опущений з вісі обертання O на напрям сили.

Якщо на тіло, яке має вісь обертання O , діє момент сили, то тіло обертається навколо цієї вісі.

Умовно вважають: якщо сила прагне повертає тіло проти годинникової стрілки, то момент цієї сили позитивний; якщо сила повертає тіло за годинниковою стрілкою, то її момент негативний. Якщо на тіло діє декілька сил, які лежать в одній площині, то результуючий момент цих сил щодо осі буде дорівнювати алгебраїчній сумі моментів цих сил:

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^n \vec{M}_i, \quad (3.1.26)$$

Парою сил називають дві рівні паралельні і протилежно направлені сили. **Момент пари** – добуток однієї сили на *плече пари* (мінімальна відстань між напрямками дії сил).

Сили, які діють на тіло, можуть бути прикладені не до однієї точки, а до різних точок тіла. При цьому тіло може рухатися поступально і обертатися.

«РОБОТА. ПРУЖНІСТЬ. ЕНЕРГІЯ». На елементарному переміщенні

\vec{r}
($\Delta \vec{r}$) робота сили (A) виражається формулою

$$A = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = |F| \cdot |\Delta r| \cos \alpha, \quad (3.1.27)$$

де α – кут між напрямком сили (\vec{F}) і переміщенням ($\Delta \vec{r}$).

Можна показати, що на шляху (s), якщо модуль сили і кут не змінюються, робота сили дорівнює

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha, \quad [A] = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж (Джоуль)} \quad (3.1.28)$$

Потужністю називають фізичну величину, що дорівнює роботі, яку здійснює механізм за одиницю часу:

$$N = A/t, \quad [N] = \text{Дж/с} = \text{Вт (Ватт)}. \quad (3.1.29)$$

Якщо тіло під дією сили рухається рівномірно, то потужність визначають по формулі

$$N = F \cdot v. \quad (3.1.30)$$

Енергія (E) – це кількісна міра всіх форм руху матерії. Робота характеризує зміну енергії. Якщо над системою здійснюють роботу зовнішні сили, то енергія системи збільшується, а якщо система здійснює роботу, тоді її енергія зменшується ($[E] = \text{Дж}$):

$$\Delta E = E_2 - E_1 = A_{\text{зовн}} > 0, \quad (3.1.31)$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = A_{\text{внутр}} < 0.$$

Механічною енергією тіла називається фізична величина, що дорівнює максимальній роботі, яку тіло може зробити в даних умовах.

Енергія, яку має тіло, що рухається, називається **кінетичною енергією**:

$$E_k = m \cdot v^2 / 2 \quad (3.1.32)$$

Кінетична енергія тіла залежить від його швидкості.

Енергія, яка залежить від відносного розташування тіл або окремих частин тіла, називається **потенціальною енергією**. Потенціальну енергію мають тіла в гравітаційному полі. Потенціальна енергія тіла масою m , яке підняте на висоту h ($h < R_3$) від поверхні Землі, дорівнює

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (3.1.33)$$

Потенціальна енергія пружної деформації дорівнює

$$E_p = k \cdot \Delta x^2 / 2 \quad (3.1.34)$$

Повною механічною енергією системи тіл називається сума кінетичної і потенціальної енергій всіх тіл цієї системи

$$E = E_k + E_p \quad (3.1.35)$$

Закон збереження механічної енергії. Повна механічна енергія ізольованої системи тіл, в якій діють тільки потенційні сили, залишається постійною (не змінюється):

$$(E_k + E_p)_1 = (E_k + E_p)_2, \quad E = \text{const.} \quad (3.1.36)$$

«ЕЛЕМЕНТИ ГІДРОСТАТИКИ»

Відношення маси тіла (m) до його об'єму (V) називають **густиною тіла**:

$$\rho = m / V, \quad [\rho] = \text{кг/м}^3. \quad (3.1.37)$$

Тиском називається відношення сили тиску до площі, на яку ця сила діє:

$$p = F_n / S, \quad (3.1.38)$$

$[p] = \text{Н/м}^2 = \text{Па (Паскаль)}.$

Тиск рідини на глибині h дорівнює

$$p = \rho \cdot g \cdot h. \quad (3.1.39)$$

Закон Паскаля. Рідина передає зовнішній тиск однаково по всіх напрямках. Цей закон можна застосовувати і для газів. Із закону Паскаля виходить:

а) якщо рідина знаходиться в рівновазі, то на одному рівні в рідині тиск однаковий;

б) якщо на поверхню рідини діє тиск p_0 , то на глибині h в рідині тиск буде дорівнювати

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h. \quad (3.1.40)$$

Закон Архімеда. На тіло, що знаходиться в рідині (або газі), діє виштовхуюча сила, яка дорівнює силі тяжіння витисненої ним рідини (або газу):

$$F_A = \rho_{\text{ж}} \cdot V_T \cdot g, \quad (3.1.41)$$

де $\rho_{\text{ж}}$ – густина рідини; V_T – об'єм частини тіла, яка знаходиться в рідині.

3.1.2 Зразок розв'язання задач

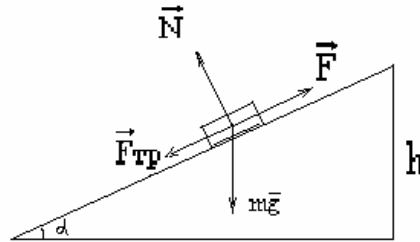
Приклад 1. Похила площина довжиною 3 м складає з горизонтом кут 30° . Тіло масою 50 кг піднімають на вершину за 5 с. Коефіцієнт тертя 0,2.

1. Визначити прискорення тіла.
2. Чому дорівнює сила тертя, що діє при підйомі?
3. Визначити ККД похилої поверхні.

I. Дано:

$S = 3 \text{ м};$
 $\alpha = 30^\circ;$
 $m = 50 \text{ кг};$
 $t = 5 \text{ с};$
 $\mu = 0,2$

- 1) $a - ?$
- 2) $F_{\text{тр}} - ?$
- 3) $\eta - ?$



Розв'язок:

$$1) S = \frac{at^2}{2}; \quad a = \frac{2S}{t^2}; \quad a = \frac{2 \cdot 3 \text{ м}}{5^2 \text{ с}^2} = 0,24 \text{ м/с}^2.$$

$$2) \text{ За визначенням: } F_{\text{тр}} = \mu \cdot N = \mu mg \cos \alpha;$$

$$F_{\text{тр}} = 0,2 \cdot 50 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,87 = 85,26 \text{ Н.}$$

$$3) \eta = A_{\text{полезн.}} / A_{\text{затр.}}$$

$$A_{\text{полезн.}} = mgh = mgs \cdot \sin \alpha, \quad A_{\text{затр.}} = F \cdot S \cdot \cos(\vec{F}, \vec{S}).$$

Силу \vec{F} знайдемо з другого закону Ньютона:

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

Запишемо останнє рівняння в проекціях на вісь x :

$$F - mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma.$$

$$F = m(a + g \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha);$$

$$\eta = \frac{mgS \sin \alpha}{m(a + g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha)S \cos \alpha} = \frac{g \sin \alpha}{(a + g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha) \cos \alpha}$$

$$\eta = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5}{(0,24 \text{ м/с}^2 + 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,87) \cdot 0,87} = 0,82.$$

$$\eta = 0,82 \cdot 100 \% = 82 \%$$

Відповідь: $a = 0,24 \text{ м/с}^2$; $F_{\text{тр}} = 85,3 \text{ Н}$; $\eta = 82\%$.

Приклад 2. Кулька, підвішена на нитці, робить обертальний рух у горизонтальній площині з кутовою швидкістю π рад/с. Радіус траєкторії кульки 80 см.

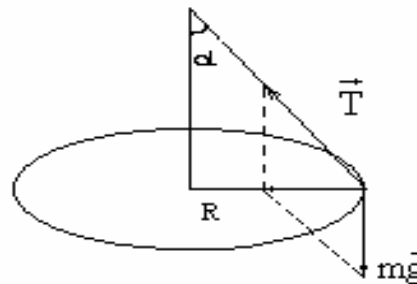
1. Визначити лінійну швидкість кульки.
2. Чому дорівнює період обертання?
3. На який кут від вертикалі відхилилася нитка?

П. Дано:

$$\omega = \pi, \text{ с}^{-1};$$

$$R = 0,8 \text{ м};$$

-
- 1) v - ?
 - 2) T - ?
 - 3) α - ?



Розв'язок

$$1) v = \omega \cdot R;$$

$$v = 3,14 \text{ с}^{-1} \cdot 0,8 \text{ м} = 2,5 \text{ м/с}.$$

$$2) T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad T = \frac{2\pi}{\pi \text{ с}^{-1}} = 2 \text{ с}.$$

3) Застосуємо другий закон Ньютона

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц}},$$

де T – сила пружності нитки; mg – сила тяжіння;

$a_{\text{ц}}$ - доцентрове прискорення.

Спроектуємо це рівняння на осі x і y і розв'яжемо відносно α :

$$\text{tg} \alpha = \frac{ma_{\text{ц}}}{mg}.$$

$$\text{Так як } a_{\text{ц}} = \frac{V^2}{R}, \text{ то } \alpha = \text{arctg} \frac{V^2}{Rg}.$$

$$\alpha = \text{arctg} \frac{(2,5 \text{ м/с})^2}{0,8 \text{ м} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} = \text{arctg} 0,7972$$

$$\alpha \approx 38^\circ 30'$$

Відповідь: $v = 2,5 \text{ м/с}$; $T = 2 \text{ с}$; $\alpha \approx 38^\circ 30'$.

3.1.3. Задачі для самостійного розв'язання

101. Точка рухається по прямій відповідно до рішення $X = At + Bt^2$, де $A = 6$ м/с; $B = -0,125$ м/с².
1. Визначити положення точки в початковий момент часу.
 2. Визначити середню швидкість точки в інтервалі часу від 2 до 6 с.
 3. Знайти координати точки в той момент часу, коли вона змінює напрямок руху.
102. Щоб злетіти, літак має набрати швидкості $v = 250$ км/год. Рух літака вважати рівноприскореним.
1. Скільки часу триває розгін, якщо цієї швидкості літак досягає в кінці злітної смуги завдовжки $l = 1000$ м?
 2. З яким прискоренням він рухається ?
 3. Яка середня швидкість літака на цій ділянці?
103. Тіло рухається в горизонтальній площині прямолінійно зі швидкістю $v_0 = 30,0$ м/с. Через $t_1 = 20,0$ с після початку дії постійної сили воно набуло швидкості $v_1 = 20,0$ м/с, спрямованої в протилежний бік.
1. Визначити модуль переміщення, яке здійснило тіло впродовж цього руху.
 2. Визначити шлях, що воно пододало.
 3. Визначити модуль прискорення.
104. Камінь кинули з вишки в горизонтальному напрямку. Через $t_n = 2,0$ с він упав на землю на відстані $S = 40$ м від основи вишки. Опором повітря знехтувати.
1. Визначити висоту вишки
 2. Визначити початок \vec{v}_0 швидкість каменя
 3. Визначити кінцеву \vec{v}_k швидкість каменя та її напрямок
105. Бомбардувальник пікірує на ціль під кутом 60° до горизонту зі швидкістю 540 км/год і скидає бомбу на висоті $h = 600$ м. Опором повітря знехтувати
1. Знайти час падіння бомби.
 2. На якій відстані s від цілі вздовж горизонтальні потрібно скинути бомбу, щоб вона влучила в ціль?
 3. Знайти кінцеву швидкість бомби.
106. З літака, що летить горизонтально зі швидкістю 360 км/год, на висоті 2 км скинутий вантаж. Опір повітря не враховувати.
1. За який час вантаж впаде на землю?
 2. Яку відстань пролетить за цей час літак?
 3. На якій висоті швидкість вантажу буде спрямована під кутом 30° до горизонту?

107. Кулька масою 100 м, що прикріплена до гумового шнура, рухається рівномірно по колу, сковзаючи по гладкій горизонтальній поверхні. Період обертання кульки 5 с. жорсткість шнура 1 н/с. Довжина не розтягнутого шнура 10 см.
1. З якою частотою обертається кулька?
 2. Чому дорівнює циклічна частота обертання кульки?
 3. Знайти радіус кола, по якому рухається кулька.
108. Барабан лебідки радіусом 10 см, рівномірно обертаючись, піднімає вантаж зі швидкістю 0,4 м/с.
1. Визначити кутову швидкість обертання барабана.
 2. Чому дорівнює період і частота обертання барабана?
 3. Визначити доцентрове прискорення точок барабана, які найбільш розташовані від осі обертання?
109. Кулька, що підвішена на нитці, робить обертальний рух у горизонтальній площині з кутовою швидкістю π рад/с. Радіус траєкторії кульки 80 см.
1. Визначити лінійну швидкість кульки.
 2. Чому дорівнює період обертання?
 3. На який кут від вертикалі відхилилася нитка?
110. Похила площина складає з горизонтом кут 60° . Тіло масою 16 кг починає сковзати по ній без тертя і падає з похилої площини на візок з піском. Вага візка з піском 900 Н. Висота початкового положення тіла над рівнем візка 5 м.
1. Визначити прискорення тіла.
 2. Скільки часу триває спуск?
 3. З якою швидкістю почне рухатися візок, коли тіло упаде на неї (тертя не враховувати)?
111. З вершини похилої площини, довжина якої 10 м і висота 5 м, починає сковзати тіло. Коефіцієнт тертя дорівнює 0,2.
1. Чому дорівнює прискорення тіла?
 2. Скільки часу триває спуск?
 3. Яку швидкість буде мати тіло в кінці похилої площини?
112. Похила площина довжиною 3 м складає з горизонтом кут 30° . Тіло масою 50 кг піднімають на вершину за 5 с. Коефіцієнт тертя 0,2.
1. Визначити прискорення тіла.
 2. Чому дорівнює сила тертя, що діє при підйомі?
 3. Визначити ККД похилої площини.
113. На горизонтальній ділянці колії локомотив розвиває постійну силу тяги $F = 3,5 \cdot 10^5$ Н. На шляху завдовжки $l = 600$ м швидкість потяга масою $m = 1,0 \cdot 10^6$ кг збільшується від $v_1 = 10$ м/с до $v_2 = 20$ м/с.
1. Визначити роботу сили тяги
 2. Чому дорівнює зміна кінетичної енергії під час руху?

3. Визначити коефіцієнт опору рухові, який дорівнює відношенню модуля сили опору до модуля сили нормальної реакції рейок.
114. Тіло кинуте з висоти 5 м вертикально вниз зі швидкістю 20 м/с, занурилося в ґрунт на глибину 20 см, маса тіла 2 кг. Опором повітря зневажити.
1. Чому дорівнює потенційна енергія тіла в початковий момент?
 2. Визначити швидкість тіла в момент удару об землю.
 3. Знайти роботу сили опору ґрунту.
115. Під дією постійної сили тіло масою $m = 100$ кг піднімається на висоту $h = 15$ м упродовж часу $\tau = 10$ с. Початкова швидкість тіла дорівнює нулю.
1. Визначити прискорення, з яким піднімається тіло?
 2. Чому дорівнює постійна сила?
 3. Визначити роботу цієї сили.
116. Куля масою 10 м летить зі швидкістю 500 м/с під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту, попадає в брусок масою 10 кг і застряє в ньому. Коефіцієнт тертя бруска об площину дорівнює 0,3.
1. Визначити імпульс кулі.
 2. Визначити кінетичну енергію кулі.
 3. Яка відстань пройде брусок до зупинки?
117. Людина стоїть на нерухомому візку і кидає горизонтально камінь масою 8 кг зі швидкістю 5 м/с. Маса візка з людиною – 160 кг.
1. Визначити кінетичну енергію каменю в момент кидка.
 2. Обчислити роботу, яку виконала людина.
 3. Визначити відстань, що пройде візок до зупинки.
118. Людина стоїть на ковзанах на льоді і кидає горизонтально камінь масою 0,5 кг. Через 2 с. камінь падає на землю на відстані 20 м від того місця, де його кидали. Маса людини 60 кг. Коефіцієнт тертя ковзанів об лід 0,02.
1. Чому дорівнює сила тертя між ковзанами і льодом?
 2. З якою швидкістю почне рухатися людина після кидка?
 3. На яку відстань він відкотиться від місця кидання?

3.2 Контрольні роботи № 3, №4

«МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА»

3.2.1 Головні теоретичні положення

Для пояснення багатьох властивостей газів, рідних і твердих тіл використовується *молекулярно - кінетична теорія*. Її основні положення:

- 1) всі тіла складаються з молекул, а молекули – з атомів;

2) молекули і атоми знаходяться в стані безперервного хаотичного руху;

3) між молекулами і атомами діють сили притягнення і відштовхування;

Кожна речовина може знаходитися в твердому, рідкому і газоподібному станах. Тверді речовини можуть бути двох видів: кристалічні і аморфні. У твердому тілі молекули і атоми здійснюють коливальні рухи біля положень рівноваги. У рідинах молекули здійснюють коливання, а також переміщуються. Вони вільніші, ніж молекули твердих тіл. У газах молекули вільні і між зіткненнями один з одним рухаються прямолінійно.

Безперервний хаотичний рух молекул називають **тепловим рухом**.

Молекули будь-якої речовини мають **потенціальну енергію взаємодії** (E_p) і **кінетичну енергію теплового руху** (E_k).

Ідеальний газ – це такий газ, у якому середня відстань між молекулами набагато більша від розмірів молекул, і тому в ньому потенціальною енергією молекул нехтують

«ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ МОЛЕКУЛЯРНО - КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ»

1) **Відносною молекулярною масою** (M_r) – називають відношення маси молекули (m_0) до $1/12$ маси атома Карбону (m_{0c}) (атомної одиниці маси, а.о.м.)

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0c}} \quad (3.2.1)$$

M_r - безрозмірна величина.

2) **Один моль** - кількість речовин, в якій міститься стільки ж молекул або атомів, скільки у карбоні $\frac{12}{6} C$ масою 0,012 кг.

3) **Стала Авогадро** (N_A) – число атомів або молекул у 1 молі будь – якої речовини.

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}. \quad (3.2.2)$$

4) **Молярна маса** - маса одного моля речовини.

$$M = m_0 N_A = M_r \cdot 10^{-3}. \quad [M] = 1 \text{ кг/моль}. \quad (3.2.3)$$

5) Маса молекули в (кг), виражена через молярну масу.

$$m_0 = \frac{M}{N_A}, \quad [m_0] = 1 \text{ кг} \quad (3.2.4)$$

6) Маса тіла в (кг), виражена через масу однієї молекули (m_0) і число молекул (N)

$$m = m_0 N \quad [m] = 1 \text{ кг} \quad (3.2.5)$$

7) Кількість речовин (ν) дорівнює відношенню числа молекул в даному тілі (N) до сталої Авогадро (N_A), тобто до числа молекул в 1 молі речовини, або відношенню маси тіла до молярної маси.

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} \quad [\nu] = 1 \text{ моль} \quad (3.2.6)$$

8) Згідно із законом Авогадро, **1 моль ідеального газу** (V_M) займає за нормальних умов ($p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па, $T = 273$ К) об'єм V_M

$$V_M = \frac{V}{\nu} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ моль}^{-1} \quad (3.2.7)$$

9) Концентрація (n) дорівнює числу частинок в одиниці об'єму

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_A}{V} \quad [n] = 1 \text{ м}^{-3} \quad (3.2.8)$$

Безперервний хаотичний рух молекул називають **тепловим рухом**. Молекули газу, що рухаються хаотично, мають неоднакові швидкості, тому тепловий рух характеризують середньою квадратичною швидкістю.

Середній квадрат проекції швидкості:

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} \quad \left[\overline{v^2} \right] = 1 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \quad (3.2.9)$$

Середня квадратична швидкість молекул ($\overline{v}_{кв}$) - це корінь квадратний із середнього квадрату швидкості

$$\overline{v}_{кв} = \sqrt{\overline{v^2}} \quad \left[\overline{v} \right] = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.2.10)$$

Середня кінетична енергія поступального руху молекул

$$\overline{E_k} = \frac{\overline{E}_{k1} + \overline{E}_{k2} + \dots + \overline{E}_{kN}}{N} = \frac{\overline{m}_0 \overline{v^2}}{2}, \quad \left[\overline{E}_k \right] = 1 \text{ Дж} \quad (3.2.11)$$

де m_0 – маса молекули; N – кількість молекул.

Температура – це величина, яка характеризує теплову рівновагу системи. У всіх частинах системи, що перебуває в тепловій рівновазі, температура однакова.

Температура вимірюється рідинними або газовими термометрами, відповідним чином калібруваними. Висока температура вимірюється оптичними термометрами (за спектром випромінювання) або електричними (напівпровідникові термістори, термопари).

У міжнародній шкалі температур за нуль прийнято температуру танення льоду при нормальному атмосферному тиску, за 100°C – температуру пари киплячої води при нормальному атмосферному тиску. 1/100 цього інтервалу – це 1°C (Цельсія). Позначається $t^{\circ}\text{C}$.

У термодинамічній шкалі температур за нуль прийнята температура, при якій припинився б тепловий рух частинок, із яких складається тіло. Ця температура називається **абсолютним нулем температур**. Одиниця термодинамічної шкали температур у системі СІ – кельвін (К). Позначається T ($1\text{ К} = 1^{\circ}\text{C}$).

Формула зв'язку термодинамічної температури (T) і температури за міжнародною шкалою температур:

$$T = (273,15 + t) \text{ К.} \quad (3.2.12)$$

За міжнародною шкалою **абсолютний нуль** відповідає температурі $+273,15^{\circ}\text{C}$.

У молекулярно – кінетичній теорії температура – це величина, зумовлена середньою кінетичною енергією частинок із яких складається система:

$$\overline{E}_k = \frac{3}{2} kT \text{ - для одноатомних молекул} \quad (3.2.13)$$

$$\overline{E}_k = \frac{5}{2} kT \text{ - для двоатомних молекул} \quad (3.2.14)$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана, яка зв'язує температуру в енергетичних одиницях з температурою в кельвінах (T):

$$Q = kT$$

«ТЕПЛОВЕ РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ І РІДКИХ ТІЛ». При нагріванні звичайні тіла розширюються, а при охолодженні стискаються.

Для твердих тіл використовують формули лінійного і об'ємного розширення, для рідин і газів – об'ємного розширення. Так

$$l_t = l_0(1 + \alpha t) \quad (3.2.15)$$

де l_t – довжина тіла при температурі $t^0\text{C}$; l_0 – довжина тіла при температурі 0^0C ; α – коефіцієнт лінійного розширення:

$$V_t = V_0(1 + \beta t), \quad (3.2.16)$$

де V_t – об'єм при температурі $t^0\text{C}$, V_0 – об'єм тіла при температурі 0^0C , β – коефіцієнт об'ємного розширення.

Для твердого тіла при невеликих температурах виконується співвідношення $\alpha = 3\beta$.

«ОСНОВИ КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ІДЕАЛЬНИХ ГАЗІВ»

Основне рівняння МКТ, яке виражає залежність тиску газу (p) від концентрації молекул (n) і температури (T):

$$p = nkT \quad (3.2.17)$$

Закон Авогадро: у рівних об'ємах газів при однакових температурах і тиску міститься однакова кількість молекул:

$$p = nkT, \quad n = \frac{N}{V}, \quad \text{отже } p = \frac{N}{V}kT \quad (3.2.18)$$

Концентрація (n) дорівнює числу частинок в одиниці об'єму:

$$n = \frac{N}{V}, \quad [n] = \text{м}^{-3}.$$

Середня швидкість теплового руху одноатомних молекул

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{2\bar{E}_k}{m_0}} \quad (3.2.19)$$

$R = k \cdot N_A = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ – універсальна газова стала.

«ГАЗОВІ ЗАКОНИ. ІЗОПРОЦЕСИ». Кожна система - газ, рідина, тверде тіло характеризується своїми рівняннями стану. Знаючи рівняння стану, можна визначити, як будуть відбуватися різні процеси в системі при визначених зовнішніх умовах. На досвіді були відкриті газові закони.

Газові закони - це кількісні залежності одного параметра від іншого для визначеної маси газу в ізопроцесі.

Ізопроцеси – це процеси, при яких один з параметрів системи не змінюється.

Якщо маса газу (m) залишається постійною, то поведінку газу описують **три закони**:

1. **Закон Бойля – Маріотта** (ізотермічний процес). При постійній температурі добуток тиску даної маси газу на його об'єм – величина постійна:

$$\begin{array}{|l} p V = \text{const} \\ \hline m = \text{const} \quad T = \text{const} \end{array} \quad (3.2.20)$$

2. **Закон Гей – Люссака** (ізобарний процес). При постійному тиску і незмінній масі газу коефіцієнт об'ємного розширення для всіх газів однаковий і рівний $(1/273) \text{ K}^{-1}$, або при нагріванні на 1° C під постійним тиском об'єм даної маси газу збільшується на $1/273$ того об'єму, який цей газ займає при 0° C :

$$V_t = V_0(1 + \beta t), \quad \beta = (1/273) \text{ K}^{-1} \quad (3.2.21)$$

Використовуючи термодинамічну температуру T , можна написати

$$\begin{array}{|l} \frac{V}{T} = \text{const} \\ \hline m = \text{const} \quad p = \text{const} \end{array} \quad (3.2.22)$$

3. **Закон Шарля** (ізохорний процес). При постійному об'ємі і незмінній масі газу термічний коефіцієнт тиску для всіх газів однаковий і дорівнює $1/273 \text{ K}^{-1}$, або при нагріванні на 1° C при постійному об'ємі тиск даної маси газу збільшується на $1/273$ того тиску, який цей газ має при 0° C (для всіх газів):

$$p_t = p_0(1 + \gamma t), \quad \gamma = 1/273 \text{ K}^{-1} \quad (3.2.23)$$

Використовуючи термодинамічну температуру T , можна написати

$\frac{p}{T} = const$	
$m = const$	$V = const$

(3.2.24)

Експериментальні газові закони описують процеси, в яких маса газу (m) і один з параметрів p , V або T змінюються, зручно використовувати **об'єднаний закон**: добуток тиску даної маси газу на його об'єм, поділений на термодинамічну температуру, є величина постійна:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{pV}{T} = const$$

$$m = const$$

(3.2.25)

Обчислимо значення постійною ($const$) для одного моля газу, що знаходиться за нормальних умов, тобто $p_0 V_0 / T_0$.

Відомо, що при $p_0 = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ і $T_0 = 273 \text{ К}$ ($t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$) 1 моль будь-якого газу займає об'єм $V_{0m} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$. Отже

$$R \frac{p_0 V_{0m}}{T_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 0,0224}{273} = 8,31 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \right). \quad (3.2.26)$$

Постійна $R = 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$ називається **молярною газовою постійною**.

Отже, рівняння стану ідеального газу для моля газу:

$$pV_M = RT \quad (3.2.27)$$

У визначенні R ми мали $V_{0m} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ для одного моля газу з масою M . Маса газу (m) займатиме об'єм в m/M разів більше, ніж V_{0m} . Тому для будь-якої маси газу m маємо

$pV = \frac{m}{M} RT$

(3.2.28)

Тут m/M – число молів даного газу, p , V , T – тиск, об'єм і температура даного газового стану.

Рівняння (3.2.28) називається рівняння стану ідеального газу (рівнянням Менделєєва – Клапейрона).

«ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ»

Основна ідея термодинаміки – застосування самих загальних законів (законів збереження енергії) до теплових явищ.

Об'єкт вивчення термодинаміки - *термодинамічна система*.

Внутрішня енергія тіла (U) – це сума кінетичних енергій (E_{kN}) теплового руху всіх часток і потенційних енергій (E_{pN}) їхньої взаємодії:

$$U = \sum_N E_{kN} + \sum_N E_{pN}, \quad (3.2.29)$$

де N - число часток.

Відомо, що температура (T) є мірою середньої кінетичної енергії теплового руху часток. Середня потенційна енергія взаємодії часток залежить від об'єму (V) речовини (тому що при зміні обсягу змінюється середня відстань між частками). Отже, внутрішня енергія тепла залежить від температури й об'єму. Це значить, що внутрішня енергія тіл визначається параметрами (T, V, p), що характеризують стан тіл:

$$U = f(T, V), \text{ або } U = f(p, T), \text{ або } U = f(p, V).$$

У середині тіла може відбуватися обмін енергіями між вхідними в його склад частками. При *відсутності* зовнішніх сил сума кінетичних і потенційних енергій усіх часток тіла залишається *постійною*.

Можна затвердити, що *зміна* внутрішньої енергії тіла зв'язано з його взаємодією з іншими тілами і навколишнім середовищем.

Термодинамічною системою називають тіло чи сукупність тіл, у яких відбуваються процеси, зв'язані зі зміною енергії. Це може бути газ, рідина, тверде тіло, людський організм і т.д. Найпростіша термодинамічна система – газ у циліндрі.

Ізольованої (замкнутої) термодинамічною системою називають систему, у якій відсутній всякий обмін із зовнішнім середовищем.

Термодинамічною рівновагою називають такий стан, у якому ізольована система приходить з часом. У стані термодинамічної рівноваги параметри системи залишаються *постійними*.

Термодинамічним процесом називають перехід системи з однієї термодинамічної рівноваги в інше.

«ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ». Ідеальний газ є термодинамічною системою. Тому що молекули ідеального газу не взаємодіють одна з одною, тоді їхню потенційну енергію можна вважати рівної нулеві.

Внутрішня енергія ідеального газу дорівнює сумі кінетичних енергій теплового руху молекул:

$$U = E_{k1} + E_{k2} + E_{k3} + \dots + E_{kN} = \sum E_{kN}, \quad (3.2.30)$$

де N - число молекул.

Середня кінетична енергія молекул ідеального газу визначається рівнянням (2.5)

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT.$$

Якщо газ містить N молекул, то їхня загальна енергія

$$U = \frac{3}{2} k \cdot T \cdot N \quad \text{или} \quad U = \frac{3}{2} k \cdot T \cdot \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (3.2.31)$$

де m – маса газу; M – молярна маса цього газу; k – постійна Больцмана; N_A – число Авогадро; $R = k \cdot N_A$ – універсальна газова постійна.

З формули видно, що внутрішня енергія ідеального газу прямо пропорційна його абсолютній температурі.

Зміна внутрішньої енергії ідеального газу в термодинамічному процесі визначається тільки зміною його температури і не залежить від характеру цього процесу:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} N \cdot k (T_2 - T_1). \quad (3.2.32)$$

Існує два способи зміни внутрішньої енергії: **теплопередача і здійснення роботи.**

Теплопередачаю (теплообміном) називається процес зміни внутрішньої енергії системи без здійснення над нею роботи зовнішніми силами.

Міра внутрішньої енергії в процесі теплопередачі називається **кількістю теплоти (Q).**

Зміна внутрішньої енергії тіла дорівнює кількості теплоти, що тіло одержало або втратило при теплообміні, тому $[Q] = Дж$:

$$Q = \Delta U = U_2 - U_1, \quad (3.2.33)$$

де U_1 і U_2 - початкове і кінцеве значення внутрішньої енергії.

Як у механіці робота (A) служить мірою зміни енергії тіл, так кількість теплоти (Q) служить мірою зміни внутрішньої енергії тіл при теплообміні.

Існують три види теплопередачі – конвекція, теплопровідність і випромінювання.

Конвекція (у газах і рідинах) – передача теплоти шляхом перемішування холодних і теплових шарів речовин. Приклади конвекції: перемішування повітря в кімнаті, що обігривається, нагрівання рідини знизу судини, морські течії і т.д.

Теплопровідність (газів, рідин і твердих тіл) – передача теплоти від більш нагрітої частини тіла до менш нагрітого.

Теплопровідність різних тіл різна. Тверді тіла – гарні провідники тепла (особливо метали), рідини – менш теплопровідні. Самі слабкі провідники тепла – це газы.

Випромінювання здійснюється на відстані за допомогою електромагнітних хвиль. Приклад: нагрівання за допомогою сонячних променів.

При теплопередачі одні тіла віддають деяку кількість теплоти (при цьому вони охолоджуються), інші тіла отримують таку ж кількість теплоти (при цьому вони нагріваються), таким чином *рівняння теплового балансу*:

$$Q_{\text{від.}} = Q_{\text{отр.}} \quad (3.2.34)$$

Формула кількості теплоти для процесів *нагрівання* і *охолодження*:

$$Q = c m (T_2 - T_1), \quad (3.2.35)$$

де T – температура за термодинамічною шкалою Кельвіна ($T = t^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{C}$); c – *питома теплоємність* речовини, тобто кількість теплоти, що потрібна для нагрівання одиниці маси речовини на 1K ;

Формула кількості теплоти для процесів *плавлення* і *твердіння*:

$$Q = \lambda m, \quad (3.2.36)$$

де λ – *питома теплота плавлення*, тобто, кількість теплоти, що потрібна для перетворення на рідину одиниці маси твердої речовини в точці плавлення.

Формула кількості теплоти для процесів *пароутворення* і *конденсації*:

$$Q = Lm \quad (3.2.37)$$

де L – *питома теплота пароутворення*, тобто кількість теплоти, що потрібна для перетворення на пару одиниці маси рідини в точці кипіння.

При здійсненні роботи внутрішня енергія системи тіл може змінюватися. Згідно першому закону термодинаміки

$$Q = (U_2 - U_1) + A \quad (3.2.38)$$

Кількість теплоти, що передається системі тіл, витрачається на збільшення її внутрішньої енергії і на роботу, яку здійснює система проти зовнішніх сил.

Якщо $Q = 0$, тобто система не отримує теплоту, то $A = -\Delta U$ (адіабатичний процес).

Наприклад, стислий газ, розширюючись, здійснює роботу (A) (робота газу позитивна). Його внутрішня енергія зменшується на величину $-\Delta U$, температура газу падає.

У теплових машинах за рахунок теплової енергії палива здійснюється механічна робота.

Кількість теплоти при згоранні палива, можна розрахувати по формулі

$$Q = qm, \quad (3.2.39)$$

де q – питома теплота згорання палива, тобто кількість теплоти, яка виділяється при повному згоранні одиниці маси палива.

Коефіцієнт корисної дії η теплової машини або будь-якого нагрівача дорівнює відношенню теплоти (Q_K), що йде на здійснення корисної роботи (A_K), до всієї витраченої теплоти (Q_B)

$$\eta = \frac{A_K}{Q_B} = \frac{Q_K}{Q_B} \quad (3.2.40)$$

Для ідеального теплового двигуна в якому немає теплових втрат, ККД можливо виразити через абсолютні температури нагрівача T_1 і охолоджувача T_2

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (3.2.41)$$

Для ідеального двигуна

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \text{ або } \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ і } Q = Q \frac{T_2}{T_1} \quad (3.2.42)$$

3.2.3 Задачі для самостійного рішення

201. Середня квадратична швидкість молекул газу, що утримується в балоні, 10^3 м/с, концентрація його молекул 10^{25} м⁻³, маса однієї молекули $0.67 \cdot 10^{-26}$ кг.

1. Визначити молярну масу газу.
2. При якій температурі знаходиться газ?
3. Обчислити тиск газу.

202. У посудині об'ємом 0,5 л знаходиться ідеальний газ при тиску 1 атм і температурі 27^0 С, що зберігається постійної.

1. Чому дорівнює концентрація молекул у посудині?
2. Яка кількість речовини утримується в посудині?
3. Скільки молекул треба випустити із посудини, щоб тиск у ньому зменшився в два рази?

203. Концентрація молекул гелію, що міститься в балоні, 10^{23} м⁻³, а середня квадратична швидкість $8,5 \cdot 10^2$ м/с.

1. Чому дорівнює маса однієї молекули гелію?
2. Обчислити середній імпульс молекули.
3. Визначити тиск газу в балоні.

204. Ідеальний газ, що знаходиться при температурі 127^0 С и тиску 410^5 Па, займає спочатку обсяг 2 л. цей газ ізотермічно стискають, а потім ізобарично прохолоджують до температури -73^0 С и далі ізотермічно доводять його обсяг до 1 л.

1. Яка кількість речовини знаходиться в посудині?
2. Скільки молекул містить даний газ?
3. Визначити сталий остаточний тиск газу в судині.

205. У балоні ємністю $V = 100$ л поміщене $m_1 = 0,8$ кг азоту (N_2) і $m_2 = 1,6$ кг кисні (O_2). Температура навколишнього середовища $t = 27^0$ С.

1. Знайти масу молекули NO.
(А) $5,3 \cdot 10^{-26}$ кг (Б) $2,65 \cdot 10^{-26}$ кг (В) $2,65 \cdot 10^{-23}$ кг
2. Обчислити концентрацію O_2 у балоні.
3. Визначити тиск суміші.

206. Ідеальний газ, що займає об'єм 8,31 л, знаходиться під тиском 10^5 Па при температурі 200 К. Газ нагрівають при постійному об'ємі до температури 300 К, а потім при постійному тиску нагрівають так, щоб його об'єм збільшився в 1,2 рази.

1. Скільки молів містить даний газ?
2. У скількох разів кінцевий тиск перевищує початковий?
3. На скільки градусів нагріли газ?

207. Гелій знаходиться в закритій посудині обсягом 2 л при температурі 20^0 С і тиску 10^5 Па. Газ ізохорично нагрівають на 100^0 С.

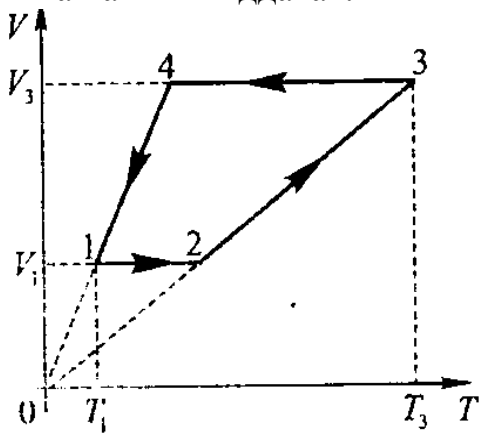
1. Чому дорівнює концентрація молекул у газі?

2. Визначити середню квадратичну швидкість молекул при нових умовах.
 3. Яку кількість тепла надали газу?
208. При ізобаричному нагріванні обсяг 400 м гелію збільшився в два рази. Спочатку газ знаходився при нормальних умовах.
1. Чому дорівнює кінцева температура газу?
 2. Яку роботу виконав газ?
 3. Яка кількість теплоти одержав при цьому газ?
209. Гелій масою 80 м ізобарично нагріли на 10 К.
1. Скільки молекул міститься в даній масі газу?
 2. Яку роботу виконав газ?
 3. Яку кількість теплоти йому при цьому передали?
210. У латунний калориметр масою $m_1 = 100$ г, в якому міститься $m_2 = 250$ г води при температурі $T_1 = 280$ К, опустили тіло масою $m = 200$ г, нагріте до температури $T_2 = 373$ К. У результаті теплообміну встановилася температура $T = 293$ К. Питома теплоємність латуні $c_1 = 380$ Дж/(кг · К), води – $c_2 = 4190$ Дж/(кг · К).
1. Яку кількість теплоти тіло віддає при охолодженні?
 2. Яку кількість теплоти калориметр і вода отримують?
 3. Визначити питому теплоємність речовини, з якої виготовлено тіло.
211. Змішали $m_1 = 300$ г води при температурі $t_1 = 10^0\text{C}$ і $m_2 = 400$ г льоду при температурі $t_2 = -20^0\text{C}$. Питома теплоємність води $c_1 = 4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), льоду – $c_2 = 2,12 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), питома теплота плавлення льоду $\lambda = 330 \cdot 10^3$ Дж/кг.
1. Розрахувати кількість теплоти, потрібну для нагрівання льоду до температури плавлення $t_{\text{пл}} = 0^0\text{C}$.
 2. Знайти кількість теплоти, що віддає вода, охолоджуючись до 0^0C .
 3. Визначити температуру суміші та масу води і льоду в кінцевому стані посудині.
212. У посудину, що містить $m_1 = 10$ кг води при температурі $T_1 = 293$ К, влили $m_2 = 7$ кг розплавленого свинцю при температурі $T_{\text{пл}} = 600$ К. При цьому утворилася пара масою $\Delta m_1 = 0,05$ кг. Питомі теплоємності води та свинцю відповідно дорівнюють: $c_1 = 4190$ Дж/(кг · К) і $c_2 = 130$ Дж/(кг · К); питома теплота пароутворення води $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, питома теплота плавлення свинцю $\lambda = 30 \cdot 10^3$ Дж/кг. Теплоємністю посудини знехтувати.
1. Визначити кількість теплоти, що віддав свинець під час тверднення і охолодження від температури $T_{\text{пл}}$ до кінцевої температури T .
 2. Визначити кількість теплоти, яку отримала вода, що випарувалася, та кількість теплоти, яку отримала вода, що не випарувалася.

3. Яка температура встановиться в посудині після того, як свинець кристалізується?

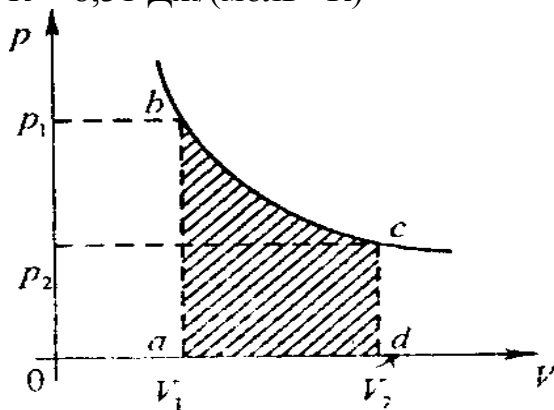
213. Газ здійснює цикл, графік якого зображений на рис.1. Його мінімальна температура $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$, а найбільша - $t_3 = 127^{\circ}\text{C}$? При температурі t_1 газ має об'єм $V_1 = 5$ л, а при температурі t_3 - $V_3 = 6$ л. Кількість речовини газу $\nu = 0,5$ моль.

1. Зобразити цей процес у змінних p і V
2. Яку роботу виконує газ за один цикл?
3. З'ясувати, на яких відрізках газ отримував певну кількість теплоти, а на яких віддавав.



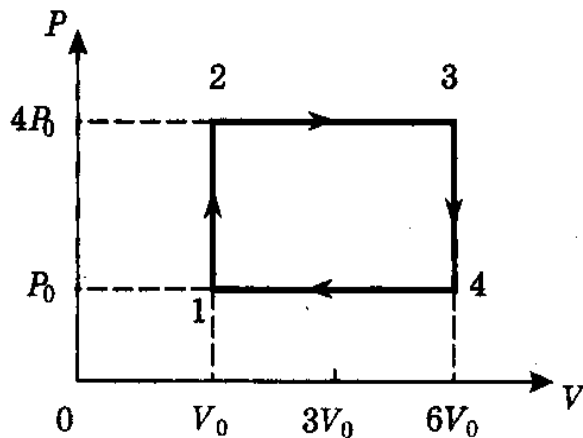
214. Під час ізотермічного розширення азоту масою $m = 100$ г, який мав температуру $T = 280$ К, його об'єм збільшився в 3 рази. Молярна маса азоту $M = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, відношення об'ємів: $\frac{V_2}{V_1} = 3$,

$$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$



1. Знайти роботу, виконану газом при розширенні?
2. Знайти зміну його внутрішньої енергії?
3. Знайти кількість теплоти, надану газу?

215. Вважаючи заданим тиск у станах 1 і 2 (P_0 і $4P_0$ відповідно) та об'єми у станах 1 і 3 (V_0 та $6V_0$ відповідно)



1. Визначте роботу, що була виконана за цикл?
2. Визначте зміну енергії при кожному процесі циклу та за весь цикл?
3. Визначте кількість теплоти, отриманої газом при кожному процесі?

216. Автомобіль витрачає $m = 5,67$ кг бензину на $S = 50$ км шляху.

Середня швидкість руху $v_{\text{ср}} = 80$ км/год і ККД двигуна $\eta = 22\%$. Питома теплота згоряння бензину $q = 46 \cdot 10^6$ Дж/кг.

1. Яка кількість теплоти виділяється у результаті згоряння бензину?
2. Яка корисна робота, виконана за рахунок теплоти, що виділилася при згоранні бензину?
3. Визначити середню потужність, яку розвиває при цьому двигун автомобіля?

217. Ідеальна теплова машина має корисну потужність $73,5$ кВт і працює в температурному інтервалі від 100°C до 0°C .

1. Визначити ККД машини.
2. Яку енергію машина одержує від нагрівача за 1 годину?
3. Яку енергію машина віддає за 1 годину холодильникові?

218. На тепловозі є запас 5 т нафти. При швидкості потяга 60 км/год тепловоз розвиває середню потужність $1,5$ Мвт. Коефіцієнт корисної дії тепловоза 30% .

1. Яка енергія виділяється при згоранні 5 т нафти?
2. Яка кількість цієї енергії витрачається корисно?
3. На яку відстань вистачить наявного запасу нафти?

3.3 Контрольні роботи № 5, №6

«ЕЛЕКТРОДИНАМІКА»

3.3.1 Основні теоретичні положення

Електромагнітні сили (електромагнітна взаємодія) виявляються в природі вельми різноманітно. Ними пояснюються, наприклад, раніше вивчені сили тертя, сили пружності і сили взаємодії молекул. Електромагнітні сили виникають між тілами, які мають електричний заряд. **Електричний заряд** (q) – це одна з властивостей матерії, яка виявляється в тому, що між зарядженими тілами діють сили відштовхування і притягання. Ці сили у багато разів більше гравітаційних сил.

$$[q] = A \cdot c = \text{Кл (Кулон)}$$

Електричний заряд дискретний, тобто *не може бути в природі заряду менше, ніж* $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (заряд електрона або протона).

Точковим зарядом називається будь-яке заряджене тіло, розмірами якого можна нехтувати в даному завданні.

«ЕЛЕКТРОСТАТИКА»

Закон Кулона. Сила взаємодії між двома нерухомими точковими зарядами прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}, \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2} \cdot r \quad (3.3.1)$$

де ϵ – діелектрична проникність (відносна діелектрична проникність) середовища, в якій знаходяться заряди q_1 і q_2 ; r – відстань між ними; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична постійна.

Якщо взяти для рішення задач:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2 \quad (3.3.2)$$

тоді закон Кулона буде мати вид:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}. \quad (3.3.3)$$

Закон Кулона можна застосовувати для заряджених тіл, які мають форму кулі.

Якщо система тіл не обмінюється зарядами з іншими тілами, то алгебраїчна сума зарядів цієї системи – величина постійна (закон збереження електричних зарядів).

Електричний заряд створює в просторі, що оточує його, **електричне** (електростатичне) **поле**. Силовою характеристикою поля є його **напруженість (E)**: **напруженістю** електричного поля називається фізична величина, що чисельно дорівнює силі, яка діє на одиничний, позитивний, пробний заряд q_0 :

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0 \quad (3.3.4)$$

Звідси кулонівська сила рівна

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad (3.3.5)$$

де q – величина заряду, який знаходиться в електричному полі.
Якщо поле створене точковим зарядом q , то

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{\epsilon r^2} \cdot r. \quad (3.3.6)$$

Напруженість поля декількох зарядів рівна векторній сумі напруженостей полів, які створював би кожен із зарядів окремо (принцип суперпозиції полів)

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i. \quad (3.3.7)$$

Енергетичною характеристикою електричного поля є електричний **потенціал ϕ** – потенційна енергія одиничного позитивного пробного заряду, поміщеного в дану точку:

$$\varphi = W_n / q_0 \quad (3.3.8)$$

$$[\varphi] = \text{Дж} / \text{Кл} = \text{В (Вольт)}$$

Потенціал електричного поля точкового заряду дорівнює

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r} \quad (3.3.9)$$

Якщо поле створене позитивним зарядом, то потенціал точок цього поля буде позитивним. Якщо поле створене негативним зарядом, то потенціал точок буде негативним.

Потенціал поля декількох зарядів дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів, які створював би кожен із зарядів окремо:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i \quad (3.3.10)$$

При переміщенні заряду q з точки електричного поля з потенціалом φ_1 в точку електричного поля з потенціалом φ_2 , сили поля здійснюють роботу:

$$A = -\Delta W_n = -q (\varphi_2 - \varphi_1) = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU, \quad (3.3.11)$$

де $U = \varphi_1 - \varphi_2$ – різниця потенціалів, або напруга.

У однорідному електричному полі вектор напруженості – постійна величина ($E = \text{const}$). Для однорідного електричного поля робота переміщення заряду q на відстань d дорівнює

$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha = q \cdot E \cdot d \quad (3.3.12)$$

де $d = s \cdot \cos\alpha$, α – кут між векторами \vec{F} та \vec{E} .

З формули (3.10) і (3.11) витікає, що для однорідного електричного поля

$$E = U/d, \quad (3.3.13)$$

$$[E] = \text{В/м}$$

Електричною ємністю (ємністю) провідника називається відношення заряду провідника q до його потенціалу φ :

$$C = q / \varphi, \quad (3.3.14)$$

$$[C] = \text{Кл/В} = \text{Ф (Фарад)}$$

Фарад – дуже велика одиниця, тому на практиці застосовують; мікрофарад – $1\text{мФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$; пікофарад – $1\text{пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$.

Ємність кулі радіусом R дорівнює

$$C = 4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot R \quad (3.3.15)$$

Конденсатор – це два провідники, що розташовані близько один до одного. Між провідниками знаходиться діелектрик. Ці провідники називаються обкладинками конденсатора. Вільні заряди на обкладинках мають однаковий модуль і різні по знаку.

Ємністю конденсатора називається відношення заряду до різниці потенціалів між його обкладинками:

$$C = q / (\varphi_1 - \varphi_2) = q/U \quad (3.3.16)$$

Дві металеві пластини, в просторі між якими знаходиться діелектрик, називають **плоским конденсатором**. Ємність плоского конденсатора дорівнює

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S/d, \quad (3.3.17)$$

де S – площа однієї пластини; d – відстань між пластинами; ε_0 і ε – електрична постійна і діелектрична проникність речовини, яка знаходиться між пластинами.

Якщо конденсатори з'єднані в батарею паралельно, то ємність батареї

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad (3.3.18)$$

Якщо конденсатори з'єднані в батарею послідовно, то ємність батареї

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (3.3.19)$$

Енергію зарядженого конденсатора визначають по формулах

$$W = C \cdot U^2/2 = q \cdot U/2 = q^2/2C \quad (3.3.20)$$

«ПОСТІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»

Електричний струм – це напрямлений рух зарядів.

Силою електричного струму називається величина, що чисельно дорівнює кількості заряду, який проходить через поперечний перетин провідника за одну секунду:

$$I = q / t, \quad (3.3.21)$$
$$[I] = [q] / [t] = \text{Кл/с} = \text{А (Ампер)}$$

За напрям струму приймають напрям руху позитивних зарядів.

Густина струму – це відношення сили струму до площі поперечного перетину провідника:

$$J = I / S, \quad (3.3.22)$$
$$[J] = [I] / [S] = \text{А/м}^2$$

Різницю потенціалів на кінцях провідника називають **напругою (U)**:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U \quad (3.3.23)$$

Закон Ома для ділянки кола

$$I = U / R, \quad (3.3.24)$$
$$[I] = [U] / [R] = \text{В/А} = \text{Ом}$$

де R – електричний опір провідника.

Якщо провідник має довжину l і площу поперечного перетину S , то

$$R = \rho (l / S) \quad (3.3.25)$$

де ρ – питомий електричний опір речовини, з якої зроблений провідник.

Питомий опір залежить від температури:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \cdot t) \quad (3.3.26)$$

де ρ_0 – питомий опір провідника при 273 К,

α – температурний коефіцієнт опору.

Якщо провідники з'єднані послідовно, то

$$I = const, \quad U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i,$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (3.3.27)$$

Якщо провідники сполучені паралельно, то

$$U = const, \quad I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i,$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}. \quad (3.3.28)$$

Закон Ома для повного (замкненого) кола

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (3.3.29)$$

де ξ – електрорушійна сила джерела струму (е. р. с.), R – опір зовнішньої ділянки ланцюгу, r – внутрішній опір джерела струму.

Якщо n джерел струму з'єднані послідовно в батарею, то е. р. с. батареї буде дорівнювати сумі е. р. с. окремих джерел:

$$\xi_0 = \sum_{i=1}^n \xi_i. \quad (3.3.30)$$

Закон Джоуля — Ленца: Кількість теплоти, що виділяється в провіднику, дорівнює добутку квадрата сили струму (I^2) на опір провідника (R_0) і на час проходження струму (t):

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (3.3.31)$$

«ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ»

Електричний струм у просторі, що оточує його, створює магнітне поле. Якщо *гравітаційне* й *електростатичне* поле - це потенціальні поля, то *магнітне поле* - вихрове поле, тому що немає магнітних мас чи зарядів.

Силовою характеристикою магнітного поля є векторна величина, що називають *індукцією магнітного поля* (\mathbf{B} , $[B] = \text{Н/А} \cdot \text{м} = \text{Тл}$ (Тесла)).

Індукція магнітного поля визначає момент сили, що діє на замкнений контур зі струмом у магнітному полі. Індукція магнітного поля залежить:

- а) від сили струму, що створює це поле;
- б) від середовища, у якому розташований провідник зі струмом.

Закон Ампера. На прямолінійний провідник довжиною (l), по якому тече струм (I), однорідне магнітне поле діє із силою, модуль якої дорівнює

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha, \quad (3.3.32)$$

де B - індукція магнітного поля; α - кут між напрямками струму і лініями індукції магнітного поля. Напрямок цієї сили визначаємо за правилом лівої руки (дивись рис.3.1).

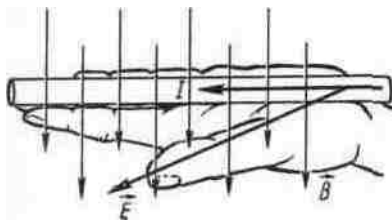


Рис.3.1

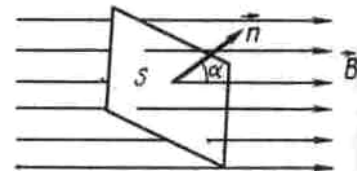


Рис.3.2

Якщо електричний заряд (q) рухається зі швидкістю \vec{v} в однорідному магнітному полі, індукція якого \vec{B} , на нього діє сила (сила Лоренца), де α - кут між напрямком руху позитивного заряду і напрямком ліній індукції магнітного поля. Сила Лоренца в кожній точці траєкторії перпендикулярна \vec{v} і \vec{B} . Для позитивних зарядів напрямок сили Лоренца визначають за правилом лівої руки, модуль сили Лоренцо дорівнює

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha \quad (3.3.33)$$

Індукція магнітного поля нескінченного прямолінійного провідника, по якому тече струм силою I , на відстані r від провідника (у напрямку, перпендикулярному провідникові) складає

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r} \quad (3.3.34)$$

де μ - магнітна проникність речовини, у якому знаходиться провідник;

μ_0 — магнітна постійна.

Потік вектора індукції магнітного поля (*магнітний потік*) через плоску поверхню площею S для однорідного поля складає

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha, \quad (3.3.35)$$

$$[\Phi] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб (Вебер)}$$

де α - кут між вектором B и нормаллю n до поверхні (рис.2).

Якщо змінний магнітний потік проходить через електричний контур, у контурі виникає *е.р.с. індукції*. За **законом Фарадея**, *е.р.с. індукції в замкнутому контурі пропорційна швидкості зміни потоку магнітної індукції через площу, обмежену контуром*:

$$\xi_i = -\Delta\Phi/\Delta t \quad (3.3.36)$$

Згідно правилу Лоренца, магнітне поле індукційного струму протидіє зміні магнітного потоку, що викликає цей індукційний струм. Тому у формулі електромагнітної індукції стоїть знак мінус.

При рівномірному русі провідника довжиною l із швидкістю v в однорідному магнітному полі з індукцією B на його кінцях виникає е.д.с. індукції, яка дорівнює

$$\xi_i = B \cdot v \cdot l \cdot \sin \alpha, \quad (3.3.37)$$

де α – кут між векторами \vec{v} і \vec{B} .

Напрямок індукційного струму визначається за правилом правої руки.

Якщо сила і напрямок струму в колі змінюються за часом, то по колу тече змінний струм. Миттєва зміна сили змінного струму

$$i = \lim \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (3.3.38)$$

Коли по контуру тече змінний струм, то в цьому контурі виникає е.р.с. самоіндукції, яка дорівнює

$$\xi_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (3.3.39)$$

Коефіцієнт L має назву індуктивності контура, $[L] = \text{В} \cdot \text{с} / \text{А} = \text{Гн}$ (Генри), а $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ швидкість зміни струму в контурі.

«ЗМІННИЙ СТРУМ»

При обертанні рамки площею S з постійною швидкістю в постійному магнітному полі \vec{B} в рамці виникає **синусоїдальна ЕРС**.

$$e = BS\omega \sin \omega t = \xi_m \sin \omega t, \quad \xi_m = BS\omega. \quad (3.3.40)$$

Якщо N витків, то
$$\xi_m = BS\omega N \quad (3.3.41)$$

На кінцях рамки (обмотки генератора) виникає **синусоїдальна напруга**, яка збігається за фазою з ЕРС.

$$u = U_m \sin \omega t \quad (3.3.42)$$

У зовнішньому колі виникають **вимушені електричні коливання заряду – змінний синусоїдальний струм**, який фазою відрізняється від е.р.с. і напруги на величину φ , яка залежить від властивостей кола.

$$i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi) \quad (3.3.43)$$

Діюче значення змінного синусоїдального струму – це величина, яка дорівнює квадратному кореню із середнього квадрата сили струму за період.

Це значення такої сили постійного струму, при якому виділялося стільки ж енергії на певній ділянці. Як і при змінному струмі.

$$I = \sqrt{i^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad (3.3.44)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (3.3.45)$$

Повний опір кола змінному струму (Z).

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (3.3.46)$$

R - активний опір (опір провідника), $X = (X_L - X_C)$ - реактивний опір;

X_L - індуктивний опір; X_C - ємнісний опір;

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad (3.3.47)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

f - частота коливань змінного струму.

Зсув фаз у колах змінного струму визначається співвідношенням між активним і повним опором кола.

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad (3.3.48)$$

При наявності в колі індуктивності (L) сила струму відстає за фазою від напруги. При наявності в колі ємності (C) сила струму випереджає напругу за фазою.

Закон Ома для змінного струму.

$$I = \frac{U}{Z}, \quad I_m = \frac{U_m}{Z}, \quad (3.3.49)$$

Закон Джоуля - Ленца: кількість теплоти Q , що виділяється в провіднику, активний опір якого R , у результаті проходження по ньому змінного струму впродовж часу t .

$$Q = I^2 R t, \quad [Q] = 1 \text{ Дж.} \quad (3.3.50)$$

Потужність змінного струму.

Активна потужність витрачається на виконання корисної роботи

$$P = IU \cos \varphi = I^2 R \quad [p] - 1 \text{ Вт (ват)} \quad (3.3.51)$$

Реактивна потужність Q . Потужність у колі з реактивним опором

$$Q = IU \sin \varphi = I^2 (X_L - X_C) \quad [Q] = 1 \text{ вар.} \quad (3.3.52)$$

Повна потужність S

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (3.3.53)$$

Одиниця повної потужності – вольт на ампер, $[S] = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Коефіцієнт потужності. $\cos \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U} = \frac{P}{S} \quad (3.3.54)$$

Трансформатор напруги базується на явищі взаємної індукції двох обмоток на одному спільному осерді. Перетворює напругу, збільшуючи чи зменшуючи її до необхідних значень.

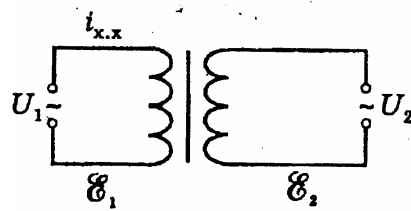


Рис. 3.3

Коефіцієнт трансформації (K) – це число, що визначає, у скільки разів відрізняється напруга, подана на первинну обмотку, від напруги, яку дістають на вторинній обмотці на холостому ході.

$$K = \frac{U_1}{U_2} \quad (3.3.55)$$

Якщо N – кількість витків

$$K = \frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{eN_1}{eN_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.3.56)$$

При підключенні споживачів (навантаження) виникають навантажувальні струми, обернено пропорційні числу витків обмотки N .

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (3.3.57)$$

ККД трансформатора.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{стали}} \quad (3.3.58)$$

P_{Cu} - втрати в міді на нагрівання обмоток;

$P_{стали}$ - втрати сталі на перемагнічування осердя і струми Фуко;

P_2 - потужність споживача.

3.3.3 Задачі для самостійного рішення

301. Електрон влітає в однорідне електричне поле в напрямку силової лінії. Напруженість поля 100 в/м. Початкова швидкість електрона 10^6 м/с.

1. Яка сила діє на електрон у цьому електричному полі?
2. З яким прискоренням рухається електрон?
3. Скільки часу буде рухатися електрон до повної зупинки?

302. Негативно заряджена кулька масою 10 г влітає в електричне поле плоского повітряного конденсатора в напрямку силових ліній зі швидкістю 10 м/с. Заряд кульки 0,1 Кл. Різниця потенціалів між пластинами 20 В, відстань між ними 10 см.

1. Обчислити напруженість поля конденсатора.
2. З яким прискоренням рухається кулька?
3. Яку відстань пройде кулька до зупинки?

303. Електрон влітає зі швидкістю $2 \cdot 10^6$ м/с у напрямку силових ліній поля плоского конденсатора і утрачає свою швидкість на відстані 3 см. Відстань між пластинами конденсатора 5 см.

1. Чому дорівнює початкова кінетична енергія електрона?
2. Яку різницю потенціалів пройшов електрон до повної утрати швидкості?
3. Визначити різницю потенціалів між пластинами конденсатора.

304. Елемент із ЕРС 36 В і внутрішнім опором 4 Ом замкнут на опорі 8 Ом.

1. Чому дорівнює сила струму в колі?
2. Визначити струм короткого замикання.
3. За який час можна довести до кипіння 200 г води, якщо використовувати даний опір як нагрівач? Початкова температура води 20^0 С, теплоємністю посудини зневажити.

305. Джерело струму з ЕРС 2 В і внутрішнім опором 0,8 Ом замкнено нікеліновим дротом довжиною 2,1 м і площею поперечного перерізу

$0,21 \text{ мм}^2$. Питомий опір дроту $4,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 4,2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

1. Визначити опір дроту.
2. Обчислити струм короткого замикання для даного джерела.
3. Скільки теплоти виділиться за 1 хвилину в дроті?

306. Алюмінієвий провід діаметром 2 мм має масу 10 кг. По ньому йде струм густиною 100 А/см^2 .

1. Визначити опір проводу.
2. Скільки електронів пройде через поперечний переріз проводу за 2 хвилини?
3. Яка кількість теплоти виділиться в провіднику за цей час?

307. Тролейбус масою 20 т рухається зі швидкістю 36 км/год по горизонтальному шляху. ККД мотора 80%, напруга в лінії 500В, коефіцієнт тертя 0,02.

1. Чому дорівнює сила опору рухові?
2. Визначити силу тяги мотора.
3. Визначити силу струму в моторі.

308. Нагрівальна спіраль електричного апарата для випару води має при 100° С опір 10 Ом, 100 г киплячої води випаровується за 1 хвилину.

1. Яка кількість теплоти необхідна для перетворення в пар 100 г води?
2. Який струм протікає через спіраль?
3. Скільки електронів пройде через поперечний переріз спіralи за цей час?

309. Електричну лампу з опором 240 Ом, розраховану на 120 В, треба живити від мережі напругою 220 В.

1. Яка потужність лампи?
2. Який додатковий опір треба включити послідовно з лампою?
3. Якої довжини ніхромовий провідник із площею поперечного переріза 0,55 мм² треба взяти для цього?

310. Електрон зі швидкістю 10⁶ м/с влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно лініям магнітної індукції. Індукція магнітного поля 1 мТл.

1. Яка сила діє на електрон з боку магнітного поля?
2. Визначити радіус окружності, по якій рухається електрон.
3. Знайти силу кругового струму, створюваного електронем, що рухається.

311. Електрон влітає зі швидкістю 10⁶ м/с в однорідне магнітне поле з індукцією 2,85 · 10⁻² Тл перпендикулярно силовим лініям.

1. Чому дорівнює імпульс електрона?
2. Яку різницю потенціалів, що прискорює, повинний пройти електрон, щоб придбати таку швидкість?
3. Знайти силу кругового струму, створюваного електронем.

312. Електрон, прискорений в електричному полі напругою 20 кВ, влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно лініям магнітної індукції. Індукція поля 0,1 Тл.

1. Чому дорівнює енергія електрона після прискорення в електричному полі?
2. З якою швидкістю влітає електрон у магнітне поле?
3. Визначити період обертання електрона.

313. В однорідне магнітне поле з індукцією 0,1 Тл поміщений дровий виток перпендикулярно лініям індукції. Площа витка 10³ см², опір 2 Ом.

Виток замкнут на гальванометр. При повороті витка на деякий кут через гальванометр проходить заряд $7,5 \cdot 10^{-3}$ Кл.

1. Чому дорівнює магнітний потік через виток у початковому положенні?
2. Скільки електронів пройшло через гальванометр?
3. На який кут повернули виток?

314. Виток з ніхромового дроту радіусом 10 см, поміщений в однорідне магнітне поле з індукцією 60 мТл перпендикулярно силовим лініям. Протягом 1 хв. магнітне поле убуває до нуля. Радіус перерізу дроту 1 мм.

1. Який магнітний потік пронизує виток у початковий момент?
2. Чому дорівнює опір витка?
3. Яка кількість теплоти виділиться у витку за цей час?

315. Квадратна рамка зі стороною 10 см розташована в магнітному полі так, що її площина складає з лініями індукції 30° . Індукція поля дорівнює 5 Тл. Опір проводу рамки 10 Ом. Протягом 5 с індукція рівномірно убуває до нуля.

1. Який магнітний потік пронизує рамку в початковий момент часу?
2. Визначити ЕРС індукції в рамці.
3. Яка кількість електронів пройде через переріз провідника за цей час?

316. Котушка активний опір якої $R = 6$ Ом, індуктивний $X_L = 10$ Ом, з'єднана послідовно з активним навантаженням опором $R = 2$ Ом та конденсатором ємнісний опір якого $X_C = 4$ Ом. В коло подається напруга 50 В.

1. Визначити повний опір кола;
2. Визначити струм у колі;
3. Визначити активну, реактивну та повну потужність кола.

317. У коло змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц під'єднано послідовно конденсатор ємністю 35,4 мкФ котушку індуктивність якої 0,7 Гн, та резистор, активний опір якого 100 Ом.

1. Визначити повний опір кола;
2. Визначити струм у колі;
3. Визначити активну, реактивну та повну потужність кола.

318. У колі змінного струму напругою 42 В, частотою 50 Гц під'єднано послідовно конденсатор ємністю 40 мкФ, котушку індуктивність якої 0,2 Гн, та резистор активний опір якого 20 Ом

1. Визначити повний опір кола;
2. Визначити струм у колі;
3. Визначити активну, реактивну та повну потужність кола.

3.4.Контрольна робота №7

«ФІЗИКА КОЛИВАНЬ, ОПТИКА, ФІЗИКА АТОМА І АТОМНОГО ЯДРА»

3.4.1.Головні теоретичні положення

«МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ».

Коливання – це рух або зміна стану, що має той чи інший ступінь повторюваності в часі.

Періодичні коливання – це коливання, при яких значення фізичної величини повторюються через однакові проміжки часу.

Період коливання (T) – це проміжок часу, протягом якого тіло здійснює повне коливання, тобто повторюються значення всіх величин, що характеризують коливальний рух.

$$T = \frac{t}{n} \quad [T] = 1 \text{ с.} \quad (3.4.1)$$

n - число повних коливань тіла за час t ;

Частота коливання (ν) – це число повних коливань за одиницю часу.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\nu] = 1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Гц (герц)}. \quad (3.4.2)$$

Циклічна (кругова) частота (ω) – це число повних коливань за 2π одиниць часу.

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad [\omega] = 1 \text{ с}^{-1}. \quad (3.4.3)$$

Фаза гармонічних коливань у момент часу t .

$$\varphi_t = \omega t + \varphi_0 \quad (3.4.4)$$

φ_0 – початкова фаза коливання.

Рівняння гармонічного коливання.

$$\begin{aligned} x &= A \cos(\omega t + \varphi_0) \\ x &= A \sin(\omega t + \varphi_1) \end{aligned} \quad (3.4.5)$$

$$A = x_{\max}, \quad \varphi_1 = \varphi_0 + \frac{\pi}{2}$$

де A – амплітуда коливань;

x – зсув коливної величини від положення рівноваги.

Швидкість гармонічних коливань – перша похідна координати за часом.

$$v = x' = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (3.4.6)$$

Прискорення гармонічних коливань – перша похідна швидкості за часом, друга похідна координати за часом.

$$a = v' = x'' ,$$

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (3.4.7)$$

$$a_x = -\omega^2 x$$

Проекція сили, під дією якої тіло здійснює гармонічні коливання

$$F_x = -ma_x$$

$$F_x = -m\omega^2 x \quad (4.8)$$

де $k = m\omega^2$, m – маса коливного тіла.

Пружинний маятник – коливальна система, в якій коливання відбуваються під впливом сил пружності в межах пружності тіла (пружини).

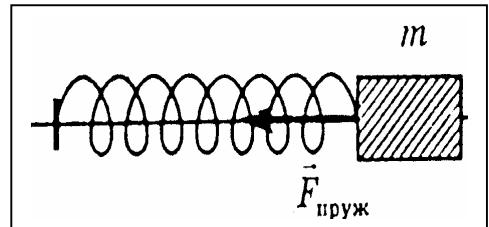


Рис. 3.4

$$F_{пруж.x} = -kx$$

$$a_x = -\frac{k}{m}x, \quad (3.4.9)$$

де k – коефіцієнт пружності.

Період вільних коливань пружинного маятника.

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

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (3.4.10)$$

Перетворення енергії при коливаннях пружинного маятника: енергія пружної деформації перетворюється в кінетичну енергію.

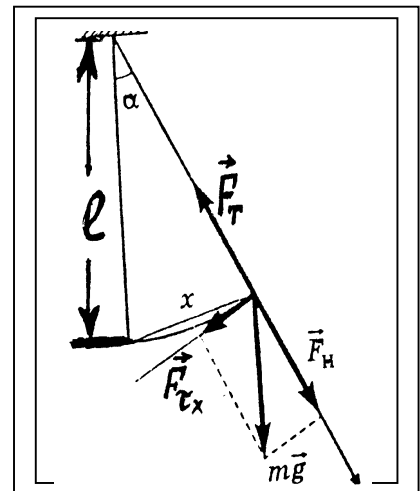


Рис. 3.5

$$E_{n \max} = E_{k \max} = \frac{kx_{\max}^2}{2} = \frac{m v_{\max}^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{m v^2}{2} \quad (3.4.11)$$

Математичний маятник – це матеріальна точка, підвішена на невагомій нерозтяжній нитці довжиною l . Коливання математичного маятника відбувається під дією тангенціальної складової сили тяжіння (F_{τ_x}).

При малих кутах α коливання гармонічне.

$$F_{\tau_x} = -\frac{mg}{l}x, a_x = -\frac{g}{l}x,$$

$$F_{\tau_x} = ma_x \quad (3.4.12)$$

Період вільних коливань математичного маятника.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.4.13)$$

Перетворення енергії при коливаннях математичного маятника:
потенціальна енергія тіла перетворюється в кінетичну енергію.

$$mgH = \frac{mv_{\max}^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2} \quad (3.4.14)$$

Механічні хвилі – це процес поширення механічних коливань у пружних середовищах.

Промінь – напрям поширення коливань.

Особливості відбивання хвилі – при відбиванні хвилі від більш густого середовища в хвилі відбувається зміна фази на протилежну (втрата півхвилі $\lambda/2$).

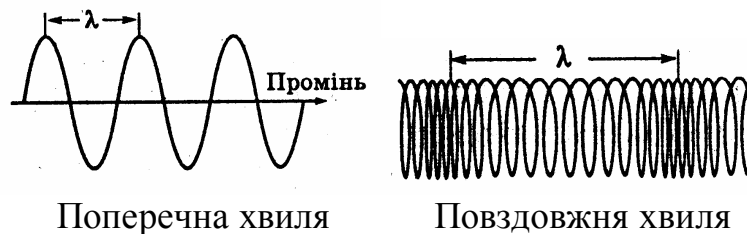


Рис. 3.6

Довжина хвилі (λ) – це відстань, на яку поширюється хвиля протягом одного періоду коливань.

Зв'язок довжини хвилі з періодом, швидкістю і частотою.

$$\lambda = vT = v/\nu \quad (3.4.15)$$

v - швидкість поширення механічної хвилі.

«ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ»

Електромагнітні коливання – це коливання електричного заряду (q), сили струму (I), напруги (U), зв'язані з ними коливання напруженості електричного поля (\vec{E}) та індукції магнітного поля (\vec{B}), а також самостійні коливання \vec{E} і \vec{B} в електромагнітній хвилі.

Електричні коливання – це коливання q , I , та U .

Гармонічні електромагнітні коливання виникають у коливальному контурі. **Коливальний контур** – це електричне коло, яке складається з конденсатора, замкненого на котушку індуктивності. Такий контур називається **закритим**, оскільки майже не випромінює енергії в простір. Контур називають ідеальним, якщо його активний опір $R \rightarrow 0$.

Період вільних незгасаючих електромагнітних коливань у коливальному контурі (установив У. Томсон)

$$\text{при } R=0 \quad T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad [T] = 1 \text{ с.} \quad (3.4.16)$$

L - індуктивність; C - ємність.

Перетворення енергії в ідеальному коливальному контурі (закон збереження енергії):

$$\frac{C U_m^2}{2} = \frac{L I_m^2}{2} = \frac{C u^2}{2} + \frac{L i^2}{2} \quad (3.4.17)$$

Коливання в ідеальному контурі є гармонічними з циклічною частотою ω .

$$\omega \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (3.4.18)$$

$$q = q_m \cos \omega t \quad (3.4.19)$$

$$i = I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.4.20)$$

$$u = U_m \cos \omega t, \quad (3.4.21)$$

$$e = \xi_m \cos \omega t, \quad (3.4.22)$$

$$B_i = B_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.4.23)$$

При наявності в коливальному контурі активного опору R період коливань у ньому визначається за **формулою Томсона для повного опору контура**:

$$T = \frac{2\pi\sqrt{LC}}{\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}} \quad (3.4.24)$$

Коливання в такому контурі затухаючі, негармонічні, оскільки частина енергії електромагнітного поля при кожному коливанні перетворюється у внутрішню (теплову) енергію активного опору R .

При $R = R_{кр}$ **критичний опір**. $T \rightarrow \infty$ - коливання неможливі.

$$R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (3.4.25)$$

де $\frac{R}{2L}$ -- коефіцієнт затухання.

Для отримання **незатухаючих** електромагнітних коливань у неідеальному контурі необхідно мати **генератор незатухаючих електромагнітних коливань**, у якому енергія джерела струму порціями передається контуру.

ХВИЛЬОВА ОПТИКА».

Згідно сучасної теорії світло має дві властивості. **Світло** – це *електромагнітні хвилі*, воно має всі властивості хвилі.

Світло є *електромагнітне випромінювання* в діапазоні хвилі від $0,4 \cdot 10^{-6}$ до $0,8 \cdot 10^{-6}$ м. Джерелом таких хвилі є атоми і молекули, в яких відбувається зміна енергетичного стану електронів. Енергія будь-якого виду електромагнітного випромінювання, у тому числі і світлового, випромінюється окремими порціями. Ці порції, що мають властивості матеріальних частиц, називаються **квантами випромінювання** або **фотонами**. Таким чином, світло, має одночасно дві властивості, хвилеві і квантові.

Швидкість світла у вакуумі приблизно дорівнює $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Світлові хвилі за їхньою частотою (довжиною хвилі у вакуумі) сприйманням органами зору людини поділяються на видиме випромінювання, інфрачервоні та ультрафіолетові промені.

λ у вакуумі:

видиме випромінювання: 0,76 мкм – 0,4 мкм;

інфрачервоні промені: 0,76 мкм – 1 мм;

ультрафіолетові промені: 0,4 мкм – 10 нм.

Світло однієї певної частоти (довжини, хвилі) називається **монохроматичним світлом**.

На межі поділу двох середовищ світло частково відбивається, а частково заломлюється переходяче в інше середовище.

Заломлення світла – це зміна напрямку його поширення відповідно до зміни швидкості поширення. Середовище, яке більшою мірою гальмує поширення світла ($v < c$), називається середовищем **оптично більшої густини**.

Відношення швидкості поширення світла у вакуумі до швидкості світла в даному середовищі називається **абсолютним показником заломлювання середовища**.

$$n_c = \frac{c}{v} \quad (3.4.26)$$

Відносний показник заломлювання:

$$\frac{v_1}{v_2} = n \quad (3.4.27)$$

Із збільшенням кута відбивання світла збільшується частка світлової енергії, яка відбивається, і зменшується частка світлової енергії, що переходить в інше середовище.

У таких явищах, як дисперсія, інтерференція, дифракція, поляризація і ін., світло виявляє властивості електромагнітних хвиль. Інші явища, наприклад, фотоефект свідчить про квантову природу світла.

Дисперсія світла – це явище залежності показника заломлення речовини від довжини світлової хвилі. В результаті дисперсії можна розкласти білий світ на його складові, отримати спектр. У спектрі розрізняють сім основних кольорів: червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий.

Інтерференція — це явище складання двох (або декількох) хвиль з однаковими періодами. В результаті в одних точках простору відбувається збільшення, а в інших — зменшення амплітуди результуючої хвилі.

Дифракція — це відхилення світла від прямолінійного розповсюдження (явище огинання світловими хвилями перешкод).

Напрямок поширення світлових хвиль визначається за допомогою променів – ліній, перпендикулярних хвилевим поверхням. **Світловий промінь** – це геометричне поняття. Під світловим променем розуміють не тонкий світловий пучок, а лінію, уздовж якої поширюється світлова енергія.

«ФОТОМЕТРИЯ»

Тіло, яке випромінює світло, називається джерелом світла. **Точкове джерело світла** – це таке джерело, розмірами якого можна нехтувати, в порівнянні з відстанню, на якій ми його розглядаємо. У однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно. Від точкового джерела, світло поширюється по всіх напрямках.

Потік випромінювання (Φ) – це величина, що дорівнює відношенню енергії випромінювання (W) до часу випромінювання (t)

$$\Phi = W / t \quad (3.4.28)$$

Сила світла (I) – величина, що дорівнює відношенню потоку випромінювання Φ джерела світла до тілесного кута, в межах якого поширюється це випромінювання:

$$I_v = \Phi / w \quad (3.4.29)$$

Освітленість (E) – це величина, яка вимірюється відношенням світлового потоку Φ , що падає на поверхню, до площі цієї поверхні S :

$$E = \Phi / S \quad (3.4.30)$$

Одиниці світлових величин:

- 1) одиниця сили світла – 1 кд (кандела) – основна одиниця, сила світла виражається також в свічках (св): 1 св = 1кд;
- 2) одиниця світлового потоку 1 лм (люмен) – похідна одиниця:
1 лм = 1 кд·1 ср (стерадіан);
- 3) одиниця освітленості - 1 лк (люкс) – похідна одиниця:
1 лк = 1 лм/1м².

«ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА. ВІДДЗЕРКАЛЕННЯ І ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА».

При виконанні креслень в геометричній оптиці користуються поняттям світлових променів і світлового пучка. Якщо промені паралельні, то говорять про *паралельний* пучок. Якщо промені при своєму продовженні перетинаються в одній точці, то говорять про *гомоцентричний* пучок. Гомоцентричний пучок може бути таким, що сходиться і розходиться.

На межі двох середовищ спостерігаються явища віддзеркалення і заломлення світла. **Закони віддзеркалення світла:**

1. *Падаючий і відбитий промені лежать в одній площині з перпендикуляром до поверхні в точці падіння.*

2. *Кут віддзеркалення дорівнює куту падіння:*

Поверхня, яка повністю відображає падаюче на неї світло, називається **дзеркальною поверхнею**. У плоскому дзеркалі ми отримуємо уявне зображення, що дорівнює предмету. Воно розташовано симетрично предмету відносно дзеркала. Якщо дзеркальна поверхня — частина сфери, то дзеркало називається **сферичним**.

Оптичний центр сферичного дзеркала — це центр сфери. **Полюс дзеркала** — це вершина сферичного сегменту. **Оптична вісь дзеркала** — це пряма лінія, що проходить через оптичний центр і полюс дзеркала. Промені, що падають на дзеркало паралельно оптичній осі, після віддзеркалення від дзеркала збираються в одній точці F , яка називається **фокусом дзеркала**. Фокус увігнутого сферичного дзеркала — дійсний, фокус опуклого сферичного дзеркала – уявний.

$$F = R / 2 \quad (3.4.31)$$

де F – фокусна відстань дзеркала, R - радіус сфери.

Якщо предмет знаходиться на відстані d від дзеркала і його зображення виходить на відстані d від дзеркала, то

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}. \quad (3.4.32)$$

У цій формулі відстань від дзеркала до уявних точок беруться із знаком мінус, до дійсних – із знаком плюс.

Закони заломлення світла.

1. *Падаючий і заломлений промені лежать в одній площині з перпендикуляром до заломлюючої поверхні в точці падіння.*
2. *Відношення синуса кута падіння світла до синуса кута заломлення для даних двох середовищ є величина постійна, що називається показником заломлення другого середовища щодо першого (n_{12})*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{12} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (3.4.33)$$

де n_1 і n_2 — абсолютні показники заломлення даних середовищ.

У визначенні абсолютного показника заломлення середовища першим середовищем є вакуум. Чим більше абсолютний показник

заломлення середовища (n), тим менше швидкість світла в даному середовищі (v)

$$v = c/n \quad (3.4.34)$$

Тому **абсолютним показником заломлення** називається відношення швидкості світла у вакуумі (c) до швидкості світла в даному середовищі (v)

$$n = c/v \quad (3.4.35)$$

Якщо промінь йде з середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою, то спостерігається явище повного внутрішнього віддзеркалення $\sin \alpha_{\text{гран}} = n_2/n_1$, де $\alpha = \alpha_{\text{гран}}$, коли $\gamma = 90^\circ$.

Лінзи — це прозорі тіла, що обмежені сферичними поверхнями.

Головна оптична вісь лінзи - це пряма лінія, що проходить через центри сферичних поверхонь.

Оптичний центр лінзи — це точка лінзи, через яку промені проходять не заломлюючись.

Побічна оптична вісь лінзи – це будь-яка пряма лінія, що проходить через оптичний центр лінзи.

Промені, які падають на лінзу паралельно головній оптичній осі збираються (дійсно або уявно) в одній точці, яка називається **головним фокусом**. Головний фокус лінзи лежить на головній оптичній осі. Площина, що проходить через головний фокус перпендикулярно головній оптичній осі називається **фокальною площиною**. Точка перетину фокальної площини з побічною оптичною віссю, називається побічним фокусом. *Промені*, що падають на лінзу паралельно побічній осі збираються (дійсно або уявно) в побічному фокусі.

Фокусна відстань лінзи — це відстань між фокальною площиною і центром лінзи.

Оптична сила лінзи — це величина, зворотна фокусній відстані

$$D = 1/F \quad (3.4.36)$$

Теорія дає формулу, за якою можна розрахувати оптичну силу лінзи

$$D = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.4.37)$$

де n – відносний показник заломлення речовини лінзи, R_1 , R_2 - радіуси сферичних поверхонь лінзи.

Радіуси опуклих поверхонь вважаються позитивними, увігнутих – негативними. Формула лінзи

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (3.4.38)$$

де d - відстань від предмету до лінзи, f - відстань від зображення до лінзи.

Правило таке ж як і для сферичного дзеркала.

Лінійне збільшення лінзи (k) - це відношення лінійного розміру зображення до розміру предмету

$$k = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - f} \quad (3.4.39)$$

Збільшення лупи приблизно дорівнює $k = f_0 / F$, де $f_0 = 25$ см — відстань якнайкращого зору.

Збільшення мікроскопа дорівнює

$$k = \delta f_0 / (F_1 \cdot F_2), \quad (3.4.40)$$

де δ — відстань між фокусами об'єктиву F_1 і окуляра F_2 .

«КВАНТОВА ОПТИКА»

Теорія Планка: світло випромінюється, поширюється і поглинається окремими порціями, які називаються квантами.

Енергія кванта прямо пропорційна частоті світла:

$$\varepsilon = h \cdot \nu \quad (3.4.41)$$

де h - стала Планка ; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, ν - частота світла.

Квант світла – це частинка світла, яку називають **фотон**.

Фотон не має спокою ($m_0 = 0$), а існує, лише рухаючись із швидкістю, яка дорівнює швидкості світла.

Фотон має певний імпульс (\vec{p}):

$$p_\phi = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda_0} \quad (3.4.42)$$

Квантові властивості світла зумовлені тим, що енергія, імпульс і маса електромагнітного випромінювання зосереджені в фотонах.

Фотоефект — це явище виривання електронів з металу при освітленні його світлом. Теорія фотоефекту створена А. Ейнштейном.

Зовнішній фотоэффект - виривання електронів із твердих тіл і рідин за їхні межі під дією падаючого на них потоку фотонів.

Тіло втрачає частину електронів (фотоелектронів) – набуває позитивного заряду.

Внутрішній фотоэффект – виривання з атомів, молекул або іонів електронів, які залишаються всередині речовини.

Закони зовнішнього фотоэффекту:

1. Максимальна початкова швидкість фотоелектронів залежить лише від частоти світла і властивостей поверхні металу.
2. Число електронів n , які вириваються світлом за одиницю часу, прямо пропорційне освітленості металу ($n \propto E$).
3. Для кожної речовини існує **поріг фотоэффекту** (довгохвильова межа фотоэффекту). Це така довжина хвилі світла λ_{\max} , більше від якої (або частота світла ν_{\min} , менше від якої) фотоэффект не відбувається.

Фотоэффект відбувається, якщо тіло освітлюється світлом з

$$\nu \geq \nu_{\min} \quad (\lambda \leq \lambda_{\max}) \quad (3.4.43)$$

Кожний фотон взаємодіє лише з одним електроном.

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоэффекту: енергія фотона витрачається на здійснення роботи виходу електрона з металу ($A_{\text{вих}}$) і на надання електрону, що вилітає, кінетичної енергії $\left(\frac{mv_{\max}^2}{2}\right)$:

$$h \cdot \nu = A_{\text{вих}} + \left(\frac{mv_{\max}^2}{2}\right) \quad (3.4.44)$$

Поріг фотоэффекту:

$$h\nu_{\min} = A_{\text{вих}}, \quad \nu_{\min} = A_{\text{вих}}/h, \quad (3.4.45)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{\nu_{\min}} = \frac{ch}{A_{\text{вих}}} \quad (3.4.46)$$

Поріг фотоэффекту цезію міститься в зоні червоних променів (мала $A_{\text{вих}}$). Поріг фотоэффекту вольфраму, золота міститься в зоні ультрафіолетових променів (велика $A_{\text{вих}}$)

«ФІЗИКА АТОМА».

Планетарна (ядерна) модель атома Резерфорда.

Резерфорд на підставі спостережень за розсіюванням α - частинок при проходженні їх через золоту фольгу обгрунтував модель атома.

Атом складається з ядра, яке займає дуже малий об'єм у порівнянні з об'ємом атома. Навколо нього по певних орбітах рухаються електрони.

Лінійні розміри ядра $10^{-15} - 10^{-14}$ м; лінійні розміри атома $\approx 10^{-10}$ м.

Маса електронів, які обертаються навколо ядра, значно менша від маси ядра, тобто вся маса атома зосереджена в ядрі атома.

Маса ядра атома Гідрогену (протона) у 1840 разів більша за масу електрона.

Електричний заряд ядра позитивний і дорівнює за чисельним значенням негативному заряду усіх електронів, що обертаються навколо ядра, внаслідок чого атом електрично нейтральний.

Кількість електронів (e) в атомі дорівнює кількості протонів (p) в ядрі і збігається з порядковим номером (атомним номером) Z атома в періодичній системі Менделєєва.

Постулати Бора

1. Електрони в атомах рухаються по орбітах визначеного радіуса, які називаються стаціонарними (або дозволеними). Момент імпульсу електронів, які рухаються стаціонарними орбітами, кратний величині

$$\frac{h}{2\pi} = \hbar \quad ; \quad mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (mvr = n\hbar), \quad (3.4.47)$$

де $n = 1, 2, 3, \dots$ - головне квантове число.

2. Рух електрона по стаціонарній орбіті не супроводжується випромінюванням або поглинанням енергії.

3. При переході з однієї стаціонарної орбіти з енергією E_n на іншу з енергією E_m випромінюється або поглинається квант енергії $h\nu$:

$$h\nu = E_m - E_n. \quad (3.4.48)$$

Радіус **борівської орбіти** збільшується в міру того як віддаляється від ядра:

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi Z e^2 m} \quad (3.4.49)$$

Теорія Бора описує атом Гідрогену, ізотопи Гідрогену і водневоподібні йонізовані атоми, тобто атоми з одним електроном, що обертається навколо ядра.

Значення повної енергії електрона в атомі складається із суми потенціальної енергії притягання електрона до ядра і кінетичної енергії обертання його навколо ядра:

$$E = E_{\text{п}} - E_{\text{к}}, \quad E_n = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}, \quad E_{\text{к}} = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}. \quad (3.4.50)$$

Енергетичний рівень атома:

$$E_n = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \quad (3.4.51)$$

Орбіта електрона в атомі (борівська орбіта) – це геометричне місце точок, у яких імовірність знаходження електрона найбільша, бо електрон у атомі виявляє як корпускулярні властивості, так і хвильові.

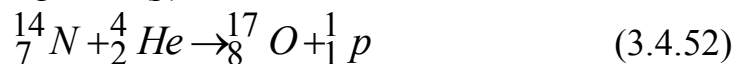
Спектр випромінювання атома Гідрогену лінійчастий.

Нормальному (стаціонарному) стану атома відповідає рух електрона найближчого до ядра орбітою. Енергетичний рівень електрона при цьому

$E_1 = -13,55$ еВ. Всі інші рівні ($n = 2, 3, 4, \dots$) називаються збудженими.

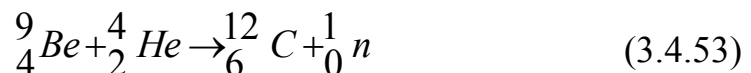
Перехід атома зі збудженого стану (збуджений рівень) у нормальний стан (на перший рівень) супроводжується випромінюванням певного кванта (з перними ν і λ).

«ФІЗИКА АТОМНОГО ЯДРА» 1919 р. **Е. Резерфорд** здійснює першу ядерну реакцію і відкриває протон (p):



Протон – елементарна частинка з масою спокою трохи більшою за 1 а.о.м. ($1,67 \cdot 10^{-27}$ кг) і елементарним позитивним зарядом $+e$ ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

1932 р. **Д. Чедвік** відкриває нейтрон (n)



Нейтрон – елементарна частинка з масою спокою трохи більшою від маси спокою протона, проте електричний заряд відсутній.

Теорія будови ядра (Д. Іваненко, В. Гейзенберг та ін.):

Ядро кожного атома складається тільки з протонів та нейтронів (нуклонів). У ядрах деяких атомів вони можуть перетворюватися один в одного:

- при перетворенні протона в нейтрон випромінюються позитрон і нейтрино:



- при перетворенні нейтрона в протон випромінюються електрон і **антинейтрино** – нейтральна частинка з дуже малою масою спокою:



У ядрі протони і нейтрони міцно зв'язані внутрішньоядерними силами, які є проявом сильних взаємодій.

Ядерні сили спостерігаються на відстані $10^{-14} - 10^{-15}$ м. Ядерні сили між двома протонами в атомному ядрі в 100 разів більші за кулонівські.

Протони і нейтрони в ядрі безперервно обмінюються частинками π - мезонами (π^+ , π^- , π^0) – так звана обмінна взаємодія.

A – **масове число атома** (заокруглена до цілого відносна атома маса), що дорівнює числу нуклонів у ядрі.

Z – **число протонів у ядрі** (порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва).

$$N = A - Z - \text{число нейтронів у ядрі.} \quad (3.4.56)$$

Енергія ядра:

$$E = m_{\text{ядра}} c^2 \quad (3.4.57)$$

Енергія зв'язку ядра – це енергія, яка потрібна, щоб розщепити ядро на окремі нуклони, або це енергія, яка виділиться при утворенні яра з вільних нуклонів.

Енергія зв'язку ядра визначається за дефектом маси ядра:

$$E_{\text{зв. ядра}} = \Delta m_{\text{ядра}} c^2 \quad (3.4.58)$$

Дефект маси ядра дорівнює різниці між сумою мас спокою нуклонів у вільному стані й масою спокою ядра:

$$\Delta m_{\text{ядра}} = Zm_p + Nm_n - m_{\text{ядра}}. \quad (3.4.59)$$

Енергія зв'язку ядра вимірюється в МеВ:

$$1 \text{ МеВ} = 10^6 \text{ еВ} = 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

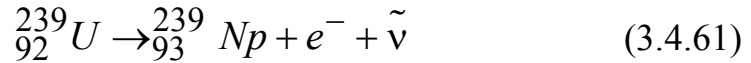
Наприклад, енергія зв'язку ядра ${}^4_2\text{He}$ дорівнює 28 МеВ.

Природна радіоактивність (три види):

1. α – **розпад**. У деяких важких ядрах два протони і два нейтрони вступають в замкнуту взаємодію α – частку (ядро ${}^4_2\text{He}$) і перетворюється в нове ядро елемента, який розташований на дві клітинки ближче до початку таблиці Менделєєва:



2. β – розпад. У деяких ядрах нейтрон доцільно (спонтанно) перетворюється в протон з випромінюванням електрона і антинейтрино. Утворюється нове ядро елемента, який розташований у таблиці Менделєєва слідом за елементом до випромінювання, тобто зміститься на одну клітинку до кінця таблиці Менделєєва. Потік електронів, що виникає, називають β – випромінюванням:



3. γ – випромінювання. Ядра, що опинилися в збудженому стані, переходячи в стаціонарний стан, випромінюють квант електромагнітного випромінювання високої частоти (γ квант):



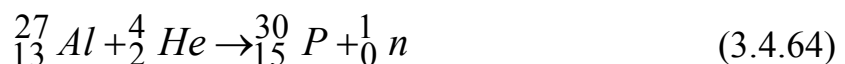
«ШТУЧНА РАДІОАКТИВНІСТЬ»

Деякі штучно одержані радіоактивні речовини зазнають β^+ - розпаду.

В ядрах цих атомів один з протонів перетворюється в нейтрон з випромінюванням позитрона і нейтрино. Новий елемент зміщується на одну клітинку до початку таблиці Менделєєва:



Ізотоп ${}_{15}^{30}\text{P}$ отримують бомбардування Al α – частинками:



Ядерними реакціями називаються перетворення ядер при взаємодії з елементарними частинками або одне з одним.

Ядерна реакція протікає так: ядро захоплює бомбардуючу частинку, поглинає її енергію, переходить у нестійкий стан та розпадається. Реакція, що протікає з поглинанням енергії, - ендотермічна, з виділенням енергії – екзотермічна.

«ЧАСТКОВЕ ЗВІЛЬНЕННЯ ВНУТРІШНЬОЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЕКЗОТЕРМІЧНИХ ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЯХ»

Елементи, розташовані у середній частині таблиці Менделєєва, мають більшу питому енергію зв'язку ядер. Енергія звільнюється при з'єднанні легких ядер або при поділі важких.

I. Термоядерний синтез легких ядер (відбувається при температурах в десятках мільйонів градусів). Енергія, що виділяється при цьому (екзотермічна ядерна реакція), - це кінетична енергія утворених ядер і частинок і супроводжується γ – випромінювання:



виділяється 17,6 МеВ;



виділяється 14,6 МеВ.

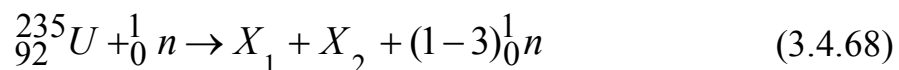
Енергія, що виділяється, дорівнює добутку величини дефекту маси ядерної реакції на квадрат швидкості світла:

$$\Delta E = m_{\text{я.р.}} c^2 \quad (3.4.67)$$

Дефект маси ядерної реакції – це різниця сумою мас спокою ядер і частинок до і після ядерної реакції. При ендотермічній ядерній реакції дефект мас від’ємний $\Delta m < 0$ (поглинання енергії) при екзотермічній - $\Delta m > 0$.

II. Ділення важких ядер.

Ядерні реакції особливо легко зумовлюються повільними нейтронами, які через відсутність ряду вільно проникають в атомні ядра та спричиняють їх перетворення. Наприклад, ядро Урану – 235 при захопленні нейтрона розщеплюється на два осколки X_1 і X_2 утворюються 1-3 нейтрони:



виділяється приблизно 200 МеВ енергії.

Тут X_1 і X_2 - радіоактивні ізотопи.

Осколки – це різні ядра радіоактивних ізотопів. При розпаді (діленні) певного елемента можливе утворення будь – якої пари різних осколків з різним числом нейтронів:

Zr і Te, Xe і Sr, Sb і Nb та інші.

${}^{235}_{92}U$ захоплює тільки повільні (теплові) нейтрони.

Ланцюгові ядерні реакції.

За певних умов кожний звільнений в результаті розщеплення важкого ядра нейтрон може бути захоплений ядром ${}^{235}_{92}U$ і звільнити ще 2-3 нейтрони. Якщо процес повторюється, може виникнути самопідтримуюча ядерна реакція.

Коефіцієнт розмноження нейтронів – це відношення числа нейтронів, звільнених при поділі ядра, до числа нейтронів, які спричиняють поділ у даній масі ядерного пального.

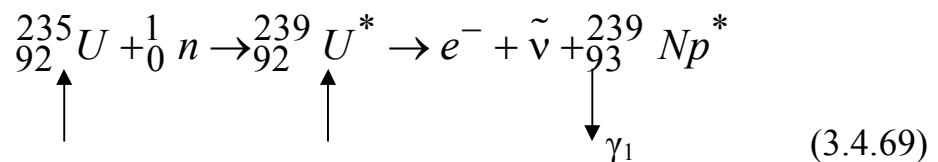
Для протікання ланцюгової реакції необхідно, щоб коефіцієнт розмноження нейтронів у даній масі урану був $k \geq 1$.

Ланцюгова реакція в ${}^{235}_{92}\text{U}$ та ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ здійснюється в атомних бомбах, де критична маса радіоактивної речовини обумовлює $k \geq 1,01$, тобто **ядерний вибух**.

У реакторах на атомних електростанціях здійснюється **керована ядерна реакція** ($k = 1$). Сповільнювачем нейтронів в урано - графітовому реакторі є графіт (або важка вода).

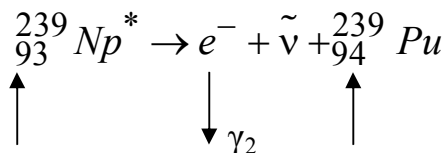
Енергія виділяється при розщепленні ${}^{235}_{92}\text{U}$.

У **паливі** ядерних реакторів кількість ${}^{235}_{92}\text{U}$ менша, ніж кількість ${}^{238}_{92}\text{U}$, який, захоплюючи повільний нейтрон, перетворюється в Плутоній ${}^{239}_{94}\text{Pu}$:



$T = 4,5$ млрд років

$T = 23$ хв.



$T = 2$ діб

$T = 24000$ років

Керують реакцією введені в реактор стержні з бору бо кадмію, які поглинають теплові нейтрони.

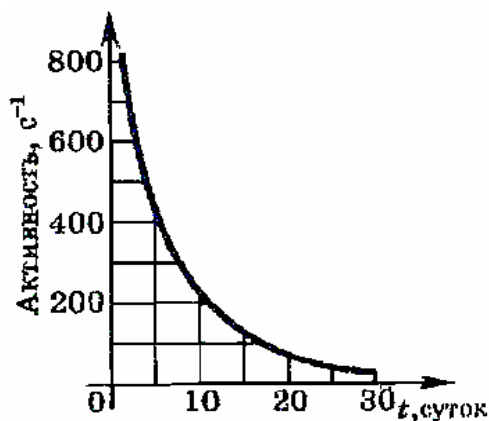


Рис. 3.7

У реакторі розмножувачі на швидких нейтронах за 1 кг ${}^{235}_{92}\text{U}$ отримують 1,5 кг плутонію.

Закон радіоактивного розпаду (рис.3.7):

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \quad (3.4.70)$$

де N – число радіоактивних атомів в даний момент часу;
 N_0 – число радіоактивних атомів в початковий момент часу;
 T – **період напіврозпаду** – час, упродовж якого розпадається половина радіоактивних атомів.

3.4.2. Приклад розв'язання задачі

Приклад 1. Тіло здійснює гармонічні коливання за законом

$$x = 0,1 \cos\left(20\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ м.}$$

1. Визначити амплітуду, період, частоту?
2. Визначити зміщення, фазу, швидкість та прискорення в момент часу 0,05с.
3. У який момент часу прискорення буде максимальним?

Дано:

$$x = 0,1 \cos\left(20\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ м}$$

$$t = 0,05 \text{ с}$$

$$1) A - ? T - ? \nu - ?$$

$$2) x_1 - ? \varphi_1 - ? v_1 - ? a_1 - ?$$

$$3) t_2 - ?$$

Розв'язання

1) Досліджуючи дане рівняння гармонічних

коливань і порівнюючи його з рівнянням гармонічних коливань у загальному вигляді

$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$, Знаходимо значення A , ω ,

φ_0 .

$$A = 0,1 \text{ м; } \omega = 20\pi \frac{1}{\text{с}}; \varphi_0 = \frac{\pi}{3} \text{ рад.}$$

Формула зв'язку циклічної частоти з періодом дозволяє визначити період коливань

$$T = \frac{2\pi}{\omega}; T = \frac{2\pi}{20\pi} \text{ с} = 0,1 \text{ с.}$$

$$\text{Із формули } T = \frac{1}{\nu} \text{ визначимо } \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,1 \text{ с}} = 10 \text{ Гц.}$$

2) Для визначення зміщення тіла від положення рівноваги необхідно в дане рівняння підставити значення часу $t_1 = 0,05 \text{ с}$:

$$x_1 = 0,1 \cos\left(20\pi \cdot 0,05 + \frac{\pi}{3}\right) \text{ м} = -0,05 \text{ м.}$$

Фазу коливань в момент часу $t_1 = 0,05 \text{ с}$ знаходимо за формулою

$$\varphi = \omega t + \varphi_0; \varphi = 20\pi \cdot 0,05 + \frac{\pi}{3} = \frac{4}{3}\pi.$$

Швидкість в момент часу $t_1 = 0,05 \text{ с}$ знаходимо, як першу похідну координати за часом:

$$v = x'_t = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Виконавши підстановку значень A , ω , t_1 , φ_0 , отримаємо:

$$v = -0,1 \cdot 20\pi \sin\left(20\pi \cdot 0,05 + \frac{\pi}{3}\right) = 5,44 \text{ м/с.}$$

Прискорення в момент часу $t_1 = 0,05\text{с}$ знаходимо як першу похідну швидкості за часом:

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t_1 + \varphi_0) = -20^2 \cdot 3,14^2 \cdot 0,1 \cos\left(20\pi \cdot 0,05 + \frac{\pi}{3}\right) = 197 \text{ м/с}^2.$$

3) Прискорення тіла буде максимальним, якщо $\cos(\omega t_2 + \varphi_0) = 1$.

Розв'яжемо рівняння відносно t_2 :

$$t_2 = \frac{\arccos 1 - \varphi_0}{\omega}, \quad t_2 = \frac{2\pi - \frac{\pi}{3}}{20\pi} = 0,083 \text{ (с)}.$$

Відповідь: $A = 0,1 \text{ м}$, $\omega = 20\pi \frac{1}{\text{с}}$, $\varphi_0 = \frac{\pi}{3} \text{ рад}$, $\nu = 10 \text{ Гц}$, $x_1 = -0,05 \text{ м}$,

$$\varphi = \frac{4}{3}\pi, \quad v_1 = 5,44 \text{ м/с}, \quad a_1 = 197 \text{ м/с}^2, \quad t_2 = 0,083 \text{ с} = 83 \text{ мс}.$$

Приклад 2. Електрична лампочка потужністю 75 Вт включена в мережу напругою 220 В. Середня довжина хвилі випромінювання лампочки 0,5 мкм.

1. Визначити опір спіралі лампочки.
2. Чому дорівнює середня частота випромінювання?
3. Обчислити кількість фотонів, що випускаються лампочкою за дві хвилини.

Дано:

$$P = 75 \text{ Вт};$$

$$U = 220 \text{ В};$$

$$\lambda = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$t = 2 \text{ мин.}$$

1) R - ?

2) ν - ?

3) N - ?

Розв'язання:

$$1) P = U \cdot I; \quad I = \frac{U}{R}; \quad R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220\text{В})^2}{75\text{Вт}} = 645 \text{ Ом}.$$

$$2) \nu = \frac{c}{\lambda}, \quad \text{где } c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} - \text{швидкість світла у}$$

$$\text{вакуумі, } \nu = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

3) Енергія одного фотона $\varepsilon = h \cdot \nu$. За 2 хвилини лампочка випромінює енергію $E = P \cdot t$.

$$\text{Тоді } N = \frac{P \cdot t}{h\nu}.$$

$$N = \frac{75\text{Вт} \cdot 2 \cdot 60\text{с}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}} = 2,26 \cdot 10^{22} \text{ фотонів}.$$

Відповідь: $R = 645 \text{ Ом}$; $\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$; $N = 2,26 \cdot 10^{22}$ фотонів.

Задачі для самостійного рішення

401. Період коливання математичного маятника 3.6 с.
1. Скільки коливань зробить маятник за 3 хвилини?
 2. Чому дорівнює довжина маятника?
 3. За який час маятник відхилиться від положення рівноваги на половину амплітуди?
402. Вантаж масою 300м підвісили до пружини, масою якої можна зневажати. Вантаж змістили на 1 см від положення рівноваги і відпустили, після чого він став робити гармонійні коливання, роблячи 5 коливань за 2с.
1. Чому дорівнює період коливань вантажу?
 2. Знайти жорсткість пружини.
 3. Записати рівняння руху вантажу і визначити його кінетичну енергію через 0,1 с після початку руху.
403. Тіло здійснює гармонічні коливання за законом
- $$x = 0,1 \cos\left(20\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ м.}$$
1. Визначити амплітуду, період, частоту
 2. Визначити зміщення, фазу, швидкість та прискорення в момент часу 0,05с.
 3. У який момент часу прискорення буде максимальним?
404. Уявне зображення предмета висотою 1 см знаходиться на відстані 1 м від лінзи, що збирає з фокусної відстані 0,25 м.
1. Чому дорівнює оптична сила лінзи?
 2. На якій відстані від лінзи розташований предмет?
 3. Знайти висоту зображення.
405. Кут падіння променя світла з довжиною хвилі 0,5 мкм на поверхню оптично прозорого середовища дорівнює 60° . Кут заломлення дорівнює 30° .
1. Знайти показник заломлення світла середовищем.
 2. Чому дорівнює частота випромінювання?
 3. Знайти швидкість світла в середовищі й енергію кванта світла.
406. На плоскопаралельну склянку пластинку товщиною 2 см з показником заломлення 1,5 падає монохроматичний промінь світла під кутом 30° . Довжина хвилі для цього променя в повітрі дорівнює 500 нм.
1. Чому дорівнює швидкість поширення цього променя в склі?
 2. Чому дорівнює довжина хвилі для цього променя в склі?
 3. Знайти зсув променя від первісного напрямку на виході з пластинки.

407. Цинкову пластинку висвітлюють ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі 300 нм. Поза пластинкою створене затримуюче поле напруженістю 10 В/см.
1. Якій частоті відповідає дана довжина хвилі?
 2. Чому дорівнює кінетична енергія фотоелектрона?
 3. На яку максимальну відстань від пластинки зможе віддалитися фотоелектрон?
408. На пластинку падає монохроматичне випромінювання з довжиною хвилі 80 нм. Поза електродом створене затримуюче електричне поле напруженістю 8 В/см. Червона границя фотоефекта 320 нм.
1. Чому дорівнює імпульс фотона, що викликає фотоефект?
 2. Визначити роботу виходу електрона для пластини.
 3. На яку максимальну відстань зможе видалитися фотоелектрон від пластини?
409. Поверхня площею 10 см^2 висвітлюється γ - променями з довжиною хвилі 10^{-14} м . Потужність випромінювання, що падає на дану поверхню, 1 мВт/см^2 .
1. Яку частоту мають дані γ – промені?
 2. Визначити енергію кванта цього випромінювання.
 3. Скільки фотонів падає за 1 мс на дану поверхню?
410. Електроні, що розташований на n – й стаціонарній орбіті атома Гідрогену ${}^1_1\text{H}$, має енергію $E_n = -1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \frac{ch}{n^2}$. Визначити довжину електромагнітної хвилі, яка випромінюється атомом Гідрогену при переході його електрона з третьої на другу стаціонарну орбіту.
411. Ядро ${}^{232}_{90}\text{Th}$ зазнає 4 α – розпади і 2 β – розпади.
Ядро якого атома утворюється?
412. Визначити, виділяється чи поглинається енергія у ядерній реакції
- $${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}?$$

Додатки

1. Позначення фізичних величин.
2. Фізичні сталі.
3. Деякі астрономічні величини
4. Таблиця Д.1 – Грецький і латинський алфавіт
5. Таблиця Д.2 – Графіки для утворення десяткових, часткових і кратних одиниць
6. Таблиця Д.3 – Основні одиниці СІ
7. Таблиця Д.4 – Додаткові одиниці СІ
8. Таблиця Д.5 – Похідні одиниці
9. Таблиця Д.6 – Густина речовин
10. Таблиця Д.7 – Коефіцієнт лінійного розширення твердих тіл
11. Таблиця Д.8 – Коефіцієнт об'ємного розширення рідин
12. Таблиця Д.9 - Питома теплоємність речовин
13. Таблиця Д.10 - Питома теплота згорання палива
14. Таблиця Д.11 - Температура плавлення речовин
(при $1,013 \cdot 10^5$ Па)
15. Таблиця Д.12 - Питома теплота плавлення речовин
(у точці плавлення)
16. Таблиця Д.13 - Температура кипіння речовин
(при $1,013 \cdot 10^5$ Па)
17. Таблиця Д.14 - Питома теплота паротворення речовин
(у точці кипіння)
18. Таблиця Д.15 - Діелектрична проникність речовин
19. Таблиця Д.16 - Питомий опір (при 273 K) і температурний коефіцієнт опору металів і сплавів
20. Таблиця Д.17 - Електрохімічні еквіваленти речовин
21. Таблиця Д.18 - Молярні маси деяких газів
22. Таблиця Д.19 - Атомні номери та атомні маси елементів

1. Позначення фізичних величин

Шлях (довжина)	l
Висота	h
Переміщення	\vec{S}
Координата	x, y, z
Площа	S
Об'єм	V
Час	t, τ
Маса	m, M
Вага	\vec{P}
Тиск	p
Імпульс	\vec{p}
Сила	$\vec{F}, \vec{N}, \vec{T}$
Момент сили	\vec{M}
Момент імпульсу	\vec{L}
Момент інерції	I
Швидкість	\vec{v}, \vec{u}
Швидкість кутова	$\vec{\omega}$
Прискорення	\vec{a}
Прискорення вільного падіння	\vec{g}
Прискорення кутове	$\vec{\epsilon}$
Період коливань	T
Частота коливань	ν, f
Частота обертання	n
Частота кутова	ω
Фаза коливань (зсув фаз)	φ
Кількість речовини	ν
Кількість частинок	N
Концентрація частинок	n
Молярна маса	M
Термодинамічна температура	T
Температура за міжнародною шкалою	t, θ
Робота	A
Потужність	N, P
Енергія	E, W
Внутрішня енергія	U
Густина енергії	ω
Кількість теплоти	Q
Питома теплоємність	c
Теплоємність тіла	C
Питома теплота плавлення	λ

Питома теплота пароутворення	L
Питома теплота згоряння	q
Температурний коефіцієнт	α
Поверхневий натяг	σ
Механічна напруга	σ
Жорсткість	k
Модуль пружності	E
Коефіцієнт тертя	μ
В'язкість	η
Абсолютна вологість	p, ρ
Відносна вологість	φ
Валентність	n
Коефіцієнт корисної дії	к.к.д., η
Плоский кут	α, φ
Тілесний кут	Ω
Електричний заряд	q, Q
Густина електричного заряду	σ
Напруженість електричного поля	\vec{E}
Потенціал електричного поля	φ
Різниця потенціалів	$\varphi_1 - \varphi_2$
Сила струму	I
Густина струму	\vec{j}
Електричний опір	r, R
Напруга	U
Питомий опір	ρ
Питома електропровідність	γ
Ємнісний опір	X_C
Індуктивний опір	X_L
Повний опір змінному струму	Z
Електрорушійна сила	\mathcal{E}
Електрична ємність	C
Індуктивність	L
Магнітна індукція	\vec{B}
Магнітний потік	Φ
Магнітна проникність	μ
Діелектрична проникність	ϵ
Інтенсивність	I
Яскравість	B
Світловий потік	Φ
Освітленість	E
Сила світла	I
Лінійне збільшення	Γ
Кутове збільшення	β

2. Фізичні сталі

Гравітаційна стала	$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Стала Авогадро	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Універсальна газова стала	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Стала Больцмана	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Елементарний електричний заряд	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Електрична стала	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнітна стала	$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 299792458 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Стала Планка	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Атомна одиниця маси	$1 \text{ а.о.м.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Співвідношення маси і енергії	$1 \text{ а.о.м.} \cdot c^2 = 931,5 \text{ МеВ}$
Маса спокою електрона	$m_0 = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Стала Фарадея	$F = 9,648456 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Молярний об'єм ідеального газу за нормальних умов	$V = 22,41383 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Маса спокою протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса Землі	$M_3 \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радіус Землі	$R_3 \approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$

3. Деякі астрономічні величини

Радіус Землі	середній	6 371 000 м
	полярний	6 356 912 м
	екваторіальний	6 378 388 м
Маса Землі		$6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Середня густина Землі		$5,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Середня відстань від Землі до Сонця		$1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Радіус Сонця		$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Маса Сонця		$1,97 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Радіус Місяця		$1,735 \cdot 10^6 \text{ м}$
Маса Місяця		$7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Середня відстань від Місяця до Землі		$3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$
Кутова швидкість обертання Землі навколо своєї осі		$7,272 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$

4. Таблиця Д.1 - Грецький і латинський алфавіти

Буква	Назва букви	Буква	Назва букви
Грецький алфавіт			
Αα	альфа	Νν	ню
Ββ	бета	Ξξ	ксі
Γγ	гамма	Οο	омікрон
Δδ	дельта	Ππ	пі
Εε	епсилон	Ρρ	ро
Ζζ	дзета	Σσ	сигма
Ηη	ета	Ττ	тау
Θθ	тета	Υυ	іпсилон
Ιι	йота	Φφ	фі
Κκ	каппа	Χχ	хі
Λλ	ламбда	Ψψ	псі
Μμ	мю	Ωω	омега
Латинський алфавіт			
<i>Aa</i>	а	<i>Nn</i>	ен
<i>Bb</i>	бе	<i>Oo</i>	о
<i>Cc</i>	це	<i>Pp</i>	пе
<i>Dd</i>	де	<i>Qq</i>	ку
<i>Ee</i>	е	<i>Rr</i>	ер
<i>Ff</i>	еф	<i>Ss</i>	ес
<i>Gg</i>	ге, же	<i>Tt</i>	те
<i>Hh</i>	га, аш	<i>Uu</i>	у
<i>Ii</i>	і	<i>Vv</i>	ве
<i>Jj</i>	йот, жи	<i>Ww</i>	дубль-ве
<i>Kk</i>	ка	<i>Xx</i>	ікс
<i>Ll</i>	ель	<i>Yy</i>	ігрек
<i>Mm</i>	ем	<i>Zz</i>	зет (зета)

5. Таблиця Д.2 - Префікси для утворення десяткових часткових і кратних одиниць

Найменування приставки	Відношення до основної одиниці	Позначення	
		українське	міжнародне
атто	10^{-18}	а	a
фемто	10^{-15}	ф	f
піко	10^{-12}	п	p
нано	10^{-9}	н	n
мікро	10^{-6}	мк	μ
міллі	10^{-3}	м	m
санти	10^{-2}	с	c
деци	10^{-1}	д	d
дека	10	да	da
гекто	10^2	г	h
кіло	10^3	к	K
мега	10^6	М	M
гіга	10^9	Г	G
тера	10^{12}	Т	T
пета	10^{15}	П	P
екса	10^{18}	Е	E

6. Таблиця Д.3 - Основні одиниці СІ

Найменування величини	Одиниця		
	Найменування	Позначення	Визначення
1	2	3	4
Довжина	метр	м	Метр дорівнює довжині 1650763,73 хвилі у вакуумі випромінювання, відповідного переходу між рівнями $2p_{10}$ і $5d_5$ атома кріптон-86
Маса	кілограм	кг	Кілограм дорівнює масі міжнародного еталону кілограма
Час	секунда	с	Секунда дорівнює 9 192 631 770 періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133

продовження 6. Таблиця Д.3 Основні одиниці СІ

1	2	3	4
Сила електричного струму	ампер	А	Ампер дорівнює силі незмінного струму, який при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і мізерно малої площі перерізу, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликав би на ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, що дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$ Н
Температура	Кельвін	К	Кельвін дорівнює $1/273,16$ частини термодинамічної температури тройної точки води
Кількість речовини	Моль	моль	Моль дорівнює кількості речовини системи, яка має стільки ж структурних елементів (атоми, молекули, іони та ін. частинки), скільки є атомів у вуглеці-12 масою 0,012 кг
Сила світла	Кандела	кд	Кандела дорівнює силі світла, яке випускається з поверхні площею $1/600\,000$ м ² повного випромінювання в перпендикулярному напрямку при температурі випромінювача, що дорівнює температурі затвердіння платини при тиску 101 325 Па

7. Таблиця Д.4 - Додаткові одиниці СІ

Найменування величини	Визначальне рівняння	Одиниця		
		Найменування	Позначення	Визначення
Плоский кут	$\varphi = \frac{l}{R}$	радіан	рад	Радіан дорівнює куту між двома радіусами кола, довжина дуги між якими дорівнює радіусу
Тілесний кут	$\Omega = \frac{S}{R^2}$	стерадіан	ср	Стерадіан дорівнює тілесному куту з вершиною в центрі сфери, який вирізує на поверхні сфери площину, що дорівнює площі квадрата зі стороною, яка дорівнює радіусу сфери

8. Таблиця Д.5 - Похідні одиниці

Найменування величини	Визначальне рівняння	Одиниця	
		Найменування	Позначення
1	2	3	4
Густина	$\rho = \frac{m}{V}$	кілограм на кубічний метр	кг/м ³
Тиск	$p = \frac{F}{S}$	паскаль	Па
Імпульс тіла (кількість руху)	$p = mv$	кілограм-метр на секунду	кг·м/с
Імпульс сили	$F\Delta t$	ньютон-секунда	Н·с
Робота	$A = F \cdot S \cos \alpha$	джоуль	Дж
Потужність	$N = \frac{A}{t}$	ватт	Вт
Момент сили	$M = Fd$	ньютон-метр	Н·м
Механічна напруга	$\sigma = \frac{F}{S}$	паскаль	Па
Модуль Юнга	$E = \frac{\sigma}{ \epsilon }$	паскаль	Па
Жорсткість	$k = \frac{F}{\Delta l}$	ньютон на метр	Н/м
Площа	$S = a^2$	квадратний метр	м ²
Об'єм	$V = a^3$	кубічний метр	м ³
Швидкість	$v = \frac{S}{t}$	метр за секунду	м/с
Прискорення	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	метр за секунду в квадраті	м/с ²
Частота періодичного процесу коливань (випромінювання)	$\nu = \frac{1}{T}$	герц	Гц
Частота обертання	$n = \frac{1}{T}$	секунда в мінус першому ступені	с ⁻¹
Кутова швидкість	$\omega = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$	радіан за секунду	рад/с

продовження 8. Таблица Д.5 - Похідні одиниці

1	2	3	4
Кутове прискорення	$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$	радіан на секунду в квадраті	рад/с ²
Сила	$F = ma$	ньютон	Н
Молярна маса	$M = \frac{m}{\nu}$	кілограм на моль	кг/моль
Температурний коефіцієнт лінійного, об'ємного розширення і тиску	$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$ $\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$ $\beta = \frac{\Delta p}{p_0 \Delta T}$	кельвін у мінус першому ступені	К ⁻¹
Кількість теплоти	$Q = A' + \Delta U$	джоуль	Дж
Питома теплота згоряння палива	$q = \frac{Q}{m}$	джоуль на кілограм	Дж/кг
Теплоємність системи	$C = \frac{Q}{\Delta T}$	джоуль на кельвін	Дж/К
Питома теплоємність	$c = \frac{Q}{m \Delta T}$	джоуль на кілограм-кельвін	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Поверхневий натяг	$\alpha = \frac{F}{l}$	ньютон на метр	Н/м
Кількість електрики, електричний заряд	$\Delta q = I \Delta t$	кулон	Кл
Діелектрична проникність	$\varepsilon = \frac{F_0}{F}$	величина безрозмірна	
Електрична стала	$\varepsilon_0 = \frac{q^2}{4\pi \varepsilon F r^2}$	фарад на метр	Ф/м
Напруженість електричного поля	$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta d}$	вольт на метр	В/м
Електричний потенціал	$\phi = \frac{W_{\text{п}}}{q}$	вольт	В
Електрична ємність	$C = \frac{q}{\Delta\phi}$	фарад	Ф

продовження 8. Таблиця Д.5 - Похідні одиниці

1	2	3	4
Електрична напруга	$U = \frac{A}{q}$	вольт	В
Електричний опір	$R = \frac{U}{I}$	ом	Ом
Питомий опір	$\rho = \frac{RS}{l}$	ом-метр	Ом·м
Магнітний потік	$\Phi = B \cdot S \cos \alpha$	вебер	Вб
Індуктивність, взаємна індуктивність	$L = \frac{\Phi}{I}$	генрі	Гн
Температурний коефіцієнт опору	$\alpha = \frac{\Delta \rho}{\rho_0 T}$	кельвін у мінус першому ступені	К ⁻¹
Електрохімічний еквівалент	$k = \frac{m}{q}$	кілограм на кулон	кг/Кл
Магнітний момент електричного струму	$p_m = IS$	ампер на квадратний метр	А·м ²
Магнітна індукція	$B = \frac{M_{\max}}{IS}$	тесла	Тл
Відносна магнітна проникність	$\mu = \frac{B}{B_0}$	величина безрозмірна	
Магнітна стала	$\mu_0 = \mu_a / \mu$	генрі на метр	Гн/м
Період	T	секунда	с
Циклічна частота	$\omega = 2\pi\nu$	секунда в мінус першому ступені	с ⁻¹

продовження 8. Таблиця Д.5 - Похідні одиниці

1	2	3	4
Фаза коливання	$\varphi = \omega t + \varphi_0$	радіан	рад
Інтенсивність хвиль	$I = \frac{\Phi}{S}$	ватт на квадратний метр	Вт/м ²
Інтенсивність звуку	$I = \frac{W}{St}$	ватт на квадратний метр	Вт/м ²
Світловий потік	$\Delta\Phi = I\Delta\Omega$	люмен	лм
Освітленість	$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$	люмен на квадратний метр	лм/м ²
Яскравість	$B = \frac{I}{S \cos \varphi}$	кандела на квадратний метр	кд/м ²

9. Таблиця Д.6 - Густина речовин

Речовина	$\rho, \text{кг/м}^3$	Речовина	$\rho, \text{кг/м}^3$
<i>Тверді речовини (при 293 К)</i>			
Алюміній	$2,7 \cdot 10^3$	Мармур	$2,7 \cdot 10^3$
Бетон	$2,2 \cdot 10^3$	Нікель	$8,8 \cdot 10^3$
Вольфрам	$19,0 \cdot 10^3$	Олово	$7,3 \cdot 10^3$
Дерево (сухе)	$0,7 \cdot 10^3$	Пробка	$0,25 \cdot 10^3$
Залізо	$7,8 \cdot 10^3$	Свинець	$11,4 \cdot 10^3$
Золото	$19,3 \cdot 10^3$	Срібло	$10,5 \cdot 10^3$
Цеглина	$1,8 \cdot 10^3$	Сталь	$7,9 \cdot 10^3$
Латунь	$8,5 \cdot 10^3$	Стекло	$2,5 \cdot 10^3$
Лід	$0,9 \cdot 10^3$	Цинк	$7,1 \cdot 10^3$
Мідь	$8,9 \cdot 10^3$	Чавун	$7,4 \cdot 10^3$
<i>Рідини (при 293 К)</i>			
Бензин	$0,70 \cdot 10^3$	Масло	$0,90 \cdot 10^3$
Вода (4 ⁰ С)	$1,00 \cdot 10^3$	Ртуть	$13,60 \cdot 10^3$
Вода морська	$1,03 \cdot 10^3$	Спирт	$0,80 \cdot 10^3$
Гас	$0,80 \cdot 10^3$	Ефір	$0,72 \cdot 10^3$
<i>Гази за нормальних умов ($p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $T_0 = 273 \text{ К}$)</i>			
Азот	1,25	Кисень	1,43
Водень	0,09	Метан	0,71
Повітря	1,29	Вуглекислий газ	1,98
Гелій	0,18	Хлор	3,21

10. Таблиця Д.7 - Коефіцієнт лінійного розширення твердих тіл

Речовина	α, K^{-1}	Речовина	α, K^{-1}
Алюміній	$23 \cdot 10^{-6}$	Платина	$9 \cdot 10^{-6}$
Вольфрам	$4 \cdot 10^{-6}$	Свинець	$28 \cdot 10^{-6}$
Залізо	$12 \cdot 10^{-6}$	Срібло	$19 \cdot 10^{-6}$
Кварц	$0,4 \cdot 10^{-6}$	Сталь	$11 \cdot 10^{-6}$
Латунь	$19 \cdot 10^{-6}$	Стекло	$9 \cdot 10^{-6}$
Мідь	$17 \cdot 10^{-6}$	Цемент	$14 \cdot 10^{-6}$
Олово	$27 \cdot 10^{-6}$	Цинк	$29 \cdot 10^{-6}$

11. Таблиця Д.8 - Коефіцієнт об'ємного розширення рідин (при 293 К і $1,013 \cdot 10^5$ Па)

Речовина	β, K^{-1}	Речовина	β, K^{-1}
Ацетон	$1,3 \cdot 10^{-3}$	Нафта	$0,92 \cdot 10^{-3}$
Бензин	$1,5 \cdot 10^{-3}$	Ртуть	$0,18 \cdot 10^{-3}$
Вода	$0,2 \cdot 10^{-3}$	Скипидар	$0,94 \cdot 10^{-3}$
Гліцерин	$0,5 \cdot 10^{-3}$	Спирт	$1,15 \cdot 10^{-3}$
Масло трансформаторне	$0,7 \cdot 10^{-3}$	Ефір	$1,66 \cdot 10^{-3}$

12. Таблиця Д.9 - Питома теплоємність речовин

Речовина	$c, Дж / (кг \cdot K)$	Речовина	$c, Дж / (кг \cdot K)$
Алюміній	920	Олово	250
Вода	4200	Пісок	970
Залізо	460	Ртуть	130
Золото	125	Свинець	120
Гас	2100	Срібло	250
Цеглина	750	Стекло	840
Латунь	380	Цемент	800
Лід	2100	Цинк	380
Мідь	380	Чавун	550

13. Таблиця Д.10 - Питома теплота згорання палива

Речовина	$q, \text{Дж} / \text{кг}$	Речовина	$q, \text{Дж} / \text{кг}$
Бензин	$4,4 \cdot 10^7$	Мазут	$4,1 \cdot 10^7$
Водень	$1,1 \cdot 10^7$	Нафта	$4,6 \cdot 10^7$
Газ (природний)	$3,6 \cdot 10^7$	Порох	$0,4 \cdot 10^7$
Дерево	$1,3 \cdot 10^7$	Спирт	$2,7 \cdot 10^7$
Гас	$4,3 \cdot 10^7$	Вугілля (кам'яний)	$2,9 \cdot 10^7$

14. Таблиця Д.11 - Температура плавлення речовин(при $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$)

Речовина	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$
Алюміній	660	Нафталін	80
Вода (чиста)	0	Олово	232
Вода (морська)	-2,5	Парафін	54
Водень	-259	Ртуть	-39
Вольфрам	3370	Свинець	327
Залізо	1520	Срібло	960
Золото	1063	Спирт	-114
Латунь	1000	Сталь	1300
Лід	0	Цинк	420
Мідь	1083	Чавун	1150

15. Таблиця Д.12 - Питома теплота плавлення речовин

(у точці плавлення)

Речовина	$\lambda, \text{Дж} / \text{кг}$	Речовина	$\lambda, \text{Дж} / \text{кг}$
Алюміній	$3,86 \cdot 10^5$	Олово	$0,59 \cdot 10^5$
Залізо	$2,93 \cdot 10^5$	Парафін	$1,47 \cdot 10^5$
Золото	$0,67 \cdot 10^5$	Ртуть	$0,12 \cdot 10^5$
Лід	$3,34 \cdot 10^5$	Свинець	$0,23 \cdot 10^5$
Мідь	$2,14 \cdot 10^5$	Цинк	$1,18 \cdot 10^5$
Нафталін	$1,51 \cdot 10^5$	Чавун	$0,97 \cdot 10^5$

16. Таблиця Д.13 - Температура кипіння речовин (при $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$)

Речовина	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
Азот	-196	Нафталін	218
Ацетон	56	Олово	2270
Бензин	40	Парафін	357
Вода	100	Ртуть	1750
Гелій	-269	Свинець	78
Гліцерин	290	Срібло	906
Кисень	-183	Спирт	35

**17. Таблиця Д.14 - Питома теплота паротворення речовин
(у точці кипіння)**

Речовина	$L, Дж / кг$	Речовина	$L, Дж / кг$
Ацетон	$5,2 \cdot 10^5$	Ртуть	$2,8 \cdot 10^5$
Гліцерин	$8,2 \cdot 10^5$	Спирт	$8,5 \cdot 10^5$
Вода	$22,6 \cdot 10^5$	Ефір	$3,5 \cdot 10^5$

18. Таблиця Д.15 - Діелектрична проникність речовин

Речовина	ϵ	Речовина	ϵ
Папір	2	Поліетилен	2,3
Вода	81	Гума	2,8
Повітря	1,0006	Слюда	6
Гліцерин	42	Спирт	26
Гас	2	Стекло	7
Лід	3,2	Титанат барію	1200
Масло трансформаторне	2,2	Фарфор	6,5
		Ебоніт	2,8
Парафін	2,2	Ефір	4,2
Плексиглас	3,3	Янтар	2,8

19. Таблиця Д.16 - Питомий опір (при 273 K) і температурний коефіцієнт опору металів і сплавів

Речовина	$\rho, Ом \cdot м$	α, K^{-1}
Алюміній	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Залізо	$9,7 \cdot 10^{-8}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Золото	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Константан	$48 \cdot 10^{-8}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$
Латунь	$7 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Мідь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Нікелін	$42 \cdot 10^{-8}$	$0,02 \cdot 10^{-3}$
Ніхром	$111 \cdot 10^{-8}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Олово	$12,5 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Ртуть	$96 \cdot 10^{-8}$	$0,88 \cdot 10^{-3}$
Свинець	$20,5 \cdot 10^{-8}$	$3,35 \cdot 10^{-3}$
Срібло	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Цинк	$5,9 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$

20. Таблиця Д.17 - Електрохімічні еквіваленти речовин

Речовина	Іон	$k, \text{кг/Кл}$
Алюміній	Al^{+++}	$0,093 \cdot 10^{-6}$
Водень	H^+	$0,0104 \cdot 10^{-6}$
Залізо	Fe^{+++}	$0,193 \cdot 10^{-6}$
Золото	Au^{+++}	$0,681 \cdot 10^{-6}$
Кальцій	Ca^{++}	$0,208 \cdot 10^{-6}$
Кисень	O^-	$0,083 \cdot 10^{-6}$
Мідь	Cu^{++}	$0,330 \cdot 10^{-6}$
Натрій	Na^+	$0,239 \cdot 10^{-6}$
Нікель	Ni^{++}	$0,304 \cdot 10^{-6}$
Срібло	Ag^+	$1,118 \cdot 10^{-6}$
Хлор	Cl^-	$0,367 \cdot 10^{-6}$
Цинк	Zn^{++}	$0,339 \cdot 10^{-6}$
	OH^-	$0,176 \cdot 10^{-6}$
	CO_3^{--}	$0,311 \cdot 10^{-6}$
	SO_4^{--}	$0,498 \cdot 10^{-6}$
	NO_3^-	$0,642 \cdot 10^{-6}$

Примітка: Число плюсів або мінусів у символів показують число елементарних зарядів, переносимих одним іоном

21. Таблиця Д.18 - Молярні маси деяких газів

Газ	$M, \text{кг/міль}$	Газ	$M, \text{кг/міль}$
Азот N_2	$28 \cdot 10^{-3}$	Гелій He	$4 \cdot 10^{-3}$
Водень H_2	$2 \cdot 10^{-3}$	Кисень O_2	$32 \cdot 10^{-3}$
Водяна пара H_2O	$18 \cdot 10^{-3}$	Неон Ne	$20 \cdot 10^{-3}$
Повітря	$29 \cdot 10^{-3}$	Вуглекислий газ CO_2	$44 \cdot 10^{-3}$

22. Таблиця Д.19 - Атомні номери та атомні маси елементів

Назва елементу	СИМВОЛ	АТОМНИЙ НОМЕР	АТОМНА МАСА а.е.м.	Назва елементу	СИМВОЛ	АТОМНИЙ НОМЕР	АТОМНА МАСА а.е.м.
Азот	N	7	14,01	Мідь	Cu	29	63,55
Алюміній	Al	13	26,98	Натрій	Na	11	22,99
Аргон	Ar	18	39,95	Неон	Ne	10	20,18
Бром	Br	35	79,90	Нікель	Ni	28	58,71
Водень	H	1	1,008	Олово	Sn	50	118,69
Гелій	He	2	4,00	Ртуть	Hg	80	200,59
Залізо	Fe	26	55,85	Свинець	Pb	82	207,19
Золото	Au	79	196,97	Сіра	S	16	32,06
Йод	I	53	126,90	Срібло	Ag	47	107,87
Калій	K	19	39,10	Вуглець	C	6	12,01
Кальцій	Ca	20	40,08	Фосфор	P	15	30,97
Кисень	O	8	15,99	Фтор	F	9	18,99
Кремній	Si	14	28,08	Хлор	Cl	17	35,45
Магній	Mg	12	24,30	Хром	Cr	24	51,99
Марганець	Mn	25	54,94	Цинк	Zn	30	65,37

ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коршак Є.В. та інші,
ФІЗИКА, 9 кл.: Підручник для загальноосвіт. навч. закл./ Є.В. Коршак,
О.І.Ляшенко, В.Ф.Савченко.- 2-ге вид., перероб. Та доп. - К; Ірпень:
ВТФ “Перун”, 2005. – 200 с.
2. Коршак Є.В. та інші,
ФІЗИКА, 10 кл.: Підручник для загальноосвіт. навч. закл./ Є.В. Коршак,
О.І.Ляшенко, В.Ф.Савченко.- 2-ге вид., перероб. Та доп. - К; Ірпень:
ВТФ “Перун”, 2005. – 200 с.
3. Коршак Є.В. та інші,
ФІЗИКА, 11 кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. навч. закл./ Є.В.
Коршак, О.І.Ляшенко, В.Ф.Савченко. - Київ; Ірпень: ВТФ “Перун”,
2000. – 192 с.
4. Ю.А.Соколович, Г.С.Богданова
Фізика: Довідник з прикладами розв'язування задач/ Ю.А. Соколович,
Г.С. Богданова. – 2-ге вид. Перероб.- Х.: Веста: Видавництво «Ранок»,
2006.- 464 с.
5. Гончаренко С.У., Фізика 9, К. “ Освіта” 2005 р.
6. Гончаренко С.У. , Фізика 10, К. “Освіта” 2005 р.
7. Гончаренко С.У., Фізика 11, К. “Освіта” 2005 р.
8. Рымкевич А.П.
ЗБІРНИК задач з фізики для 9-11 класів середньої школи.-12-те вид.-
Х., ББН.: 2006.- 208 с.
9. Савченко М.О. Розв'язування задач з фізики: Навчальний посібник
/пер. з рос. П.Ф. Пістуна/. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2004
– 504 с.

**Методичні вказівки
для самостійного вивчення та
виконання контрольних робіт з курсу**

“ФІЗИКА”

для слухачів факультету довузівської підготовки
(заочна форма навчання)

Укладачі:

к.т.м. доцент Расторгуєва Т.Е., ст. викладач Галич Є.А.,
методист Ткаченко Н.А., ст. лаборант Хохлова О.П.

Підп. по друку

Формати 60x84/16

Папір офісний

Умовн. друк. арк.

Тираж

Зам. №

Надруковано з готового оригінал – макета

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15
