

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**В. А. Ващенко, С. О. Колінько, Т. І. Бутенко, В. В Цибулін**

## **“ФІЗИКА”**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК**

для самостійної роботи  
здобувачів освітнього ступеня “бакалавр”  
з технічних спеціальностей  
денної форми навчання

Черкаси 2018

УДК 53(075.8)

*Затверджено Методичною радою ЧДТУ,  
протокол № \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ від \_\_.\_\_.2018 р.  
згідно з рішенням кафедри фізики,  
протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_*

Упорядники:

Ващенко В.А., д-р техн. наук, професор,  
Колінько С.О., канд. фіз.-мат наук, доцент,  
Бутенко Т.І., канд. техн. наук, доцент,  
Цибулін В.В

Рецензент:

Бондаренко М.О., канд.техн.наук, доцент

“ФІЗИКА”: навчально-методичний посібник для самостійної роботи здобувачів освітнього ступеня “бакалавр” з технічних спеціальностей денної форми навчання [Електронний ресурс] / [упоряд. : В.А. Ващенко, С.О.Колінько, Т.І.Бутенко В. В. Цибулін; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2018. – 57 с.

Навчально-методичний посібник містить теоретичні матеріали з дисципліни “Фізика”, які можуть бути використані для самостійної підготовки та вивчення навчальної дисципліни студентами. Для викладачів вищих технічних навчальних закладів.

**УДК 53(075.8)**

Навчальне електронне видання

**“ФІЗИКА”**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК**

для самостійної роботи  
здобувачів освітнього ступеня “бакалавр”  
з технічних спеціальностей  
денної форми навчання

Упорядники: Ващенко В’ячеслав Андрійович,  
Колінько Сергій Олександрович,  
Бутенко Тетяна Іванівна,  
Цибулін Валентин Вікторович

*В авторській редакції.*

© В. А. Ващенко, С. О. Колінько, Т. І. Бутенко, В.В. Цибулін, упорядкування, 2018

## ЗМІСТ

Передмова		3
Тема 1	Рівномірний рух. Середня швидкість. Відносність руху.	4
Тема 2	Рівноприскорений прямолінійний рух.	5
Тема 3	Рівномірний рух по колу.	6
Тема 4	Закони Ньютона.	8
Тема 5	Закон всесвітнього тяжіння.	9
Тема 6	Сила пружності. Вага і невагомість.	10
Тема 7	Сили тертя.	11
Тема 8	Динаміка руху тіла по колу.	12
Тема 9	Закон збереження імпульсу.	12
Тема 10	Механічна робота. Потужність. ККД.	13
Тема 11	Закон збереження механічної енергії.	14
Тема 12	Елементи механіки рідин і газів.	15
Тема 13	Основи молекулярно-кінетичної енергії.	16
Тема 14	Рівняння стану ідеального газу. Ізопроееси.	18
Тема 15	Основи термодинаміки.	20
Тема 16	Закон Кулона. Напруженість поля.	22
Тема 17	Потенціал. Різниця потенціалів. Робота електростатичного поля.	24
Тема 18	Електроємність. Конденсатори.	26
Тема 19	Постійний струм. Закон Ома для ділянки кола.	27
Тема 20	Закон Ома для повного (замкненого) кола.	30
Тема 21	Робота і потужність струму. Закон Джоуля-Ленца.	31
Тема 22	Струм у різних середовищах.	32
Тема 23	Магнітне поле.	33
Тема 24	Механічні коливання.	37
Тема 25	Механічні хвилі. Звук.	39
Тема 26	Вільні електромагнітні коливання.	40
Тема 27	Електромагнітні хвилі.	41
Тема 28	Закони геометричної оптики.	43
Тема 29	Лінзи.	46
Тема 30	Хвильова оптика.	50
Тема 31	Елементи теорії відносності.	52
Тема 32	Атомна фізика.	54
Література		56

## ПЕРЕДМОВА

Основною метою дисципліни «Фізика» є послідовне вивчення студентами основних законів і положень фізики для пізнання загальних закономірностей явищ природи; використання даних законів у оперативному розв'язанні проблем; освітлення можливих прикладних застосувань фізичних методів і приладів у практичній діяльності фахівця інженерного профілю. Вивчення дисципліни «Фізика» здобувачами освітнього ступеня “бакалавр” з технічних спеціальностей передбачає аудиторні лекційні, практичні та лабораторні заняття. Впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу приводить до змін у навчальних робочих планах вивчення дисципліни, при цьому частка самостійної роботи студентів у навчальному процесі невідмінно зростає.

Представлений навчально-методичний посібник містить 32 теми з механіки, молекулярної фізики та основ термодинаміки, електрики та магнетизму, коливачь і хвиль, оптики, теорії відносності та атомної фізики.

Цей посібник може бути застосований як при тестуванні студентів при проведенні модульного або ректорського контролю знань, так і для підготовки до виконання лабораторних робіт та їх захисту, а також для контролю та самоконтролю знань у вигляді контрольних робіт.

Навчально-методичний посібник сприятиме успішному опануванню студентами програмних питань курсу загальної фізики, які виносяться на самостійне вивчення.

## ТЕМА 1. РІВНОМІРНИЙ РУХ. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ.

### ВІДНОСНІСТЬ РУХУ.

- *Механічний рух* — це зміна з часом положення тіла відносно іншого тіла, яке називають тілом відліку.
- До систем відліку входять: а) тіло відліку; б) система координат, пов'язана з ним; в) годинник.
- У СІ одиницею вимірювання довжини є 1 м, часу — 1 с.
- Рух тіла у вибраній системі відліку задається рівняннями залежності координат тіла від часу:  $x=f_1(t)$ ;  $y=f_2(t)$ ;  $z=f_3(t)$ . Ці рівняння називають *рівняннями руху*.
- *Матеріальна точка* — це тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати.
- *Траєкторія* — це лінія, вздовж якої рухається тіло. Якщо тіло рухається в площині  $Oxy$ , то рівняння залежності  $y=y(x)$  називають рівнянням траєкторії.
- *Шлях  $S$*  — довжина траєкторії. Шлях не може зменшуватися із плином часу.
- *Переміщення* тіла — це вектор, що сполучає початкове та кінцеве положення тіла. Довжину цього вектора називають модулем переміщення (рис.1).



Рис.1

- *Поступальним* називають рух, за якого переміщення всіх точок тіла

однакове.

- *Прямолинійним рівномірним* називають рух, за якого тіло, рухаючись уздовж деякої прямої, за будь-які однакові проміжки часу проходить однаковий шлях.

- *Швидкість прямолинійного рівномірного руху* дорівнює відношенню шляху до проміжку часу, за який тіло пройшло цей шлях:  $v = \frac{S}{t}$ . Одиниця вимірювання швидкості в СІ —  $1 \frac{м}{с}$ .

- При рівномірному прямолинійному русі вздовж осі  $Ox$  *рівняння залежності від часу*:

- *шляху*:  $S = vt$ ;

- *координати*:  $x = x_0 + v_x t$  — рівняння рівномірного прямолинійного руху.

- *Середня швидкість*  $v_{ср}$  дорівнює відношенню шляху до часу, за який тіло пройшло даний шлях:  $v_{ср} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$ .

- *Правило додавання швидкостей*:  $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$  де  $\vec{v}$  — швидкість тіла в нерухомій системі відліку;  $\vec{v}_1$  — швидкість тіла в рухомій системі відліку;  $\vec{v}_2$  — швидкість рухомої системи відліку відносно нерухомої.

## **ТЕМА 2. РІВНОПРИСКОРЕНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ**

- Швидкість тіла в даний момент часу (або в даній точці траєкторії) називають *миттєвою*. При русі тіла проекція миттєвої швидкості на деяку вісь

$Ox$  дорівнює  $v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'(t)$ , де  $x = x(t)$  — рівняння руху тіла вздовж осі  $Ox$ .

- *Рівноприскореним* називають рух, при якому за будь-які рівні проміжки часу швидкість тіла змінюється однаково.

- *Прискоренням* рівноприскореного руху  $a$  називають відношення зміни

швидкості тіла до інтервалу часу, за який ця зміна відбулася:  $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ . Напрямок вектора прискорення збігається з напрямком вектора зміни швидкості.

Миттєве значення проекції прискорення вісь  $Ox$  дорівнює

$$a_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = v'_x(t). \text{ При рівноприскореному прямолінійному русі } \vec{a} = \text{const}.$$

Одиницею вимірювання прискорення у СІ є  $1 \frac{m}{c^2}$ .

- *Рівняння рівноприскореного прямолінійного руху:*

$$v_x = v_{0x} + a_x t;$$

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x};$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2.$$

- Шлях тіла при рівноприскореному русі вздовж осі  $Ox$  чисельно дорівнює площі фігури, обмеженої графіком проекції швидкості, віссю  $Ot$  і прямими  $t=t_1$  та  $t=t_2$  (рис.2).

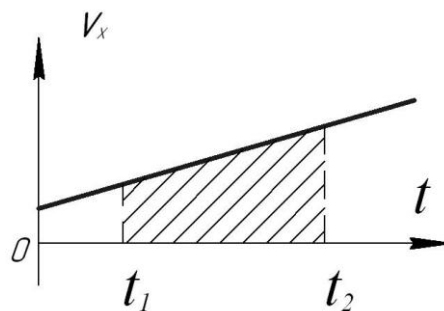


Рис.2

### **ТЕМА 3. РІВНОМІРНИЙ РУХ ПО КОЛУ**

- Рівномірний криволінійний рух — це рух з постійною за модулем швидкістю. Найпростішим прикладом такого руху є рівномірний рух по колу.
- Нехай, рухаючись по колу, тіло перемістилося з положення 1 у

положення 2 (рис 3).

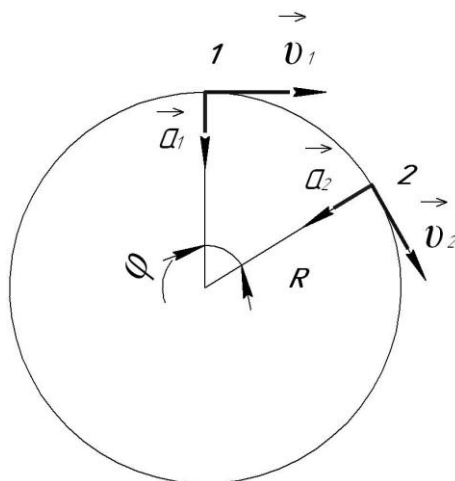


Рис.3

- *Кут повороту  $\varphi$*  — це кут, на який за час  $t$  повернеться радіус, проведений до положення тіла в дану мить. Кут повороту в СІ вимірюють у радіанах (рад).  $180^\circ = \pi$  (рад).

- *Шлях  $l$*  — це довжина дуги, по якій рухалось тіло впродовж часу  $t$ . Довжину дуги можна обчислити за формулою  $l = R\varphi$ . Період обертання  $T = \frac{t}{N}$  — час одного повного оберту. Одиницею вимірювання періоду в СІ є 1 с.

- *Частота обертання  $n = \frac{N}{t}$*  — це скалярна величина, яка дорівнює кількості обертів, що зробить тіло за одиницю часу. Частоту обертання в СІ вимірюють у  $\frac{1}{c}$ .

- *Лінійна швидкість* чисельно дорівнює шляху, що проходить тіло за одиницю часу:  $v = \frac{2\pi R}{T}$ . Лінійна швидкість у кожній точці траєкторії напрямлена по дотичній до кола.

- *Кутова швидкість  $\omega$*  чисельно дорівнює відношенню кута повороту до часу, за який радіус повернувся на цей кут:  $\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$ .

Куту швидкість у СІ вимірюють у  $\frac{\text{рад}}{c}$ .



- Зв'язок між лінійною та кутовою швидкостями:  $v = \omega R$ .
- При рівномірному русі по колу прискорення тіла в кожній точці траєкторії напрямлене до центра кола і називається доцентровим. Модуль доцентрового прискорення дорівнює  $a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$ . Напрямок доцентрового прискорення постійно змінюється, тому рівномірний рух по колу не є рівноприскореним.

## **ТЕМА 5. ЗАКОНИ НЬЮТОНА**

- Механічний рух тіл змінюється під час їхньої *взаємодії* один з одним. Унаслідок взаємодії тіла можуть набувати прискорень або деформуватись.

- *Сила*  $F$  — векторна фізична величина, що є мірою взаємодії тіл. Одиниця вимірювання модуля сили в СІ — *ньютон* (Н):  $1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ . Модуль сили вимірюють *динамометром*.

- Якщо до матеріальної точки прикладені кілька сил, то їхню дію можна замінити дією однієї сили, що дорівнює векторній сумі всіх прикладених сил  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$  і яку називають *рівнодійною*.

- *Інертність* — це властивість тіла, яка характеризує його здатність набувати прискорення під дією сили. Більш інертні тіла під дією тієї самої сили набувають менших прискорень.

- *Маса тіла*  $m$  — скалярна фізична величина, що є мірою інертності тіл. Одиницею вимірювання маси у СІ є 1 кг. Масу однорідного тіла можна обчислити за формулою  $m = \rho V$ , де  $\rho$  — густина речовини, з якої виготовлене тіло (у СІ густину вимірюють у кг/м<sup>3</sup>).

- Масу тіла можна виміряти зважуванням або при взаємодії з тілом відомої маси.

- **I закон Ньютонa (закон інерції).** Існують системи відліку,

відносно яких тіло, що рухається поступально, зберігає свою швидкість (перебуває в спокої або рухається прямолінійно і рівномірно), коли рівнодійна всіх прикладених до тіла сил дорівнює нулю. Тобто в деяких системах відліку  $\vec{a} = 0$ , якщо  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ .

Системи відліку, в яких тіло зберігає свою швидкість при умові, що  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ , називають *інерціальними*.

Для розрахунку практично всіх рухів поблизу земної поверхні (автомобілів, літаків, деталей машин) можна як інерціальну систему відліку вибрати систему, зв'язану із Землею. Системи відліку, що рухаються без прискорення відносно інерціальної системи, теж є інерціальними.

Усі інерціальні системи відліку рівноправні: в усіх цих системах усі механічні явища протікають однаково. Це твердження називають *принципом відносності Галілея*.

- **II закон Ньютона.** Прискорення  $\vec{a}$ , якого набуває тіло під дією сили  $\vec{F}$ , прямо пропорційне до цієї сили і обернено пропорційне до маси тіла:

- $$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} .$$

- **III закон Ньютона.** Сили, що виникають при взаємодії двох тіл, рівні за величиною і протилежні за напрямком:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ .

Ці сили прикладені до різних тіл і мають однакову фізичну природу.

## **ТЕМА 5. ЗАКОН ВСЕСВІТНЬОГО ТЯЖІННЯ.**

- *Гравітація* — це явище взаємного притягання всіх тіл у Всесвіті.
- **Закон всесвітнього тяжіння:** Дві матеріальні точки, маси яких  $m_1$  та  $m_2$ , що перебувають на відстані  $r$  одна від одної (рис.4), притягуються із силою, прямо пропорційною до їхніх мас і обернено пропорційною до квадрату відстані між цими матеріальними точками:

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

де  $G=6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$  — гравітаційна стала.

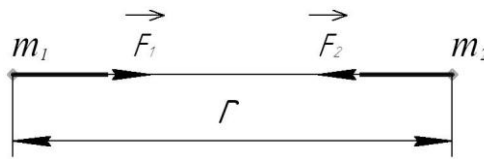


Рис.4

- *Сила тяжіння* — це сила, з якою Земля притягує тіло масою  $m$ :

$$F_{тяж} = G \frac{M_3 m}{r^2} = mg_h ,$$

де  $M_3$  - маса Землі;  $r=R_3+h$  — відстань від тіла до центра Землі;  $h$  — відстань від тіла до поверхні Землі (рис.5). Сила тяжіння напрямлена до центра Землі.

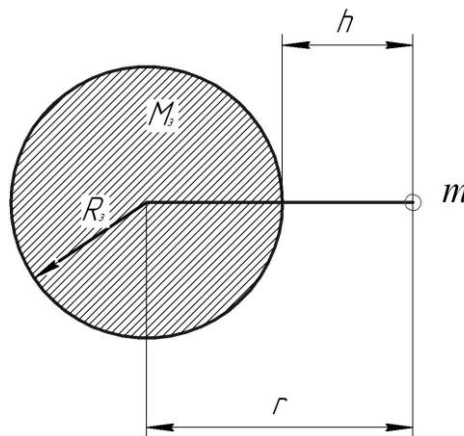


Рис.5

- *Прискорення вільного падіння* на висоті  $h$  над поверхнею Землі дорівнює  $g_h = G \frac{M_3}{r^2} = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$ . На поверхні Землі ( $h=0$ ) прискорення

вільного падіння дорівнює  $g = G \frac{M_3}{R_3^2} = 9,8 м/с^2$ .

### **ТЕМА 6. СИЛА ПРУЖНОСТІ. ВАГА І НЕВАГОМІСТЬ.**

- Сили, що виникають при пружній деформації тіл, називають *силами пружності*. Ці сили зумовлені взаємодією частинок деформованого тіла і мають електромагнітну природу.

- **Закон Гука.** Сила пружності, що виникає при деформаціях розтягу і стиску, прямо пропорційна до видовження і напрямлена в бік, протилежний до вектора видовження:  $\vec{F}_{np} = -k\vec{x}$ .

Модуль сили пружності  $F_{np} = k|\vec{x}|$ , де  $k$  — жорсткість тіла, що залежить від розмірів тіла та речовини, з якої воно виготовлене. Жорсткість тіла можна визначити за формулою  $k = \frac{ES}{l_0}$ , де  $l_0$  — початкова довжина тіла,  $S$  — площа поперечного перерізу тіла,  $E$  — модуль Юнга (модуль пружності). Одиницею вимірювання жорсткості у СІ є  $1 \frac{H}{m}$ .

- Силу пружності, що діє на тіло з боку опори, називають силою реакції опори  $N$ . Вона напрямлена перпендикулярно до поверхні опори.

- **Вагою** тіла  $\vec{P}$  називають силу, з якою воно, внаслідок притягання Землею або руху з прискоренням, тисне на опору або розтягує підвіс.

Вага прикладена до опори або підвісу, а не до самого тіла. Одиницею вимірювання ваги в СІ є  $1H$ . Вагу визначають за формулою  $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$ , де  $\vec{a}$  — прискорення тіла.

### **ТЕМА 7. СИЛИ ТЕРТЯ.**

- **Сила тертя спокою** виникає при спробі зрушити одне зі стичних тіл відносно іншого. Направлена вздовж стичних поверхонь так, що перешкоджає відносному рухові тіл (рис 6).

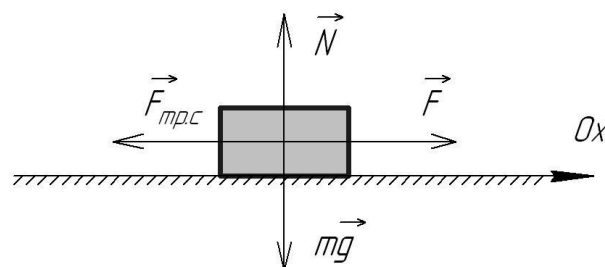


Рис.6

У стані спокою модуль сили тертя дорівнює  $F_{тр.с} = F_x$ , де  $F_x$  — проекція на вісь  $Ox$  сили, що прагне вивести тіло зі стану спокою. При зміні  $F_x$  сила тертя спокою може змінюватися в межах від 0 до  $\mu N$ , де  $\mu N$  — максимальна сила тертя спокою.

- *Сила тертя ковзання* діє під час руху і напрямлена проти напрямку руху тіла. Модуль сили тертя ковзання дорівнює  $F_{тр} = \mu N$ , де  $\mu$  — коефіцієнт тертя ковзання.

### **ТЕМА 8. ДИНАМІКА РУХУ ТІЛА ПО КОЛУ.**

- При рівномірному русі тіла зі швидкістю  $v$  по колу рівнодійна всіх прикладених до тіла сил напрямлена вздовж радіуса  $R$  до центра кола і надає тілу доцентрового прискорення, яке можна обчислити за формулами:

$$a_{\vec{a}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R .$$

- *Основне рівняння динаміки* при рівномірному русі тіла по колу має вигляд:

$$m\vec{a}_{\vec{a}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n .$$

### **ТМА 9. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ.**

- *Імпульсом тіла*  $\vec{p}$  називають добуток маси тіла на його швидкість:  $\vec{p} = m\vec{v}$ . Імпульс тіла — вектор, що має напрям швидкості. Одиницею вимірювання імпульсу в СІ є  $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ .

- *Імпульсом сили* називають добуток сили на час її дії:  $F \cdot \Delta t$ . Імпульс сили — вектор, що має напрям сили (рівнодійної сил у випадку дії на тіло кількох сил). Одиницею вимірювання імпульсу сили в СІ є  $1 \text{ Н} \cdot \text{с}$ .

- *II закон Ньютона в імпульсній формі.* Зміна імпульсу тіла

дорівнює імпульсу сили:  $\Delta\vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$ .

- Систему тіл називають *замкненою*, якщо тіла системи взаємодіють лише між собою, а рівнодійна зовнішніх сил, що діють на систему, рівна нулю.

- Закон збереження імпульсу.** У замкнених механічних системах векторна сума імпульсів тіл залишається незмінною при будь-яких взаємодіях тіл системи між собою:

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

Або  $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n = m'_1\vec{u}_1 + m'_2\vec{u}_2 + \dots + m'_k\vec{u}_k$ , де  $m_i\vec{v}_i$  — імпульси тіл до взаємодії,  $m'_i\vec{u}_i$  — імпульси тіл після взаємодії.

- Якщо система не є замкненою, але сума проєкцій зовнішніх сил на одну з осей дорівнює 0, то в цьому випадку зберігається сума проєкцій імпульсів на цю вісь.

### **ТЕМА 10. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ПОТУЖНІСТЬ. ККД.**

- Механічна робота  $A$**  — це скалярна фізична величина, що чисельно дорівнює добутку модуля сили на модуль переміщення і на косинус кута між силою та переміщенням:  $A = FScos\alpha$  (рис.7).

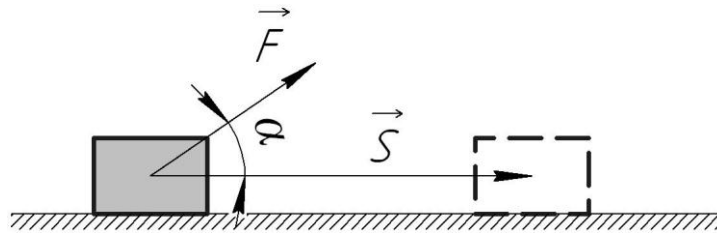


Рис.7

Одиницею вимірювання роботи в СІ є 1 джоуль:  $1\text{Дж} = 1\text{Н} \cdot 1\text{м}$ .

- Геометричний зміст роботи:** якщо сила і переміщення співнапрямлені, то механічна робота чисельно дорівнює площі фігури, обмеженої графіком залежності  $F = F(x)$ , осями координат та прямою  $x = S$ .

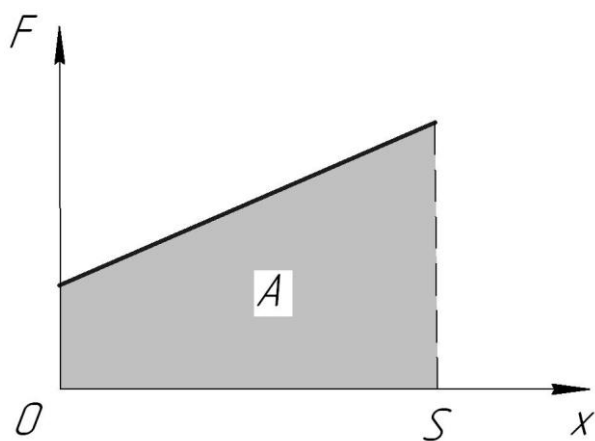


Рис.8

- *Механічна потужність*  $P$  — скалярна величина, що дорівнює відношенню роботи до проміжку часу, за який ця робота виконувалась:  $P = \frac{A}{t}$ .

Потужність характеризує швидкість виконання роботи. Одиницею вимірювання потужності в СІ є 1 ват:  $1Вт = \frac{1Дж}{1с}$ .

- *Коефіцієнт корисної дії* (ККД) механізму — це відношення корисної роботи (потужності) до затраченої роботи (потужності):

$$\eta = \frac{A_k}{A_з} = \frac{P_k}{P_з}. \text{ Часто ККД виражають у відсотках: } \eta = \frac{A_k}{A_з} 100\% = \frac{P_k}{P_з} 100\%.$$

## **ТЕМА 11. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

- *Енергія* тіла або системи тіл — це фізична величина, що характеризує здатність тіла (системи тіл) виконувати роботу при зміні свого стану. Механічна енергія визначається взаємним положенням тіл та їх швидкістю. Мірою зміни енергії є *робота*. Одиницею вимірювання енергії у СІ є 1 Дж.

- *Потенціальною* називають енергію взаємодії тіл. Вона визначається взаємним положенням тіл, що взаємодіють.

Потенціальна енергія тіла, піднятого в полі земного тяжіння на висоту  $h$  над нульовим рівнем (цей рівень вибирають довільно), дорівнює :

$$E_n = mgh.$$

Потенціальна енергія деформованої пружини, жорсткість якої  $k$ , дорівнює:

$$E_p = \frac{kx^2}{2}.$$

Для роботи сили тяжіння та сили пружності справедлива теорема про потенціальну енергію:

$$A = -\Delta E_n = E_{n1} - E_{n2}.$$

• *Кінетичною* називають енергію руху тіла. Її обчислюють за формулою:

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

• Для роботи сили, яка змінює швидкість тіла, справедлива **теорема про кінетичну енергію**:

$$A = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}.$$

• *Повною* механічною енергію тіла називають суму кінетичної та потенціальної енергії тіла. Повна механічна енергія системи тіл — це сума повних механічних енергій усіх тіл системи.

• Систему тіл називають *замкненою*, якщо тіла системи взаємодіють лише між собою.

• **Закон збереження механічної енергії.** Повна механічна енергія замкненої системи тіл зберігається, якщо немає перетворення механічної енергії в інші види енергії.

## **ТЕМА 12. ЕЛЕМЕНТИ МЕХАНІКИ РІДИН І ГАЗІВ**

• *Тиск*  $p$  — скалярна величина, що дорівнює відношенню сили, яка діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні:

$$p = \frac{F_{\perp}}{S}.$$



- Одиницею вимірювання тиску в СІ є паскаль:  $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}$ .
- Силу, що діє перпендикулярно до поверхні, називають *силою тиску*:  $F_{\text{т}} = ps$ .
- Тиск стовпа нерухомої рідини чи газу, зумовлений їхньою вагою, називають *гідростатичним*:

$$p = \rho gh,$$

де  $h$  — висота стовпа рідини (газу) над даною точкою.

- **Закон Паскаля для рідин та газів.** Тиск, що діє на рідину чи газ, передається ними в усіх напрямках однаково.
- На тіло, занурене в рідину чи газ, діє виштовхувальна сила, яку називають *силою Архімеда*. Вона зумовлена різницею сил тиску рідини (газу) на нижню і верхню частини тіла. Сила Архімеда напрямлена вгору.
- **Закон Архімеда.** Сила Архімеда дорівнює вазі витісненої тілом рідини (газу):  $F_a = \rho gV$ , де  $\rho$  – густина рідини (газу),  $V$  – об'єм зануреної в рідину (газ) частини тіла.

### **ТЕМА 13. ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ**

- *Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ).*

Речовина складається з частинок, між якими є проміжки. Структурними елементами речовини є атоми, молекули, іони.

1) *Атом* — найдрібніша частинка хімічного елемента, що зберігає його хімічні властивості. Різновидів атомів існує стільки, скільки хімічних елементів міститься в таблиці Менделєєва. *Молекула* — найдрібніша частинка хімічної сполуки, що зберігає її хімічні властивості. Молекули складаються з атомів. Молекули різних речовин відрізняються набором атомів, що входять до складу молекули. *Іон* — електрично заряджена частинка, яка утворилась шляхом утрати (позитивний іон) або приєднання (негативний іон) атомом електронів. *Електрон* – елементарна негативно заряджена частинка.

2). Частинки речовини перебувають у неперервному хаотичному русі.

3). Між частинками речовини діють сили притягання і сили відштовхування. Рівнодійну цих сил називають силою взаємодії молекул (атомів). При зменшенні відстані між частинками переважають сили відштовхування, а при збільшенні — сили притягання.

- Маса атомів і молекул дуже малі. Їх виражають в атомних одиницях маси (а.о.м). 1 а.о.м. дорівнює 1/12 маси атома Карбону. 1 а.о.м. =  $1,6606 \cdot 10^{-27}$  кг.

- *Відносна атомна (молекулярна) маса* — це маса атома чи молекули в а.о.м. Відносна атомна маса елементів міститься в таблиці Менделєєва.

- *Молярна маса  $M$*  — маса одного моля даної речовини. Молярну масу будь-якої хімічної сполуки можна обчислити, використавши дані таблиці Менделєєва. Наприклад:  $M(CO_2) = (12 + 2 \cdot 16) \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

- *Стала Авогадро* — величина, яка чисельно дорівнює кількості частинок в 1 молі будь-якої речовини.  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$ .

- *Кількість речовини  $\nu$*  — це кількість молів у даній масі речовини.  $\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$ , де  $N$  — кількість частинок у даній масі речовини.

- Кількість атомів чи молекул у даній масі речовини можна обчислити за формулою

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

#### **ТЕМА 14. РІВНЯННЯ СТАНУ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ. ІЗОПРОЦЕСИ**

- Стан газу характеризують кілька фізичних величин — тиск  $p$ , об'єм  $V$ , абсолютна температура  $T$ , які називають *макроскопічними параметрами* стану. Стан, у якому всі параметри як завгодно довго залишаються незмінними,

називають *станом термодинамічної рівноваги*. Температуру вимірюють термометром. Найчастіше термометри градуують за шкалою Цельсія, за якою  $0^\circ\text{C}$  — температура танення льоду;  $100^\circ\text{C}$  — температура кипіння води за нормального атмосферного тиску.

Шкалу, нижня межа якої абсолютний нуль, а ціна поділки така сама, як у шкалі Цельсія, називають *абсолютною шкалою температур*. Зв'язок між абсолютною температурою та температурою, виміряною за Цельсієм:

$$T = (t^\circ + 273)K$$

- *Ідеальний газ* — модель газу, для якого можна знехтувати взаємодією частинок. Молекули ідеального газу вважають матеріальними точками. Удари молекул ідеального газу між собою та зі стінками посудини абсолютно пружні. Розріджені реальні гази можна вважати ідеальним газом.

- *Рівняння стану ідеального газу* (рівняння Менделєєва - Клапейрона) описує зв'язок між трьома макроскопічними параметрами в стані термодинамічної рівноваги і має вигляд:

$$PV = \nu RT = \frac{m}{M} RT,$$

де  $\nu$  — кількість речовини,  $M$  — молярна маса ідеального газу,

$R = kN_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  — універсальна газова стала,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  — стала

Больцмана.

- *Термодинамічний процес* — це перехід ідеального газу з одного стану в інший, що супроводжується зміною параметрів газу.

- Якщо під час термодинамічного процесу кількість речовини не змінюється ( $\nu = \frac{m}{M} = \text{const}$ ), то з рівняння стану слідує, що  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{const}$ .

Це рівняння називають *об'єднаним газовим законом* (ОГЗ), або рівнянням Клапейрона.

- *Ізотермічний процес* — це ізопроецес, при якому температура ідеального газу не змінюється.

З ОГЗ слідує, що  $P_1V_1 = P_2V_2 = const$ , це — закон Бойля — Маріотта.

За незмінної температури та кількості речовини тиск ідеального газу обернено пропорційний до його об'єму:  $P = \frac{const}{V}$ .

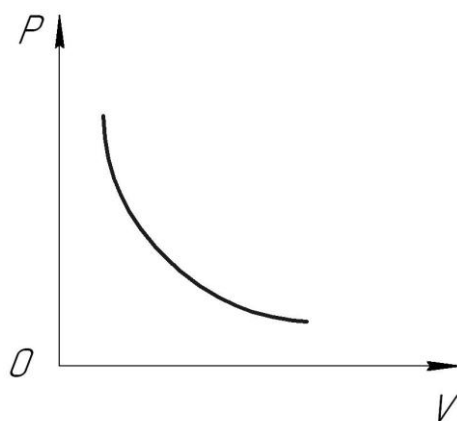


Рис. 9

Графіки ізотермічного процесу в координатах  $PV, PT, VT$  називають *ізотермами*.

- *Ізобарний процес* — це ізопроцес, при якому тиск ідеального газу не змінюється. З ОГЗ слідує, що  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = const$ . Це — закон Гей-Люссака.

За незмінного тиску та кількості речовини об'єм ідеального газу прямо пропорційний до його абсолютної температури:  $V = const \cdot T$ .

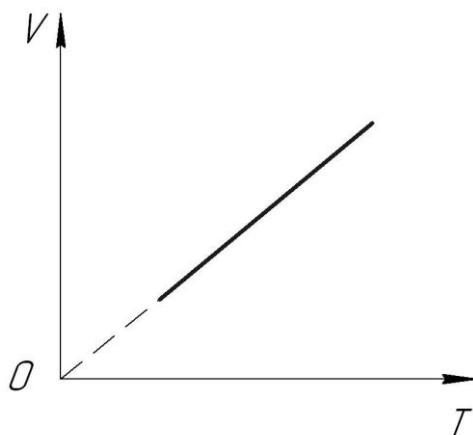


Рис. 10

Графіки ізобарного процесу в координатах  $PV, PT, VT$  називають

ізобарами.

- *Ізохорний процес* — це ізопроцес, при якому об'єм ідеального газу не змінюється. З ОГЗ слідує, що  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = const$  — це закон Шарля. За незмінного об'єму та кількості речовини тиск ідеального газу прямо пропорційний до його абсолютної температури:  $P = const \cdot T$ .

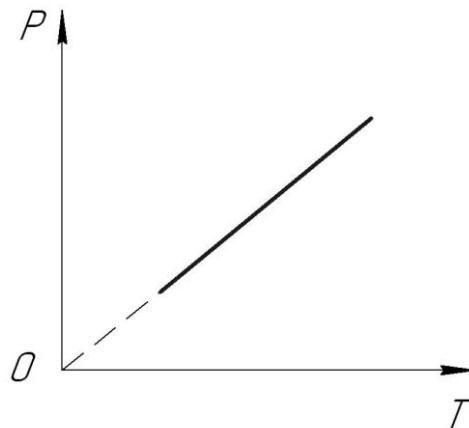


Рис.11

Графіки ізохорного процесу в координатах  $PV, PT, VT$  називають *ізохорами*.

## **ТЕМА 15. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ**

*Тепловий рух* — хаотичний рух частинок, з яких складається тіло.

- *Внутрішня енергія ідеального газу  $U$*  — це сума кінетичних енергій частинок газу. *Способи зміни внутрішньої енергії* — виконання роботи та теплообмін.
- *Теплообмін* (теплопередача) — це процес передачі енергії від більш нагрітого до менш нагрітого тіла (частин тіла). Види теплообміну: теплопровідність, конвекція, випромінювання.
- *Кількість теплоти  $Q$*  — це скалярна величина, що чисельно дорівнює енергії, яку отримує чи віддає тіло під час теплообміну. Одиницею

вимірювання кількості теплоти у СІ є 1 Дж. Позасистемною одиницею вимірювання кількості теплоти є калорія:  $1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$ . При нагріванні чи охолодженні кількість теплоти обчислюють за формулою  $Q = cm\Delta T$ . Питома теплоємність речовини  $c$  чисельно дорівнює кількості теплоти, яку потрібно надати 1 кг речовини, щоб нагріти його на 1К.

- *Тепловий двигун* — пристрій, що виконує механічну роботу за рахунок процесів теплообміну.



Рис.12

На рис.12 зображена блок-схема теплового двигуна, де  $A$  — виконана (корисна) робота;  $Q_1$  — кількість теплоти, яку отримало робоче тіло від нагрівника;  $Q_2$  — кількість теплоти, яку робоче тіло передало холодильнику. За законом збереження енергії  $Q_1 = Q_2 + A$ .

- ККД *теплового двигуна* дорівнює  $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ . Для теплового двигуна, робочим тілом якого є ідеальний газ, у даному інтервалі температур ККД буде максимальним, якщо робочий цикл такого двигуна (*цикл Карно*) складається з двох ізотерм та двох адіабат. На рис. 13 зображений графік циклу Карно.

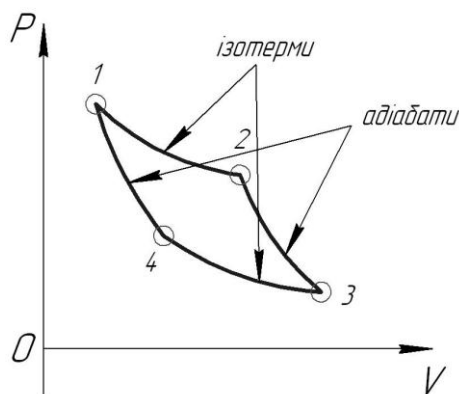


Рис.13

Максимальний ККД теплового двигуна дорівнює  $\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ . Щоб підвищити ККД, потрібно підвищити температуру нагрівника  $T_1$  і знизити температуру холодильника  $T_2$ .

## ТЕМА 16. ЗАКОН КУЛОНА. НАПРУЖЕНІСТЬ ПОЛЯ

- *Електричний заряд  $q$*  — це скалярна фізична величина, що характеризує інтенсивність електричної взаємодії. Одиницею вимірювання електричного заряду в СІ є  $1\text{Кл}=1\text{А}\cdot 1\text{с}$ .

У природі існує два види електричних зарядів: *позитивні* та *негативні*. Негативно заряджене тіло має надлишок електронів, а позитивно заряджене — їх нестачу. *Електрон* — це негативно заряджена частинка, що входить до складу атома. Заряд електрона дорівнює  $e = -1,6\cdot 10^{-19}\text{ Кл}$  і має назву елементарного. Заряд будь-якого тіла можна обчислити за формулою  $q=N\cdot e$ , де  $N$  — кількість електронів, яких набуло негативно заряджене тіло або втратило позитивно заряджене.

При взаємодії однойменно заряджені тіла відштовхуються, а різнойменно заряджені — притягуються. Набути електричного заряду тіло може під час електризації (при терті, через дотик, через вплив).

- **Закон збереження заряду.** В замкненій системі алгебраїчна сума зарядів не змінюється:  $q_1+q_2+\dots+q_n=q_1'+q_2'+\dots+q_n'$ . Заряди називають точковими, якщо розміри заряджених тіл значно менші за відстані між ними.

- **Закон Кулона.** Сила взаємодії точкових зарядів у вакуумі прямо пропорційна до добутку величин цих зарядів і обернено пропорційна до квадрату відстані  $r$  між ними:  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ , де  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$  — коефіцієнт пропорційності.  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , де  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  — електрична стала. У

діелектричному середовищі закон Кулона має вигляд:  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2}$ , де  $\epsilon$  — діелектрична проникність середовища, яка показує, у скільки разів сила взаємодії зарядів у вакуумі більша, ніж у середовищі.

Сили Кулона діють одночасно на два заряджені тіла вздовж прямої, що з'єднує центри тіл (рис.14).

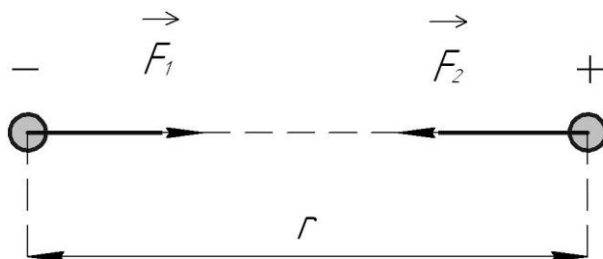


Рис.14

- *Електричне поле* — це вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія заряджених тіл. Електричне поле виникає навколо будь-якого зарядженого тіла і виявляється за дією на інше заряджене тіло. Електричне поле діє на заряджені тіла з певною силою, яку називають електричною:  $\vec{F} = q\vec{E}$ , де  $\vec{E}$  — напруженість електричного поля.

- *Напруженість електричного поля  $\vec{E}$*  — силова характеристика електричного поля, векторна фізична величина, яку обчислюють за формулою  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ , де  $\vec{F}$  — сила, з якою електричне поле діє на заряд  $q$ , поміщений у дану точку електричного поля. Напруженість співнапрявлена із силою, з якою поле діє на позитивний заряд. Одиницею вимірювання напруженості поля в СІ є  $1 \frac{Н}{Кл} = 1 \frac{В}{м}$ . Напруженість поля точкового заряду  $q$  на відстані  $r$  обчислюють за формулами:

$$E = k \frac{q}{r^2} \text{ — у вакуумі; } E = k \frac{q}{\epsilon r^2} \text{ — у діелектричному середовищі.}$$

- *Принцип суперпозиції полів.* Напруженість результуючого поля дорівнює векторній сумі напруженостей полів, створених окремими зарядами:

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



*Силowymi лініями* (лініями напруженості) називають уявні лінії, дотичні до яких у кожній точці збігаються за напрямком з вектором напруженості у даній точці поля. Лінії напруженості електростатичного поля: а) напрямлені від позитивного заряду до негативного; б) мають початок і кінець, або ідуть у нескінченність; в) не перетинаються.

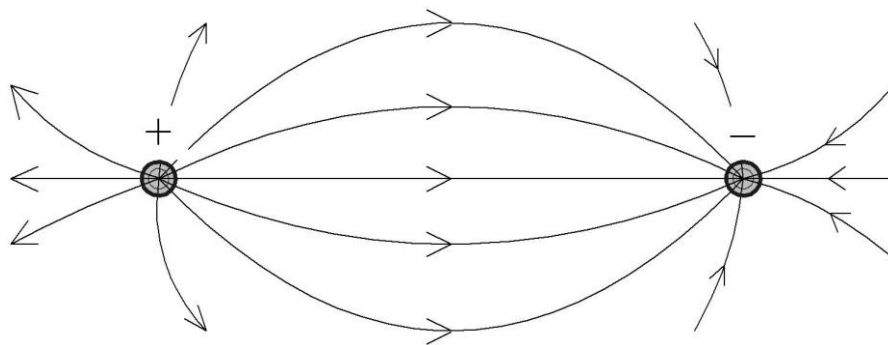


Рис.15

Густина ліній (кількість ліній напруженості, що перетинають одиничну поверхню, розміщену перпендикулярно до ліній) тим більша, що більша напруженість поля у даній точці.

Електричне поле називають *однорідним*, якщо в усіх точках поля  $\vec{E} = const$  (густина ліній однакова).

## **ТЕМА 17. ПОТЕНЦІАЛ. РІЗНИЦЯ ПОТЕНЦІАЛІВ. РОБОТА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ.**

- *Потенціал*  $\varphi$  в даній точці поля (енергетична характеристика електростатичного поля) — це скалярна фізична величина, що дорівнює відношенню потенціальної енергії пробного заряду в цій точці до величини цього заряду:

$$\varphi = \frac{W_i}{q}.$$

Електростатичне поле породжують заряджені тіла. Зазвичай потенціал у

нескінченно віддалених від зарядженого тіла точках вибирають рівним 0. Потенціал поля у даній точці відраховують відносно точки, де  $\varphi=0$ . Одиницею вимірювання потенціалу в СІ є 1 вольт:  $1B = \frac{1Дж}{1Кл}$ .

- Потенціал поля точкового заряду  $q$  на відстані  $r$  від нього обчислюють за формулою:

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r}.$$

Потенціал поля зарядженої сфери, радіус якої  $R$ , а заряд  $q$  рівномірно розподілений по поверхні, дорівнює

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon R}, \text{ якщо } r \leq R$$

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r}, \text{ якщо } r > R,$$

де  $r$  - відстань від даної точки до центра сфери.

- Якщо поле породжене системою зарядів, то потенціал результуючого поля дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів полів, створених окремими зарядами:

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

- Потенціальну енергію взаємодії двох точкових зарядів обчислюють за формулою:

$$W_i = \frac{kq_1q_2}{\varepsilon r},$$

де  $r$  — відстань між зарядами.

Для однойменних зарядів  $W_n > 0$ , для різнойменних  $W_n < 0$ .

- Напряга  $U$  - це скалярна фізична величина, що дорівнює різниці потенціалів між двома точками електричного поля:  $U = \varphi_1 - \varphi_2$ . Напряга чисельно дорівнює роботі, що виконує електричне поле з переміщення одиничного заряду з точки, потенціал якої  $\varphi_1$ , у точку з потенціалом  $\varphi_2$ :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \frac{A}{q}.$$

Одиницею вимірювання електричної напруги в СІ є вольт ( $1 \text{ В}$ ).

• Зв'язок напруженості однорідного електричного поля з напругою між двома точками:

$$U_{12} = dE,$$

де  $d = S \cdot \cos \alpha$  — проекція відрізка між двома точками на напрям лінії напруженості поля (рис.16).

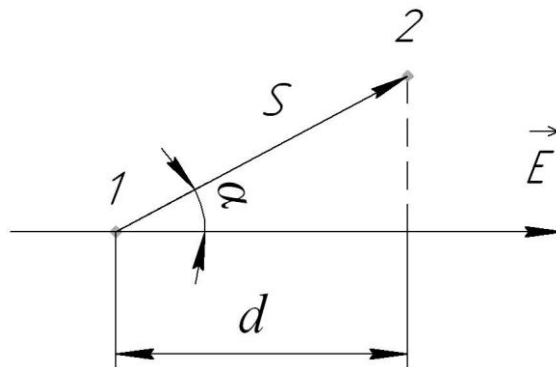


Рис.16

• Робота електростатичного поля з переміщення заряду  $q$  дорівнює  $A = qU = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ . Отже, заряд може перетікати з одного тіла на інше доти, доки їхні потенціали не стануть рівними:  $\varphi_1 = \varphi_2$ .

При зміні взаємного розташування системи зарядів робота електростатичного поля дорівнює різниці потенціальних енергій системи зарядів у початковому та кінцевому положеннях:  $A = W_{n1} - W_{n2}$ .

Робота електростатичного поля не залежить від форми траєкторії і дорівнює 0, якщо траєкторія замкнена.

• Поверхні з однаковим потенціалом називаються *еквіпотенціальними*. Ці поверхні перпендикулярні до ліній напруженості електричного поля.

## **ТЕМА 18. ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ. КОНДЕНСАТОРИ**

• *Електроємність відокремленого провідника  $C$*  — скалярна величина, яка характеризує здатність провідника накопичувати заряд і

дорівнює відношенню заряду провідника до його потенціалу:

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Одиницею вимірювання електроємності в СІ є фарад:  $1\text{Ф}=1\text{Кл}/\text{В}$ . Електроємність відокремленого провідника залежить від його форми, розмірів та діелектричної проникності середовища навколо провідника.

Ємність сферичного провідника обчислюють за формулою

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

- *Конденсатор* — пристрій, що складається з двох провідників (обкладок), розділених шаром діелектрика. Зазвичай обкладки конденсатора мають однакові за модулем різнойменні заряди. Зарядом конденсатора називають модуль заряду однієї з обкладок.

- *Ємність конденсатора* — скалярна величина, що дорівнює відношенню заряду конденсатора до напруги між його обкладками:

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

Електроємність конденсатора залежить від його форми, розмірів та діелектричної проникності середовища між обкладками. Ємність плоского конденсатора обчислюють за формулою

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d},$$

де  $\epsilon$  — діелектрична проникність середовища між обкладками,  $S$  — площа перекриття обкладок,  $d$  — відстань між обкладками,  $\epsilon_0=8,85\cdot 10^{-12}$  Ф/м — електрична стала.

## **ТЕМА 19. ПОСТІЙНИЙ СТРУМ. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА**

- *Електричний струм* — це напрямлений рух заряджених частинок, які називають вільними носіями заряду. Вільними носіями заряду можуть бути

електрони, позитивні та негативні йони. За напрям струму приймають напрям руху позитивно заряджених частинок. Для протікання струму необхідні такі умови: а) наявність вільних носіїв заряду; б) наявність електричного поля у провідниках, з яких складається коло.

- *Сила струму  $I$*  — це скалярна фізична величина, яка дорівнює відношенню заряду  $q$ , перенесеному через поперечний переріз провідника за час  $t$ , до цього проміжку часу:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Одиницею вимірювання сили струму в СІ є 1 ампер (А).

Силу струму можна обчислити також за формулою  $I = q_0 n S v$ , де  $q_0$  — заряд частинки-носія,  $n$  — концентрація вільних носіїв заряду в провіднику,  $S$  — площа поперечного перерізу провідника,  $v$  — середня швидкість упорядкованого руху носіїв заряду.

Силу струму вимірюють амперметром, який вмикають у коло послідовно з провідником, у якому вимірюють силу струму. Для зміни межі вимірювання амперметра використовують шунт — резистор, що приєднують паралельно до амперметра (рис.17).

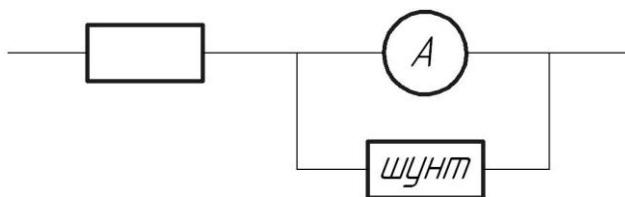


Рис.17

- *Густина струму  $J$*  — це фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню сили струму до площі поперечного перерізу провідника  $S$ , по якому тече струм:  $J = \frac{I}{S}$ . Одиницею вимірювання густини струму в СІ є  $1\text{А}/\text{м}^2$ .

- *Напруга  $U$*  — це скалярна фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи з переміщення заряду до величини цього заряду:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Напругу вимірюють вольтметром, який вмикають у коло паралельно до провідника, на кінцях якого вимірюють напругу. Для зміни межі вимірювання вольтметра використовують додатковий опір — резистор, що приєднують послідовно до вольтметра (рис.18).

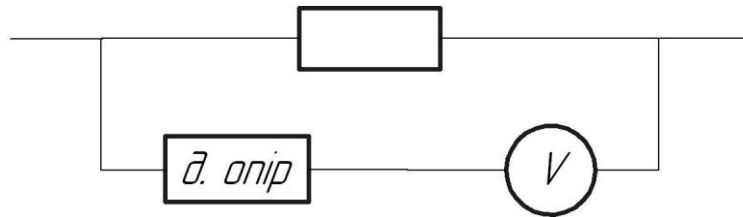


Рис.18

- *Електричний опір*  $R$  — скалярна фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню напруги на кінцях провідника до сили струму в ньому:

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

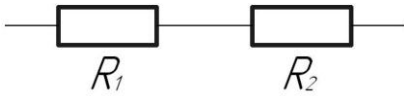
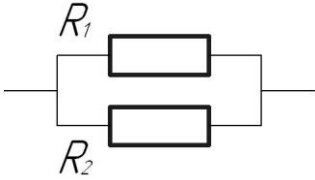
Електричний опір зумовлений взаємодією вільних носіїв заряду з іншими зарядженими частинками провідника. Одиницею вимірювання електричного опору в СІ є 1 Ом:  $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} / \text{А}$ . Електричний опір вимірюють омметром або за допомогою амперметра і вольтметра.

Електричний опір залежить лише від властивостей самого провідника — його довжини  $l$ , площі поперечного перерізу  $S$  та матеріалу, з якого він виготовлений:  $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$ , де  $\rho$  — питомий опір матеріалу. Дані про питомий опір різних речовин містяться у таблиці. Одиницею вимірювання питомого опору в СІ є  $1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Величину, обернену до електричного опору, називають *провідністю*.

- **Закон Ома для ділянки кола.** Сила струму в провіднику прямо пропорційна до напруги на кінцях провідника й обернено пропорційна до опору провідника:  $I = \frac{U}{R}$ .

- *Закони послідовного та паралельного з'єднання провідників.*

Послідовне з'єднання провідників	Паралельне з'єднання провідників
 <p style="text-align: center;"> <math>I_1=I_2=I</math>  <math>U_1+U_2=U</math>  <math>R_1+R_2=R</math> </p>	 <p style="text-align: center;"> <math>I_1+I_2=I</math>  <math>U_1=U_2=U</math>  <math>1/R_1+1/R_2=1/R</math> </p>

### **ТЕМА 20. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОВНОГО (ЗАМКНЕНОГО) КОЛА**

- *Сторонні сили*— це сили неелектричного походження, що діють на вільні носії заряду. Сторонні сили переміщують вільні носії заряду всередині джерела струму.

- *Електрорушійна сила (ЕРС)  $\varepsilon$*  — скалярна фізична величина, що дорівнює відношенню роботи сторонніх силі  $A$  при переміщенні заряду всередині джерела струму до величини цього заряду:  $\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q}$ . Одиницею

вимірювання ЕРС в СІ є 1 В.

- *Закон Ома для повного кола.* Сила струму  $I$  у повному колі (рис.19) дорівнює відношенню ЕРС джерела струму  $\varepsilon$  до повного опору кола (суми опору  $R$  зовнішньої ділянки кола та внутрішнього опору  $r$  джерела):

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

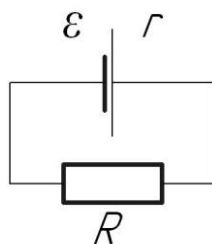


Рис.19

При короткому замиканні  $R=0$ , тоді струм короткого замикання дорівнює  $I_{кз} = \frac{\mathcal{E}}{r}$ .

## **ТЕМА 21. РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ СТРУМУ. ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА**

- *Робота струму  $A$  на ділянці кола дорівнює*

$$A = qU = UIt,$$

де  $U$  — напруга на кінцях ділянки,  $q$  — заряд, перенесений струмом  $I$  за час  $t$ .  
Одиниця вимірювання роботи в СІ —  $1\text{Дж}$ . Позасистемною одиницею роботи є  $1\text{кВт}\cdot\text{год}=3,6\cdot 10^6\text{ Дж}$ .

- *Потужність електричного струму  $P$  дорівнює*

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

Одиницею вимірювання потужності в СІ є  $1\text{Вт}$ .

- *Теплова дія струму* полягає в тому, що при проходженні струму провідники нагріваються. За законом Джоуля - Ленца кількість теплоти, що виділяється у провіднику зі струмом, опір якого  $R$ , дорівнює

$$Q = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$

- Якщо коло замкнене, то потужність, яку споживає зовнішня частина кола, називають корисною:

$$P_{\text{е}} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

Потужність, яку розвиває джерело, називають повною й обчислюють за формулою:

$$P_{\text{і}} = \mathcal{E}I = I^2(R + r) = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r}.$$

- ККД джерела струму  $\eta$  дорівнює



$$\eta = \frac{P_e}{P_i} \cdot 100\% .$$

## **ТЕМА 22. СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

- *Електричний струм у металах* — це напрямлений рух вільних електронів. При відсутності електричного поля рух електронів є хаотичним, при наявності поля вільні електрони, не припиняючи хаотичного теплового руху; починають рухатися впорядковано. *Термоелектронна емісія* — процес випускання електронів нагрітими тілами.

- *Електричний струм у вакуумі* - це напрямлений рух емітованих електронів.

- *Вакуумний діод* складається зі скляного балона та двох електродів — катода й анода (рис.20).

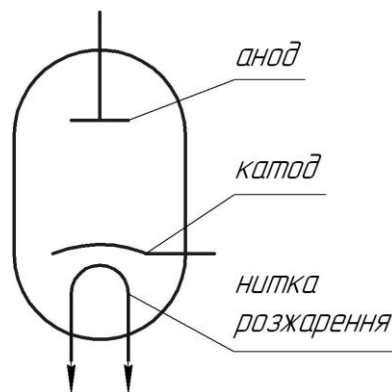


Рис.20

Електрони, вирвані з поверхні розжареного катода, впорядковано рухатимуться до анода, якщо його потенціал позитивний, а потенціал катода негативний. У протилежному випадку емітовані електрони відкидатимуться назад на катод і струму в колі не буде. Отже, *вакуумний діод має одnobічну провідність*.

Графік залежності сили струму від напруги для вакуумного діода показано на рис. 21.

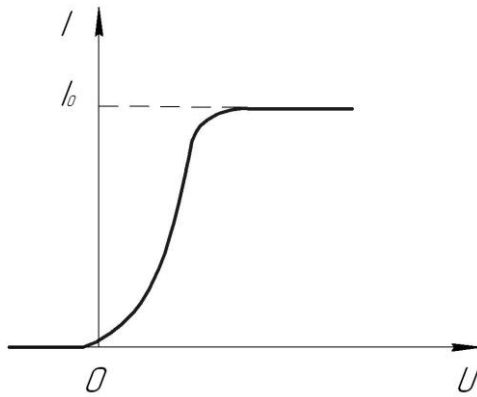


Рис.21

### ТЕМА 23. МАГНІТНЕ ПОЛЕ

- *Магнітна взаємодія.*

— Взаємодія постійних магнітів: однойменні полюси відштовхуються, різнойменні притягуються (рис.22).

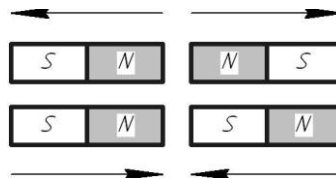


Рис.22

— Взаємодія провідника зі струмом із магнітною стрілкою (Ерстед, 1820 р.).

— Взаємодія двох паралельних провідників зі струмом (Ампер, 1820 р.): при протіканні струмів в одному напрямку провідники притягуються, у протилежних напрямках — відштовхуються (рис.23).

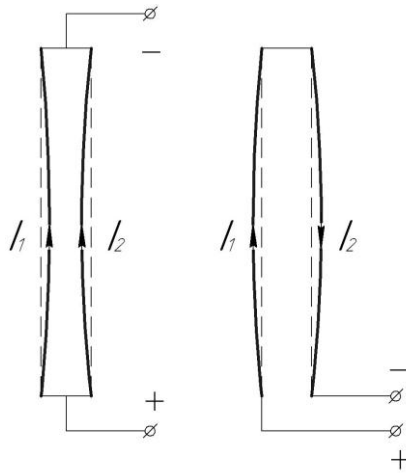


Рис.23

Силу взаємодії двох паралельних провідників завдовжки  $l$ , розміщених на відстані  $r$ , обчислюють за формулою

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r},$$

де  $\mu$  — магнітна проникність середовища,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  — магнітна стала.

- *Магнітне поле* — складова електромагнітного поля, що: а) породжується намагніченими тілами, рухомими зарядженими частинками, провідниками зі струмом, змінним електричним полем; б) виявляється за дією на магнітну стрілку, провідник зі струмом, рухомий електричний заряд.

- *Індукція магнітного поля  $B$*  — векторна величина, яка є силовою характеристикою магнітного поля, і модуль  $B$  чисельно дорівнює відношенню максимальної сили, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі, до добутку сили струму  $I$  у провіднику на довжину його активної частини  $l$ :

$$B = \frac{F_{\max}}{Il}.$$

Одиницею вимірювання магнітної індукції в СІ є тесла (Тл).

- *Принцип суперпозиції магнітних полів.* Індукція результуючого магнітного поля у даній точці простору дорівнює векторній сумі індукцій магнітних полів окремих провідників зі струмом:

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

- *Лінії індукції магнітного поля* — це умовні лінії, у кожній точці

яких дотична збігається з лінією, уздовж| якої напрямлений вектор магнітної індукції. Лінії магнітної індукції не перетинаються і завжди замкнені. Що більшим є модуль магнітної індукції, то більша густина ліній. Якщо у деякій ділянці простору магнітні лінії поля паралельні і мають однакову густину, то поле називають *однорідним*.

Напрямок ліній магнітної індукції.

1). Лінії магнітної індукції виходять з північного полюса магніту або котушки і входять у південний (рис. 24).

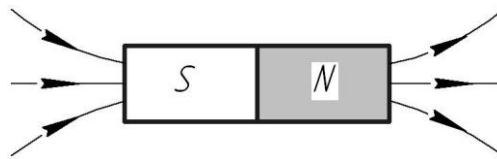


Рис. 24

2). Лінії магнітної індукції поля прямого провідника зі струмом охоплюють провідник, їх напрям пов'язують з напрямом струму через *правило свердлика*: якщо вкручувати свердлик за напрямом струму в провіднику, то напрям обертання ручки свердлика збігається з напрямом вектора індукції магнітного поля (рис.25).

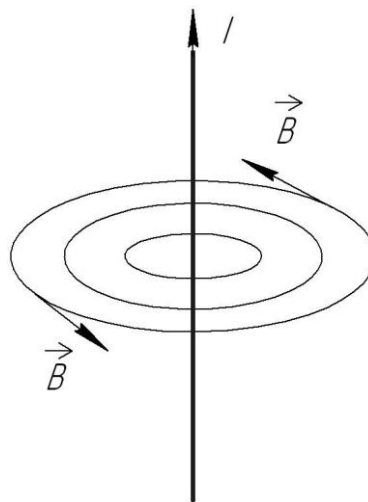


Рис.25

- *Сила Ампера* — сила, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі. Модуль сили Ампера дорівнює

$$F_A = BIl \sin \alpha ,$$

де  $l$  — довжина активної частини провідника,  $I$  — сила струму в ньому,  $B$  —

модуль вектора магнітної індукції,  $\alpha$  — кут між напрямом струму і вектором магнітної індукції.

Напрямок сили Ампера визначають за допомогою *правила лівої руки*: якщо ліву руку розташувати так, щоб вектор індукції магнітного входив в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрям струму у провіднику, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець укаже напрям сили Ампера (рис.26).

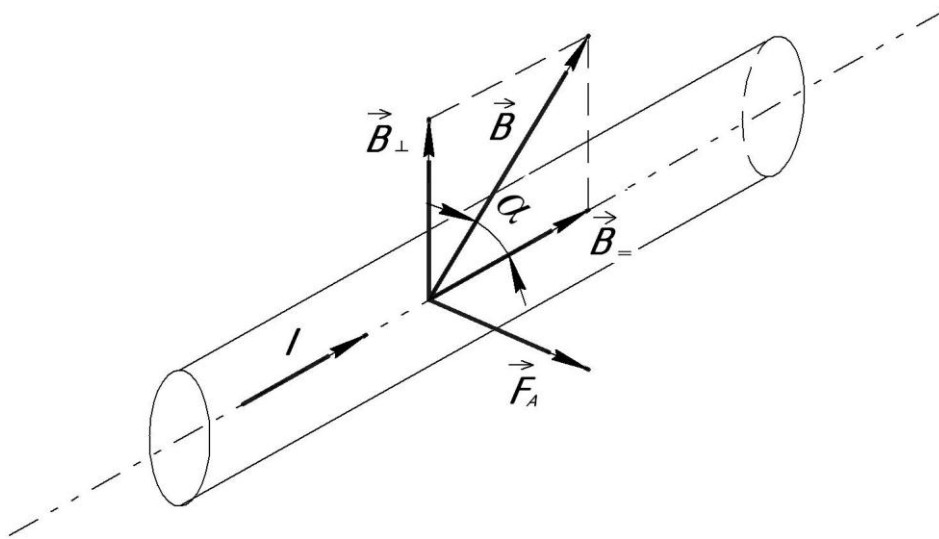


Рис.26

- *Сила Лоренца* — це сила, що діє на рухому заряджену частинку у магнітному полі. Модуль сили Лоренца дорівнює

$$F_E = q_0 v B \sin \alpha,$$

де  $q_0$  — заряд частинки,  $v$  — швидкість частинки,  $B$  — магнітна індукція,  $\alpha$  — кут між вектором швидкості й вектором індукції.

Напрямок сили Лоренца визначають за *правилом лівої руки*: якщо розташувати ліву руку так, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, чотири витягнуті пальці вказували напрям швидкості позитивно зарядженої частинки, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець укаже напрям сили Лоренца (рис. 27).

—Якщо швидкість частинки напрямлена вздовж лінії індукції магнітного поля, то частинка рухається | рівномірно і прямолінійно.

—Якщо швидкість руху частинки напрямлена під кутом  $90^\circ$  до ліній

індукції однорідного магнітного поля, то частинка рухається по колу.

—Якщо швидкість частинки напрямлена під кутом до ліній індукції магнітного поля, то частинка рухається по гвинтовій лінії.

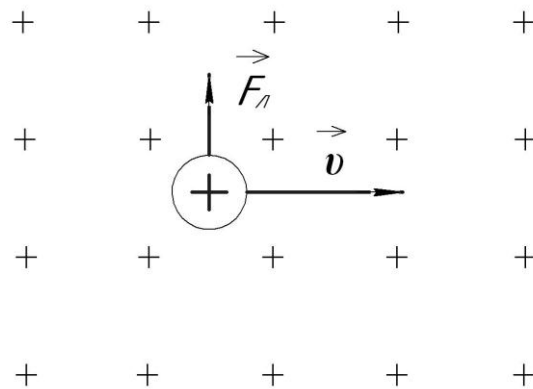


Рис. 27

• *Магнетики*— речовини, що намагнічуються у зовнішньому магнітному полі (у них виникає власне магнітне поле). Магнітні властивості середовища характеризує його магнітна проникність  $\mu$ , що дорівнює відношенню модуля індукції магнітного поля  $B$  у речовині до модуля магнітної індукції поля  $B_0$  у вакуумі:

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

## ТЕМА 24. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ

• *Гармонічні коливання* — це періодичні зміни фізичної величини з часом, що відбуваються за законом косинуса чи синуса. Рівняння гармонічних коливань має вигляд:

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

де  $x$  — значення змінної величини в момент часу  $t$ ;  $A$  — амплітуда коливань.

• *Фізичні величини*, що описують гармонічні коливання та зв'язки між ними.

• *Амплітуда коливань*  $A$  — модуль максимального значення змінної величини.

- *Частота коливань  $\nu$*  - це кількість коливань за одиницю часу:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}.$$

- *Період коливань  $T$*  — час одного повного коливання:  $T = \frac{1}{\nu}$ ,

де  $t$  — час коливань,  $N$  — кількість коливань за цей час. Одиницею вимірювання періоду в СІ є 1 с. Одиниця вимірювання частоти коливань у СІ — герц.

— *Циклічна частота  $\omega$*  — це кількість коливань за  $2\pi$  секунд:  
 $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ . Одиницею вимірювання циклічної частоти в СІ є радіан на секунду: рад/с або 1/с.

- *Фаза коливань  $\varphi = \omega t + \varphi_0$*  — фізична величина, що характеризує стан коливальної системи у даний момент часу.

- *Початкова фаза  $\varphi_0$*  — фаза коливань у момент початку відліку часу.

- *Математичний маятник* — модель коливальної системи, що складається з матеріальної точки, яка підвішена на нерозтяжній невагомій нитці завдовжки  $l$ . Коливання математичного маятника є гармонічними.

Період коливань математичного маятника дорівнює

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

де  $g$  — прискорення вільного падіння.

- *Тягарець на пружині* — коливальна система, в якій коливання відбувається під дією сили пружності.

Період коливань системи дорівнює

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

де  $k$  — жорсткість пружини.

## ТЕМА 25. МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ. ЗВУК

- *Механічна хвиля* — це поширення механічних коливань у пружному середовищі. Механічні хвилі поширюються у твердих тілах, рідинах, газах і не поширюються у вакуумі.

Якщо зовнішня сила приводить у коливальний рух частинку, то внаслідок пружної взаємодії частинок середовища з деяким запізненням починає коливатись наступна частинка і т.д. Хвилі не переносять речовину, але переносять енергію.

- *Види хвиль.*

- *Поперечні.* Це хвилі, в яких частинки середовища при коливаннях зміщуються в напрямі, перпендикулярному до напрямку поширення хвилі.

- *Поздовжні.* Це хвилі, в яких частинки середовища при коливаннях зміщуються уздовж напрямку поширення хвилі.

- Фізичні величини, що характеризують хвилю та зв'язки між ними.

- *Швидкість поширення хвилі*  $v$  — фізична величина, чисельно рівна відстані, на яку поширюється хвиля за одиницю часу:  $v = \frac{S}{t}$ .

- *Період хвилі*  $T$  — час, упродовж якого частинки середовища здійснюють одне коливання:  $T = \frac{t}{N}$ , де  $t$  — час коливань,  $N$  — кількість коливань за цей час.

- *Частота хвилі* — кількість коливань частинок за одиницю часу:

$$v = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}.$$

- *Циклічна частота* — кількість коливань за  $2\pi$  секунд:  $\omega = 2\pi v = \frac{2\pi}{T}$ .

- *Довжина хвилі*  $\lambda$  - це відстань між найближчими точками хвилі (в напрямку її поширення), що коливаються однаково (когерентно). Різниця фаз між такими точками дорівнює  $2\pi$ . Довжина хвилі чисельно дорівнює відстані,



яку проходить хвиля за період:  $\lambda = \nu T = \frac{\nu}{\nu}$ .

- Рівняння хвилі, що поширюється в напрямку осі  $Ox$ :

$$f(x,t) = A \sin(\omega(t - \frac{x}{\nu}) + \varphi_0), \quad \text{або} \quad f(x,t) = A \cos(\omega(t - \frac{x}{\nu}) + \varphi_0).$$

Рівняння хвилі описує коливальний рух частинки, що міститься на відстані  $x$  від джерела.

## ТЕМА 26. ВІЛЬНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ.

- Ідеальний коливальний контур — це електричне коло, що складається з конденсатора, ємність якого дорівнює  $C$ , і котушки, індуктивність якої  $L$  (рис.28).

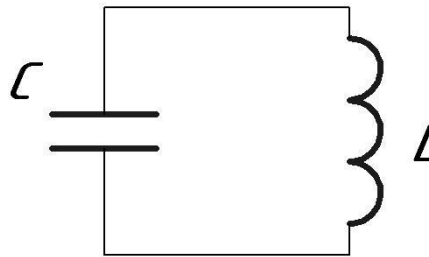


Рис.28

- Вільними електромагнітними коливаннями (ЕМК) називають періодичні зміни з часом заряду і напруги на пластинах конденсатора коливального контуру та сили струму в котушці. Вільні коливання у контурі є гармонічними.

- Період вільних коливань у контурі (формула Томсона) обчислюють за формулою:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Частота вільних коливань:  $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$

Циклічна частота вільних коливань:  $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$

## ТЕМА 27. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ.

- *Електромагнітне поле* — форма існування матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між зарядженими частинками.

Електромагнітне поле має дві складові: *електричне поле* — характеризується дією поля на рухомі і нерухомі заряджені частинки; *магнітне поле* — характеризується впливом поля тільки на рухомі заряджені частинки.

Джеймс Максвелл теоретично обґрунтував, що електричне і магнітне поле - це два прояви єдиного електромагнітного поля.

- *Електромагнітна хвиля (ЕМХ)* — це процес поширення електромагнітних коливань у просторі або процес поширення у просторі електричних і магнітних полів, що періодично змінюються.

Джерелом ЕМХ є пристрій, у якому здійснюються електромагнітні коливання.

Якщо у провіднику тече змінний струм, то у просторі навколо нього виникає змінне магнітне поле. Змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле, останнє — змінне магнітне поле у суміжних ділянках простору і т.д.

- *Характеристики електромагнітної хвилі.*

— *Напруженість електричного поля  $\vec{E}$  та індукція магнітного поля  $\vec{B}$* , які періодично змінюються з часом і зі зміною відстані до джерела хвилі. Відповідно до теорії Максвелла вектори  $\vec{E}$  та  $\vec{B}$  перпендикулярні до напрямку поширення хвилі і один до одного. ЕМХ є *поперечною* хвилею.

— *Швидкість поширення ЕМХ* — фізична величина, що чисельно дорівнює відстані, на яку поширюється хвиля за одиницю часу:  $v = \frac{S}{t}$ . Швидкість поширення ЕМХ у вакуумі  $v = c = 3 \cdot 10^8$  м/с; у середовищі  $v < c$ .

- *Шкала електромагнітних хвиль* — неперервна послідовність частот і довжин ЕМХ, що існують у природі. Чітких частотних меж між видами ЕМХ не існує.

Вид ЕМХ	Властивості	Застосування
<p><i>Радіохвилі:</i>  <math>\lambda = 10 \text{ км} - 1 \text{ мм}.</math></p>	<p>Породжуються змінним електричним струмом.</p> <p>Частково відбиваються, частково заломлюються, частково поглинаються при падінні на діелектрик.</p> <p>При падінні на провідник частково поглинаються, частково відбиваються. При накладанні інтерферують. Огинають перешкоди тим краще, чим більша довжина хвилі.</p>	<p>Радіозв'язок.  Радіолокація.  Телебачення.  Стільниковий зв'язок.</p>
<p><i>Інфрачервоне випромінювання:</i>  <math>\lambda = 1 \text{ мм} - 1 \text{ мкм}.</math></p>	<p>Випромінюється атомами речовини.</p> <p>Спричиняє нагрівання поверхонь, на які падає.</p>	<p>Прилади нічного бачення.</p> <p>Інфрачервоні діоди і фотодіоди у пультах дистанційного керування, системах автоматики.</p>
<p><i>Видиме світло:</i>  <math>\lambda = 4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}.</math></p>	<p>Дивись розділ «Оптика»</p>	
<p><i>Ультрафіолетове випромінювання:</i>  <math>\lambda = 100 \text{ нм} - 10 \text{ нм}.</math></p>	<p>Випромінюється атомами речовини.</p> <p>Має високу хімічну активність.</p>	<p>У невеликих кількостях сприяє виробленню вітаміну D, зміцнює імунну систему людини.</p> <p>Убиває</p>

		хвороботворні бактерії.
<i>Рентгенівське випромінювання:</i> $\lambda = 10 \text{ нм} - 0.1 \text{ нм}$	Виникає при гальмуванні швидких заряджених частинок. Має велику проникну здатність. Має іонізуючу дію. Спричиняє мутацію клітин.	Рентгеноскопія. Рентгенотерапія. Дефектоскопія. Митний контроль. Рентгеноструктурний аналіз.
<i>Гамма – випромінювання:</i> $\lambda < 0.1 \text{ нм.}$	Виникає під час ядерних реакцій, при радіоактивних перетвореннях ядер. Має найбільшу проникну здатність. Має іонізуючу дію. Спричиняє мутацію клітин.	Дефектоскопія. Радіаційна хімія. Стерилізація харчів. Променева терапія.

Що більша частота ЕМХ, то сильніше проявляються корпускулярні властивості і менше — хвильові.

### **ТЕМА 28. ЗАКОНИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОПТИКИ.**

- *Закон прямолінійного поширення світла.* В однорідному прозорому середовищі світло поширюється по прямій. Цей закон пояснює утворення тіні й півтіні, затемнення Сонця і Місяця ( рис. 29).

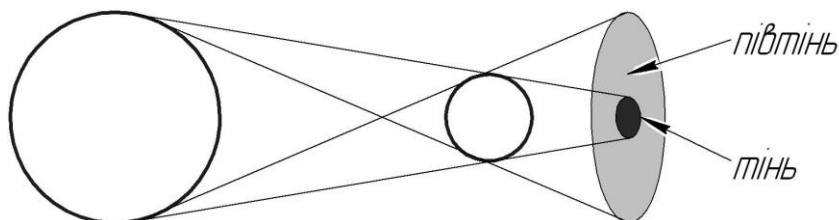


Рис. 29

- *Закон незалежності світлових пучків.* Окремі пучки світла не впливають один на одного при перетині і поширюються незалежно.

- *Закон відбивання світла.* Промінь падаючий, промінь відбитий та перпендикуляр до поверхні відбивання, проведений з точки падіння, лежать в одній площині. Кут падіння  $\alpha$  дорівнює куту відбивання  $\beta$ . (рис. 30).

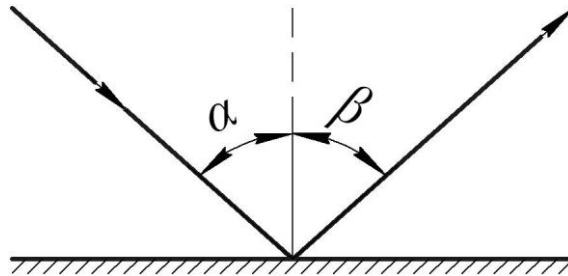


Рис. 30

Закон відбивання світла пояснює утворення зображень у плоскому та сферичному дзеркалах.

- *Побудова зображення точки у плоскому дзеркалі.* Точка  $S_1$  є уявним зображенням точки  $S$ , оскільки в ній перетинаються не самі відбиті промені, а їх уявні продовження. Точки  $S_1$  та  $S$  симетричні відносно поверхні дзеркала (рис.31).

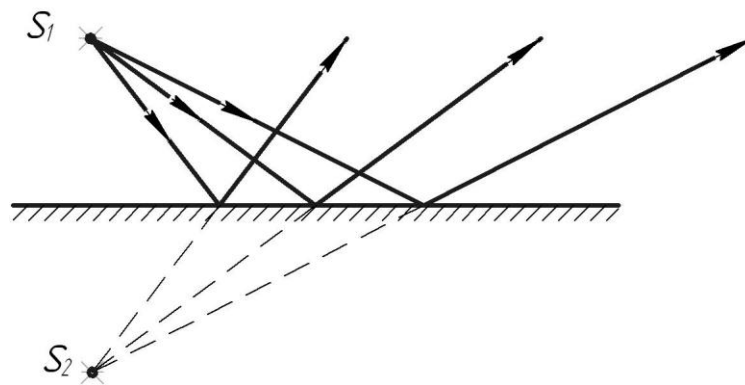


Рис. 31

- *Побудова зображення предмета у плоскому дзеркалі.* Кожна точка уявного зображення  $A_1B_1$  симетрична до відповідної точки предмета  $AB$ . Зображення  $A_1B_1$  уявне, пряме, розмір зображення дорівнює розміру предмета, зображення і предмет розташовані по різні боки від площини дзеркала на однакових відстанях від неї (рис. 32).

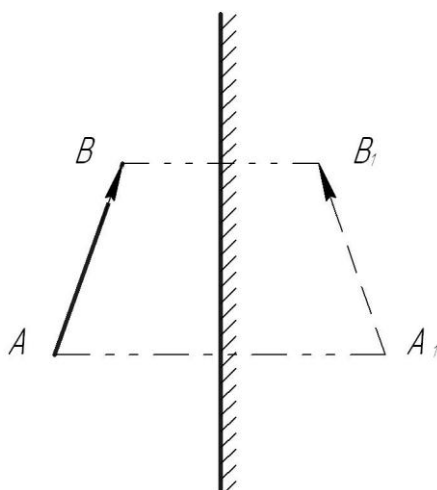


Рис. 32

- *Закон заломлення світла.* Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до межі поділу середовищ, проведений з точки падіння променя, лежать в одній площині (рис. 33). Відношення синуса кута падіння  $\alpha$  до синуса кута заломлення  $\beta$  є величиною сталою і дорівнює відносному показнику заломлення двох середовищ:  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$ .

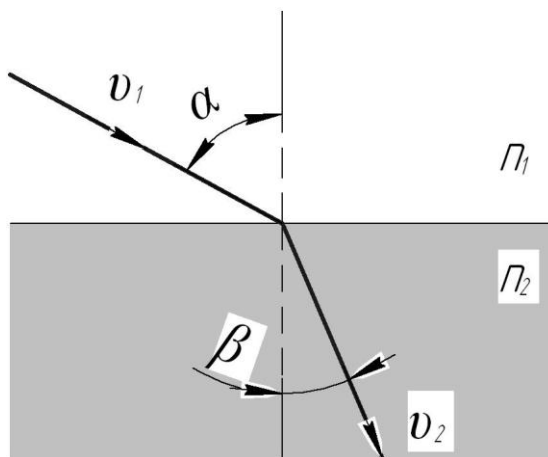


Рис. 33

*Відносний показник заломлення*  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$  показує, чому дорівнює відношення швидкості світла у першому середовищі до швидкості світла у другому.

Явище, за якого заломлений промінь відсутній, тобто світло повністю відбивається від менш оптично густого середовища, називають *повним*

внутрішнім відбиванням. Кут падіння, за якого настає повне внутрішнє відбивання (заломлений промінь ковзає вздовж межі двох середовищ), називають *граничним кутом повного відбивання*  $\alpha_{зр}$ . Оскільки при цьому  $\sin \gamma = 1$ , то за законом заломлення світла  $\sin \alpha_{зр} = \frac{n_1}{n_2}$  (рис.34).

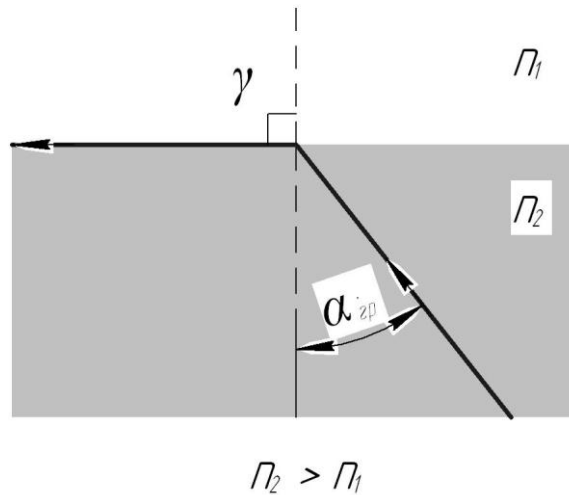


Рис. 34.

### **ТЕМА 29. ЛІНЗИ.**

- *Лінза*— прозоре тіло, обмежене з обох боків сферичними поверхнями (одна з поверхонь може бути і плоскою). Лінзи бувають опуклі і вгнуті. Лінзу, товщина якої набагато менша за радіуси сферичних поверхонь, що її обмежують, називають тонкою.

- *Види лінз.*

Лінзу називають *збиральною*, якщо вона перетворює паралельний пучок променів у збіжний. Якщо паралельні промені після проходження через лінзу виходять з неї розбіжним пучком, то лінзу називають *розсіювальною*.

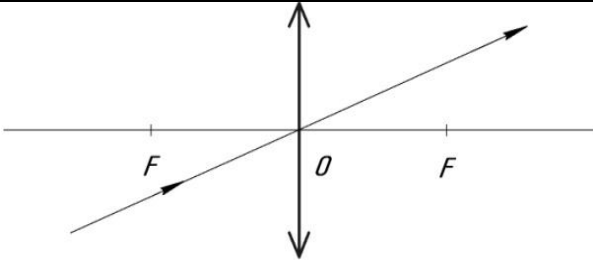
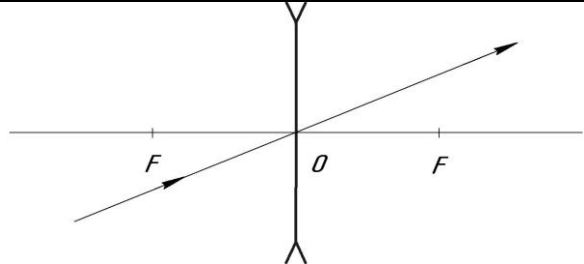
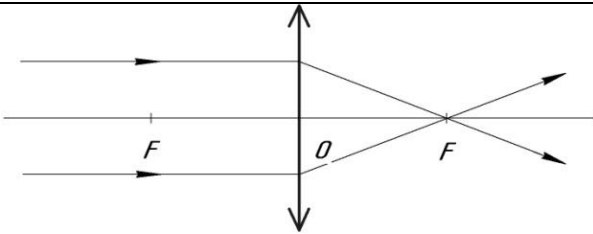
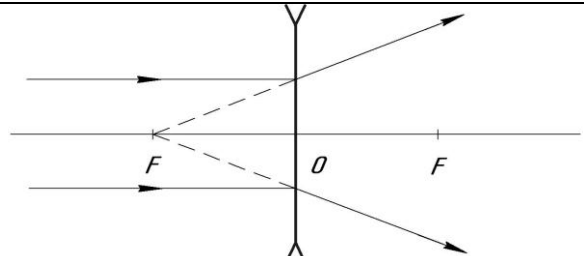
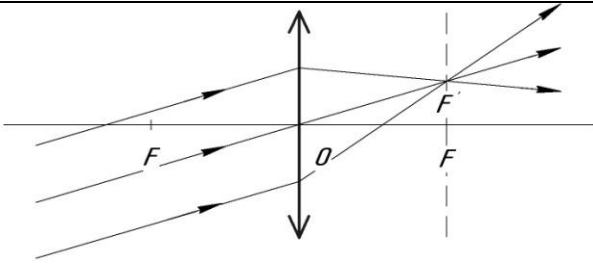
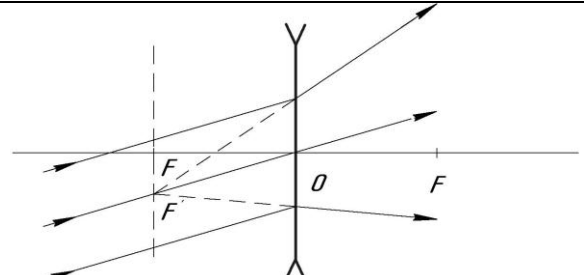
- *Основні точки та лінії лінзи.*

- Головна оптична вісь (ГОВ) — пряма, що проходить через центри сферичних поверхонь.

- Оптичний центр  $O$  — центр лінзи, при проходженні через який світловий

промінь світла не змінює напрямку.

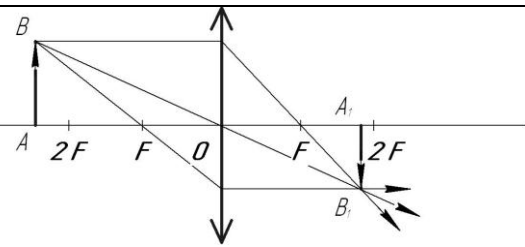
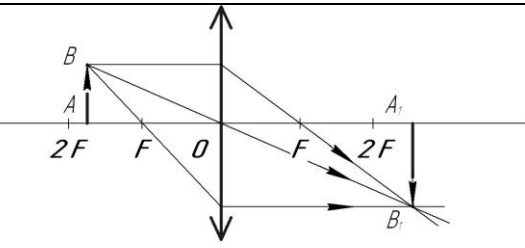
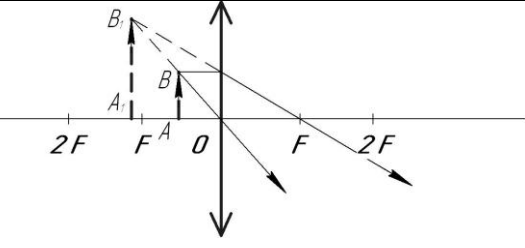
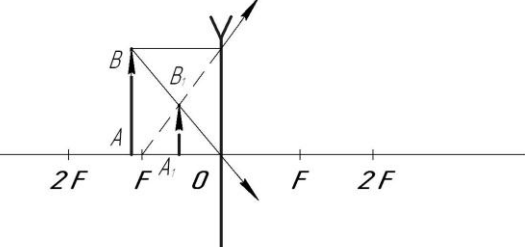
- Фокус  $F$  — точка, в якій після заломлення в лінзі збирається пучок променів, паралельних до ГОВ (збиральна лінза), або їх уявних продовжень (розсіювальна лінза).
- Фокальна площина — це площина, перпендикулярна до ГОВ, що проходить через фокус.
  - *Хід променів у лінзах.*

Збиральна лінза	Розсіювальна лінза
 <p data-bbox="151 952 746 1064">Промінь, що проходить через оптичний центр, не заломлюється.</p>	 <p data-bbox="778 952 1364 1064">Промінь, що проходить через оптичний центр, не заломлюється.</p>
 <p data-bbox="151 1332 746 1601">Промені, паралельні до головної оптичної вісі, після заломлення в лінзі збираються у головному фокусі <math>F</math>.</p>	 <p data-bbox="778 1355 1364 1601">Промені, паралельні до головної оптичної вісі, розсіюються так, що їх продовження перетинаються в уявному головному фокусі <math>F</math>.</p>
 <p data-bbox="151 1904 746 2004">Будь-які паралельні промені збираються у побічному фокусі <math>F'</math>,</p>	 <p data-bbox="778 1915 1364 1971">Будь-які паралельні промені</p>



який лежить у фокальній площині.	розсіюються так, що їх продовження збираються в уявному побічному фокусі $F'$ .
----------------------------------	---

• Побудова зображень предметів за допомогою тонких лінз.

	Якщо предмет $AB$ міститься за подвійним фокусом збиральної лінзи, то його зображення $A_1B_1$ дійсне, обернене, зменшене, міститься між $F$ і $2F$ по другий бік лінзи.
	Якщо предмет $AB$ міститься між $F$ і $2F$ збиральної лінзи, то його зображення $A_1B_1$ дійсне, обернене, збільшене, міститься за подвійним фокусом по другий бік лінзи.
	Якщо предмет $AB$ міститься між $O$ та $F$ збиральної лінзи, то його зображення $A_1B_1$ уявне, пряме, збільшене, міститься з того самого боку, що і сам предмет.
	При будь-якому положенні предмета $AB$ зображення $A_1B_1$ , яке дає розсіювальна лінза, уявне, пряме, зменшене, міститься з того самого боку, що і сам предмет.

• Фізичні величини, що характеризують лінзу.

— Фокусна відстань лінзи  $F$  — це відстань від оптичного центра лінзи до її головного фокуса. Фокусну відстань збиральної лінзи вважають

додатною, а розсіювальної лінзи — від'ємною. Одиницею вимірювання фокусної відстані в СІ є 1 м.

— *Оптична сила лінзи  $D$*  — це скалярна величина, обернена до фокусної відстані лінзи:  $D = 1/F$ . Якщо лінза збиральна, то її оптична сила додатна, якщо розсіювальна, то — від'ємна. Одиницею вимірювання оптичної сили у СІ є діоптрія:  $1 \text{ дптр} = \text{м}^{-1}$ . Оптичну силу збиральної лінзи можна обчислити за формулою  $D = (n_{\text{л}} - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ , де  $n_{\text{л}}$  і  $n_{\text{с}}$  — абсолютні показники заломлення матеріалу лінзи і середовища навколо лінзи,  $R_1$  і  $R_2$  — радіуси кривизни сферичних поверхонь. Для опуклих поверхонь  $R$  беруть зі знаком «+», для вгнутих — зі знаком «-», для плоских  $R = \infty$ . Оптичну силу системи стичних лінз обчислюють за формулою:  $D = D_1 + D_2 + \dots + D_N$ , де  $D_1, D_2, \dots, D_N$  - оптичні сили окремих лінз системи.

— *Формула тонкої лінзи:*  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ , де  $d$  — відстань від предмета до лінзи,  $f$  — відстань від зображення до лінзи.

— *Правило знаків:* а) якщо лінза збиральна, то перед  $F$  слід ставити знак «+»; якщо розсіювальна, то «-»; б) якщо зображення є дійсним, то перед  $f$  слід ставити знак «+»; якщо уявним, то «-»; в) якщо на лінзу падає розбіжний пучок променів (джерело дійсне), то перед  $d$  слід ставити знак «+»; якщо пучок світла збіжний (джерело уявне), то «-».

— *Лінійне збільшення лінзи  $\Gamma$*  — це відношення лінійного розміру зображення  $H$  до розміру  $h$  самого предмета:  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$ . Лінійне збільшення системи лінз дорівнює  $\Gamma = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 \cdot \dots \cdot \Gamma_N$ , де  $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N$  — збільшення окремих лінз системи.

### ТЕМА 30. ХВИЛЬОВА ОПТИКА.

- Світло є електромагнітною хвилею з довжиною хвилі 380 -760 нм (частота лежить в діапазоні 789-394 ГГц). Довжину світлової хвилі визначають за формулою  $\lambda = \nu T = \frac{v}{\nu}$ , де  $v = \frac{c}{n}$  — швидкість поширення світла у середовищі з абсолютним показником заломлення  $n$ .

- Світлову хвилю характеризують вектором напруженості електричного поля  $\vec{E}$  та вектором індукції магнітного поля  $\vec{B}$ , які коливаються у взаємно перпендикулярних площинах і перпендикулярно до напрямку поширення світла. Отже, світло є *поперечною* електромагнітною хвилею.

- Поперечність світлових хвиль підтверджує явище *поляризації світла*. Світло називають *плоскополяризованим*, якщо коливання  $\vec{E}$  відбуваються тільки в одній площині. Таку хвилю випромінює окремий атом речовини. Світло, що випромінює джерело, яке має величезну кількість атомів, є *неполяризованим*, тобто, складається з хвиль з різними площинами поляризації. Перетворити неполяризоване світло у плоскополяризоване можна за допомогою *поляризатора* (кристала турмаліну) — пристрою, що пропускає світлові хвилі лише однієї площини коливань (рис. 35).

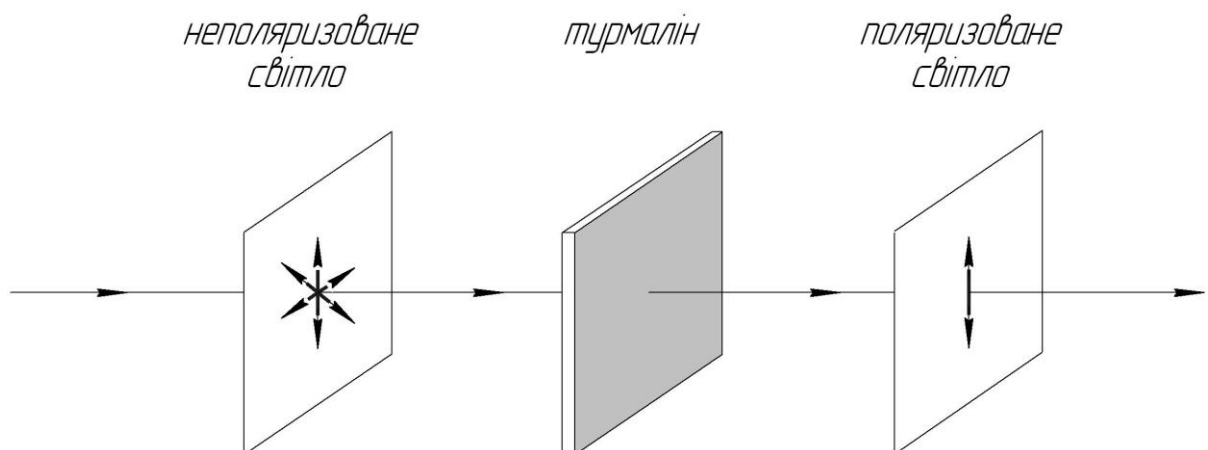


Рис.35

Світло частково поляризується при відбиванні від діелектрика та при заломленні на його поверхні.

*Поляризація світла* — це явище перетворення неполяризованого світла у поляризоване під час взаємодії світла з речовиною.

- При проходженні білого світла через призму на екрані утворюється кольоровий спектр (рис.36). Явище розкладання світла у спектр називається дисперсією світла.

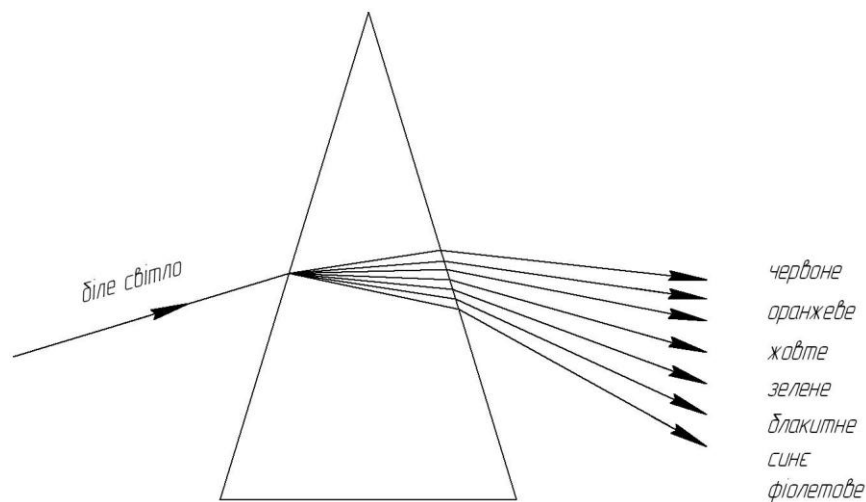


Рис.36

Дисперсія зумовлена залежністю абсолютного показника заломлення середовища від довжини світлової хвилі. Різні довжини хвиль людина сприймає, як різні кольори. Світло з найбільшою довжиною хвилі має червоний колір.

- Хвилі називають *когерентними*, якщо вони мають однакову частоту і незмінну в часі різницю фаз у кожній точці простору. Отримати когерентні світлові хвилі можна, якщо пучок світла від одного монохроматичного джерела розділити на два і спрямувати їх різними шляхами в одну точку екрана.

- *Інтерференція світла* — явище посилення інтенсивності світла в одних точках простору і послаблення в інших, при накладанні когерентних світлових

ХВИЛЬ.

*Оптичною довжиною шляху* називають добуток шляху на абсолютний показник заломлення середовища  $nl$ .

*Оптичною різницею ходу* двох хвиль називають різницю їх оптичних довжин шляхів:  $\delta = n_2 l_2 - n_1 l_1$ .

*Умова інтерференційного максимуму (підсилення) коливань:*

$$\delta = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ ää } k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$$

*Умова інтерференційного мінімуму (послаблення) коливань:*

$$\delta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ ää } k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$$

### **ТЕМА 31. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ.**

- *Постулати Ейнштейна.*

1. Усі фізичні явища в усіх інерціальних системах відліку протікають однаково при однакових початкових умовах, і жоден фізичний дослід не дає змогу відрізнити одну інерціальну систему відліку від іншої.

2. Швидкість світла у вакуумі однакова в усіх інерціальних системах відліку, не залежить ні від руху джерела світла, ні від руху спостерігача і є фундаментальною фізичною константою:  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

- *Релятивістські закономірності (спостерігаються за швидкостями, близьких до швидкості світла).*

— *Релятивістський закон додавання паралельних швидкостей:*

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}},$$

де  $v$  — швидкість тіла в нерухомій ІСВ;  $v_1$  — швидкість тіла в рухомій ІСВ;  $v_2$  — швидкість рухомої ІСВ відносно нерухомої;  $c$  — швидкість світла у вакуумі.

Якщо  $v_1 \ll c$ ,  $v_2 \ll c$ , то отримаємо класичний закон додавання швидкостей:  $v = v_1 + v_2$ .

— *Релятивістське скорочення відстаней:*  $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ,

де  $l_0$  — довжина тіла в системі відліку, відносно якої тіло нерухоме,  $l$  — довжина тіла в системі відліку, відносно якої тіло рухається зі швидкістю  $v$ . Звідси  $l < l_0$ . Якщо  $v \ll c$ , то  $l = l_0$ .

— *Релятивістське сповільнення часу:*

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

де  $\tau_0$  — проміжок часу між двома подіями у нерухомій (власній) системі відліку,  $\tau$  — проміжок часу між цими подіями в системі відліку, відносно якої тіло рухається зі швидкістю  $v$ . Звідси  $\tau_0 < \tau$ . Якщо  $v \ll c$ , то  $\tau_0 = \tau$ .

— *Релятивістська маса:*

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

де  $m_0$  — маса тіла у нерухомій (власній) системі відліку,  $m$  — маса тіла в системі відліку, відносно якої тіло рухається зі швидкістю  $v$ . Звідси,  $m_0 < m$ . Якщо  $v \ll c$ , то  $m = m_0$ .

У релятивістській механіці порушується закон збереження маси спокою. Наприклад, маса спокою атомного ядра менша, ніж сума мас спокою частинок, з яких складається ядро.

- *Закон взаємозв'язку між масою та енергією.*

Повна енергія тіла  $E$ :

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

За звичайних умов зміна маси за рахунок зміни енергії є незначною. Під час ядерних реакцій невелика зміна маси приводить до виділення або поглинання досить значної енергії.

- Кінетична енергія рухомого тіла дорівнює різниці між його повною

енергією та енергією спокою тіла.

### **ТЕМА 32. АТОМНА ФІЗИКА.**

- *Спектральні закономірності.*

— Спектри випромінювання атомів є лінійчатими. Атом випромінює світло лише певних частот.

— Спектри випромінювання різних хімічних елементів відрізняються різним набором спектральних ліній (різним набором частот).

— Для атома Гідрогену ці частоти визначаються зі співвідношення:

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

де  $m > n$  — натуральні числа,  $R = 3,27 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$  — стала Рідберга.

— При  $n = 1$  отримують частоти в ультрафіолетовій ділянці спектра (серія Лаймана). При  $n = 2$  отримують частоти у видимій ділянці спектра (серія Бальмера). При  $n = 3$  отримують частоти в інфрачервоній ділянці спектра (серія Пашена).

— Атом даної речовини поглинає світло лише тих частот, які сам випромінює.

- *Спектральний аналіз* — метод визначення хімічного складу речовини, концентрації хімічного елемента у сполуці за спектром випромінювання цієї речовини.