

---

# **КОРОТКИЙ ФІЗИЧНИЙ ДОВІДНИК**

---

**І. М. Гельфгат.**

## Розділ 1. ОСНОВИ КІНЕМАТИКИ

- ▶ **Миттєва швидкість руху:**  $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ , де  $\Delta \vec{s}$  — переміщення тіла за малий інтервал часу  $\Delta t$ .
- ▶ **Прямолінійний рівномірний рух:**  $\vec{s} = \vec{v}t$ , де  $\vec{s}$  — переміщення тіла за час  $t$ ;  $\vec{v}$  — швидкість руху тіла.
- ▶ **Проекція переміщення на вісь  $Ox$ :**  $s_x = v_x t$ , де  $v_x$  — проекція швидкості руху на вісь  $Ox$ .
- ▶ **Координата тіла:**  $x = x_0 + v_x t$ , де  $x_0$  — початкова координата тіла.
- ▶ **Середня швидкість нерівномірного руху:**  

$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t} = \frac{\bar{s}_1 + \bar{s}_2 + \dots}{t_1 + t_2 + \dots},$$
 де  $\bar{s}$  — загальне переміщення тіла за час  $t$ , яке складається з переміщень  $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \dots$ , що відбувалися за інтервали часу  $t_1, t_2, \dots$ .

- **Середня шляхова швидкість:**  $v = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \dots}{t_1 + t_2 + \dots}$ ,

де  $l$  — загальний шлях, пройдений тілом за час  $t$ ;  $l_1, l_2, \dots$  — довжини окремих ділянок траєкторії, які тіло проходило за інтервали часу  $t_1, t_2, \dots$ .

- **Закон додавання швидкостей:**  $\vec{v}_{\text{тіло-НСВ}} = \vec{v}_{\text{тіло-РСВ}} + \vec{v}_{\text{РСВ-НСВ}}$ , де НСВ — нерухома система відліку; РСВ — рухома система відліку.

- **Прискорення:**  $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ , де  $\Delta \vec{v}$  — зміна швидкості руху тіла за малий інтервал часу  $\Delta t$ .

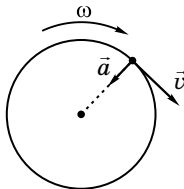
- **Прямолінійний рівноприскорений рух:**

$v_x = v_{0x} + a_x t$ , де  $v_x, v_{0x}, a_x$  — проекції на вісь  $Ox$  відповідно швидкості руху тіла, його початкової швидкості та прискорення.

$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} = \frac{v_{0x} + v_x}{2}t = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$ , де  $s_x$  — проекція переміщення тіла на вісь  $Ox$ .

$x = x_0 + s_x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ , де  $x$ ,  $x_0$  — відповідно координата тіла та початкова координата тіла.

► **Рівномірний рух по колу радіусом  $R$ :**



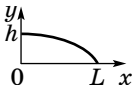
**Кутова швидкість руху:**  $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ , де  $\Delta\varphi$  — кут повороту радіуса за інтервал часу  $\Delta t$ .

**Лінійна швидкість руху:**  $v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi nR$ ,

де  $T$  — період обертання;  $n = \frac{1}{T}$  — обертова частота.

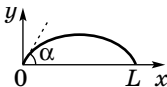
**Доцентрове прискорення:**  $a = \omega v = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$ .

► Рух тіла, яке кинули горизонтально:



$v_x = v_0$ ,  $v_y = -gt$ ,  $L = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , де  $v_0$  — модуль початкової швидкості руху;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $L$  — горизонтальна дальність польоту тіла.

- Рух тіла, яке кинули під кутом до горизонту:



$v_x = v_{0x}$ ,  $v_y = v_{0y} - gt$ ,  $L = \frac{2v_{0x}v_{0y}}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ , де  $\alpha$  — кут, який утворює початкова швидкість руху із горизонтальною площиною;  $v_0$  — модуль початкової швидкості руху;  $L$  — дальність польоту тіла.

## Розділ 2. ОСНОВИ ДИНАМІКИ

- Рівнодійна  $\vec{F}$  сил  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ , ..., прикладених до матеріальної точки:  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$

- ▶ **Перший закон Ньютона:**  $\vec{v} = \overline{\text{const}}$  за умови  $F = 0$  (за відсутності зовнішніх сил або за умови їх взаємної компенсації тіло перебуває в спокої або рухається за інерцією прямолінійно рівномірно).
- ▶ **Другий закон Ньютона:** прискорення тіла  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ , де  $\vec{F}$  — рівнодійна прикладених до тіла сил;  $m$  — маса тіла.
- ▶ **Третій закон Ньютона:**  $\vec{F}_{1-2} = -\vec{F}_{2-1}$  (під час взаємодії двох тіл виникають сили, рівні за модулем і напрямлені вздовж однієї прямої в протилежних напрямках).
- ▶ **Сила тяжіння:**  $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$ , де  $\vec{g}$  — прискорення вільного падіння.

- **Закон всесвітнього тяжіння:**  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , де  $F$  — сила гравітаційної взаємодії двох матеріальних точок масами  $m_1$  і  $m_2$ ;  $G$  — гравітаційна стала;  $r$  — відстань між матеріальними точками.

- **Перша космічна швидкість:**  $v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}}$ , де  $M$ ,  $R$  — відповідно маса та радіус планети.

- **Вага тіла, яке рухається з прискоренням:**  
 $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$ , де  $\vec{a}$  — прискорення руху тіла.  
 Якщо  $\vec{a}$  напрямлене вгору ( $\uparrow$ ):  $P = m(g + a)$ .  
 Якщо  $\vec{a}$  напрямлене вниз ( $\downarrow$ ):  $P = m(g - a)$ .



- ▶ **Закон Гука:**  $F_x = -kx$ , де  $\vec{F}$  — сила пружності;  $k$  — жорсткість пружини або стержня;  $x$  — видовження пружини або стержня ( $x = l - l_0$ , де  $l$ ,  $l_0$  — відповідно довжина деформованого та недеформованого тіла).
- ▶ **Сила тертя ковзання:**  $F_{\text{тер}} = \mu N$ , де  $\mu$  — коефіцієнт тертя;  $\vec{N}$  — сила нормального тиску.
- ▶ **Сила тертя спокою:**  $F_{\text{тер}} \leq \mu N$ .
- ▶ **Умови рівноваги тіла, на яке діють кілька сил:**
  - 1)  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0$ ;
  - 2)  $M_1 + M_2 + \dots = 0$ , де  $M = \pm Fl$  — момент сили;  $l$  — плече сили. Знак «+» відповідає моменту сили, яка намагається обернути тіло проти ходу годинникової стрілки; знак «-» відповідає моменту сили, яка намагається обернути тіло за ходом годинникової стрілки.

**Розділ 3. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ**

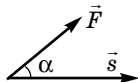
- ▶ **Імпульс тіла:**  $\vec{p} = m\vec{v}$ .
- ▶ **Імпульс сили:**  $\vec{F}t$ , де  $t$  — час дії сили.
- ▶ **Другий закон Ньютона в імпульсній формі:**

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}.$$

- ▶ **Закон збереження імпульсу:**  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \overline{\text{const}}$  (загальний імпульс замкнутої системи тіл залишається незмінним).

- ▶ **Механічна робота:**

$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos \alpha$ , де  $\alpha$  — кут між напрямком сили  $\vec{F}$  і напрямком переміщення  $\vec{s}$ .



- ▶ **Кінетична енергія тіла (енергія тіла, яке рухається зі швидкістю  $\vec{v}$ ):**  $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ .

- ▶ **Теорема про кінетичну енергію:**  $A = \Delta W_{\text{к}}$  (загальна робота сил, які діють на тіло, дорівнює зміні кінетичної енергії тіла).
- ▶ **Потенціальна енергія тіла в полі тяжіння:**  $W_{\text{п}} = mgh$ , де  $h$  — висота тіла над вибраним нульовим рівнем.
- ▶ **Потенціальна енергія пружно деформованого тіла:**  $W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$ , де  $k$  — жорсткість тіла (пружини або стержня);  $x = l - l_0$  — деформація тіла ( $l$ ,  $l_0$  — довжини відповідно деформованого та недеформованого тіла).
- ▶ **Робота сили тяжіння або пружності:**  $A = -\Delta W_{\text{п}}$ .
- ▶ **Механічна енергія:**  $W = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}$ .

► **Закон збереження механічної енергії:**

$W = W_{\text{к}} + W_{\text{п}} = \text{const}$  (у замкненій системі тіл, що взаємодіють тільки силами тяжіння та пружності, механічна енергія не змінюється).

► **Коефіцієнт корисної дії (ККД) механізму:**

$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{вик}}} \cdot 100\%$ , де  $A_{\text{кор}}$  і  $A_{\text{вик}}$  — відповідно корисна та виконана роботи.

► **Пружне зіткнення тіл:**  $W_{\text{к1}} + W_{\text{к2}} + \dots = \text{const}$  (внутрішній стан тіл не змінюється, кінетична енергія не переходить в інші форми).

► **Непружне зіткнення тіл:**

$W_{\text{к (почат)}} = W_{\text{к (кінець)}} + Q$ , де  $Q$  — енергія, яка перейшла в інші форми (зазвичай це кількість теплоти, що виділяється внаслідок зіткнення тіл).

► **Абсолютно непружне зіткнення тіл:** кінцеві швидкості руху тіл однакові.

## Розділ 4. ЕЛЕМЕНТИ МЕХАНІКИ РІДИН І ГАЗІВ

- ▶ **Тиск на поверхню:**  $p = \frac{F}{S}$ , де  $\vec{F}$  — сила, що діє по нормалі до поверхні;  $S$  — площа поверхні.
- ▶ **Тиск стовпа рідини:**  $p = \rho gh$ , де  $\rho$  — густина рідини;  $h$  — висота стовпа рідини.
- ▶ **Для ідеальної гідравлічної машини:**  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ , де  $F_1, F_2$  — модулі сил, що діють на поршні;  $S_1, S_2$  — площі відповідних поршнів.
- ▶ **Сила Архімеда в рідині:**  $F_A = \rho gV$ , де  $\rho$  — густина рідини;  $V$  — об'єм зануреної частини тіла (об'єм витісненої рідини).
- ▶ **Сила Архімеда в газі:**  $F_A = \rho gV$ , де  $\rho$  — густина газу;  $V$  — об'єм тіла.

- **Умова плавання тіла в рідині або газі:**

$$F_A = mg.$$

- **Для суцільного тіла густиною  $\rho$  у рідині густиною  $\rho_{\text{рід}}$ :**

$\rho < \rho_{\text{рід}}$  тіло плаває на поверхні рідини;

$\rho = \rho_{\text{рід}}$  тіло плаває всередині рідини, повністю занурившись;

$\rho > \rho_{\text{рід}}$  тіло тоне.

## Розділ 5. ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ

- **Молярна маса:**  $M = m_0 N_A$ , де  $m_0$  — маса молекули;  $N_A$  — стала Авогадро.
- **Відносна молекулярна маса:**  $M_r = \frac{m_0}{m_0(\text{C})/12}$ ,  
 $m_0(\text{C})$  — маса атома Карбону.

► **Кількість речовини:**  $\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$ , де  $N$  — кількість молекул.

► **Маса речовини:**  $m = m_0 N = \nu M$ .

► **Концентрація молекул:**  $n = \frac{N}{V}$ , де  $V$  — об'єм речовини.

► **Густина речовини:**  $\rho = \frac{m}{V} = n m_0$ , де  $n$  — концентрація молекул.

► **Основне рівняння МКТ ідеального газу:**

$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{W}_k$ , де  $p$  — тиск газу;  $\overline{W}_k$  — середня кінетична енергія поступального руху молекул.

► **Зв'язок  $\overline{W}_k$  з абсолютною температурою  $T$ :**  
 $\overline{W}_k = \frac{3}{2} k T$ , де  $k$  — стала Больцмана.

- **Середня квадратична швидкість молекул:**

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \text{ де } R = kN_A \text{ — універсальна газова стала.}$$

- **Тиск ідеального газу:**  $p = nkT$ , де  $n$  — концентрація молекул;  $k$  — стала Больцмана;  $T$  — абсолютна температура.

- **Рівняння стану ідеального газу:**

*Рівняння Клапейрона:*

$\frac{pV}{T} = \text{const}$  за незмінної кількості газу, де  $p$  — тиск газу;  $V$  — об'єм газу;  $T$  — абсолютна температура газу.

*Рівняння Менделєєва — Клапейрона:*

$pV = \frac{m}{M}RT$ , де  $m$  і  $M$  — відповідно маса та молярна маса газу;  $R$  — універсальна газова стала.



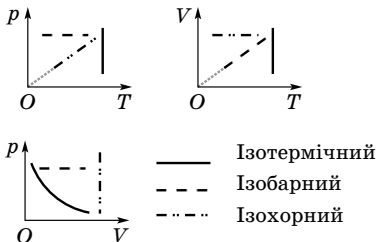
► **Газові закони** (виконуються для ізопроцесів):

*Закон Бойля — Маріотта:*  $pV = \text{const}$ , якщо  $T = \text{const}$  (ізотермічний процес).

*Закон Гей-Люссака:*  $\frac{V}{T} = \text{const}$ , якщо  $p = \text{const}$  (ізобарний процес).

*Закон Шарля:*  $\frac{p}{T} = \text{const}$ , якщо  $V = \text{const}$  (ізохорний процес).

► **Схематичні графіки ізопроцесів:**



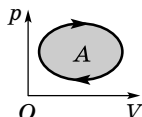
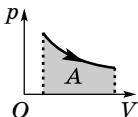
## Розділ 6. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

- **Внутрішня енергія одноатомного ідеального газу:**  $U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$ , де  $m$  і  $M$  — відповідно маса та молярна маса газу;  $R$  — універсальна газова стала;  $T$  — абсолютна температура газу.
- **Кількість теплоти:**  
 $Q = cm\Delta t$ ,  $Q = \pm \lambda m$ ,  $Q = \pm Lm$ ,  $Q = qm$ , де  $c$  — питома теплоємність;  $m$  — маса речовини;  $\Delta t$  — зміна температури;  $\lambda$  — питома теплота плавлення;  $L$  — питома теплота пароутворення;  $q$  — питома теплота згоряння. Знак «+» вибирають, коли тепло поглинається (зокрема, при плавленні та пароутворенні), знак «-» вибирають, коли тепло виділяється (зокрема, при кристалізації та конденсації).

► **Робота газу при ізобарному процесі:**

$A = p\Delta V$  (робота зовнішніх сил  $A' = -A$ ). Тут  $p$  — тиск газу;  $\Delta V$  — зміна об'єму газу.

► **Графічне визначення роботи газу** (тільки за графіком у координатах  $p, V$ ):



► **Перший закон термодинаміки:**  $\Delta U = Q + A' = Q - A$ , де  $\Delta U$  — зміна внутрішньої енергії тіла;  $Q$  — отримана тілом кількість теплоти;  $A'$  — робота зовнішніх сил;  $A$  — робота тіла (газу).

► **Рівняння теплового балансу:**  $Q_1 + Q_2 + \dots = 0$ , де  $Q_1, Q_2, \dots$  — кількості теплоти, отримані частинами 1, 2, ... замкненої системи під час теплопередачі.

- **ККД теплової машини:**  $\eta = \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{нагр}}} \cdot 100 \%,$

де  $Q_{\text{нагр}}$  — кількість теплоти, віддана нагрівником;  $Q_{\text{хол}}$  — кількість теплоти, отримана холодильником.

- **ККД ідеальної теплової машини:**

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_{\text{нагр}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{нагр}}} \cdot 100 \%, \quad \text{де } T_{\text{нагр}} \text{ і } T_{\text{хол}} —$$

абсолютна температура відповідно нагрівника та холодильника.

## Розділ 7. ВЛАСТИВОСТІ ПАРИ, РІДИН І ТВЕРДИХ ТІЛ

- **Відносна вологість повітря:**  $\varphi = \frac{p}{p_{\text{н}}} \cdot 100 \% =$   
 $= \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100 \%, \quad \text{де } p_{\text{н}} \text{ і } \rho_{\text{н}} — \text{відповідно тиск}$

і густина насиченої водяної пари за даної температури;  $p$  і  $\rho$  — відповідно тиск і густина водяної пари в повітрі.

- ▶ **Поверхнева енергія:**  $W_{\text{п}} = \sigma S$ , де  $\sigma$  — поверхневий натяг рідини;  $S$  — площа поверхні рідини.
- ▶ **Сила поверхневого натягу рідини:**  $F_{\text{пн}} = \sigma l$ , де  $l$  — довжина межі поверхні рідини.
- ▶ **Висота підймання рідини в капілярі:**  $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$ , де  $\rho$  — густина рідини;  $r$  — радіус капіляра.
- ▶ **Відносне видовження (стержня або пружини):**  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ , де  $\Delta l = l - l_0$  — видовження тіла;  $l_0$ ,  $l$  — довжина відповідно недеформованого та деформованого тіла.

- ▶ **Механічна напруга:**  $\sigma = \frac{F}{S}$ , де  $\vec{F}$  — сила, яка діє уздовж осі стержня;  $S$  — площа поперечного перерізу стержня.
- ▶ **Закон Гука:**  $\sigma = E|\varepsilon|$ , де  $E$  — модуль пружності (модуль Юнга);  $\varepsilon$  — відносне видовження тіла.

## Розділ 8. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

- ▶ **Закон збереження електричного заряду:**  
 $q_1 + q_2 + \dots = \text{const}$  (електричний заряд замкненої системи тіл є незмінним).
- ▶ **Закон Кулона (для точкових зарядів  $q_1$  і  $q_2$  у вакуумі):**  $F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ , де  $F$  —

модуль сили кулонівської взаємодії;  $r$  — відстань між точковими зарядами;  $\epsilon_0$  — електрична стала.

- **Напруженість електричного поля:**  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}}$ ,

де  $\vec{F}$  — сила, з якою поле діє на пробний заряд  $q_{\text{пр}}$ .

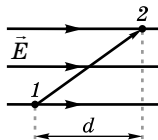
- **Принцип суперпозиції полів:**  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$ ,  
де  $\vec{E}$  — напруженість електричного поля, створеного системою точкових зарядів;

$\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots$  — напруженості електричних полів, створених у даній точці точковими зарядами  $q_1, q_2, \dots$ .

- **Потенціал електричного поля:**  $\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q_{\text{пр}}}$ , де

$W_{\text{п}}$  — потенціальна енергія пробного заряду  $q_{\text{пр}}$  у даній точці поля.

- ▶ **Різниця потенціалів:**  $U = \varphi_1 - \varphi_2$ , де  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  — потенціал електричного поля відповідно в точці 1 і точці 2.
- ▶ **Робота електричного поля:**  $A = qU$ , де  $q$  — електричний заряд, який рухається в електричному полі;  $U$  — різниця потенціалів між початковою та кінцевою точками траєкторії руху електричного заряду.
- ▶ **Зв'язок між різницею потенціалів і напруженістю однорідного поля:**  $U = \varphi_1 - \varphi_2 = Ed$ , де  $d$  — проекція переміщення заряду на напрямки силових ліній поля (див. рисунок).
- ▶ **Напруженість поля точкового заряду  $q$**



у вакуумі: 
$$E = k \frac{|q|}{r^2} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$



► **Напруженість поля точкового заряду  $q$**

в діелектрику:  $E = k \frac{|q|}{\epsilon r^2} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$ , де  $\epsilon$  — діелектрична проникність діелектрика.

► **Електроємність конденсатора:  $C = \frac{q}{U}$** , де  $q$  — заряд конденсатора (модуль заряду однієї його обкладки);  $U$  — різниця потенціалів між обкладками.

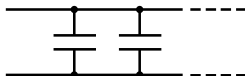
► **Електроємність плоского конденсатора:**

$C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}$ , де  $\epsilon$  — діелектрична проникність діелектрика всередині конденсатора;  $S$  — площа однієї з обкладок,  $d$  — відстань між обкладками.

► **Енергія зарядженого конденсатора:**

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

- **З'єднання конденсаторів** ( $C$  — загальна електроємність):



Паралельне з'єднання

$$C = C_1 + C_2 + \dots$$



Послідовне з'єднання

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

## Розділ 9. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

- **Сила струму:**  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ , де  $\Delta q$  — електричний заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за інтервал часу  $\Delta t$ .
- **Опір провідника:**  $R = \rho \frac{l}{S}$ , де  $\rho$  — питомий опір;  $l$  — довжина провідника;  $S$  — площа поперечного перерізу провідника.

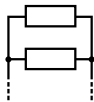
- **Закон Ома для ділянки кола:**  $I = \frac{U}{R}$ , де  $I$  — сила струму в провіднику;  $R$  — електричний опір провідника;  $U$  — різниця потенціалів (напруга) на кінцях провідника.

- **Послідовне з'єднання провідників:**



$$I = I_1 = I_2 = \dots; U = U_1 + U_2 + \dots; R = R_1 + R_2 + \dots$$

- **Паралельне з'єднання провідників:**



$$U = U_1 = U_2 = \dots; I = I_1 + I_2 + \dots;$$

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

- **Для паралельного з'єднання двох провідників:**  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ .

- ▶ **Робота електричного струму:**  $A = UIt$ , де  $I$  — сила струму в ділянці кола;  $U$  — напруга на ділянці кола;  $t$  — час протікання струму.
- ▶ **Закон Джоуля — Ленца:**  $Q = I^2 R t$ , де  $Q$  — кількість теплоти, що виділяється в провіднику опором  $R$  за сили струму  $I$  протягом часу  $t$ .
- ▶ **Потужність струму:**  $P = \frac{A}{t} = UI$ .
- ▶ **Потужність струму для ділянки кола без сторонніх сил:**  $P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ .
- ▶ **Електрорушійна сила (ЕРС):**  $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$ , де  $A_{\text{ст}}$  — робота сторонніх сил при переміщенні по ділянці кола заряду  $q$ .

- ▶ **Закон Ома для повного кола:**  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ , де  $\mathcal{E}$  і  $r$  — відповідно ЕРС і внутрішній опір джерела струму;  $R$  — опір зовнішнього кола.
- ▶ **Наслідок із закону Ома для повного кола:**  
 $U = \mathcal{E} - Ir$ .

## Розділ 10. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

- ▶ **Сила струму:**  $I = |q_0| n v S$ , де  $q_0$  — заряд вільної зарядженої частинки,  $n$  — концентрація таких частинок,  $v$  — середня швидкість упорядкованого руху таких частинок;  $S$  — площа поперечного перерізу провідника.

- ▶ **Залежність опору провідника від температури:**  $R = R_0(1 + \alpha t)$ , де  $R_0$  — опір провідника за температури  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha$  — температурний коефіцієнт опору.
- ▶ **Перший закон електролізу:**  $m = kq = kIt$ , де  $m$  — маса речовини, що виділилася при електролізі;  $k$  — електрохімічний еквівалент речовини;  $q = It$  — заряд, що пройшов через електроліт.
- ▶ **Другий закон електролізу:**  $k = \frac{1}{eN_A} \cdot \frac{M}{n}$ , де  $k$  — електрохімічний еквівалент речовини;  $e$  — елементарний електричний заряд;  $N_A$  — стала Авогадро;  $M$  — молярна маса речовини;  $n$  — модуль заряду йона в елементарних електричних зарядах (валентність речовини).
- ▶ **Умова йонізації електронним ударом:**  
 $W_k \geq A_{\text{й}}$ , де  $W_k$  — кінетична енергія електрона;  $A_{\text{й}}$  — робота йонізації.

## Розділ 11. МАГНІТНЕ ПОЛЕ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

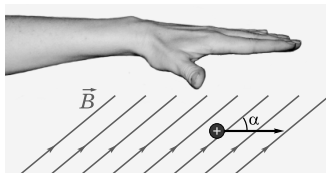
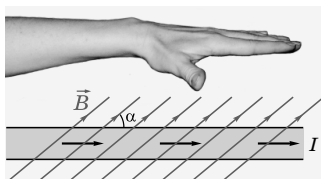
- Сила Ампера, яка діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля:

$F_A = BIl \sin \alpha$ , де  $\vec{B}$  — магнітна індукція поля;  $I$  — сила струму;  $l$  — довжина провідника;  $\alpha$  — кут між магнітною індукцією поля та напрямком струму.

- Сила Лоренца, яка діє на рухоми заряджену частинку з боку магнітного поля:

$F_L = |q| v B \sin \alpha$ , де  $q$  — заряд частинки;  $\vec{v}$  — швидкість руху частинки;  $\alpha$  — кут між магнітною індукцією та напрямком руху частинки.

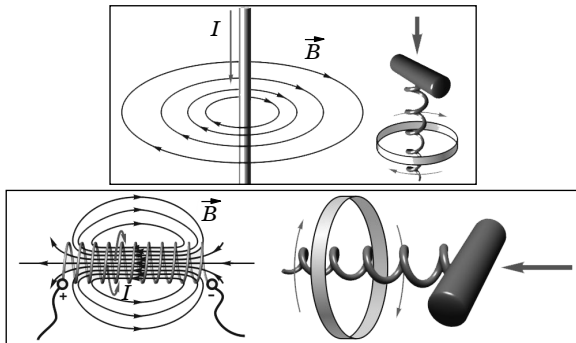
- **Правило лівої руки** (дозволяє визначити напрямок сили Ампера або сили Лоренца):



Відігнутий великий палець лівої руки показує напрямок сили (для негативно зарядженої частинки напрямок сили буде протилежним).



- **Правило свердлика** (встановлює зв'язок між напрямками струму та магнітного поля цього струму):



- **Магнітна проникність речовини:**  $\mu = \frac{B}{B_0}$ , де

$B_0$  і  $B$  — магнітні індукції поля, яке створюється тим самим струмом відповідно у вакуумі та в речовині.

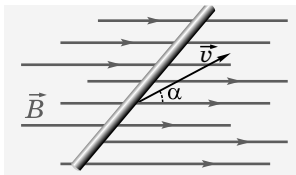
► **Магнітний потік через замкнений контур:**

$\Phi = BS \cos \alpha = B_n S$ , де  $B_n$  — проекція магнітної індукції  $\vec{B}$  на вектор  $\vec{n}$  нормалі до площини контуру;  $S$  — площа контуру;  $\alpha$  — кут між напрямками  $\vec{B}$  і  $\vec{n}$ .

► **Закон електромагнітної індукції:**  $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ,

де  $\mathcal{E}_i$  — ЕРС індукції в контурі;  $\Delta\Phi$  — зміна магнітного потоку через цей контур за інтервал часу  $\Delta t$ .

► **ЕРС індукції в провіднику довжиною  $l$ , який рухається зі швидкістю  $v$  в магнітному полі:**



$\mathcal{E}_i = vBl \sin \alpha$ , де  $\vec{B}$  — індукція магнітного поля;  $\alpha$  — кут між напрямком руху провідника та індукцією магнітного поля.

► **Індуктивність замкненого контуру:**  $L = \frac{\Phi}{I}$ , де  $\Phi$  — магнітний потік через замкнений контур, зумовлений протіканням у контурі струму, якщо сила струму дорівнює  $I$ .

► **ЕРС самоіндукції:**  $\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ , де  $\frac{\Delta I}{\Delta t}$  — швидкість зміни сили струму.

► **Енергія магнітного поля струму:**  $W = \frac{LI^2}{2}$ .

## Розділ 12. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

► **Рівняння гармонічних коливань:**

$x = x_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$ , де  $x$  — зміщення тіла при коливаннях;  $x_{\max}$  — амплітуда коливань;  $\omega$  — циклічна частота коливань;  $t$  — час;  $\varphi_0$  — початкова фаза коливань.

► **Для гармонічних коливань (і тільки для них):**

$a_x = -\omega^2 x$ , де  $a_x$  — проекція прискорення тіла на вісь  $Ox$ .

► **Період гармонічних коливань:**  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , де  $\omega$  — циклічна частота коливань.

► **Частота коливань:**  $\nu = \frac{1}{T}$ .

► **Циклічна частота гармонічних коливань:**

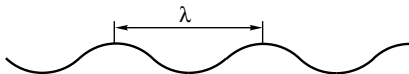
$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

► **Максимальна швидкість руху при гармонічних коливаннях:**  $v_{\max} = \omega x_{\max}$ .

► **Для математичного маятника:**  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ ;  
 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , де  $l$  — довжина маятника.

► **Для пружинного маятника:**  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ,  
 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ , де  $m$  — маса вантажу;  $k$  — жорсткість пружини.

► **Довжина хвилі:**  $\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$ , де  $v$  — швидкість хвилі;  $T$  і  $\nu$  — відповідно період і частота хвилі.



## Розділ 13. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

- **Формула Томсона для коливального контуру:**

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \left( \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \right), \text{ де } T \text{ і } \omega \text{ — відповідно}$$

період і циклічна частота вільних коливань у коливальному контурі;  $L$  — індуктивність котушки;  $C$  — електроємність конденсатора.

- **Зв'язок між амплітудними значеннями напруги  $U_M$  та сили струму  $I_M$  в ідеальному**

**контурі:** 
$$\frac{CU_M^2}{2} = \frac{LI_M^2}{2}, \text{ звідки } \frac{U_M}{I_M} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

- **Діючі значення сили струму та напруги:**

$$I = \frac{I_M}{\sqrt{2}}; \quad U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}.$$

- **Коефіцієнт трансформації трансформатора:**

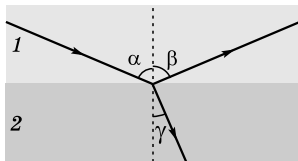
$$K = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_2}, \text{ де } \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2 \text{ — діюче значення ЕРС у відповідній обмотці; } N_1, N_2 \text{ — кількість витків у відповідній обмотці; } U_1, U_2 \text{ — діюче значення напруги у відповідній обмотці.}$$

- **Довжина електромагнітної хвилі у вакуумі:**

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}, \text{ де } c \text{ — швидкість електромагнітних хвиль (швидкість світла) у вакуумі; } T \text{ і } \nu \text{ — відповідно період і частота хвилі.}$$

## Розділ 14. ОПТИКА

## ► Відбивання та заломлення світла



Падаючий, відбитий і заломлений промені лежать у площині, перпендикулярній до межі двох середовищ.

$$\alpha = \beta, \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{2-1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}, \quad \text{де } \alpha \text{ — кут}$$

падіння,  $\beta$  — кут відбивання,  $\gamma$  — кут заломлення променя;  $n_{2-1}$  — показник заломлення середовища 2 відносно середовища 1;

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \text{ і } n_2 = \frac{c}{v_2} \text{ — абсолютні показники за-}$$



ломлення двох середовищ;  $v_1$  і  $v_2$  — швидкість світла відповідно в першому та другому середовищах.

- **Граничний кут повного відбивання на межі**

**з вакуумом:**  $\sin \alpha_{\text{гран}} = \frac{1}{n}$ .

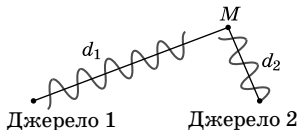
- **Оптична сила лінзи:**  $D = \frac{1}{F}$ , де  $F$  — фокусна відстань лінзи;

збиральна лінза  $\updownarrow$ :  $D > 0$ ,  $F > 0$ ;

розсіювальна лінза  $\vee$ :  $D < 0$ ,  $F < 0$ .

- **Формула тонкої лінзи:**  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D$  (тут  $d$  — відстань між лінзою та предметом;  $|f|$  — відстань між лінзою та зображенням; для уявного зображення  $f < 0$ ).

- ▶ **Лінійне збільшення тонкої лінзи:**  $\Gamma = \left| \frac{f}{d} \right|$ .
- ▶ **Різниця ходу когерентних світлових хвиль:**  
 $\Delta d = |d_1 - d_2|$ .



- ▶ **Умова інтерференційних максимумів:**  
 $\Delta d = k\lambda$ , де  $\lambda$  — довжина хвилі;  $k = 0, 1, 2, \dots$
- ▶ **Умова інтерференційних мінімумів:**  
 $\Delta d = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$ , де  $\lambda$  — довжина хвилі;  
 $k = 0, 1, 2, \dots$

- **Формула дифракційної ґратки:**  $d \sin \varphi = k \lambda$ , де  $d$  — період дифракційної ґратки;  $\varphi$  — кут відхилення світла;  $k = 0, 1, 2, \dots$  — порядок максимуму;  $\lambda$  — довжина хвилі світла.

## Розділ 15. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ. СВІТЛОВІ КВАНТИ

- **Релятивістський закон додавання швидкостей:**

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}, \text{ де } c \text{ — швидкість світла}$$

у вакуумі; швидкості  $\vec{v}_1$  і  $\vec{v}_2$  напрямлені в один бік.

- **Релятивістське скорочення довжини в на-**

$$\text{прямку руху: } l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \text{ де } l_0 \text{ — довжина}$$

тіла у власній системі відліку;  $l$  — довжина тіла в системі відліку, відносно якої воно рухається зі швидкістю  $v$ .

► **Релятивістська зміна ходу часу:** 
$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

де  $t_0$  — тривалість події у власній системі відліку;  $t$  — тривалість тієї самої події в «нерухомій» системі відліку.

► **Енергія спокою тіла:**  $W_0 = mc^2$ , де  $m$  — маса тіла.

► **Енергія тіла, яке рухається зі швидкістю  $v$ :**

$$W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

- **Кінетична енергія тіла, яке рухається зі швидкістю  $v$ :**  $W_{\text{к}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$  (за малої

швидкості руху  $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ ).

- **Імпульс тіла, яке рухається:**  $p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ .

- **Енергія фотона:**  $W = h\nu$ , де  $h$  — стала Планка;  $\nu$  — частота електромагнітного випромінювання.

- **Імпульс фотона:**  $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{W}{c}$ , де  $\lambda$  — довжина хвилі випромінювання;  $W$  — енергія фотона.

► **Рівняння Ейнштейна для фотоэффекту:**

$h\nu = A + W_{\text{к}}$ , де  $A = h\nu_{\text{min}}$  — робота виходу;

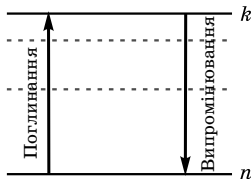
$\nu_{\text{min}} = \frac{c}{\lambda_{\text{max}}}$  — червона межа фотоэффекту;

$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} = eU_{\text{затрим}}$  — максимальна кінетич-

на енергія фотоелектронів;  $U_{\text{затрим}}$  — затримуюча напруга.

## Розділ 16. АТОМ І АТОМНЕ ЯДРО

- **Частота випромінювання, яке відповідає переходу між станами атома:**  $\nu_{kn} = \frac{W_k - W_n}{h}$ , де  $W_k, W_n$  — енергії початкового та кінцевого станів атома;  $h$  — стала Планка.



- **Закон радіоактивного розпаду:**  $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ ,  
де  $N$  і  $N_0$  — відповідно кінцева та початкова кількості атомів;  $T$  — період піврозпаду.
- **Дефект мас ядра:**  $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{ядра}} = Zm_p + Nm_n + Zm_e - M_{\text{атома}}$ , де  $Z$  і  $N$  — кількості відповідно протонів і нейтронів у ядрі;  $m_p$ ,  $m_n$  і  $m_e$  — маси протона, нейтрона, електрона відповідно.

- ▶ **Енергія зв'язку ядра:**  $W_{\text{зв}} = \Delta m \cdot c^2$ , де  $\Delta m$  — дефект мас ядра.
- ▶ **Питома енергія зв'язку:**  $\frac{W_{\text{зв}}}{A}$ , де  $A = Z + N$  — масове число ядра (загальна кількість нуклонів у ядрі).
- ▶ **Енергетичний вихід ядерної реакції:**  $\Delta W = (M_{\text{до реакції}} - M_{\text{після реакції}})c^2$ . Якщо  $\Delta W > 0$ , то в ядерній реакції енергія виділяється, якщо  $\Delta W < 0$ , то енергія поглинається.