

**Міністерство освіти і науки України**  
**Дніпропетровський національний університет**

---

**Кафедра теоретичної фізики**

**ВСТУПНИЙ ІСПИТ З ФІЗИКИ**

(Витяг з посібника:  
Формули та приклади розв'язання задач)

**Дніпропетровськ**  
**РВВ ДНУ**  
**2004**

Наведені завдання та методичні рекомендації для підготовки до вступних випробувань з фізики.

Для абітурієнтів, слухачів підготовчих курсів, учнів середніх шкіл та ліцеїв, а також тих, хто самостійно вивчає елементарну фізику.

Темплан 2005, поз.

## Вступний іспит з фізики

Укладачі: канд. фіз.-мат. наук, доц. С.Б. Григор'єв  
канд. фіз.-мат. наук, доц. О.Ю. Орлянський

Редактор Л.В. Хомяк  
Коректор Г.О. Стара

---

Підписано до друку . Формат 60 x 84/16. Папір друкарський,  
Друк плоский. Ум. друк. арк. . Ум. фарбо-відб. .  
Обл-вид. арк. Тираж 500 пр. Зам. № .

---

РВВ ДНУ, вул. Наукова, 13, м. Дніпропетровськ, 49050.

Друкарня ДНУ, вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050

## 4.1. Кінематика

Розглянемо основні поняття кінематики.

**Матеріальна точка** – тіло, розмірами якого в даній задачі можна знехтувати.

**Траєкторія** – лінія, яку описує матеріальна точка під час руху. Залежно від форми траєкторії рух буває прямолінійним (траєкторія – пряма) і криволінійним (траєкторія – крива).

**Радіус-вектор**  $\vec{r}$  – вектор, проведений від початку координат у дану точку. **Переміщення**  $\vec{S} = \vec{r}_{12}$  – вектор, проведений з точки 1 у точку 2. **Шлях** – відстань, відрахована вздовж траєкторії (рис. 4.1).

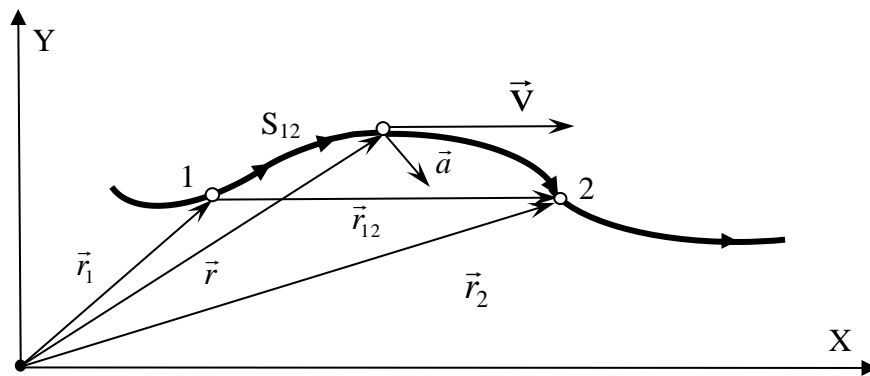


Рис. 4.1. Кінематичні величини

Вектор миттєвої швидкості або просто **швидкість**  $\vec{v}$  визначається відношенням

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

де  $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$  – переміщення точки за час  $\Delta t$ . Середня швидкість на відрізьку шляху – відношення  $v_{cp} = \frac{S_{12}}{t_{12}}$ , де  $S_{12}$  – шлях, пройдений точкою за час  $t_{12}$ . **Прис-**

**корення**  $\vec{a}$  визначається відношенням

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt},$$

де  $\Delta \vec{v}$  – змінна швидкості за час  $\Delta t$ .

Розглядаючи рух матеріальної точки зі швидкістю  $\vec{v}_1$  відносно системи відліку, що рухається зі швидкістю  $\vec{V}$ , використовують класичний закон додавання швидкостей  $\vec{v} = \vec{V} + \vec{v}_1$ , де  $\vec{v}$  – швидкість точки відносно нерухомої системи відліку.

Залежно від прискорення розрізняють:

– **рівномірний рух:**

$$\vec{a} = 0, \quad \vec{v} = \vec{v}_0, \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t;$$

тільки в цьому випадку правильна формула для швидкості  $v = \frac{S}{t}$ ;

– **рівноприскорений рух:**

$$\vec{a} = \text{const}, \quad \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2},$$

де  $\vec{r}_0$  та  $\vec{v}_0$  – початкові значення радіуса-вектора й вектора швидкості. Проектуючи вектори на одну з координатних осей, наприклад  $X$ , одержимо

$$\begin{aligned} a_x=0, & \quad v_x=v_{0x}, & \quad x=x_0+v_{0x}t, \\ a_x=\text{const}, & \quad v_x=v_{0x}+a_x t, & \quad x=x_0+v_{0x}t+\frac{a_x t^2}{2}. \end{aligned}$$

Для прямолінійного руху наведені відношення набувають найбільш простого вигляду:

**рівномірний рух**

$$a=0, \quad \boxed{S=v \cdot t};$$

**рівноприскорений рух**

$$a=\text{const}, \quad \boxed{S=v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}}, \quad \boxed{v=v_0 + a \cdot t}.$$

На основі наведених співвідношень можна одержати формулу для переміщення тіла при рівноприскореному прямолінійному русі

$$S = x - x_0 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

Рух з прискоренням, спрямованим у бік, протилежний швидкості, називається уповільненим, оскільки величина вектора швидкості зменшується (наприклад,  $a_x$  і  $v_{0x}$  мають різні знаки).

У полі тяжіння Землі тіла рухаються рівноприскорено з прискоренням **вільного падіння**  $\vec{g}$  ( $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$ ), спрямованим вертикально вниз.

$$\text{Для вільного падіння швидкість падіння } v = g \cdot t, \text{ висота } H = \frac{g \cdot t^2}{2},$$

де  $t$  – час падіння.

Тіло, кинуте під кутом  $\alpha$  до горизонту, рухається по параболі, беручи участь одночасно у двох рухах – рівномірному вздовж горизонтальної осі

$$v_x=v_{0x}=v_0 \cos \alpha, \quad x=v_{0x}t$$

і рівнозмінному вздовж вертикальної осі (рис. 4.2)

$$v_{0y}=v_0 \sin \alpha, \quad v_y=v_{0y}-gt, \quad y=v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}.$$

$$\text{Записані формули дозволяють знайти час польоту тіла } t_{\text{пльоту}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g},$$

дальність польоту  $S_{\text{max}} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ , максимальну висоту підйому тіла

$$H_{\text{max}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}. \text{ Величина вектора швидкості } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

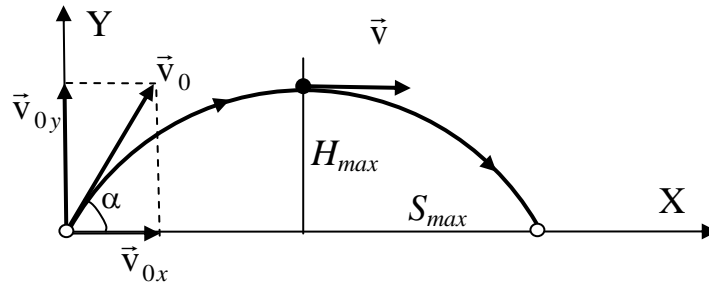


Рис. 4.2. Рух у полі тяжіння

Будь-яку криволінійну траєкторію поблизу деякої точки можна наближено вважати дугою кола, тому важливим окремим випадком криволінійного руху тіла є рух по колу (рис. 4.3). Якщо тіло пройшло по колу радіусом  $R$  шлях  $S$ , то говорять, що воно повернулось на **кут**  $\varphi = \frac{S}{R}$ . Так, визначений кут вимірюється в радіанах (рад). Аналогічно лінійній швидкості вводиться **кутова швидкість**:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt},$$

де  $\Delta \varphi$  – кут, на який повернеться радіус-вектор за час  $\Delta t$ .

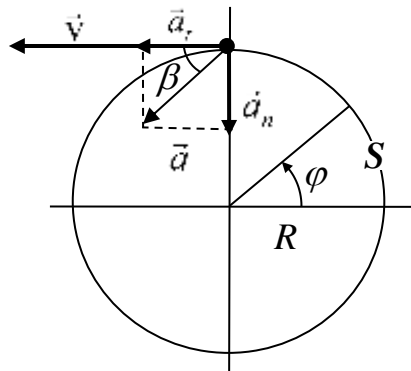


Рис. 4.3. Рух по колу

Криволінійний рух, як і рух по колу, завжди прискорений. Прискорення можна розкласти на складові  $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_r$ ; **доцентрове** (нормальне) –  $a_n = \omega \cdot v$ , спрямоване перпендикулярно до швидкості вздовж радіуса до центра кола, та **тангенціальне** (дотичне) –  $a_r = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , спрямоване по дотичній до кола. Модуль прискорення  $a = \sqrt{a_n^2 + a_r^2}$ . Вектор прискорення утворює кут  $\beta$  з вектором швидкості  $\text{tg} \beta = \frac{a_n}{a_r}$ .

Для рівномірного руху по колу модуль швидкості залишається незмінним ( $a_r = 0, v = \text{const}, \omega = \text{const}, \varphi = \omega t$ ) і зручно ввести **період**  $T$  – час повного обертута та обернену до нього величину – **частоту**  $\nu$  – кількість обертів за одиниці часу:

$$\boxed{\varphi = \omega t}, \quad \boxed{T = \frac{1}{\nu}}, \quad \boxed{\omega = 2\pi \nu}, \quad \boxed{v = \omega R}.$$

Величина доцентрового прискорення дозволяє визначити **радіус кривини**  $R$  траєкторії в даній точці:

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

## 4.2. Динаміка

Основу динаміки складають три **закони Ньютона**. Перший закон Ньютона стверджує існування інерційних систем відліку, відносно яких вільні тіла знаходяться в стані спокою або рухаються рівномірно та прямолінійно. Відповідно до другого закону Ньютона під дією рівнодійної усіх сил  $\vec{F}$  тіло рухається з прискоренням  $\vec{a}$ , яке визначається зі співвідношення

$$\vec{F} = m\vec{a},$$

де  $m$  – **маса**, міра інертності тіла. Третій закон Ньютона стверджує, що будь-яка сила виникає внаслідок парної взаємодії. При цьому кожній силі, яка діє на перше тіло  $\vec{F}_{12}$  з боку другого, протиставляється рівна їй за величиною й протилежно спрямована сила  $\vec{F}_{21}$ , що діє на друге тіло, з боку першого:  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ . **Рівнодійна сила** знаходиться за допомогою векторного додавання всіх сил, діючих на тіло:  $\vec{F}_p = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ . Додавання сил виконується попарно за правилом паралелограма або шляхом додавання проекцій на координатні осі.

Основними в динаміці є такі визначення:

1. **Закон всесвітнього тяжіння** визначає силу тяжіння двох точкових тіл (або однорідних куль) масами  $m_1$  і  $m_2$ :

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

де  $r$  – відстань між тілами (центрами куль);  
гравітаційна стала  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ кг}^{-1} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2}$ .

2. **Сила тяжіння** :  $\vec{F} = m\vec{g}$ ,  $g = G \frac{M}{R^2}$ .

Прискорення вільного падіння  $g$  на поверхні планети відповідно до закону всесвітнього тяжіння визначається масою  $M$  планети та її радіусом  $R$ .

3. **Вага тіла  $P$**  – сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору або розтягує вертикальний підвіс під дією сили тяжіння. При русі з прискоренням вага тіла може бути меншою ( $\vec{a} \downarrow \downarrow \vec{g}$ )  $P = mg - ma$  або більшою ( $\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{g}$ )  $P = mg + ma$  від сили тяжіння.

4. **Сила пружної деформації**  $F = -kx$ ,

де  $x = \Delta l$  – величина деформації (подовження тіла),  $k = E \frac{S}{l}$  – **жорсткість**,

яка залежить від геометричних розмірів ( $l$  – довжина,  $S$  – площа перерізу) тіла й матеріалу, з якого воно виготовлено ( $E$  – модуль Юнга).

5. **Сила тертя спокою** відповідно до першого закону Ньютона  $\vec{F}_{\text{тер}} = -\vec{F}$ , де  $\vec{F}$  – сила, що прагне зрушити тіло.

**Сила тертя ковзання**  $F = \mu N$  спрямована в бік, протилежний руху тіла й залежить від сили нормального тиску  $N$  (реакції опори), з якою опора діє на тіло перпендикулярно до його поверхні, а також від роду поверхонь, що притискуються одна до одної ( $\mu$  – **коефіцієнт тертя**).

6. **Сила Архімеда** – сила, що виштовхує. Вона діє на тіло, занурене в рідину (газ), дорівнює вазі виштовхнутої рідини (газу) (рис. 4.4):

$$F_A = \rho_p \cdot g \cdot V,$$

де  $\rho_p = \frac{m_p}{V}$  – густина, а  $V$  – об'єм виштовхнутої рідини (газу).

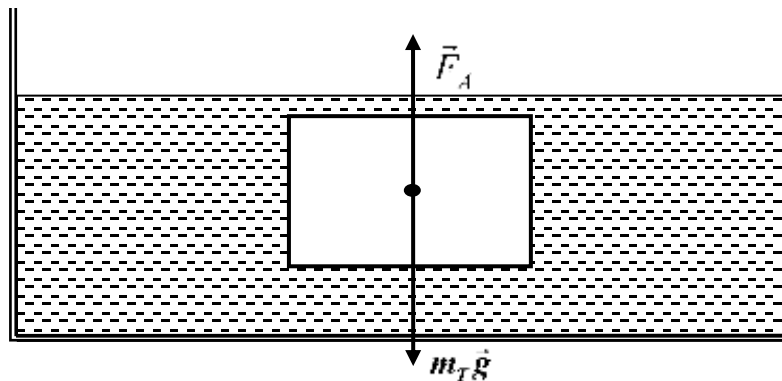


Рис. 4.4. Сили, що діють на тіло, яке занурене у рідину

7. **Сила поверхневого натягу рідини:**  $F = \sigma l$  прагне скоротити поверхню рідини, залежить від довжини лінії дотику цієї поверхні з поверхнею твердого тіла  $l$ , а також від властивостей рідини ( $\sigma$  – **коефіцієнт поверхневого натягу**).

Основу статички становлять такі твердження.

1. Тіло знаходиться в стані спокою або рухається рівномірно прямолінійно, якщо сума сил, діючих на тіло, дорівнює нулю:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0.$$

Векторну рівність можна замінити трьома скалярними, спроектувавши її на координатні осі. Так, наприклад, для осі  $X$

$$F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0.$$

2. Тіло знаходиться в стані спокою або обертається з постійною кутовою швидкістю, якщо сума моментів сил, діючих на тіло, відносно будь-якої осі дорівнює нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

**Момент сили**  $M = F \cdot d$

відносно осі обертання визначається силою  $\vec{F}$  та її *плечем*  $d$  – мінімальною відстанню між лінією дії сили та віссю обертання. У наведеній сумі моменти сил, що обертають тіло в протилежних напрямках, мають братися з різними знаками. Звичайно обертання тіла, що не має закріпленої точки, розглядається відносно осі, що проходить через центр мас.

Абітурієнти також повинні розбиратися в питаннях, пов'язаних з динамікою рідин та газів.

**Тиск** 
$$P = \frac{F}{S}$$

визначається як перпендикулярна складова  $F$  сили тиску, що діє на одиничну площадку. За **законом Паскаля** тиск у рідинах або газах, що знаходяться в стані спокою, передається однаково за всіма напрямками.

**Гідростатичний тиск** (рис. 4.5) 
$$P = \rho gh$$

створюється вагою стовпа рідини (густиною  $\rho$ ) висотою  $h$ .

Внаслідок описаних законів у сполучених посудинах довільної форми, заповнених однорідною рідиною, рівень рідини знаходиться на одній висоті. При заповненні сполучених посудин рідинами з різними густинами співвідношення висот стовпів рідин визначається рівністю гідростатичних тисків  $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ .

Відповідно до закону Паскаля для гідравлічного пресу

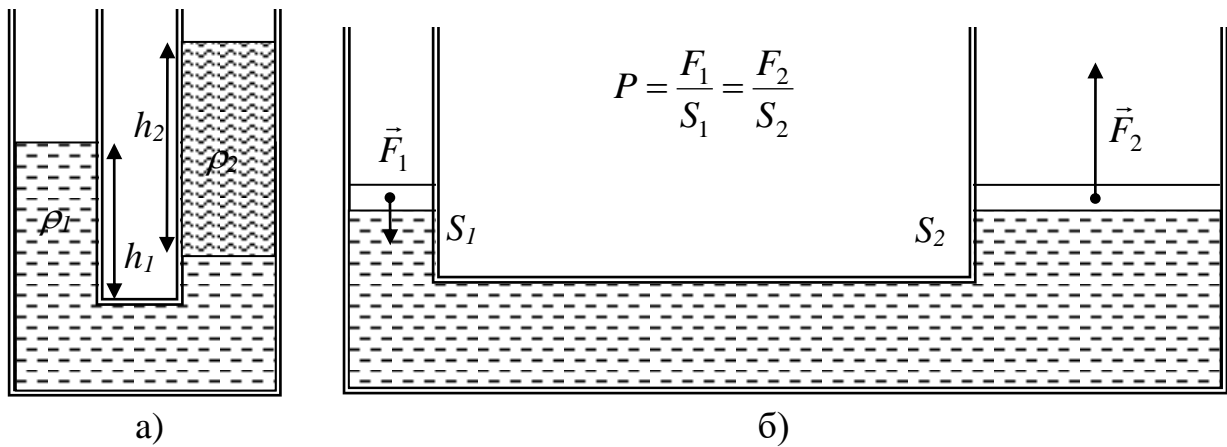


Рис. 4.5. Застосування законів гідростатики:  
а) сполучені посудини; б) гідравлічний прес

Оскільки рідина мало стискується, то її об'єм  $V \approx const$ , отже, при зміщенні першого поршня на  $h_1$  другий зміститься на  $h_2$  відповідно до рівності

$$S_1 h_1 = S_2 h_2.$$

Для потоку рідини, що тече зі швидкістю  $v$ , кількість рідини, яка проходить через переріз  $S$  за одиницю часу, також зберігається:

$$\frac{V}{t} = S \cdot v = const.$$

Уздовж лінії стаціонарної течії нев'язкої рідини виконується **рівняння Бернуллі**



$$\boxed{\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = const},$$

яке відображає закон збереження енергії за відсутності втрат на в'язке тертя в рідині.

На відміну від рідин, гази легко стискаються, тому описані вище формули застосовуються лише для повільних рухів газів.

Сила поверхневого натягу приводить до підняття (опускання) рівня рідини в *капілярах*, тонких трубках, у випадку змочування (незмочування) поверхні трубки рідиною.

Висота підняття (опускання)  $h$  визначається силою поверхневого натягу

$$h = \frac{2\sigma}{\rho gr},$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $r$  – радіус капіляра.

### 4.3. Закони збереження в механіці

Однією з найважливіших величин, що зберігаються, у механіці є імпульс тіла:

$$\boxed{\vec{p} = m\vec{v}}.$$

Відповідно до другого закону Ньютона зміна імпульсу

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1, \quad \boxed{\Delta\vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t}$$

відбувається під дією сили  $\vec{F}$  за час  $\Delta t$ . У замкнутій системі, не схильній до зовнішніх впливів, векторна сума імпульсів тіл системи зберігається:

$$\boxed{\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_n = const}.$$

При взаємодіях тіл системи звичайно прирівнюють сумарний імпульс  $\vec{p}$  до й після взаємодії  $\vec{p}'$ . Проекція цього рівняння на одну з осей може бути записана так:

$$p_{1x} + p_{2x} + \dots + p_{nx} = p'_{1x} + p'_{2x} + \dots + p'_{nx}.$$

У замкнутій системі за відсутності сил тертя й опору середовища зберігається **повна механічна енергія системи**

$$\boxed{E = E_k + E_n},$$

яка дорівнює сумі **кінетичної**

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

та потенціальної  $E_n$  енергій. Так відбувається, наприклад, у випадку пружного удару двох тіл, коли сумарна енергія до взаємодії  $E$  дорівнює енергії після взаємодії  $E'$ :

$$E_{1к} + E_{2к} = E'_{1к} + E'_{2к}.$$

**Потенціальна енергія** визначається типом взаємодії:

- для тіла, піднятого на висоту  $h$  над заданим нульовим рівнем:

$$E_n = mgh$$

- для пружно стиснутої або розтягнутої на  $x$  пружини:

$$E_n = \frac{kx^2}{2};$$

- для гравітаційної взаємодії двох тіл з масами  $m_1$  і  $m_2$ , що знаходяться на порівняно великій відстані  $r$  одне від одного,

$$E_n = -G \frac{m_1 m_2}{r};$$

- для кулонівської взаємодії двох тіл з зарядами  $q_1$  і  $q_2$ , які знаходяться на порівняно великій відстані  $r$  одне від одного,

$$E_n = k \frac{q_1 q_2}{r}.$$

На малому переміщенні  $\vec{S}$  сила  $\vec{F}$ , діюча на тіло, змінює кінетичну енергію тіла на величину, що дорівнює **роботі**  $A = \Delta E_k$ :

$$A = F S \cos \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{F}$  і  $\vec{S}$ . Якщо сила потенціальна, то  $A = -\Delta E_n$ , при цьому повна енергія не змінюється, а відбувається тільки перетворення одного типу енергії в інший (потенціальної в кінетичну або навпаки).

Для характеристики роботи, що здійснюється за одиницю часу, вводиться поняття **потужності**

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

Потужність часто застосовують для характеристики двигунів та механічних пристроїв. Вона визначається силою тяги  $F$  і швидкістю руху  $v$ :

$$N = Fv.$$

Ефективність механізму описують коефіцієнтом корисної дії (**ККД**):

$$\eta = \frac{A_1}{A_2} \cdot 100\%,$$

де  $A_1$  – корисна і  $A_2$  – затрачена робота.

#### 4.4. Молекулярна фізика. Газові закони

Відповідно до *основних положень молекулярно-кінетичної теорії* речовина складається з молекул (атомів), які взаємодіють між собою й знаходяться в безперервному хаотичному русі. Кінетична енергія хаотичного руху визначає температуру тіл. Для одноатомного ідеального газу, коли можна знехтувати притяганням та розмірами молекул, виконуються такі вирази для тиску й середньої кінетичної енергії молекули:

$$\boxed{P = nkT}, \quad E_{\text{сер}} = \frac{m_0 v_{\text{сер}}^2}{2}, \quad \boxed{E_{\text{сер}} = \frac{3}{2} kT},$$

де  $m_0$  – маса молекули,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – стала Больцмана,  $\boxed{n = \frac{N}{V}}$  – концентрація або кількість молекул газу в одиниці об'єму,  $T$  – **абсолютна температура**, яка вимірюється в кельвінах (K). Перехід від шкали Цельсія до шкали Кельвіна виконують зсувом на  $273^\circ$ :  $\boxed{T = t^\circ + 273^\circ}$   $\Delta T = \Delta t$ . Введена швидкість  $v_{\text{сер}}$  називається **середньою квадратичною швидкістю** руху молекул і для даного газу визначається його температурою:

$$\boxed{v_{\text{сер}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}},$$

де  $R = kN_A = 8,31$  Дж/(К·моль) – універсальна газова стала,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  1/моль – стала Авогадро (кількість молекул в одному молі),  $M$  – маса моля, що визначається за таблицею Менделєєва.

Рівняння стану ідеального газу – **рівняння Клапейрона-Менделєєва**

$$\boxed{PV = \nu RT}$$

пов'язує між собою такі параметри стану:  $P$  – тиск,  $V$  – об'єм,  $T$  – температура.

**Кількість речовини**

$$\boxed{\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}}$$

відповідає масі газу  $m$ . Інколи як один з параметрів стану обирається густина

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V}}$$

При незмінній кількості речовини  $\nu = \text{const}$  з рівняння Клапейрона-Менделєєва можуть бути одержані газові закони для ізопроцесів:

- **ізотермічний** процес (закон Бойля-Маріотта):

$$T = \text{const}, \quad \boxed{P_1 V_1 = P_2 V_2};$$

- **ізохоричний** (ізохорний) процес (закон Шарля):

$$V = \text{const}, \quad \boxed{\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}};$$

- **ізобаричний** (ізобарний) процес (закон Гей-Люссака):

$$P = \text{const}, \quad \boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}}.$$

**Закон Дальтона** визначає тиск суміші ідеальних газів як суму з парціальних тисків, тобто тисків, що створюються кожним газом незалежно від інших.

**Нормальними умовами** вважаються: температура  $T_0 = 273 \text{ K}$  ( $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), тиск –  $P_0 = 1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$ .

## 4.5. Теплові явища

### Перший закон термодинаміки

$$\boxed{\Delta U = Q + A}$$

визначає, що зміна внутрішньої енергії системи  $\Delta U$  може бути викликана передачею системі деякої кількості тепла  $Q$ , а також роботою  $A$ , проведеною над системою. Якщо робота здійснюється самою системою, це призводить до зменшення внутрішньої енергії системи:  $A < 0$ . Над системою з ідеального газу робота здійснюється тільки при зміні об'єму (на  $\Delta V = V_1 - V_2$ ). При

$$P = \text{const}, \quad \boxed{A = P \Delta V}.$$

В окремих випадках  $A = P_{\text{сер}} \Delta V$ , де  $P_{\text{сер}}$  – деякий середній тиск.

Для одноатомного ідеального газу внутрішня енергія дорівнює кінетичній енергії поступального руху молекул газу:

$$\boxed{U = NE_{\text{сер}} = \frac{3}{2} \nu RT}.$$

При швидкому стисканні (розширенні) відбувається **адіабатичний** (адіабатний) процес – без передачі тепла  $Q$ . При повільному стисканні (розширенні) відбувається ізотермічний процес, система встигає прийти в теплову рівновагу з оточуючим середовищем.

Якщо об'єм тіл не змінюється, то внутрішня енергія змінюється тільки за рахунок теплопередачі. У цьому випадку для визначення кількості теплоти, переданої від одного тіла до іншого, застосовують **рівняння теплового балансу**: кількість теплоти, віддана тілами, нагрітими до більш високої температури, при охолодженні, конденсації пари, кристалізації дорівнює кількості теплоти, отриманій більш холодними тілами системи при нагріванні, пароутворенні, плавленні:

$$\Sigma Q_{\text{відд.}} = \Sigma Q_{\text{отрим.}}$$

- Кількість теплоти, необхідне для **нагрівання тіла** масою  $m$  з питомою теплоємністю  $c$  на  $\Delta t = t_2 - t_1$  градусів:

$$Q = mc \Delta t$$

- Кількість теплоти, яка виділяється (отримується) при **конденсації (пароутворенні)** маси  $m$  пари:

$$Q = r m$$

де  $r$  – питома теплота пароутворення.

- Кількість теплоти, яка виділяється (отримується) при **кристалізації (плавленні)** маси  $m$  рідини:

$$Q = \lambda m,$$

де  $\lambda$  – питома теплота плавлення.

- При **згорянні палива** масою  $m$  виділяється кількість теплоти:

$$Q = q m,$$

де  $q$  – питома теплота згоряння палива.

У наведених вище формулах вважається, що при зміні агрегатного стану речовини температура залишається незмінною, такою, що дорівнює температурі кипіння або плавлення.

Будь-який тепловий двигун складається з трьох основних елементів – **нагрівача, холодильника та робочого тіла**. Якщо в процесі роботи теплового двигуна від нагрівача до робочого тіла передано кількість теплоти  $Q_1$ , а від робочого тіла до холодильника –  $Q_2$ , то ККД дорівнює

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% .$$

Максимально можливий ККД реалізується в ідеальному тепловому двигуні, який працює за **циклом Карно**. Відповідно до другого закону термодинаміки тепло не може самовільно передаватися від менш нагрітого тіла до більш нагрітого, тому максимальне значення ККД не залежить від роду робочого тіла й визначається тільки температурами нагрівача  $T_1$  і холодильника  $T_2$ :

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% .$$

Рівновага рідини та її пари (**насичена пара**) досягається в закритій посудині. Знаючи **абсолютну вологість**  $\rho$  – кількість пари в повітрі (густина), а також густину  $\rho_0$  або тиск  $P_0$  насиченої пари при даній температурі, можна визначити **відносну вологість**

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\% ,$$

$$\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100\% ,$$

яка показує, наскільки пара близька до насичення.

При нагріванні тіла збільшують свої лінійні розміри  $l$ , а отже, й об'єм  $V$ :

$$l = l_0(1 + \beta t); \quad V = V_0(1 + \alpha t),$$

де  $l_0$  та  $V_0$  – довжина та об'єм тіла при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\beta$  та  $\alpha$  – коефіцієнти лінійного та об'ємного розширень відповідно.

#### 4.6. Електростатика

Нерухомий електричний заряд створює навколо себе електростатичне поле, яке впливає на інші заряди. Взаємодія двох точкових зарядів  $q_1$  і  $q_2$ , що знаходяться на відстані  $r$  один від одного, описується **законом Кулона**

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2},$$

де  $k \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл}^{-2}$ . Іноді замість сталої  $k$  використовують електричну сталу  $\varepsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ , пов'язану зі сталою  $k$  відношенням  $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ .

За силою, діючою на пробний заряд  $q_{np}$ , який поміщений у дану точку поля, визначають силову характеристику електростатичного поля – **напруженість**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{np}}.$$

Унаслідок поляризації сила взаємодії зарядів, а отже, і напруженість електростатичного поля, у звичайних діелектриках послаблюється у  $\varepsilon$  разів, тому  $\varepsilon$  називається **діелектричною проникністю середовища**. Усередині провідника поле відсутнє:  $E = 0$ ,  $\varphi = const$ .

Діючи на заряд  $q$ , електростатичне поле здійснює роботу

$$A = qU, \quad \text{де} \quad U = \Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2),$$

що дорівнює зміні потенціальної енергії  $E_n$  заряду (див. вище), яка й визначає енергетичну характеристику електростатичного поля – **потенціал**

$$\varphi = \frac{E_n}{q_{np}}.$$

В однорідному електростатичному полі різниця потенціалів  $U$  (**напруга**) між точками, що знаходяться на відстані  $d$  уздовж силової лінії, пов'язана з напруженістю:

$$U = Ed.$$

Точковий заряд  $q$  або сферично симетрично заряджена куля створює на відстані  $r$  від свого центра (зовні кулі) електричне поле:

напруженості:  $E = k \frac{q}{r^2}$  і потенціалу  $\varphi = k \frac{q}{r}$ .

Заряджена пластина поблизу своєї середини створює однорідне електростатичне поле напруженості  $E = 2\pi k\sigma$ , де  $\sigma = \frac{q}{S}$  – поверхнева густина заряду.

Відповідно до **принципу суперпозиції** результуюча напруженість електростатичного поля, створеного декількома зарядженими тілами, знаходиться за допомогою векторного додавання

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n,$$

а потенціал – алгебраїчного додавання

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$

Здатність системи двох провідників накопичувати електричний заряд характеризується **ємністю**

$$C = \frac{q}{U},$$

де  $q$  – заряд,  $U$  – різниця потенціалів провідників. Для поодинокого провідника як другий провідник обирається нескінченно віддалені тіла, що мають нульовий потенціал. Це дозволяє різницю потенціалів замінити потенціалом поодинокого провідника.

Ємність визначається геометричними розмірами системи провідників та діелектричною проникністю середовища між ними:

Ємність поодинокій кулі радіусом  $R$ , зануреної в діелектрик з діелектричною проникністю  $\varepsilon$ ,

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R = \frac{\varepsilon R}{k}.$$

Ємність **плоского конденсатора**,  $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ ,

де  $S$  – площа однієї пластини,  $d$  – відстань між пластинами.

При **послідовному** з'єднанні конденсаторів (рис. 4.6) загальна ємність  $C$  зменшується, при **паралельному** (рис. 4.7) – збільшується.

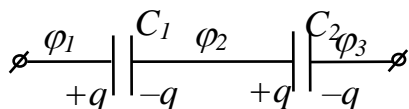


Рис. 4.6. Послідовне з'єднання конденсаторів:

$$q = q_1 = q_2, U = U_1 + U_2,$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

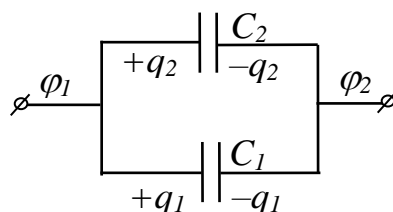


Рис. 4.7. Паралельне з'єднання конденсаторів:

$$q = q_1 + q_2, U = U_1 = U_2,$$

$$C = C_1 + C_2.$$

Електричне поле в конденсаторі має енергію

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

#### 4.7. Постійний електричний струм

**Електричний струм** – спрямований рух заряджених частинок – характеризується силою струму та його густиною:

$$I = \frac{q}{t}, \quad j = \frac{I}{S} .$$

Сила струму чисельно дорівнює заряду  $q$ , що проходить через переріз провідника  $S$  за одиницю часу. Швидкість руху заряджених частинок (**швидкість дрейфу**  $v$ ) пов'язана з густиною струму  $j = nq_0v$ . Швидкість дрейфу носіїв струму з зарядом  $q_0$  та концентрацією в провіднику  $n$  звичайно мала порівняно зі швидкістю передачі електромагнітної взаємодії (швидкістю світла).

У металах та електролітах вольт-амперна характеристика (залежність сили струму  $I$  від напруги  $U$ ) визначається **законом Ома** для ділянки кола:

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

**Опір**  $R$  залежить від геометричних розмірів провідника ( $l$  – довжина,  $S$  – площа перерізу) та матеріалу ( $\rho$  – **питомий опір**):

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

а також від температури  $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ , де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору ( $\alpha > 0$  для металів та  $\alpha < 0$  для електролітів),  $\rho_0$  – питомий опір при температурі  $0^\circ\text{C}$ .

При послідовному з'єднанні провідників (**резисторів**) (рис. 4.8) загальний опір  $R$  збільшується, при паралельному (рис. 4.9) – зменшується.

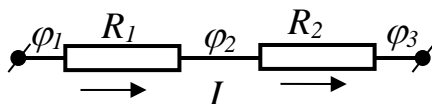


Рис. 4.8. Послідовне з'єднання провідників:  
 $I = I_1 = I_2, U = U_1 + U_2,$

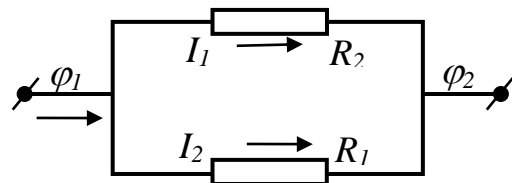


Рис. 4.9. Паралельне з'єднання провідників:  
 $I = I_1 + I_2, U = U_1 = U_2,$



$$\boxed{R = R_1 + R_2} .$$

$$\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} .$$

Для створення електричного струму в замкнутому колі необхідне джерело струму, яке характеризується **електрорушійною силою (ЕРС)**

$$\boxed{\varepsilon = \frac{A}{q}}$$

та **внутрішнім опором  $r$** . Тут  $A$  – робота джерела по переміщенню заряду  $q$ . ЕРС визначає падіння напруги в колі. Для розімкненого кола  $U = \varepsilon$ . Для замкнутого кола напруга на зовнішньому опорі  $R$  (навантаженні)  $U = \varepsilon - I r$  менше на падіння напруги в самому джерелі струму  $I r$ , тому силу струму визначає **закон Ома для замкнутого кола**

$$\boxed{I = \frac{\varepsilon}{R + r}} .$$

Максимальна сила струму досягається при короткому замиканні :

$$R = 0, \quad I_{max} = \varepsilon / r .$$

Джерела струму можна поєднати в батареї. При послідовному з'єднанні  $n$  однакових джерел ЕРС додаються  $I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$ , при паралельному з'єднанні ЕРС

залишається незмінною  $I = \frac{n\varepsilon}{nR + r}$ .

При проходженні носіями струму різниці потенціалів  $U$  здійснюється робота  $A = IUt$ , яка витрачається на нагрівання провідників, виконання механічної роботи, підтримку хімічних реакцій. У нерухомих провідниках з незмінним хімічним складом за **законом Джоуля-Ленца** робота повністю витрачається на їх нагрівання. Кількість теплоти  $Q$  та потужність  $N$  визначаються з виразів

$$Q = A = \frac{U^2 t}{R} = I^2 R t, \quad A = IUt, \quad N = IU, \quad N = \frac{U^2}{R} = I^2 R .$$

Потужність, що виділяється на зовнішньому навантаженні, є корисна, тому ККД джерела струму  $\eta = \frac{R}{R + r} \cdot 100\%$ .

В електролітах носії електричного струму є іони, тому їх існування пов'язане з перенесення речовини (електролізом). Маса речовини, що виділилася на електроді, за **законом Фарадея** пропорційна силі струму  $I$  та часу його проходження  $t$ :

$$\boxed{m = k I t} .$$

**Електрохімічний еквівалент**  $k = \frac{M}{neN_A}$ , де  $M$  – маса моля речовини,

$n$  – валентність. Замість елементарного заряду  $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл та сталої Авогадро  $N_A$  іноді застосовують число Фарадея  $F = eN_A = 9,65 \cdot 10^4$  Кл/моль.

Струм у вакуумі може виникнути за рахунок явища **термоелектронної емісії** – випускання електронів нагрітим тілом. Струм припиняється, коли затримуюча різниця потенціалів  $U$  забезпечує зупинку електронів:

$$eU \geq \frac{mv^2}{2} .$$

У газах іонізація нейтральних атомів може відбутися під впливом іонізуючого випромінювання або при зустрічі атомів з електронами, які пройшли прискорюючу різницю потенціалів  $U$ , якщо енергії електрона буде достатньо ( $eU \geq A$ ) для здійснення роботи іонізації.

#### 4.8. Магнітне поле. Електромагнітна індукція

Магнітне поле утворюється зарядами, що рухаються, а отже, і провідниками зі струмом. Магнітне поле характеризується **вектором магнітної індукції**  $\vec{B}$ , спрямованим перпендикулярно до струму, який його утворює. Визначити величину вектора магнітної індукції можна за максимальним обертальним моментом  $M_{max}$ , діючим на рамку площиною  $S$  зі струмом  $I$ , що знаходиться в магнітному полі:

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

Магнітне поле  $\vec{B}$  діє на заряд  $q$ , який рухається зі швидкістю  $\vec{v}$ , з **силою Лоренца**

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha ,$$

де  $\alpha$  – кут між векторами швидкості  $\vec{v}$  та індукції магнітного поля  $\vec{B}$ . Сила Лоренца перпендикулярна зазначеним векторам. Оскільки електричний струм утворюється спрямованим рухом зарядів, то на провідник (довжиною  $l$ ) зі струмом у магнітному полі також діє сила, перпендикулярна напрямку струму  $I$  та вектора  $\vec{B}$ , яка визначається за **законом Ампера**:

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha .$$

При русі частинок у магнітному полі сила Лоренца перпендикулярна до швидкості, тому величина вектора швидкості не змінюється ( $v = const$ ) і робота не здійснюється ( $A = 0$ ). В однорідному магнітному полі частинки рухаються по гвинтовій лінії. Якщо початкова швидкість  $\vec{v}$  перпендикулярна магнітній індукції, то частинка рухається по колу радіусом  $R$  з періодом  $T$ :

$$R = \frac{mv}{qB}, \quad T = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Як бачимо з наведених формул, період не залежить від швидкості.

Кількість ліній магнітної індукції  $\vec{B}$ , що проходять через площадку площиною  $S$ , визначає **магнітний потік**

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sin\alpha.$$

де  $\alpha$  – кут між напрямком магнітної індукції і нормаллю до поверхні площадки. Зміна магнітного потоку через контур приводить до виникнення в ньому ЕРС індукції. Її величина визначається **законом електромагнітної індукції**

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

де  $\Delta t$  – час, протягом якого відбулася зміна потоку  $\Delta\Phi$ .

На кінцях провідника довжиною  $l$ , що рухається в однорідному магнітному полі з перпендикулярною до власної довжини швидкістю  $\vec{v}$ , яка складає кут  $\beta$  з лініями магнітної індукції, виникає різниця потенціалів

$$\varepsilon = v \cdot l \cdot B \cdot \sin\beta.$$

При обертанні рамки площиною  $S$  з циклічною частотою  $\omega$  у магнітному полі  $B$ , перпендикулярному до осі обертання, у рамці індукується змінна ЕРС

$$\varepsilon = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega t).$$

Електричний струм, що протікає в контурі, створює магнітне поле, а отже, магнітний потік  $\Phi = LI$ , прямо пропорційний за величиною силі струму  $I$ . Коефіцієнт пропорційності  $L$  називається індуктивністю контуру й залежить від форми, розмірів контуру й середовища, в яке він вміщений. При зміні струму в контурі потік змінюється й відповідно до закону індукції виникає **ЕРС самоіндукції**:

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Знак „-”, як і в попередній формулі, пов’язаний з правилом Ленца, відповідно до якого індукційний струм перешкоджає зміні струму, що його породив.

Енергія магнітного поля, створеного контуром, визначається індуктивністю контуру  $L$  та силою струму в ньому  $I$ :

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

Перетворення змінного струму здійснюється за допомогою **трансформаторів**. Співвідношення кількості витків  $n$  у первинній і у вторинній обмотках – коефіцієнт трансформації  $k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$  – визначає відношення напруг у первинній  $U_1$

та вторинній  $U_2$  обмотках. Для ідеального трансформатора (без втрат енергії) потужність струму в обмотках однакова:  $N = U_1 I_1 = U_2 I_2$ .

Неминучі втрати призводять до зменшення корисної потужності у вторинній обмотці, тоді формула

$$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \cdot 100\%$$

визначає ККД трансформатора.

#### 4.9. Механічні та електромагнітні коливання й хвилі

Коливання відбуваються у фізичних системах, що мають положення стійкої рівноваги. Коливання поблизу положення рівноваги можна вважати **гармонійними**, тобто такими, що відбуваються під дією пружних сил  $F = -kx$  за законом **сінуса** (або **косінуса**), тому зміщення від положення рівноваги відповідає закону

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

де  $A = x_{max}$  – **амплітуда** коливань, максимальне зміщення від положення рівноваги,  $\omega = 2\pi\nu$  – **циклічна частота**. Величина  $\varphi = \omega t + \varphi_0$  називається **фазою**,  $\varphi_0$  – початковою фазою коливань. Фаза змінюється за тим же законом, що й кут при рівномірному обертанні по колу.

Швидкість тіла  $v$  та прискорення  $a$  змінюються за аналогічним законом

$$v = A \omega \cos(\omega t + \varphi_0), \quad a = -x \omega^2 = -A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Максимальні значення швидкості  $v_{max} = A \omega$  та прискорення  $a_{max} = A \omega^2$  досягаються в різні моменти часу. Період  $T$  та циклічна частота  $\omega$  гармонійних коливань не залежать від амплітуди й визначаються характеристиками системи. Для тіла масою  $m$  на **пружині** жорсткості  $k$  та для **математичного маятника** довжиною  $l$  маємо

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Період пов'язаний з циклічною частотою формулою  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .

Повна механічна енергія в процесі коливань зберігається:

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kx_{max}^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2},$$

однак відбувається перетворення одного типу енергії (потенціальної) в іншу (кінетичну).

**Електромагнітні коливання** в контурі, що містить конденсатор ємності  $C$  і котушку індуктивності  $L$ , за відсутності опору  $R$  також є гармонійні (додаток 5). Повна енергія – сума енергій електричного та магнітного полів

$$E = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = \frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{LI_{\max}^2}{2} -$$

зберігається. Заряд  $q$  та напруга  $U$  на конденсаторі, сила струму в контурі  $I$  змінюються за законом синуса (косинуса) (додаток 5), а їх максимальне значення визначається формулами  $I_{\max} = q_{\max} \omega$ ,  $U_{\max} = \frac{q_{\max}}{C}$ .

Частоту та період гармонійних електромагнітних коливань визначають індуктивність  $L$  та ємність  $C$  коливального контуру:

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

При вимушених електромагнітних коливаннях у колі тече **змінний електричний струм**, для якого справедливий **закон Ома**

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R_{\text{повн}}},$$

$$R_{\text{повн}} = \sqrt{R_a^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

з **повним** опором  $R_{\text{повн}}$ , що визначається активним (омічним) –  $R_a$  та реактивним –  $\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$  опорами. **Індуктивна**  $\omega L$  та **ємнісна**  $\frac{1}{\omega C}$  частини реактивного опору визначаються індуктивністю та ємністю кола.

Потужність у колі змінного струму

$$N = I_{\max}^2 R \cos \varphi,$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{R_{\text{повн}}},$$

де  $\cos \varphi$  – **коефіцієнт потужності**. Для зручного обчислення потужності використовують **діючі значення** сили струму та напруги:

$$I_{\text{д}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}},$$

$$U_{\text{д}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

**Хвилі** являють собою процес поширення коливань у просторі. Вони характеризуються, крім періоду  $T$ , частоти  $\nu$ , амплітуди  $A$ , ще й **довжиною хвилі**  $\lambda$  – відстанню між найближчими точками, що коливаються у фазі. При переході з одного середовища в інше частота залишається незмінною, довжина й швидкість хвилі змінюються:

$$v = \lambda \nu.$$

Електромагнітні хвилі поширюються у вакуумі зі швидкістю світла  $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с, тому

$$c = \lambda \nu.$$

Дальність дії радіолокатора  $S = \frac{c \Delta t}{2}$  визначається проміжком часу  $\Delta t$  між його імпульсами.

#### 4.10. Оптика

Відповідно до **закону прямолінійного розповсюдження світла**, що лежить в основі **геометричної оптики**, світло в однорідному середовищі розповсюджується прямолінійно. На границі розділу середовищ можливе відбиття та заломлення світла за законами (рис. 4.10):

**Закон відбиття:** кут падіння  $\alpha$  дорівнює куту відбиття  $\alpha'$ .

**Закон заломлення:** відношення синуса кута падіння  $\alpha$  до синуса кута заломлення  $\beta$  – величина стала – відносний показник заломлення середовищ:

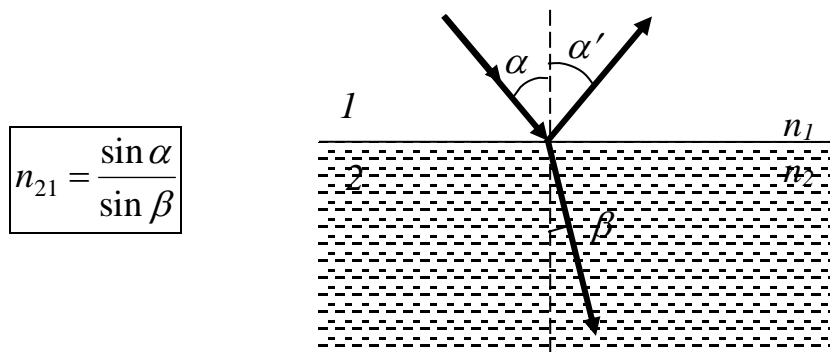


Рис. 4.10. Закони відбиття та заломлення

Промінь, що падає, відбитий, заломлений та перпендикуляр, проведений у точці падіння до границі двох середовищ, лежать в одній площині. **Показник заломлення** середовища відносно вакууму – абсолютний показник заломлення  $n = \frac{c}{\nu}$  –

визначається швидкістю світла в середовищі  $\nu$  і завжди більший від одиниці ( $n > 1$ ), тому що швидкість світла в середовищі завжди менша від швидкості світла у вакуумі  $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с.

При переході світла з більш густого в менш густе середовище можливе **повне внутрішнє відбиття**, коли промінь світла не переходить у друге середовище ( $\gamma > 90^\circ$ ). Для максимального кута  $\alpha_{max}$  переходу з середовища з показником заломлення  $n$  у повітря ( $n \approx 1$ ) виконується відношення

$$n = \frac{1}{\sin \alpha_{max}}.$$

При побудові зображень у лінзах застосовують формулу тонкої лінзи

$$\boxed{\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}},$$

де  $F$  – **фокусна відстань лінзи**,  $d$  та  $f$  – відстані від лінзи до предмета та зображення.

Обернена до фокусної відстані величина

$$\boxed{D = \frac{1}{F}}$$

називається **оптичною силою лінзи**, вимірюється в діоптріях (дптр = 1/м). Для розсіювальної лінзи  $F < 0$ .

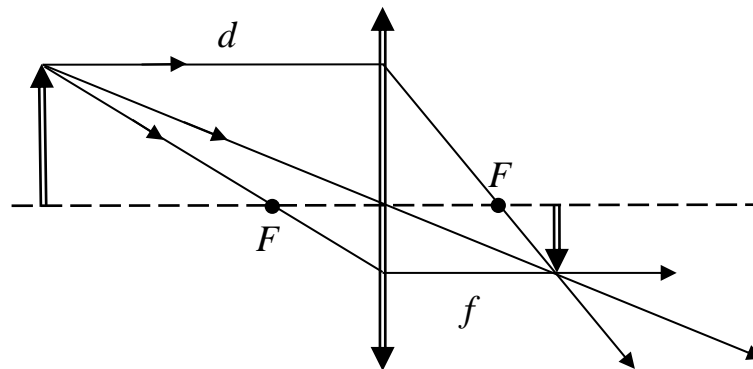


Рис. 4.11. Побудова зображень у лінзах

Зображення предметів, розташованих ближче фокусної відстані до збиральної лінзи, а також у розсіювальних лінзах – уявні ( $f < 0$ ). Збільшення лінзи визначається відношенням величини отриманого зображення до розмірів предмета (рис. 4.11).

Основне положення *хвильової оптики* є твердження про те, що світло – це електромагнітна хвиля з довжиною хвилі  $\lambda$  та частотою  $\nu$ . Тому можливе накладання світлових хвиль з перерозподілом інтенсивності – **інтерференція** та огинання світлом перешкод, порівнянних за розмірами з довжиною хвилі, – **дифракція**.

При інтерференції когерентних пучків світла максимуми та мінімуми виникають при різниці ходу променів  $\Delta$ , що дорівнює

$$\boxed{\Delta_{max} = n\lambda} \text{ – цілому} \qquad \boxed{\Delta_{min} = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}} \text{ – напівцілому}$$

числу довжин хвиль ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ).

При дифракції на **дифракційній решітці**, що складається зі щілин на відстані  $a$  (період решітки) одна від одної, спостерігаються максимуми при

$$\boxed{\Delta_{max} = a \sin(\varphi_{max}) = n\lambda}$$

у протилежному випадку.

#### 4.11. Квантова фізика. Теорія відносності. Атомна фізика

Відповідно до *квантової теорії* елементарні частинки мають *хвильові властивості*. Частинці з імпульсом  $p$  протиставляється хвиля з довжиною хвилі  $\lambda$ :

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

де  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – стала Планка.

Світло має *корпускулярні властивості*. Квант світла – *фотон* – має енергію

$$E = h\nu.$$

Відповідно до *спеціальної теорії відносності (СТВ)* енергія та імпульс тіла, що рухається,

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad \vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Для тіла, що знаходиться в стані спокою ( $v = 0$ ), енергія та маса еквівалентні:

$$E = mc^2.$$

Кінетична енергія тіла, що рухається, дорівнює різниці енергії руху та спокою. При русі зі швидкостями, близькими до швидкості світла, слід застосовувати релятивістський закон додавання швидкостей:

$$v = \frac{V + v_1}{1 + \frac{Vv_1}{c^2}},$$

де  $v$  та  $v_1$  – швидкості тіла відносно умовно нерухомої та рухомої систем відліку. При цьому швидкість рухомої системи відліку  $V$  та швидкість  $v_1$  лежать на одній прямій.

При попаданні фотона на поверхню металу може виникнути *фотоефект* – вибивання електронів під дією світла. Кінетична енергія вирваного електрона визначається за допомогою *рівняння Ейнштейна*

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Вибивання електронів відбувається, якщо *робота виходу*  $A$  електрона з поверхні металу менша від енергії фотона, що падає. Граничні значення частоти або



довжини хвилі, за яких ще можливий фотоефект, називаються **червоною границею фотоефекту**: 
$$\nu_{\min} = \frac{A}{h}, \quad \lambda_{\max} = \frac{ch}{A}.$$

В усіх наведених вище формулах перехід від частоти до довжини хвилі й навпаки виконується за формулою

$$c = \lambda \nu.$$

Відповідно до уявлень атомної фізики атом складається з позитивно зарядженого ядра й електронів, що знаходяться на дискретних орбітах – енергетичних рівнях. Атом випускає (поглинає) фотон частотою  $\nu$  при переході на нижчий (вищий) енергетичний рівень. Енергія фотона визначається різницею енергій, що відповідають цим рівням:

$$h\nu = E_1 - E_2.$$

Одним з етапів становлення атомної та квантової фізики була планетарна модель атома Бора-Резерфорда, згідно з якою електрони під дією кулонівської сили обертаються навколо ядра по суворо визначеним орбітам, радіуси яких  $r$  пов'язані з масою електрона  $m$  та швидкістю орбітального руху  $v$  відношенням

$$mvr = n \frac{h}{2\pi}, \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Ядро атома складається з  $Z$  **протонів** ( $p^+$ ) та  $N$  **нейтронів** ( $n^0$ ). Їх загальна кількість  $A = Z + N$  називається масовим числом ядра або числом нуклонів у ядрі. Сумарна маса вільних  $Z$  протонів та  $N$  нейтронів більша від **маси ядра**  $M_{\text{Я}}$  на

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{Я}}.$$

У таблицях звичайно наводяться маси атомів  $M_A$ , а не ядер, тому застосовують також іншу формулу:

$$\Delta m = ZM_H + Nm_n - M_A,$$

де  $M_H$  – маса атома водню. З існуванням дефекту маси  $\Delta m$  і **енергії зв'язку** ядра  $\Delta E_{\text{зв}} = \Delta mc^2$  пов'язана можливість одержання енергії за допомогою ядерних реакцій. При радіоактивних перетвореннях –  $\alpha$ - та  $\beta$ -розпаді, випусканні нейтрона тощо, зберігаються електричний заряд та кількість нуклонів, що приводить до правил зміщення:

$$\begin{array}{ll} \alpha\text{-розпад} & ({}^4_2\text{He}) & {}^A_Z\text{X} = {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\alpha, \\ \beta\text{-розпад} & ({}^0_{-1}e) & {}^A_Z\text{X} = {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}e, \\ \text{випускання нейтрона} & ({}^1_0n) & {}^A_Z\text{X} = {}^{A-1}_Z\text{Y} + {}^1_0n. \end{array}$$

При радіоактивному розпаді кількість атомів, що не розпалися  $N$ , визначається **законом радіоактивного розпаду**

$$N = N_0 2^{-t/T},$$

де  $T$  – період напіврозпаду,  $N_0$  – кількість атомів у момент часу  $t = 0$ .

## 5. ХАРАКТЕРНІ ПОМИЛКИ НА ВСТУПНИХ ЕКЗАМЕНАХ

Останні роки роботи абітурієнтів перевіряються безпосередньо викладачами – членами предметної комісії з фізики, що дозволяє звести до мінімуму оскарження виставленої оцінки. Загальна оцінка визначається за кількістю балів, нарахованих за кожну задачу. Існує багато факторів, які впливають на успішну задачу іспиту.

Помилки можуть бути обумовлені поверхневим знанням фізики. Ліквідувати їх можна тільки систематичним вивченням шкільного курсу фізики за стандартним підручником або будь-яким іншим навчальним посібником для вступників до вищих навчальних закладів.

Деякі помилки, що виникають при розв'язуванні задач, пов'язані з недостатніми навичками в проведенні математичних розрахунків і перетворень. Запобігти цьому може тільки досвід, набутий під час розв'язування математичних та фізичних задач. Для цього слід використовувати задачки з фізики. Виявити такі помилки можна, перевіряючи одержану відповідь шляхом підстановки її у вихідні рівняння.

Математичні помилки не можуть служити підставою для зміни оцінки при апеляції.

## 6. ЯКІСНІ ЗАДАЧІ ТА ПИТАННЯ ПРО РОЗМІРНІСТЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

На вступному екзамені або тестуванні, яке відбувається останнім часом ще до закінчення навчального року, можливе застосування якісних задач, теоретичних запитань і питань про розмірність фізичних величин.

Програма з фізики для вступників до вузів вимагає від абітурієнтів уміння користуватися Міжнародною системою одиниць (СІ), кратними та дільними одиницями. Відомості про розмірність основних фізичних величин у СІ наведені в додатку 2, а правила використання десяткових та дільних префіксів подані в додатку 3.

Питання про розмірність можуть бути декількох типів. Наведемо два характерних приклади:

1. У якій степені одиниця часу входить у розмірність потенціалу електричного поля?

Для відповіді на поставлене запитання треба подати відповідну одиницю розмірності, у даному випадку В – вольт, через основні одиниці СІ. Отримують цю залежність, застосовуючи найпростіші формули, які зв'язують фізичні величини (див. додаток 3):

$$[\varphi] = \left[ \frac{A}{q} \right] = \left[ \frac{F \cdot s}{I \cdot t} \right] = \left[ \frac{m \cdot a \cdot s}{I \cdot t} \right] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{с}^3} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1} \quad \text{Відповідь: } \boxed{3}.$$

2. Як називається одиниця вимірювання фізичних величин, розмірність якої  $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$  ?

Виділяючи в наведених виразах добре відомі одиниці (див. додаток 2), одержуємо  $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2} = \text{Дж}/\text{А}^2 = \text{Гн}$ . Відповідь містить не більше ніж шість букв. **Відповідь: ГЕНРІ.**

У білети можуть бути включені якісні задачі та теоретичні запитання. У цьому випадку в умові задачі пропонуються варіанти можливих відповідей. Відповіддю задачі є номер правильної відповіді. Наведемо декілька прикладів:

1. У склянці з водою при  $0^\circ\text{C}$  плаває шматок льоду з вмороженою свинцевою кулькою. Як зміниться рівень води, коли лід розтане? 1. Знизиться. 2. Не зміниться. 3. Підвищиться. **Відповідь: 1.**
2. Двом металевим кулям, що мають різні радіуси, надали однакових позитивних зарядів. Чи буде текти електричний струм, якщо кулі з'єднати провідником? 1. Не буде. 2. Струм потече від більшої кулі до меншої. 3. Струм потече від меншої кулі до більшої. **Відповідь: 3.**
3. Є тонка скляна трубка, яка розширюється до одного кінця. Трубка розташована так, що її вісь горизонтальна. У трубку введена крапля ртуті. Що відбувається із краплею? 1. Крапля нерухома. 2. Крапля рухається в бік широкого кінця трубки. 3. Крапля рухається в бік вузького кінця. **Відповідь: 2.**
4. Людина, що стоїть перед вертикальним плоским дзеркалом, бачить, що в дзеркалі поміщається як раз половина її зображення. Коли вона підійде до дзеркала удвічі ближче, то побачить... 1. Своє зображення повністю. 2. Тільки половину свого зображення. 3. Чверть свого зображення. 4. Правильної відповіді тут немає. **Відповідь: 2.**

В останні роки питання, описані в даному розділі, не включались до екзаменаційних завдань. Уміння користуватися одиницями СІ, а також знання теоретичних питань перевірялося під час розв'язання кількісних задач.

## 7. РЕКОМЕНДОВАНИЙ АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ

Для того щоб зменшити ймовірність помилок, пропонуємо дотримуватися визначеної послідовності під час розв'язання задач. Повне розв'язання задачі з фізики можна розбити на декілька етапів.

1. Уважно прочитати умову задачі.
2. Записати коротко всі задані та шукані величини (Дано:).
3. Виразити значення заданих величин в одній системі одиниць (рекомендується в СІ).
4. Виконати рисунок, що пояснює умову задачі.
5. Установити, які фізичні закони описують запропоноване явище. Записати їх математичний вираз з указівкою назви закону.
6. Записати умову в математичній формі. Довизначити систему рівнянь, одержану після виконання попереднього етапу(врахувати визначення фізичних величин задачі, геометричні співвідношення тощо).
7. Розв'язати одержану систему рівнянь відносно шуканої фізичної величини в загальному вигляді. Одержати розрахункову формулу.
8. Знайти числове значення відповіді з заданою точністю.
9. Подати відповідь у потрібних одиницях виміру. Проаналізувати розмірність шуканої фізичної величини.
- 10.Перевірити одержану відповідь.
- 11.Записати відповідь задачі, її числове значення обвести рамкою.

Зазначені етапи в цілому збігаються з методикою розв'язування задач, якій навчають у школі. Не всі з них є обов'язкові, наприклад, пункт 4. Можуть бути не виділеними явно пункти 3,5,6,9. Однак пункти 5–8 абсолютно необхідні для розв'язування задач і є найбільш складними. Наведений алгоритм – орієнтовний. Під час розв'язування задач його не варто дотримуватись буквально. Так, запропоноване в пункті 3 переведення величин у СІ вже при записуванні „Дано”, якщо воно пов'язане з заокругленням, може навіть зашкодити. У деяких задачах краще провести розрахунки в іншій системі координат, а перевести в СІ тільки після отримання відповіді.

## 8. ЗРАЗКИ ОФОРМЛЕННЯ РОЗВ'ЯЗКІВ ЗАДАЧ

Розв'язки задач в екзаменаційному завданні оформлюються звичайним чином. Наведемо короткі розв'язки задач, що належать до наведених вище розділів фізики.

1. Тіло кинуте під кутом  $30^\circ$  до горизонту з початковою швидкістю  $100 \text{ м/с}$ . У певний момент часу воно опинилося на висоті  $45 \text{ м}$ . Через який проміжок часу тіло знову опиниться на тій же висоті? Прийняти  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**Розв'язок:** Тіло, кинуте під кутом до горизонту, рухається по параболі (див. рис. 4.2). У напрямку вертикальної осі рух рівноуповільнений, з прискоренням  $g$  і початковою швидкістю  $v_0 \sin \alpha$ , тому

**Дано:**  
 $v_0 = 100 \text{ м/с}$ ;  
 $h = 45 \text{ м}$ ;  
 $\alpha = 30^\circ$ ;  
 $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

$$h = v_0 \sin(\alpha)t - \frac{gt^2}{2}.$$

Після підстановки числових значень  $v_0$ ,  $\alpha$ ,  $h$  отримаємо квадратне рівняння

$$5t^2 - 50t + 45 = 0.$$

Воно має два корені:  $t_1 = 1 \text{ с}$  та  $t_2 = 9 \text{ с}$ . Між першим та другим проходженням висоти  $45 \text{ м}$  пройде  $t_2 - t_1 = 8 \text{ с}$ .

---

 $t = t_2 - t_1 = ?$

**Відповідь:**  $\boxed{8 \text{ с}}$ .

2. Тіла рухаються вздовж осі  $X$ . Координати тіл змінюються за такими законами:  $x_1 = 5 + 21t + 2,5t^2$ ,  $x_2 = 10 + 12t + 1,5t^2$ . З якою швидкістю рухалось перше тіло в момент початку руху другого?

**Розв'язок:** Порівнявши наведені формули із законом руху в загальному вигляді  $x = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$ , можна записати:

**Дано:**  
 $x_{01} = 5 \text{ м}$ ;  $x_{02} = 10 \text{ м}$   
 $v_{01} = 21 \text{ м/с}$ ;  $v_{02} = 12 \text{ м/с}$   
 $a_{01} = 5 \text{ м/с}^2$ ;  $a_{02} = 3 \text{ м/с}^2$

Закон зміни швидкості тіл

$$v_1 = 21 + 5t; \quad v_2 = 12 + 3t.$$

Друге тіло почало рухатися ( $v_2 = 0$ ) у момент  $t = -4 \text{ с}$ , за  $4 \text{ с}$  до початку відліку часу. У цей момент перше тіло мало швидкість

$$v_1 = 21 - 5 \cdot 4 = 1(\text{м/с}).$$

---

 $v_1 = ?$

**Відповідь:**  $\boxed{1 \text{ м/с}}$ .

3. Диск починає рухатися зі стану спокою рівноприскорено. Яким буде кут (у градусах) між векторами швидкості та прискорення довільної точки диска, коли точка на ободі диска пройде відстань, яка дорівнює половині радіуса?

**Розв'язок:** Кут між векторами швидкості та прискорення можна знайти з відношення

<b>Дано:</b>	$tg(\alpha) = a_n/a_r.$
$a_r = const;$	Оскільки рух рівноприскорений, то в шуканий момент
$S = R/2;$	
$v_0 = 0.$	
$\alpha - ?$	звідки $a_r = v^2/R$ , але $a_n = v^2/R$ , тому $tg(\alpha) = 1$ , а отже, $\alpha = 45^\circ.$

**Відповідь:**  $45^\circ$ .

4. Тіло масою  $\sqrt{2}$  кг рухається по горизонтальній поверхні з постійною швидкістю під впливом пружини, направленої під кутом  $45^\circ$  до горизонту й розтягнутої на 2 см. Визначити коефіцієнт тертя тіла об поверхню, якщо коефіцієнт жорсткості пружини 200 Н/м.  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**Розв'язок:**

<b>Дано:</b>	У горизонтальному напрямку діють сили :
$m = \sqrt{2}$ кг;	тертя $F_{тер} = \mu N$ та горизонтальна складова сили, що діє на тіло з боку пружини $F_{гор} = kx \cos \alpha.$
$\alpha = 45^\circ;$	Оскільки тіло рухається рівномірно, то $\mu N = kx \cos \alpha.$
$x = 2$ см;	У вертикальному напрямку сила тяжіння $mg$ , сила реакції поверхні $N$ та вертикальна складова сили, що діє на тіло з боку пружини $F_{вер} = kx \sin \alpha$ , також урівноважують одна одну:
$k = 200$ Н/м.	$kx \sin \alpha + N = mg.$ На підставі наведених рівнянь одержимо
$\mu - ?$	$\mu = \frac{kx \cos \alpha}{N} = \frac{kx \cos \alpha}{(mg - kx \sin \alpha)} = 1 / \left( \frac{\sqrt{2} \cdot 10 \cdot 2}{200 \cdot 0,02 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) = 0,25$

**Відповідь:**  $0,25$ .

5. Невелике тіло ковзає без тертя від вершини півсфери радіусом 1,5 м. На якій висоті, рахуючи від вершини півсфери, тіло відірветься від її поверхні?

**Розв'язок:** У момент відриву тіла від поверхні сила реакції опори дорівнює нулю, тому доцентрове прискорення тіла утворюється радіальною складовою сили тяжіння:

<b>Дано:</b>	$\frac{mv^2}{R} = mg \cos \alpha = mg \frac{R-h}{R}.$
$R = 1,5$ м	
$h - ?$	Оскільки втрат на тертя немає, то виконується закон зберегання

енергії  $\frac{mv^2}{2} = mgh$ , де  $h$  – висота, відрхована від вершини півсфери. Отримана система двох рівнянь  $\begin{cases} v^2 = g(R - h) \\ v^2 = 2gh \end{cases}$  має очевидний розв’язок:  $h = R/3 = 0,5$  (м).

**Відповідь:**  $\boxed{0,5 \text{ м}}$ .

6. Аеростат масою 350 кг висить нерухомо на висоті 10 м. Людина масою 70 кг почала спускатися з аеростата на землю по мотузковій драбині. Якої довжини були сходи, якщо ступивши на їх останню сходинку, людина торкнулася землі?

**Розв’язок:** Система „аеростат-людина” не має зовнішнього впливу, тому центр мас системи залишається нерухомим. Якщо людина віддалилася від центра мас на  $h_1 = 10$  м, то аеростат відповідно на  $\Delta h$ :

<p><b>Дано:</b>  <math>m_a = 350</math> кг;  <math>m = 70</math> кг; <math>h_1 = 10</math> м.</p>	<p><math>m_a \Delta h = m h_1</math>.                  Довжина сходів:</p>
<p><math>h_2 = ?</math></p>	<p><math>h = h_1 + \Delta h = h_1 \left( 1 + \frac{m}{m_a} \right) = 10 \left( 1 + \frac{70}{350} \right) = 12</math> (м).</p>

**Відповідь:**  $\boxed{12 \text{ м}}$ .

Задачі такого типу можна також розв’язувати, застосовуючи закон збереження імпульсу.

7. Два тіла масами  $m_1 = 2$  кг та  $m_2 = 3$  кг рухаються назустріч одне одному у взаємно перпендикулярних напрямках зі швидкостями  $v_1 = 3$  м/с та  $v_2 = 2$  м/с. Унаслідок зіткнення тіла злипаються. Яка кількість теплоти виділиться внаслідок зіткнення?

**Розв’язок:** При будь-яких зіткненнях сумарний імпульс тіл зберігається, тому після удару тіла, що злиплися, рухаються зі швидкістю  $\vec{v}$ :

<p><b>Дано:</b>  <math>m_1 = 2</math> кг; <math>m_2 = 3</math> кг;  <math>v_1 = 3</math> м/с; <math>v_2 = 2</math> м/с.</p>	<p><math>m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}</math>,                  оскільки початкові швидкості перпендикулярні, то  <math>(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2 = (m_1 + m_2)^2 v^2</math>.                  Описаний удар є не пружний, тому повна кінетична енергія не зберігається, частина її переходить у теплоту:</p>
<p><math>Q = ?</math></p>	<p><math>Q = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2}{2}</math>.</p>

$$Q = \frac{1}{2} \left( 2 \cdot 9 + 3 \cdot 4 - \frac{72}{5} \right) = 7,8 \text{ (Дж)}.$$

**Відповідь:**  $\boxed{7,8 \text{ Дж}}$ .

8. У двох тонких трубках різного діаметра, опущених у воду, встановилась різниця рівнів 2,4 см. При опусканні цих же трубок у гас різниця рівнів виявилася такою, що дорівнює 1 см. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу гасу, якщо для води він дорівнює 72 мН/м.  $\rho_{\text{води}} = 1 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_{\text{гасу}} = 0,8 \text{ г/см}^3$ .

**Розв'язок:** У кожному з капілярів висота підйому рідини залежить від раді-

уса трубки: 
$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$
.

**Дано:**

$\rho_{\text{води}} = 1 \text{ г/см}^3$ ;

$\rho_{\text{гасу}} = 0,8 \text{ г/см}^3$ ;

$\sigma_{\text{води}} = 72 \text{ мН/м}$ ;

$\Delta h_{\text{води}} = 2,4 \text{ см}$ ;

$\Delta h_{\text{гасу}} = 1 \text{ см}$ .

$\sigma_{\text{гасу}} = ?$

Тому різниця рівнів складає:

– для води: 
$$\Delta h_1 = h_1 - h_2 = \frac{2\sigma_1}{\rho_1 g} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right);$$

– для гасу: 
$$\Delta h_2 = h_1 - h_2 = \frac{2\sigma_2}{\rho_2 g} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Їх відношення не залежить від радіусів,  $\frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = \frac{\sigma_2 \rho_1}{\sigma_1 \rho_2}$ , звідки

$$\sigma_2 = \sigma_1 \frac{\Delta h_2 \rho_2}{\Delta h_1 \rho_1} = \frac{0,8}{2,4} \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,024 \text{ (Н/м)}.$$

**Відповідь:** 0,024 Н/м.

9. У великий бак рівномірно наливається вода по 2 л/с. У дні бака є отвір площиною 4 см<sup>2</sup>. Який рівень води встановиться в баці?  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**Розв'язок:**

**Дано:**

$\frac{V}{t} = 2 \text{ л/с}$ ;

$S = 4 \text{ см}^2$ ;

$g = 10 \text{ м/с}^2$ .

$h = ?$

Щоб у баці встановився незмінний рівень води, має виконуватися рівність

$$\frac{V}{t} = S \cdot v.$$

Застосовуючи закон Бернуллі, установимо зв'язок між висотою

рівня рідини в посудині та швидкістю її течії:  $\frac{\rho v^2}{2} = \rho g h$ .

З одержаних рівнянь випливає

$$h = \left( \frac{V}{St} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} = \left( \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-4}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 10} = 1,25 \text{ (м)}.$$

**Відповідь:** 1,25 м.

10. Вертикальна трубка довжиною 0,85 м, закрита з одного кінця, містить стовп повітря довжиною 0,4 м, стиснутий стовпом ртуті. Коли трубку перевернули відкритим кінцем униз, вилілася половина ртуті. Якої висоти стовп ртуті залишився в трубці? Вважати, що 10 мл ртуті важать 4/3 Н. Атмосферний тиск  $10^5 \text{ Па}$ .

**Розв'язок:** Зміну стану повітря в трубці можна вважати ізотермічною. Спочатку повітря під стовпом ртуті мало об'єм  $Sl$  та тиск  $P_0 + 2\rho gh$ ,



**Дано:**

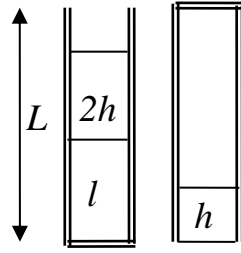
$$L = 0,85 \text{ м};$$

$$l = 0,4 \text{ м};$$

$$V = 10^{-5} \text{ м}^3;$$

$$P_0 = 10^5 \text{ Па};$$

$$mg = 4/3 \text{ Н}.$$



де  $S$  – площа перерізу трубки. Після перевертання тиск повітря в трубці знижується  $(P_0 - \rho gh)$ , а об'єм збільшується  $(S(L - h))$ . За законом Бойля-Маріотта

$(P_0 + 2\rho gh)l = (P_0 - \rho gh)(L - h)$ , звідки маємо квадратне рівняння

$$h - ?$$

або 
$$h^2 - h\left(2l + L + \frac{P_0}{\rho g}\right) + \frac{P_0}{\rho g}(L - l) = 0,$$

$$h^2 - 2,4h + 0,75 \cdot 0,45 = 0.$$
 Тому 
$$h = 1,2 \pm \sqrt{1,2^2 - 0,75 \cdot 0,45},$$
 допустимий корінь 
$$h = 0,15 \text{ (м)}.$$

**Відповідь:** 0,15 м.

11. До якої мінімальної температури необхідно нагріти алюмінієвий куб ( $\rho_A = 2,7 \text{ г/см}^3$ ,  $C_A = 0,88 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ), щоб, якщо покласти його на лід при температурі  $-30^\circ\text{C}$ , він повністю занурився в нього ( $\rho_L = 0,9 \text{ г/см}^3$ ,  $C_L = 2,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$ )?

**Розв'язок:** При зануренні куб віддає льоду кількість теплоти  $m_A C_A (t_A - t_0) = \rho_A V C_A (t_A - t_0)$ , а лід одержить цю кількість теплоти

**Дано:**

$$\rho_L = 0,9 \text{ г/см}^3;$$

$$\rho_A = 2,7 \text{ г/см}^3;$$

$$C_L = 2,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)};$$

$$C_A = 0,88 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)};$$

$$t = -30^\circ\text{C};$$

$$\lambda = 330 \text{ кДж/кг}.$$

$$t_A - ?$$

$m_L C_L (t_0 - t_L) + m_L \lambda = \rho_L V (C_L (t_0 - t_L) + \lambda)$ , яка піде на його нагрівання та плавлення. Рівняння теплового балансу:

$$\rho_A C_A (t_A - t_0) = \rho_L (C_L (t_0 - t_L) + \lambda),$$

$$t_A = \frac{\rho_L (C_L (t_0 - t_L) + \lambda)}{\rho_A C_A} + t_0 = \frac{0,9(66 + 330)}{2,7 \cdot 0,88} = 150^\circ\text{C}.$$

Подальше застигання куба та одержаної води не приводить до зміни результату.

**Відповідь:** 150°C.

12. Дві однакові маленькі кульки з однаковими зарядами підвішені на однакових довгих непровідних нитках до одного гачка, розійшлися на відстань  $4\frac{5}{6}$  см одна від одної. Одну з кульок розрядили. Якою стане відстань між ними?

**Розв'язок:** Після розрядки однієї кульки відштовхування припиниться, кульки почнуть зближуватися. При дотику кульок заряд, що залишився, розділиться між ними навпіл  $q_1' = q/2$ . Сили взаємодії кульок до й після розряду,

$$F_1 = k \frac{q^2}{r_1^2} \text{ та } F_2 = k \frac{q^2}{4r_2^2}, \text{ визначаються законом Кулона.}$$

**Дано:**

$$r_1 = 4\frac{5}{6} \text{ см};$$

$$q_1 = q_2 = q;$$

Зазначені сили компенсуються горизонтальною направленою результуючою натягу нитки та сили тяжіння  $mg \operatorname{tg} \alpha$ , де  $\alpha$  –

$q_1' = q_2' = q/2.$	кут відхилення нитки від вертикалі. При малих кутах з великим ступенем точності $tg \alpha = \sin \alpha$ , тому до розряду $mg \frac{r_1}{2l} = k \frac{q_1^2}{r_1^2}$ , а після $mg \frac{r_2}{2l} = k \frac{q_1^2}{4r_2^2}$ , де $l$ – довжина нитки. З
$r_2 = ?$	

Відповідь: **2 см**.

13. Яку роботу проти сил електростатичного відштовхування необхідно здійснити, щоб зібрати в одну сферичну краплину 1 000 маленьких краплинок ртуті, що знаходяться на великих відстанях одна від одної, якщо енергія електричного поля кожної зарядженої краплі  $10^{-6}$  Дж?

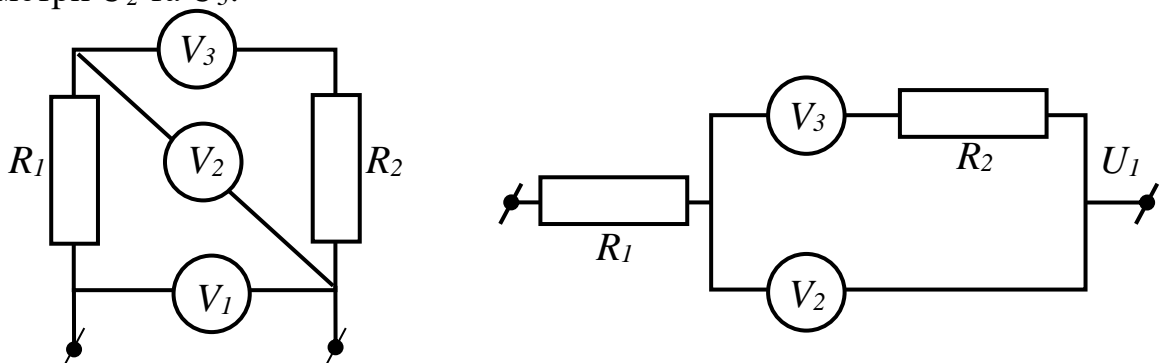
**Розв'язок:** При злитті маленьких крапель радіусом  $r$  утворюється сферична краплина радіусом  $R = 10r$ , оскільки повний об'єм не змінився

Дано: $N = 1000;$ $E = 10^{-6}$ Дж.	$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 1000 \frac{4}{3} \pi r^3.$ Електроємність такої краплі
	$C_B = R/k = 10r/k = 10C,$ де $C$ – ємність маленької краплі. Сумарний заряд краплі при злитті зберігається: $Q = 1\,000q.$
$A = ?$	Енергія електричного поля отриманої великої краплини $E_B = \frac{Q^2}{2C_B} = \frac{10^6 q^2}{10 \cdot 2C} = 10^5 E.$ Для злиття краплини треба здійснити роботу $A = \Delta E = E_B - NE = (10^5 - 10^3)10^{-6} = 99 \cdot 10^{-3}$ (Дж).

Відповідь: **0,099 Дж**.

14. Коло зібране з однакових резисторів та однакових вольтметрів. Показники першого вольтметра  $U_1 = 14,5$  В, а третього –  $U_3 = 8$  В. Знайти показники другого вольтметра.

**Розв'язок:** Ділянку кола, на яку подано напругу  $U_1$ , можна зобразити в більш простому вигляді. Струм, що проходить через опір  $R_1$ , визначається падінням напруги на ньому ( $U_1 - U_2$ ). Він дорівнює сумі струмів, які течуть через вольтметри  $U_2$  та  $U_3$ :



**Дано:**  
 $U_1 = 14,5 \text{ В};$   
 $U_3 = 8 \text{ В};$   
 $R_1 = R_2.$

$I = \frac{(U_1 - U_2)}{R} = I_1 + I_2 = \frac{(U_3 + U_2)}{r}$ . Звідси  $\frac{R}{r} = \frac{(U_1 - U_2)}{U_3 + U_2}$ , де  $r$  – опір вольтметра. Струм, що проходить через опір  $R_2$ , також визначається падінням напруги  $(U_2 - U_3)$  на ньому:

$$I_1 = \frac{(U_2 - U_3)}{R} = \frac{U_3}{r}, \text{ звідки } \frac{R}{r} = \frac{(U_2 - U_3)}{U_3}.$$

$U_2 - ?$

Виключаючи  $R/r$ , маємо квадратне відносно  $U_2$  рівняння  $U_2^2 + U_3 U_2 - U_3(U_1 + U_3) = 0$ , яке має такий розв'язок:

$$U_2 = -\frac{U_3}{2} + \sqrt{\left(\frac{U_3}{2}\right)^2 + U_3(U_1 + U_3)} = -4 + 2\sqrt{4 + 45} = 10(\text{В}).$$

**Відповідь:** 10 В.

15. Визначити роботу, яка здійснюється при внесенні квадратної рамки зі стороною 4 см, зробленої з дроту ( $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) перерізом  $1 \text{ мм}^2$ , в однорідне магнітне поле з індукцією  $0,2 \text{ Тл}$  зі швидкістю  $3,5 \text{ м/с}$ . Площина рамки та її швидкість перпендикулярні лініям магнітної індукції. Швидкість рамки перпендикулярна її стороні.

**Розв'язок:** При внесенні рамки в магнітне поле зі швидкістю  $v = a/\Delta t$  виконана механічна робота приводить до виникнення ЕРС індукції  $\varepsilon$ . ЕРС створює індукційний струм  $I = \frac{\varepsilon}{R}$ , який нагріває провідник:  $A = Q = \frac{\varepsilon^2}{R} \Delta t$ .

**Дано:**  
 $s = 1 \text{ мм}^2;$   $a = 4 \text{ см};$   
 $B = 0,2 \text{ Тл};$   
 $v = 3,5 \text{ м/с};$   
 $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$

$A - ?$

Опір провідника рамки  $R = \rho \frac{l}{s}$  визначається його питомим опором  $\rho$  та довжиною  $l = 4a$ . За законом індукції  $\varepsilon = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$ . Потік змінюється від нуля до  $\Phi = Bs = Ba^2$

за час  $\Delta t$ . Тому  $\varepsilon = \frac{Ba^2}{\Delta t}$  та

$$A = \frac{B^2 a^3 s}{4\rho \Delta t} = \frac{B^2 a^2 s v}{4\rho} = \frac{4 \cdot 16 \cdot 3,5 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 2,8 \cdot 10^{-8}} = 2 \cdot 10^{-3} (\text{Дж}).$$

**Відповідь:** 0,002 Дж.

16. Визначити циклічну частоту малих коливань, що встановилися, маятника довжиною  $20\sqrt{2} \text{ см}$ , точка підвісу якого закріплена на тілі, яке вільно ковзає по похилій площині з кутом  $45^\circ$ .  $g = 10 \text{ м/с}^2$

**Розв'язок:** Тіло, яке вільно ковзає по похилій площині, рухається з прискоренням  $a = g \sin \alpha$ . Інерційна сила  $m\vec{a}$  та сила тяжіння  $m\vec{g}$  створюють результуючу силу, яка за величиною дорівнює

**Дано:**

$l = 20\sqrt{2} \text{ см};$

$$|m(\vec{g} + \vec{a})| = m(a^2 + g^2 - 2ag \cos \alpha) = ma_{\text{рез}}.$$

$$\alpha = 45^\circ;$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2.$$

$$\omega - ?$$

Циклічна частота малих коливань маятника  $\omega = \sqrt{a_{\text{pez}}/l}$  визначається новим прискоренням  $a_{\text{pez}} = g/\sqrt{2}$ , що заміняє прискорення вільного падіння в рухомій системі відліку.

$$\text{Тому } \omega = \sqrt{\frac{g}{l\sqrt{2}}} = \sqrt{\frac{10}{20 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}} = 5 \text{ (рад/с)}.$$

**Відповідь: 5 рад/с.**

17. Людина зростом 1,8 м рухається зі швидкістю 5,4 км/год від ліхтаря. З якою швидкістю рухається тінь від голови людини, якщо ліхтар розташований на висоті 6,3 м?

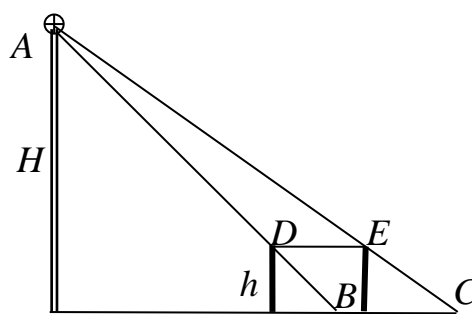
**Розв'язок:** Розглянемо положення людини та тіні у два довільних моменти часу.

Дано:

$$H = 6,3 \text{ м};$$

$$h = 1,8 \text{ м};$$

$$v_l = 5,4 \text{ км/год}.$$



З подібності  $\triangle ABC$  та  $\triangle ADE$  видно, що відстані, пройдені тінню  $S_m$  та людиною  $S_l$ , співвідносяться як  $\frac{S_m}{S_l} = \frac{H}{H-h}$ .

$$v_m - ?$$

Так співвідносяться й швидкості руху, тому

$$v_m = v_l \left( \frac{H}{H-h} \right) = 1,5 \frac{6,3}{6,3-1,8} = 2,1 \text{ (м/с)}.$$

**Відповідь: 2,1 м/с.**

18. Максимальна відстань, на якій короткозора людина ще добре розрізняє друкований текст, дорівнює 20 см. Визначити оптичну силу необхідних для цієї людини окулярів.

**Розв'язок:** Для ока як оптичної системи:  $1/d + 1/f = D_0$ ,

де  $f$  – відстань від кришталіка ока до сітківки. Для людини в окулярах  $1/d_0 + 1/f = D_0 + D$ , де  $d_0$  – відстань найкращого зору для нормального ока. Тоді

$$\frac{1}{d_0} + \frac{1}{d} = D, \quad D = \frac{d - d_0}{dd_0} = \frac{0,05}{0,2 \cdot 0,25} = -1 \text{ (дптр)}. \quad \text{Відповідь: } \boxed{-1 \text{ дптр}}.$$

19. Дві послідовно з'єднані пружини з жорсткістю  $k_1 = 1$  кН/м та  $k_2 = 1,5$  кН/м сполучені паралельно з трьома послідовно з'єднаними пружинами  $k_3 = 2$  кН/м,  $k_4 = 3$  кН/м,  $k_5 = 6$  кН/м такої ж сумарної довжини. Яку енергію треба затратити, щоб розтягнути систему пружин на 10 см?

**Розв'язок:** При послідовному з'єднанні сили, прикладені до кожної з пружин, рівні між собою й дорівнюють силі, прикладеній до всієї системи в цілому:  $F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F$ . Оскільки загальне подовження послідовно з'єднаних пружин дорівнює сумі подовжень кожної з них:  $x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots$ , то,

ураховуючи, що  $x = F/k$ , знаходимо формулу для обчислення жорсткості  $k$  системи послідовно з'єднаних пружин:

<p><b>Дано:</b>  <math>k_1 = 1</math> кН/м; <math>k_2 = 1,5</math> кН/м;  <math>k_3 = 2</math> кН/м; <math>k_4 = 3</math> кН/м;  <math>k_5 = 6</math> кН/м; <math>\Delta x = 10</math> см.</p>	$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots$ При паралельному з'єднанні однакові є подовження усіх пружин, а додаються прикладені до них сили. Отже, у цьому випадку результируюча жорсткість буде $k = k_1 + k_2 + k_3 + \dots$
$E = ?$	

Енергія розтягнутої на  $x$  системи пружин  $E = \frac{kx^2}{2}$ , причому жорсткість системи дорівнює сумі жорсткостей двох паралельних ділянок  $k = k_{1,2} + k_{3,4,5}$ .

Жорсткості  $k_{1,2}$  і  $k_{3,4,5}$  послідовно сполучених двох і трьох пружин виражаються через  $k_1, k_2$  і  $k_3, k_4, k_5$  згідно з формулою для послідовного з'єднання:

$$E = \left( \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} + \frac{k_3 k_4 k_5}{k_3 k_4 + k_4 k_5 + k_5 k_3} \right) \frac{x^2}{2} = \left( \frac{1 \cdot 1,5 \cdot 10^3}{1 + 1,5} + \frac{2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 + 3 \cdot 6 + 6 \cdot 2} \right) \frac{(0,1)^2}{2} = 8 \text{ (Дж)}.$$

**Відповідь:** 8 Дж.

20. Електрон, що знаходиться в стані спокою, набув 0,6 швидкості світла, відбив фотон у протилежному напрямку. Визначити енергію відбитого фотона у кеВ, якщо енергія спокою електрона 0,511 МеВ.

**Розв'язок:** Із умови задачі й закону збереження імпульсу випливає, що імпульси електрона  $\vec{p} = m\vec{v} / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , фотона, що падає, та відбитого ( $p_1 = E_1/c$  та  $p_2 = E_2/c$ ) лежать уздовж одної прямої. Запишемо закони збереження імпульсу та енергії за релятивістськими формулами

<p><b>Дано:</b>  <math>v = 0,6 c</math>;  <math>mc^2 = 0,511</math> МеВ.</p>	$E = mc^2 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ; $\frac{E_1}{c} = \frac{E_2}{c} + \frac{mv}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ; $E_1 + mc^2 = E_2 + \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ .
--	---

Виключаючи  $E_1$ , знаходимо

$E_2 = ?$	$E_2 = \frac{mc^2}{2} \left( 1 - \frac{1 - v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) = \frac{511}{2} \left( 1 - \frac{1 - 0,6}{\sqrt{1 - 0,36}} \right)$ $= 127,75 \text{ (кеВ)}$
-----------	--

**Відповідь:** 127,75 кеВ.

**Розмірності фізичних величин у Міжнародній системі одиниць (СІ)**

Величина	Формули для визначення розмірності	Розмірність через основні одиниці	Позначення	Назви одиниць
Довжина, шлях	$l, s$	О	м	метр
Час	$t$	С	с	секунда
Маса	$m$	Н	кг	кілограм
Температура	$T$	О	К	кельвін
Кількість речовини	$\nu$	В	моль	моль
Сила струму	$I$	Н	А	ампер
Сила світла	$J$	І	кд	кандела
Кут	$\varphi$		рад	радіан
Частота	$\nu = 1/T$	$c^{-1}$	Гц	герц
Швидкість	$v = s/t$	$m \cdot c^{-1}$	м/с	
Прискорення	$a = \Delta v/\Delta t$	$m \cdot c^{-2}$	м/с <sup>2</sup>	
Густина	$\rho = m/V$	$kg \cdot m^{-3}$		
Сила	$F = ma$	$kg \cdot m \cdot c^{-2}$	Н	ньютон
Тиск	$P = F/S$	$kg \cdot m^{-1} \cdot c^{-2}$	Па	паскаль
Момент сили	$M = Fd$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-2}$	Н·м	
Імпульс	$P = mv$	$kg \cdot m \cdot c^{-1}$		
Робота, енергія	$A = \Delta E = Fs$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-2}$	Дж	джоуль
Потужність	$N = A/t$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-3}$	Вт	ват
Електричний заряд	$q = It$	А·с	Кл	кулон
Напруженість	$E = F/q$	$kg \cdot m \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$	В/м	
Потенціал	$\varphi = A/q$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$	В	вольт
Напруга	$U = \Delta\varphi = Ed$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$	В	вольт
Електроємність	$C = q/U$	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot c^4 \cdot A^2$	Ф	фарад
Опір	$R = U/I$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-3} \cdot A^{-2}$	Ом	ом
Магнітна індукція	$B = F/Il$	$kg \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$	Тл	тесла
Магнітний потік	$\Phi = BS$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$	Вб	вебер
Індуктивність	$L = \Phi/I$	$kg \cdot m^2 \cdot c^{-2} \cdot A^{-2}$	Гн	генрі

**Правила утворення десяткових кратних та дільних одиниць,  
їх найменувань та позначень**

Множник	Префікс	Позначення префікса
$10^{18}$	екса	Е
$10^{15}$	пета	П
$10^{12}$	тера	Т
$10^9$	гіга	Г
$10^6$	мега	М
$10^3$	кіло	к
$10^2$	гекто	г
10	дека	да
$10^{-1}$	деци	д
$10^{-2}$	санти	с
$10^{-3}$	мілі	м
$10^{-6}$	мікро	мк
$10^{-9}$	нано	н
$10^{-12}$	піко	п
$10^{-15}$	фемто	ф
$10^{-18}$	атто	а

1. Десяткові кратні та дільні одиниці, а також їх найменування та позначення слід подавати за допомогою множників та префіксів, поданих у таблиці.
2. Приєднання до найменування одиниці двох або більше префіксів поспіль не припускається.
3. Префікс або його позначення слід писати одним словом з найменуванням одиниці, до якої він приєднується.

**Аналогія між поступальним та обертальним рухами**

Поступальний	Обертальний
--------------	-------------

Положення тіла визначається

$\vec{r}$ – радіус-вектором	$\varphi$ – кутом повороту
-----------------------------	----------------------------

Кінематичні характеристики руху

$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ – швидкість	$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ – кутова швидкість
$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ – прискорення	$\varepsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ – кутове прискорення

Міра впливу на тіло

$\vec{F}$ – сила	$M = Fd$ – момент сили
------------------	------------------------

Міра інертних властивостей матеріальної точки

$m$ – маса	$I = mR^2$ – момент інерції
------------	-----------------------------

Рівняння руху

$m\vec{a} = F$	$I\varepsilon = M$
----------------	--------------------

Кількість руху

$\vec{p}$ – імпульс	$L = pd$ – момент імпульсу
---------------------	----------------------------

Кінетична енергія

$E = \frac{mv^2}{2}$	$E = \frac{I\omega^2}{2}$
----------------------	---------------------------



**Аналогія між електромагнітними та механічними коливаннями тіла на пружині**

Механіка	Електромагнетизм
----------	------------------

**Вихідні відповідності**

$x$ – зміщення від стану рівноваги $m$ – маса тіла, прикріпленого до пружини $k$ – жорсткість пружини	$q$ – заряд конденсатора $L$ – індуктивність контуру $1/C$ – ( $C$ – ємність контуру)
---	---

**Похідні відповідності**

**Закон руху**

$x = x_{\max} \cos(\omega t + \alpha_0)$ $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ – швидкість $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ – прискорення	$q = q_{\max} \cos(\omega t + \alpha_0)$ $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ – сила струму $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ – швидкість зміни сили струму
--	--

**Рівняння руху**

$F = ma$ – II закон Ньютона $p = mv$ – імпульс	$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ – закон самоіндукції $\Phi = LI$ – потік магнітної індукції
---	---

**Енергія**

$E_k = \frac{mv^2}{2}$ – кінетична $E_n = \frac{kx^2}{2}$ – потенціальна	$E_m = \frac{LI^2}{2}$ – магнітного поля $E_e = \frac{q^2}{2C}$ – електричного поля
---	--

**Параметри**

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ циклічна частота	$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$
$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ період	$T = 2\pi \sqrt{LC}$

ЗМІСТ

4.1. Кінематика .....	3
4.2. Динаміка.....	6
4.3. Закони збереження в механіці .....	9
4.4. Молекулярна фізика. Газові закони .....	11
4.5. Теплові явища.....	12
4.6. Електростатика .....	14
4.7. Постійний електричний струм.....	16
4.8. Магнітне поле. Електромагнітна індукція.....	18
4.9. Механічні та електромагнітні коливання й хвилі.....	20
4.10. Оптика .....	22
4.11. Квантова фізика. Теорія відносності. Атомна фізика .....	24
<b>5. ХАРАКТЕРНІ ПОМИЛКИ НА ВСТУПНИХ ЕКЗАМЕНАХ.....</b>	<b>26</b>
<b>6. ЯКІСНІ ЗАДАЧІ ТА ПИТАННЯ ПРО РОЗМІРНІСТЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН .....</b>	<b>26</b>
<b>7. РЕКОМЕНДОВАНИЙ АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ .....</b>	<b>28</b>
<b>8. ЗРАЗКИ ОФОРМЛЕННЯ РОЗВ'ЯЗКІВ ЗАДАЧ .....</b>	<b>29</b>
Розмірності фізичних величин у Міжнародній системі одиниць (СІ).....	38
Правила утворення десяткових кратних та дільних одиниць, їх найменувань та позначень .....	39
Аналогія між поступальним та обертальним рухами.....	40
Аналогія між електромагнітними та механічними коливаннями тіла на пружині.....	41