

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроенергетики електротехніки та електромеханіки

«ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ»
методичні рекомендації в слайдах для теоретичного вивчення
матеріалу здобувачами вищої освіти ступеня «Бакалавр»
спеціальності 201 «Агрономія»

МИКОЛАЇВ

2018

УДК 530.1:57

Ф48

Укладач:

І.В. Бацуровська - канд. пед наук, доцент кафедри електроенергетики електротехніки та електромеханіки МНАУ

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету менеджменту Миколаївського національного аграрного університету від _____ 2018 р., протокол № ____

Рецензенти:

О.М. Самойленко - докт. пед. наук, професор кафедри кафедри теорії й методики викладання навчальних дисциплін КВНЗ «Херсонська академія неперервної освіти»

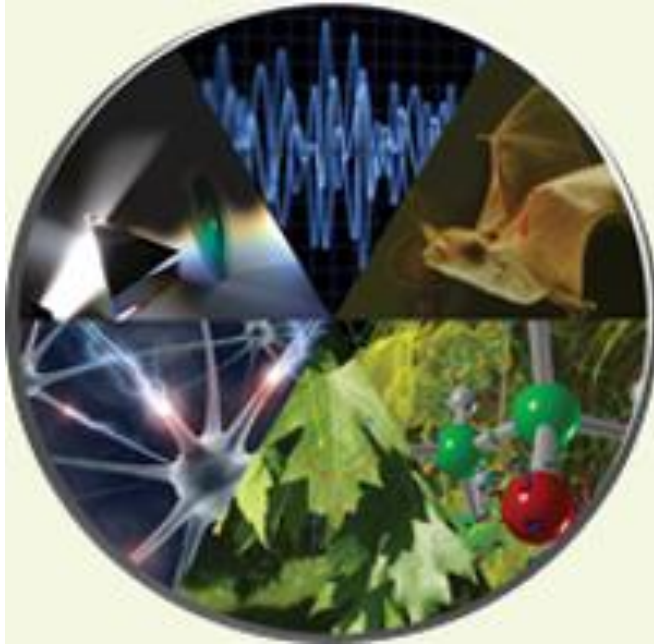
Л.В. Вахоніна - канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики електротехніки та електромеханіки МНАУ

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2018

Зміст

Передмова.....	4
Механіка	5
Гідродинаміка	54
Молекулярна фізика	77
Термодинаміка.....	106
Закони постійного струму	167
Магнетизм	185
Оптика.....	197
Література.....	220

ПЕРЕДМОВА



Методичні рекомендації призначені для загальноосвітньої, теоретичної і практичної підготовки студентів вищих навчальних закладів у галузі фізика з основами біофізики. Фізика з основами біофізики вивчає найпростіші, але разом і тим найбільш загальні закономірності явищ природи властивості та будову матерії закони її руху. Методичні рекомендації адресуються здобувачем вищої освіти сільськогосподарських лісогосподарських та інших спеціальностей, для яких фізика не є домінуючою дисципліною, але які мають справу з вивченням живих організмів та оточуючого середовища.

Метою методичних рекомендацій є ознайомлення здобувачів вищої освіти з основними закономірностями положеннями фундаментальними концепціями та принципами фізики та біофізики, розуміння яких забезпечуються ілюстрацією можливих практичних застосувань, розуміння яких забезпечуються ілюстрацією можливих практичних застосувань. Представлено опис фізичних процесів які становлять основу життєдіяльності людини, тваринного і рослинного світу, вивчення впливу фізичних факторів на живі організми та їх спроможності сприймати ці фактори і таким чином взаємодіяти з навколишнім середовищем, висвітлення сучасних фізичних методів та принципів дії приладів що можуть зустрітися у практичній діяльності майбутнього спеціаліста. Особлива увага звертається на сучасні досягнення фізичної науки і технології та їх практичне використання для дослідження живих організмів та систем.

Механіка



Механіка — розділ фізики, що вивчає механічний рух матеріальних тіл та взаємодію цих тіл.

ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ

Механічний рух — зміна положення тіла з часом відносно іншого тіла або системи тіл, що умовно вважають нерухомою.

У механіці для опису реальних тіл використовують спрощені моделі, такі як матеріальна точка або абсолютно тверде тіло.

Матеріальна точка — це тіло, формою і розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати.

Абсолютно тверде тіло — це тіло, деформаціями якого в умовах розглядуваної задачі можна знехтувати і відстань між двома точками якого завжди залишається незмінною.

Система відліку — це сукупність системи координат і годинника, зв'язаних з тілом, відносно якого вивчається рух будь-яких інших матеріальних точок або тіл. Наприклад, у декартовій системі координат положення точки A в даний момент часу характеризується трьома координатами X , Y і Z .

*КІНЕМАТИКА
МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ
І ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ
ТВЕРДОГО ТІЛА*



ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ

Кінематика вивчає рух тіл без урахування причин, що викликають цей рух.

Траєкторія — це лінія, яку описує під час руху матеріальна точка. Залежно від траєкторії розрізняють *прямолінійний* і *криволінійний* рух точки.

Довжиною шляху s називається відстань, пройдена точкою за певний проміжок часу і яка вимірюється вздовж траєкторії.

Переміщення $\Delta\vec{r}$ це є вектор, проведений із початкового положення точки, що рухається, в положення її у даний момент часу:

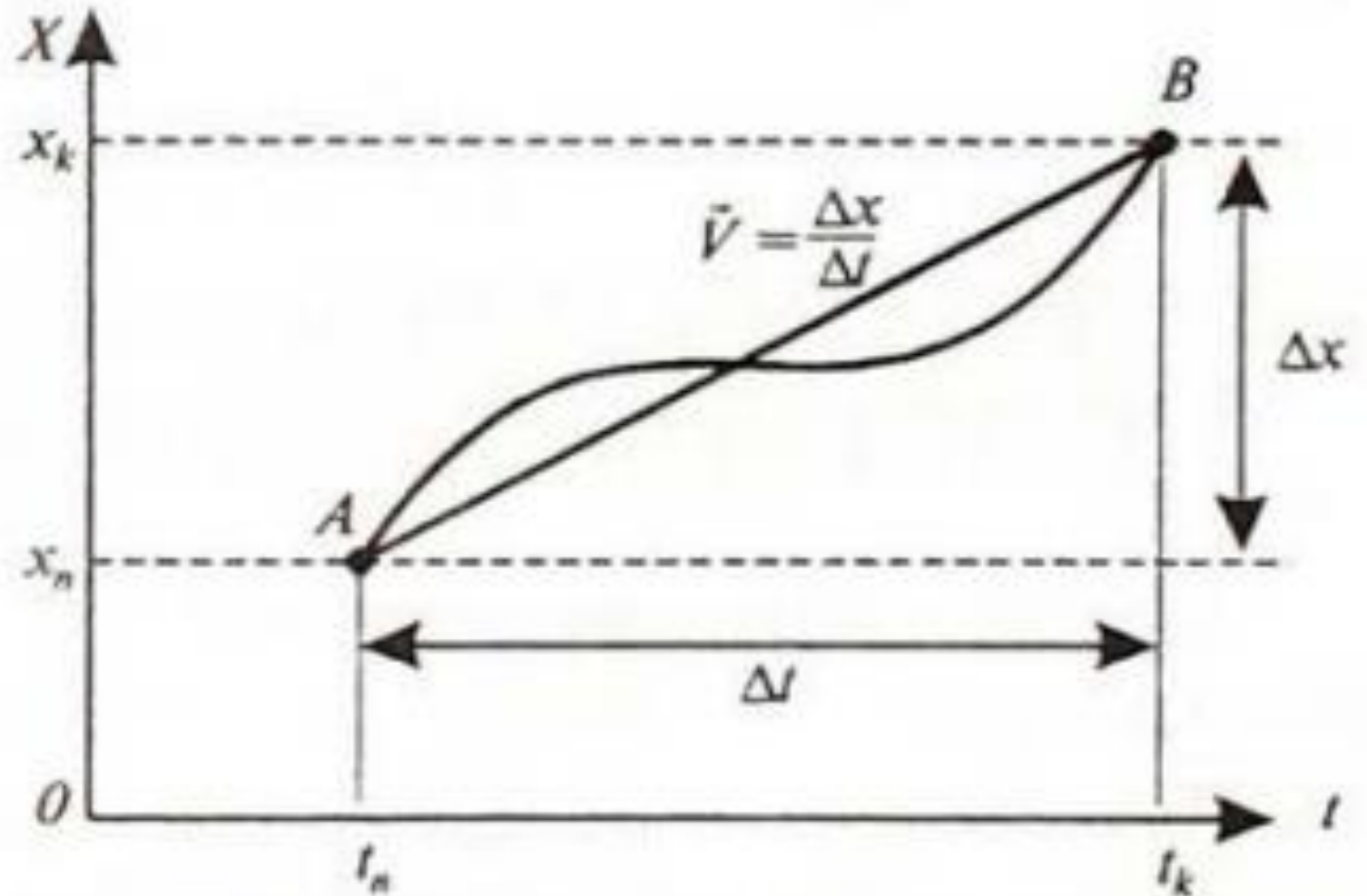
$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_t - \vec{r}_0. \quad (2.1)$$

Тут \vec{r}_t і \vec{r}_0 є радіус-вектори.

Середня швидкість точки

$$\langle \vec{V} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Одиниця
вимірювання
швидкості –
 $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$



Миттєва швидкість точки V

дорівнює першій похідній радіуса-вектора за часом:

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

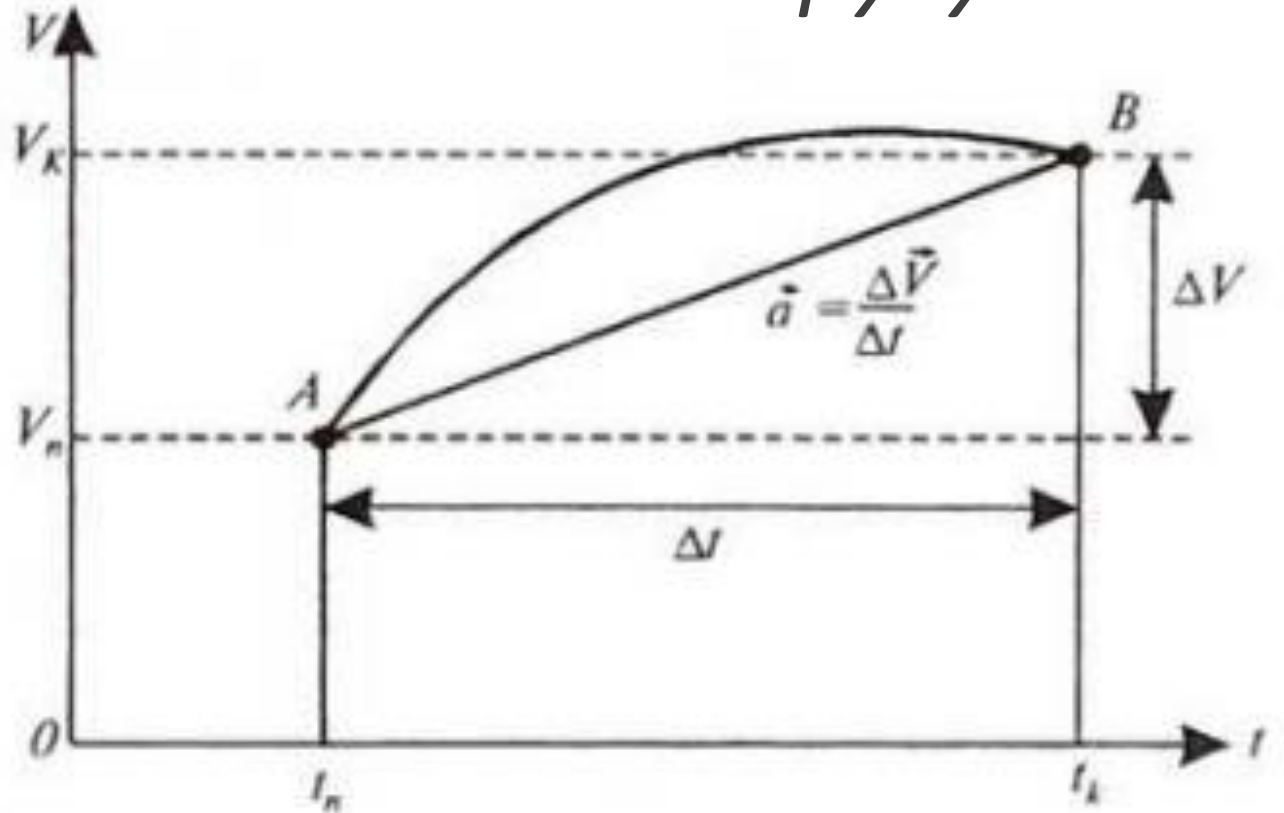
Прискорення а

дорівнює першій похідній швидкості V руху точки за часом t :

$$\bar{a} = \lim \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

Одиниця вимірювання прискорення:

$$m \cdot s^{-2}$$



Криволінійний рух матеріальної точки

Тангенціальне
прискорення

a_τ

$$a_\tau = \frac{dV}{dt}$$

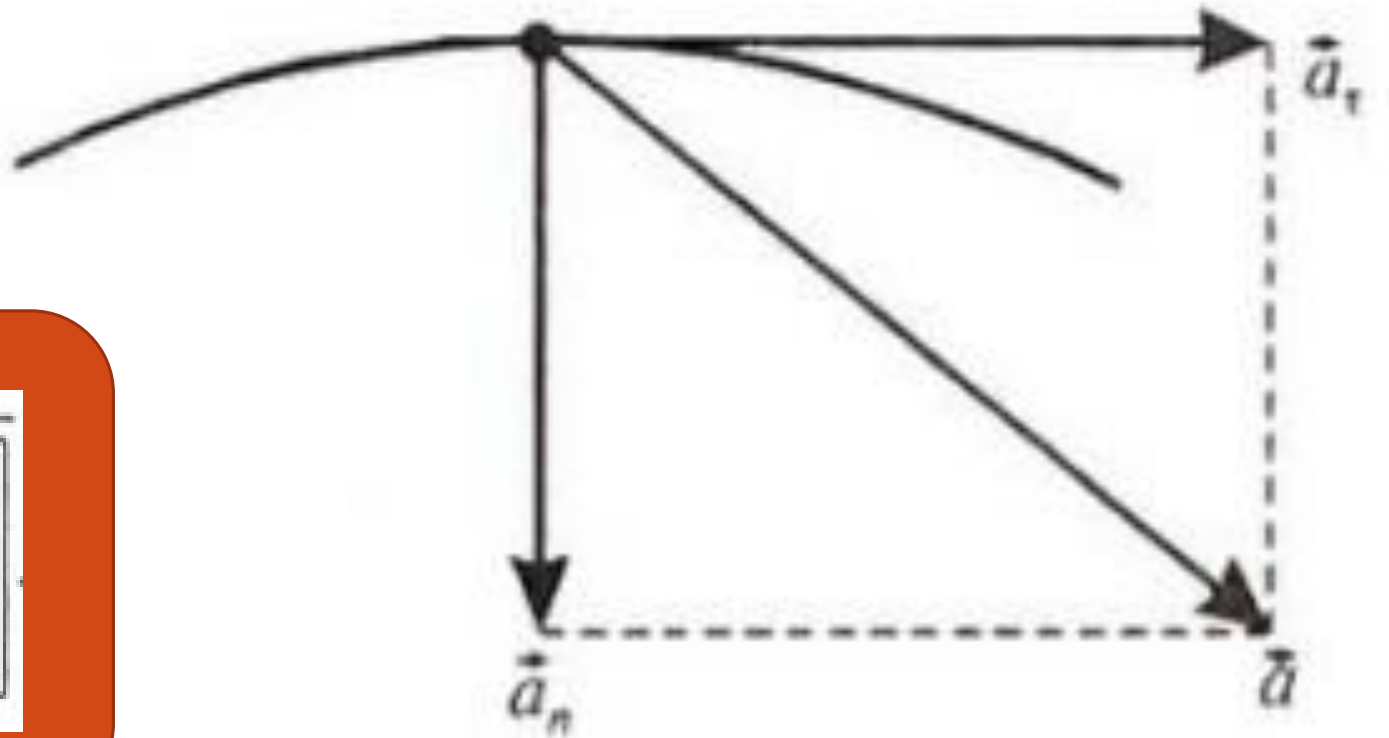
Нормальне
прискорення

a_n

$$a_n = \frac{V^2}{r}$$

Повне прискорення матеріальної точки під час криволінійного руху

$$a = |\vec{a}| = \sqrt{\left[\left(\frac{dV}{dt}\right)^2 + \left(\frac{V^2}{r}\right)^2\right]}$$



ДИНАМІКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ І ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ ТВЕРДОГО ТІЛА



Динаміка

вивчає рух тіл у зв'язку з тими причинами, які викликають або змінюють цей рух



Перший закон Ньютона

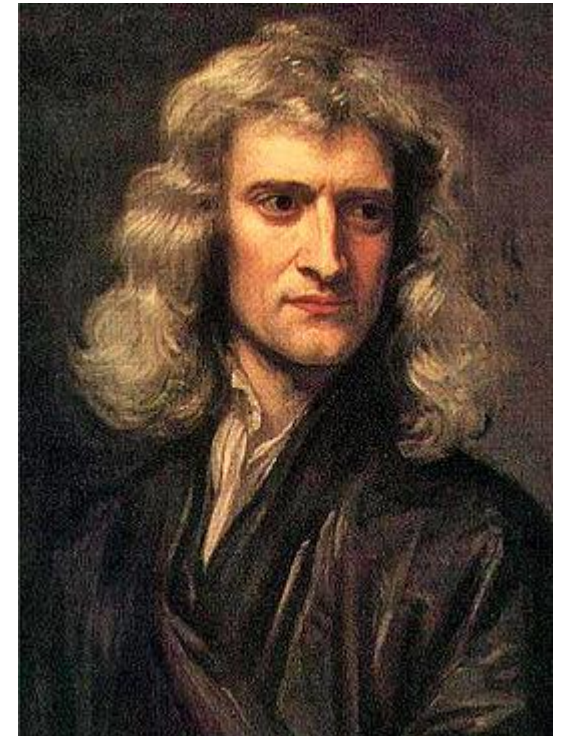
Перший закон Ньютона: будь-яка матеріальна точка (тіло) зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, доки дія з боку інших тіл не примусить його змінити цей стан.

Сила - фізична величина, що характеризує дію одного тіла на інше; результатом прикладення до тіла сили є набування прискорення або деформації тіла.

Одиниця вимірювання сили - Н.

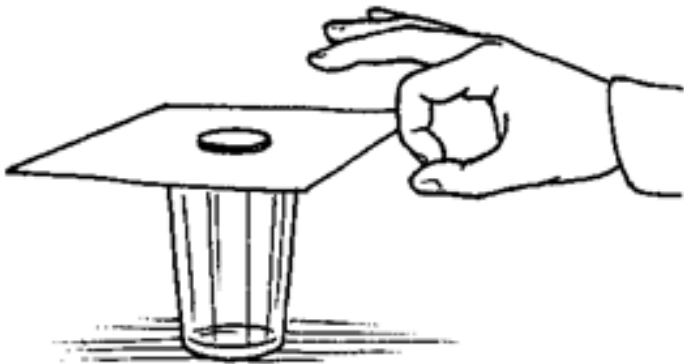
Маса тіла - фізична величина, яка є однією з основних характеристик матерії, що визначає її інерційні та гравітаційні властивості.

Одиниця вимірювання маси - кг.



Інерція

Властивість тіл зберігати стан спокою або рівномірного прямолінійного руху



ИНЕРЦИЯ

у грузовика есть тормоза, а вот у каменной глыбы — нет

Густина речовини

ρ - це є маса, що припадає на одиницю об'єму

$$\rho = m/V$$

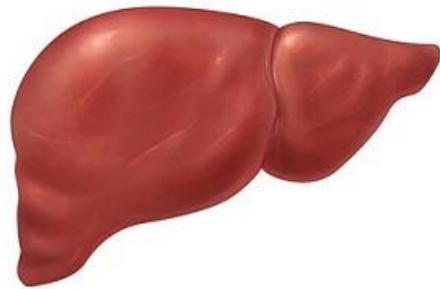
Густина сферичної частинки

$$\rho = \frac{m}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3} = \frac{m}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^3}$$

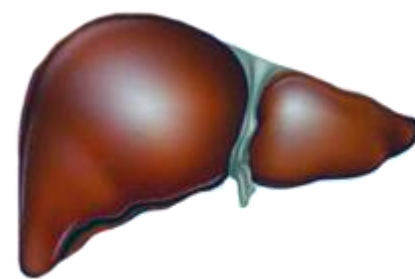
Залежність густини жовчі від стану здоров'я

Стан здоров'я	Густина, кг·м ³
Норма	1008 ± 0,2
Хронічний холангіогепатит	1004 ± 2,0
Цироз печінки	1001 ± 0,6

Нормальная печень



Цирроз печени



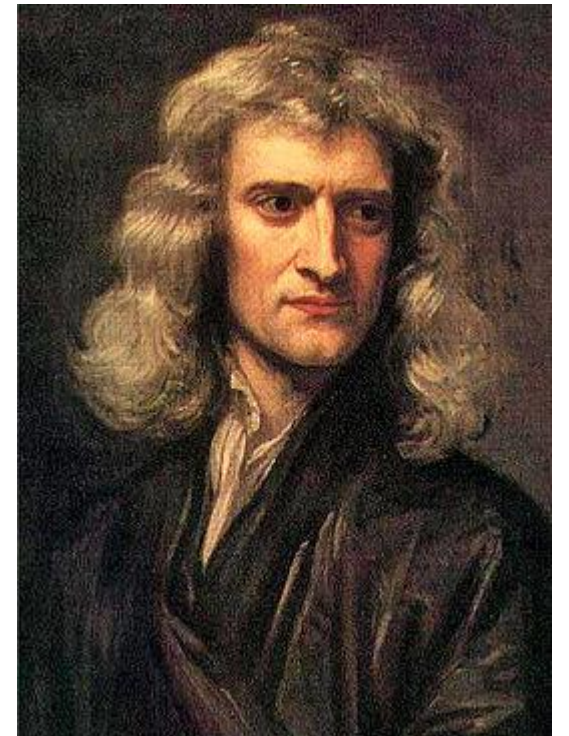
Другий закон Ньютона:

Другий закон Ньютона: прискорення, що набуває матеріальна точка (тіло), пропорційне силі, яка викликає це прискорення, збігається з нею за напрямком і обернено пропорційне масі матеріальної точки (тіла)

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

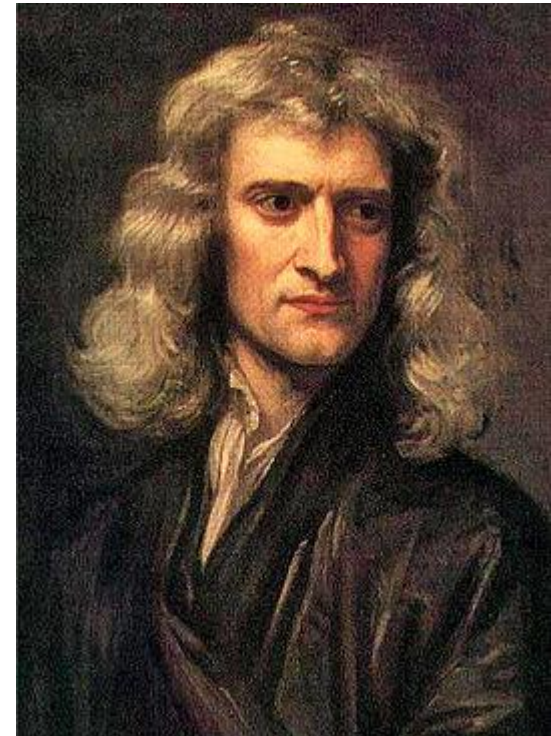
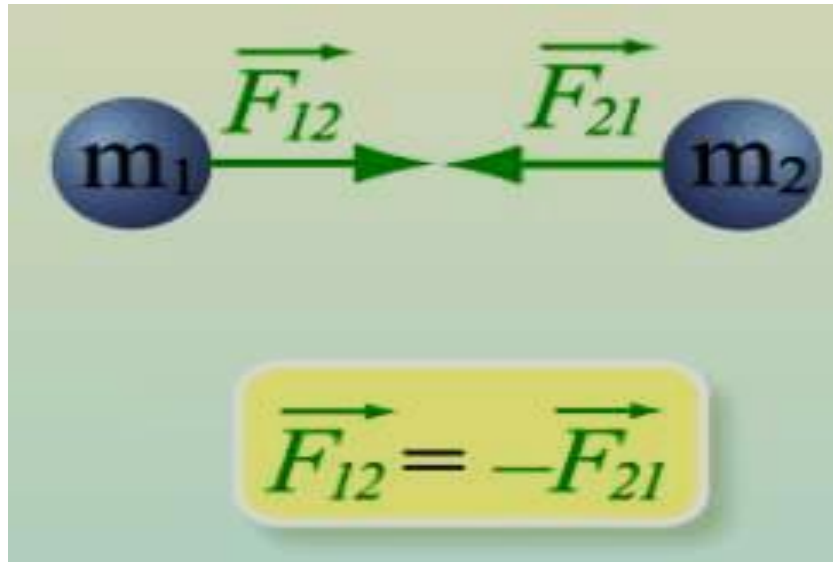


$$\vec{F} = m\vec{a}$$



Третій закон Ньютона

Третій закон Ньютона: будь-яка дія матеріальних точок (тіл) одна на одну має характер взаємодії; сили, з якими діють одна на одну матеріальні точки (тіла), завжди рівні між собою за модулем, протилежні за напрямком і діють вздовж прямої, що з'єднує ці точки (тіла)



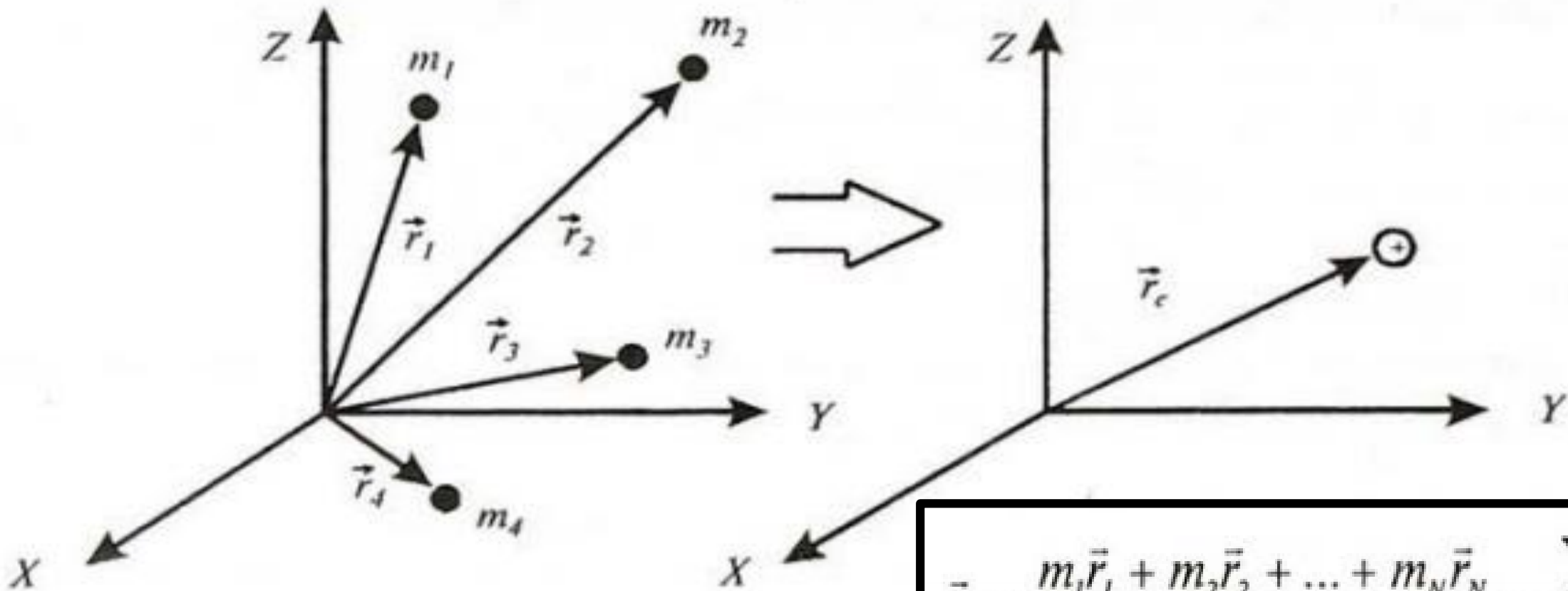
Для системи матеріальних точок

$$\frac{d(m\vec{V})}{dt} = \vec{F}_{\text{зовн}}$$

Механічна система, на яку не діють зовнішні сили,
називається **замкнутою**

де $\vec{F}_{\text{зовн}} = \sum (\vec{F}_i)_{\text{зовн}}$ — головний вектор зовнішніх сил. Для замкнутої системи матеріальних точок маємо $\vec{F}_{\text{зовн}} = 0$, отже $\frac{d(m\vec{V})}{dt} = 0$, або $(m\vec{V}) = \sum m_i \vec{V}_i = \text{const}$, тобто імпульс замкнутої системи не змінюється з часом (закон збереження імпульсу замкнутої системи).

Центр мас системи матеріальних точок

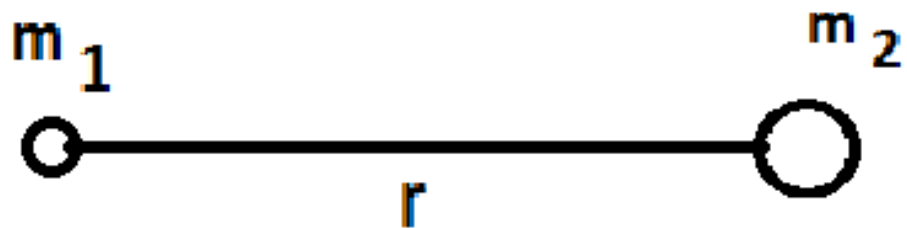


$$\vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots + m_N \vec{r}_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i}$$

ТИПИ СИЛ



Сили тяжіння



Закон всесвітнього тяжіння: дві будь-які матеріальні частинки з масами m_1 і m_2 притягуються в напрямку одна до одної з силою, що прямо пропорційна добутку мас і обернено пропорційна квадрату відстані r між ними

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

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

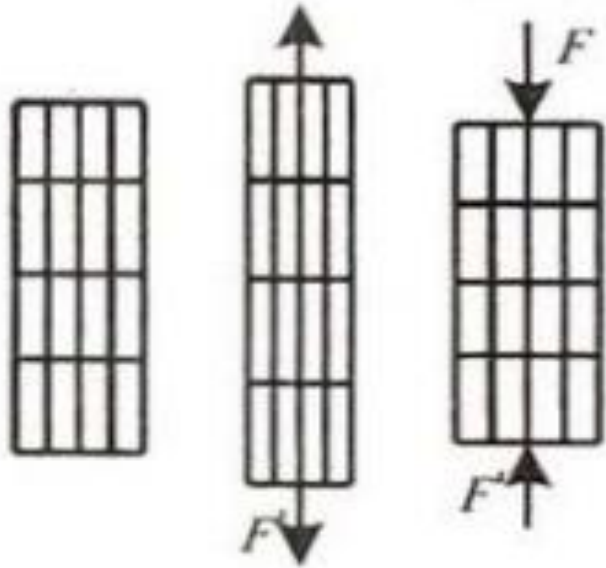
гравітаційна стала

Фізичний зміст гравітаційної сталої:

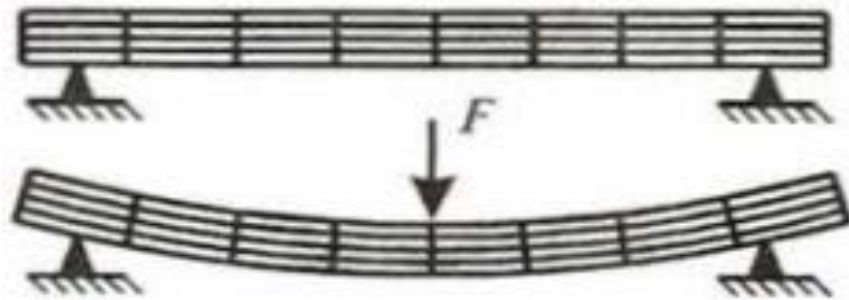
гравітаційна стала G чисельно дорівнює силі, з якою два тіла масами по 1 кг взаємодіють на відстані 1 м.

Пружні сили

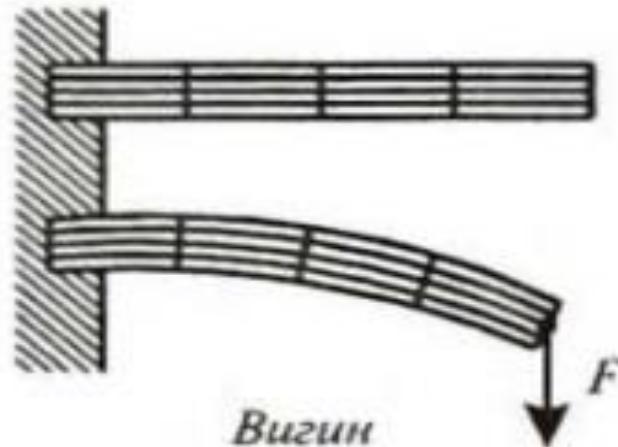
Стиск



Розтяг

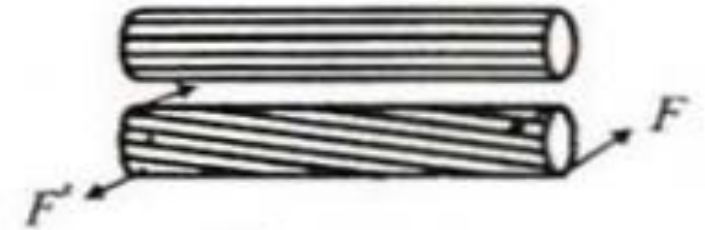
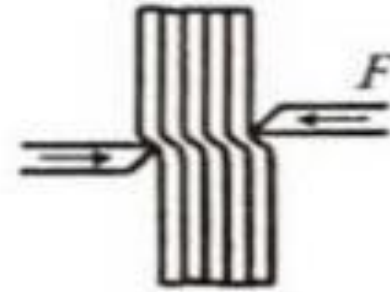


Прогин



Вигин

Зсув



Кручення

Закон Гука

ДЛЯ СИЛИ ПРУЖНОСТІ

Сила пружності, яка виникає в тілі, прямо пропорційна абсолютній деформації.

$$F_{pr} = -k\Delta l$$

Фізичний зміст k : k чисельно дорівнює силі пружності, яка виникає в тілі, при абсолютній деформації=1.



$$\Delta l = l - l_0$$

ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО НАПРУЖЕННЯ

механічне напруження, яке виникає в тілі, прямо пропорційно відносній деформації.

$$\sigma = \varepsilon E$$

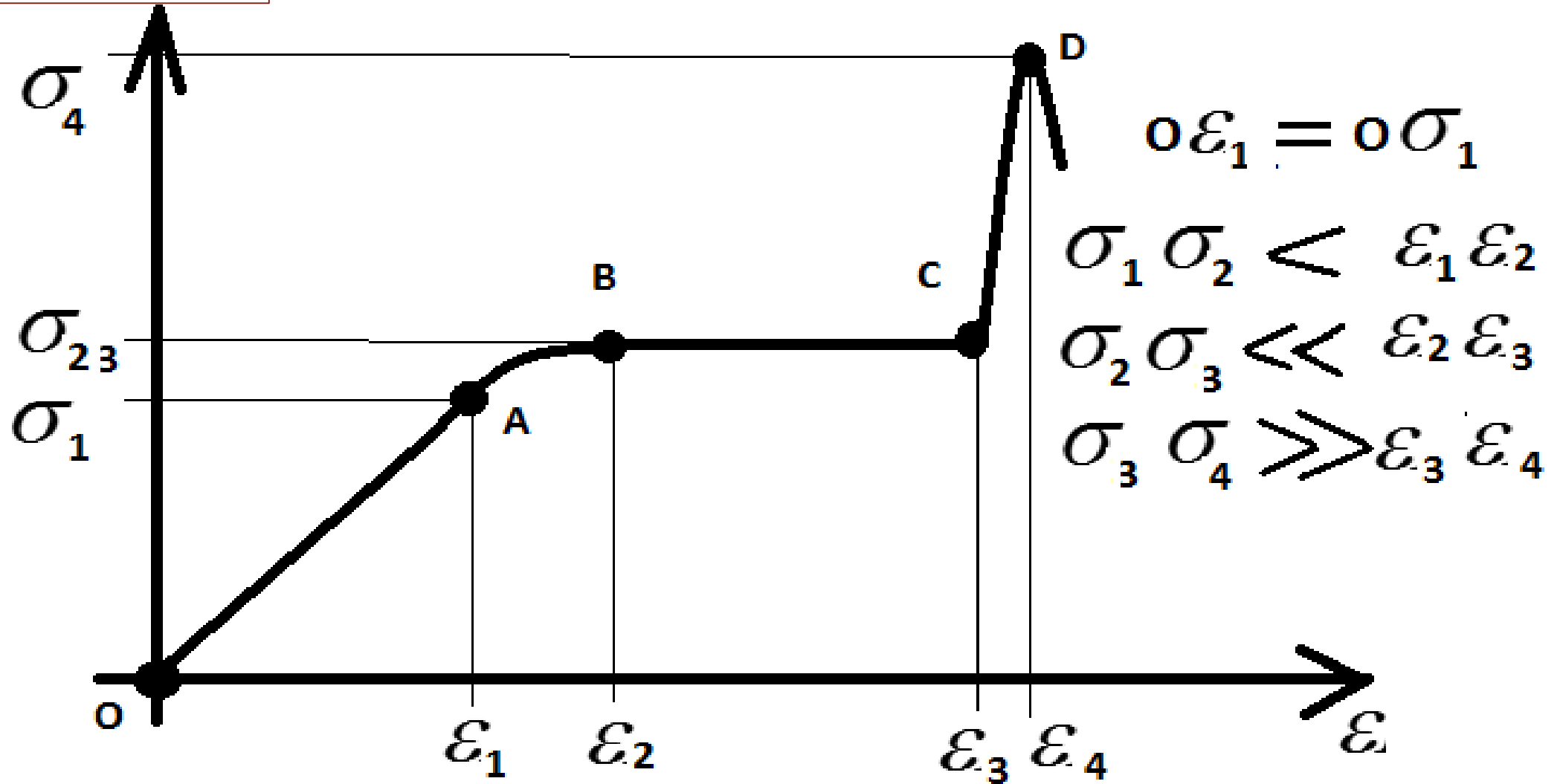
, де E – модуль Юнга

Фізичний зміст модуля Юнга: модуль Юнга чисельно дорівнює механічному напруженню, яке виникає в тілі, при $\varepsilon=1$.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%$$

$$\sigma = \varepsilon E$$

Діаграма розтягу



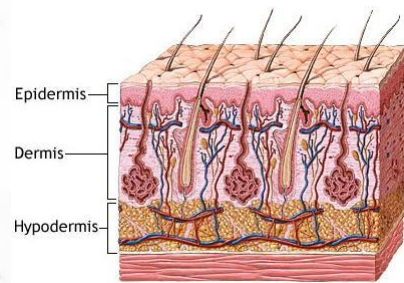
Потенціальна енергія пружно-деформованого тіла

$$W_{II} = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{E \cdot S \cdot (\Delta l)^2}{2 \cdot l} = \frac{\sigma^2 \cdot V}{2 \cdot E}$$

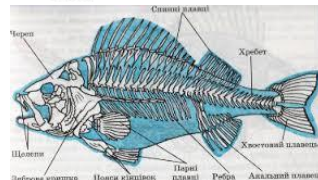
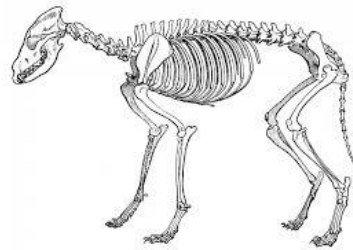
Пружні властивості біологічних матеріалів

Пружні властивості біологічних матеріали

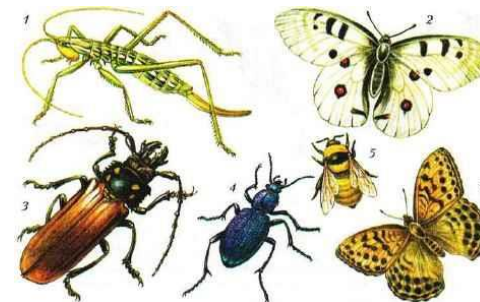
Колаген



Еластін



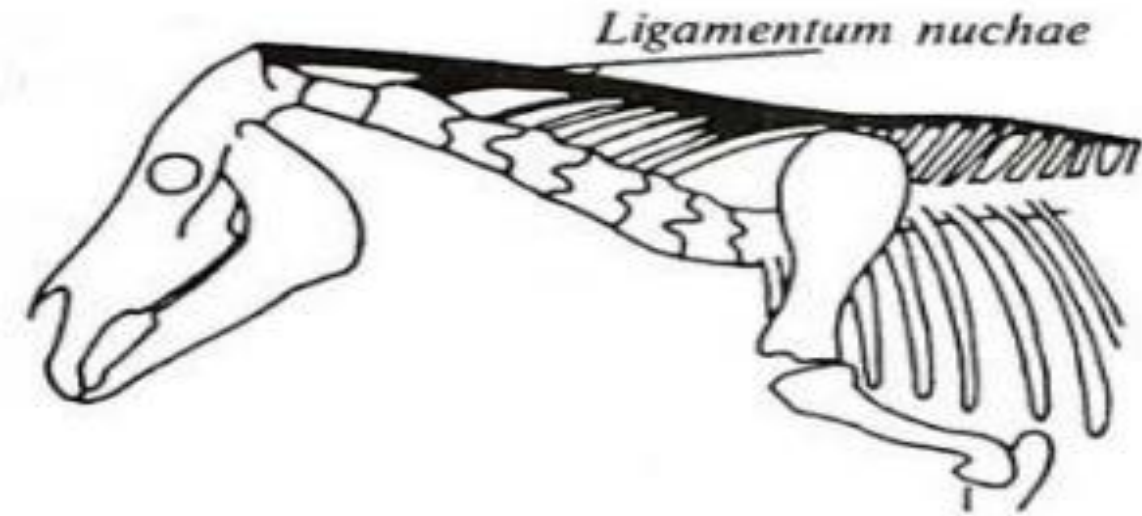
Резилін



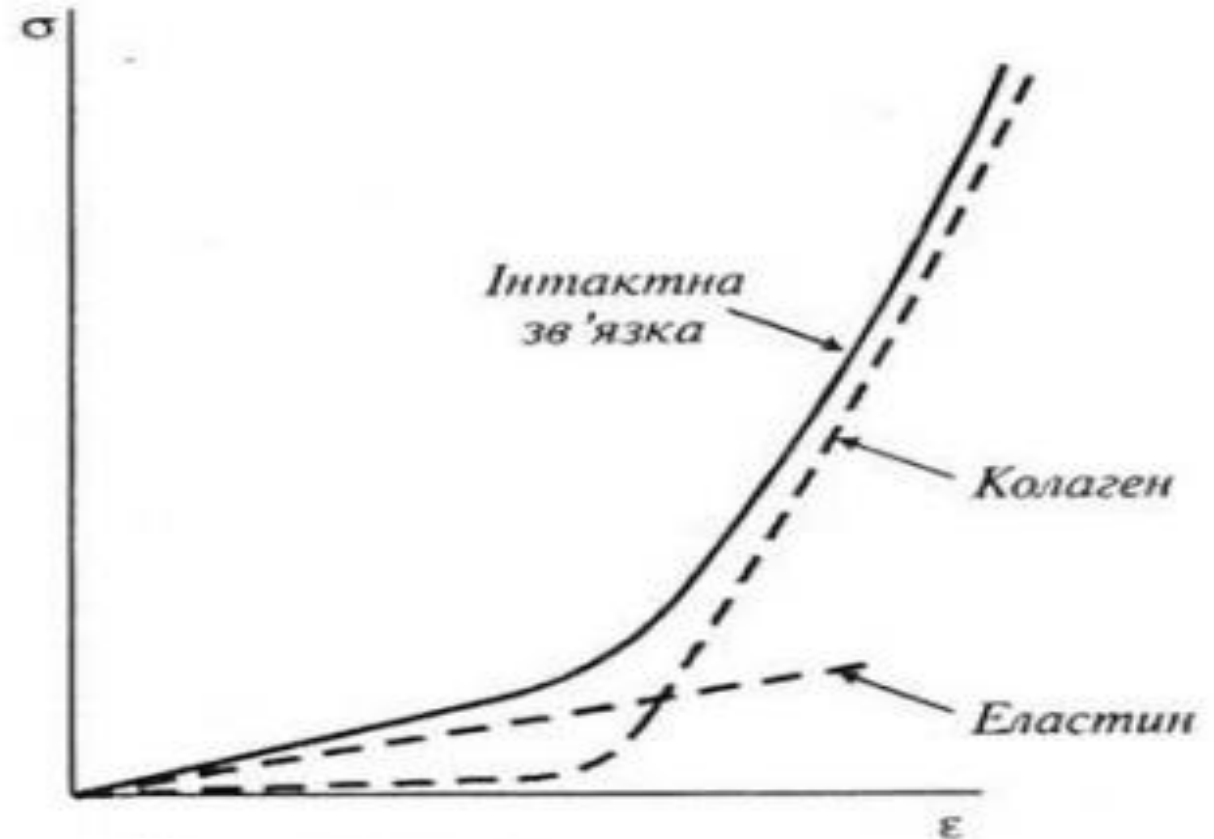
Абдуктин



Еластин відповідає за початковий відгук зв'язки, а колаген – за кінцевий



Розміщення потиличної зв'язки (Ligamentum nuchae) у копитних тварин



Вплив еластину та колагену на пружні властивості потиличної зв'язки

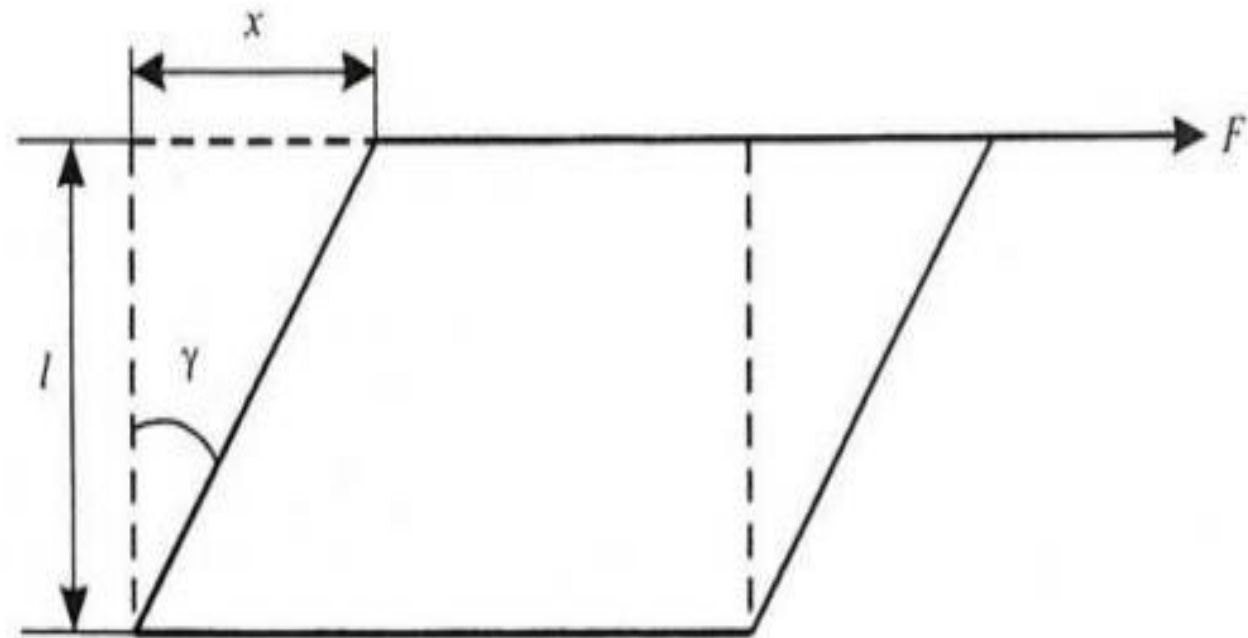
Згідно з законом Гука дотична напруга
пропорційна куту зсуву

$$\tau = G \cdot \gamma$$

де G — модуль зсуву; $\gamma \equiv \text{tg}\gamma = \frac{x}{l}$

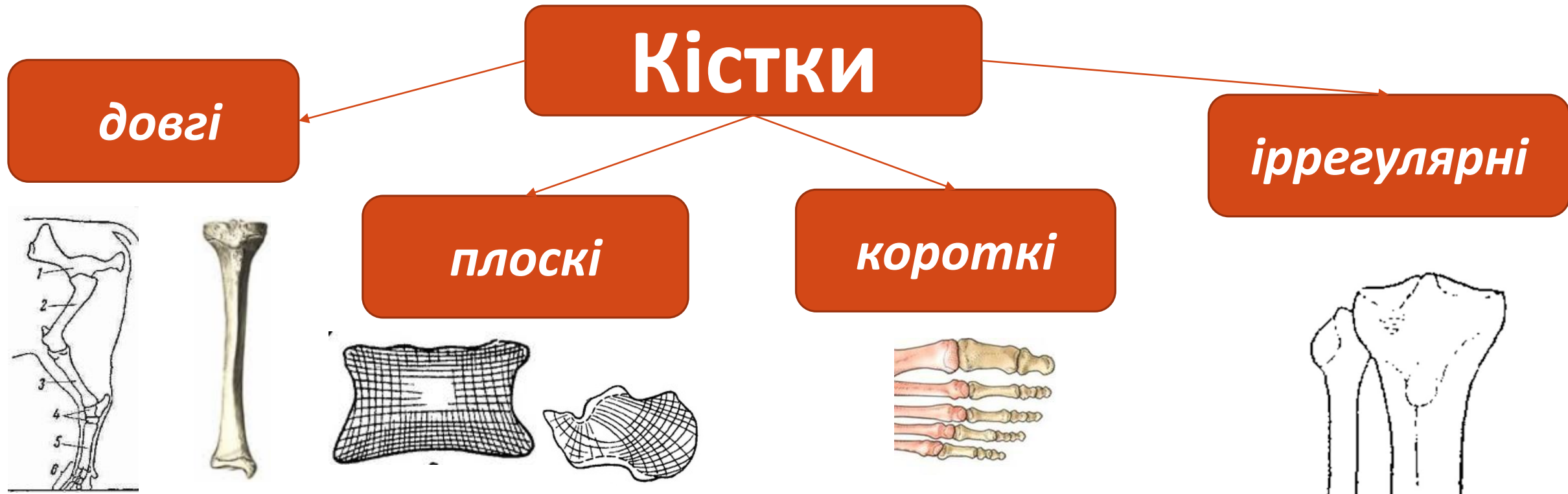
τ - дотична напруга

γ - кут зсуву

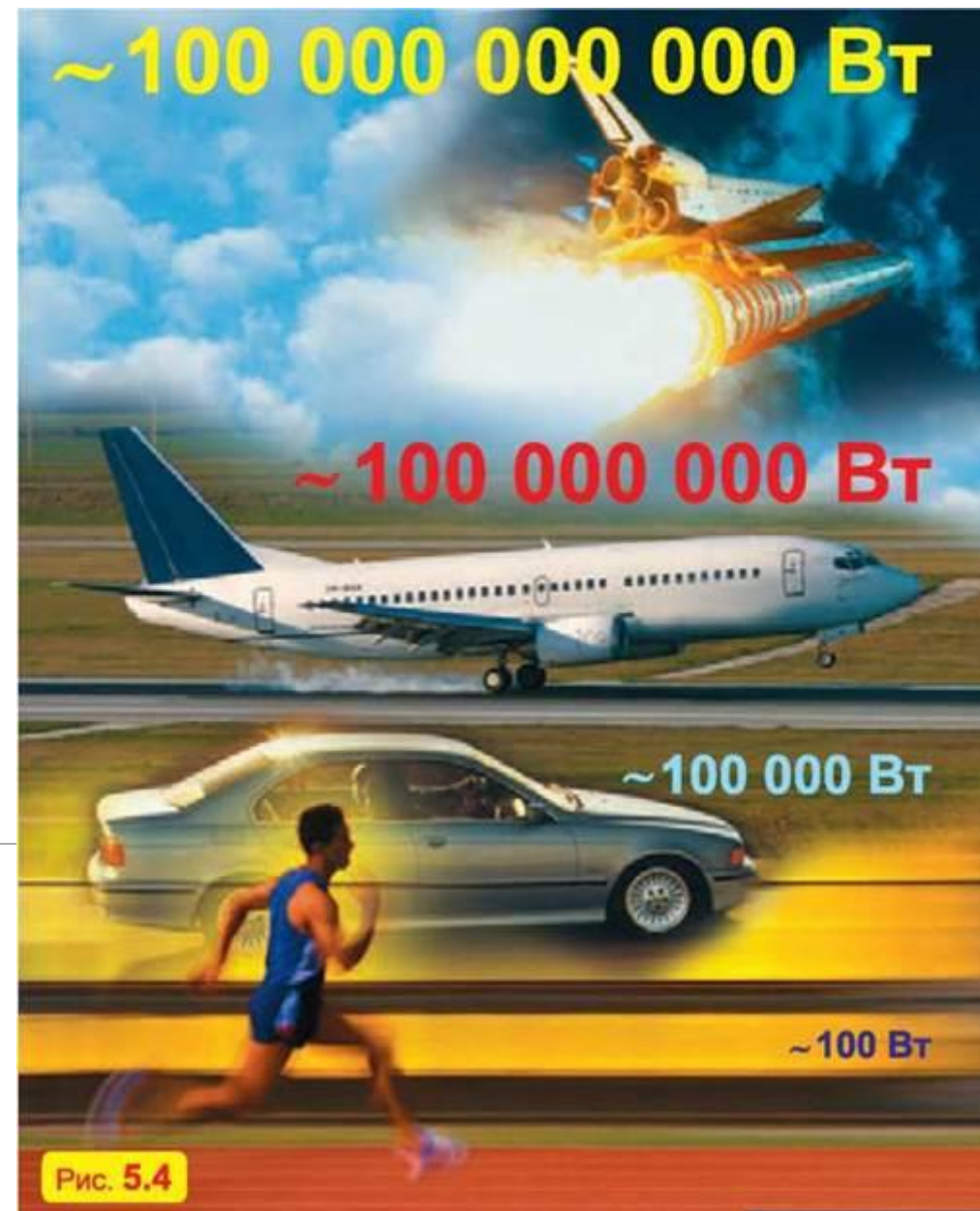


Кістки є основними компонентами опорно-рухового апарату

Крім забезпечення руху, кістки виконують функції підтримки та захисту м'язових тканин, являють собою місце накопичення кальцію.



РОБОТА, ПОТУЖНІСТЬ І ЕНЕРГІЯ



РОБОТА

Робота сили є міра дії сили, що залежить від числової величини і напрямку сили та від переміщення точки її прикладання.

$$A = \vec{F} \cdot \vec{r}$$



$$A = |\vec{F}| \cos \alpha \cdot |\vec{r}|$$



$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F \cos \alpha \cdot ds$$

$ds = |d\vec{r}|$ — елементарний шлях.

Одиниця вимірювання роботи — Дж = Н · м.

ПОТУЖНІСТЬ

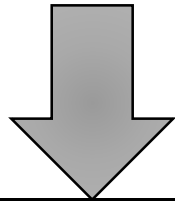
це відношення елементарної роботи dA , що здійснюється цією силою F за малий проміжок часу, до його тривалості dt

$$N = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{V}$$

Одиниця вимірювання потужності — $Вт = Дж \cdot с^{-1}$

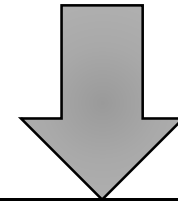
ЕНЕРГІЯ

Енергія - фізична величина, що є загальною мірою руху та взаємодії всіх видів матерії



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

Кінетична енергія механічної системи - це енергія механічного руху цієї системи.



$$E_n = mgh$$

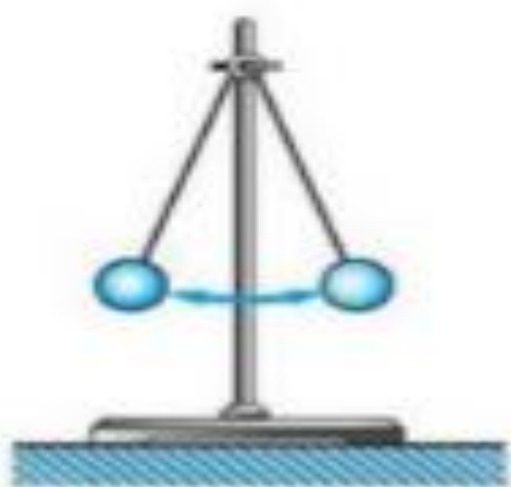
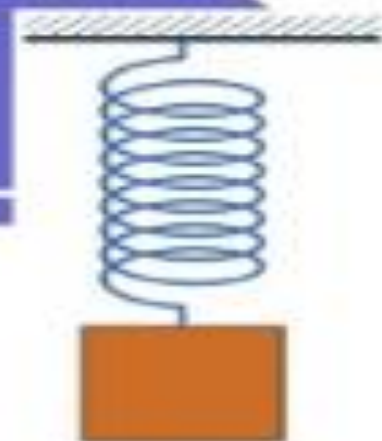
Потенціальна енергія - це механічна енергія системи тіл, що визначається їх взаємним розташуванням і характером сил взаємодії між ними

Закон збереження енергії у механиці:

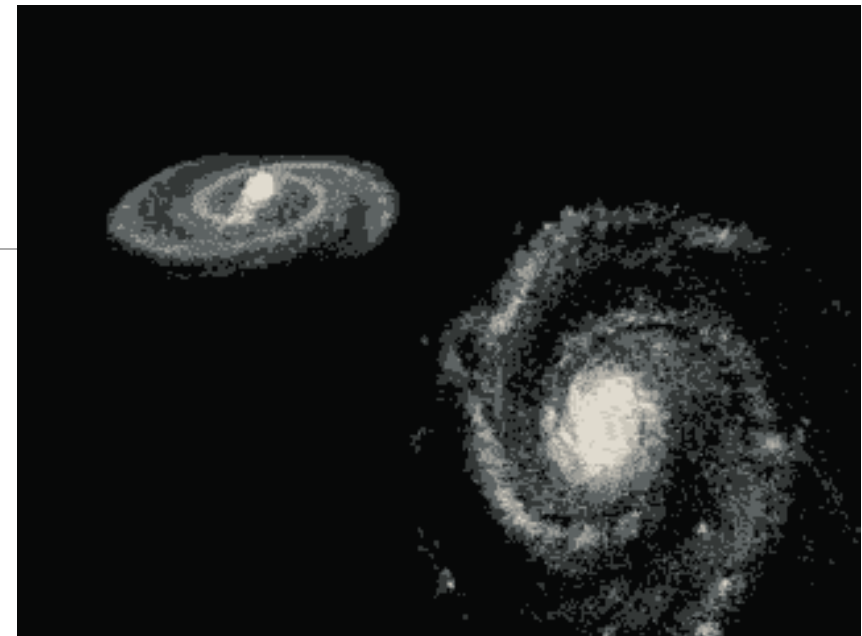
***повна механічна енергія замкненої
системи тіл, між якими діють лише
консервативні сили, залишається
сталюю.***

Приклади закону збереження механічної енергії:

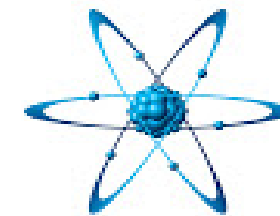
- Коливання пружинного маятника
- Коливання нитяного маятника
- Гальмування тіла силою тертя
- Політ стріли



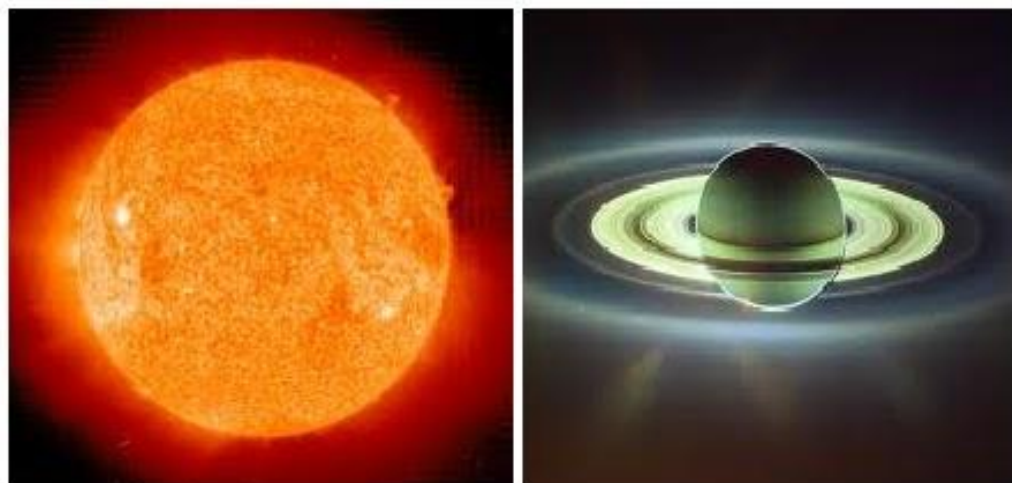
КІНЕМАТИКА І ДИНАМІКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ ТВЕРДОГО ТІЛА



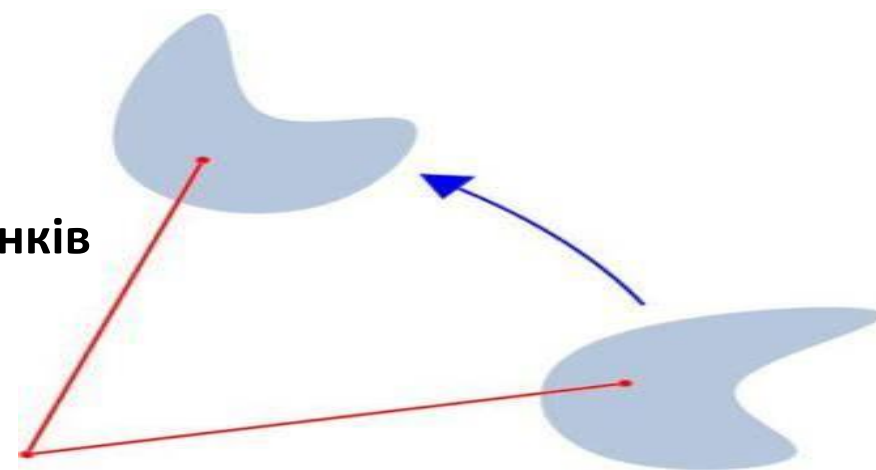
Обертальний рух



Обертальним рухом твердого тіла називають такий його рух, при якому всі точки, з яких складається тіло, описують кола, центри яких лежать на прямій, що називається віссю обертання.



Приклади:
ротори турбін,
шестерні, вали станків
і машин та ін.

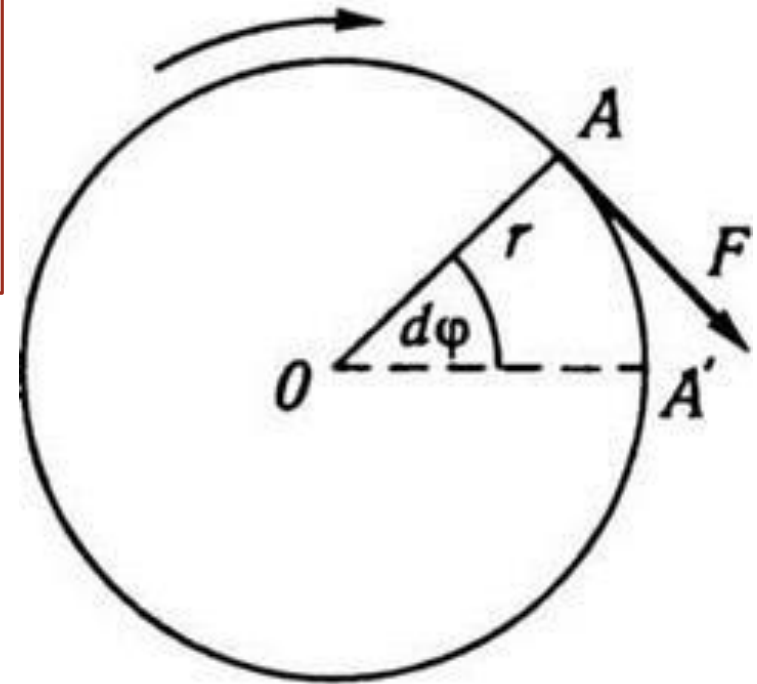


Кінематичні характеристики обертального руху:

1

Кутова швидкість ω є векторна величина, що дорівнює першій похідній кута обертання тіла за часом:

$$\bar{\omega} = \lim \frac{\Delta \bar{\varphi}}{\Delta t} = \frac{\Delta \bar{\varphi}}{\Delta t}$$



Одиниця вимірювання кутової швидкості — $\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$

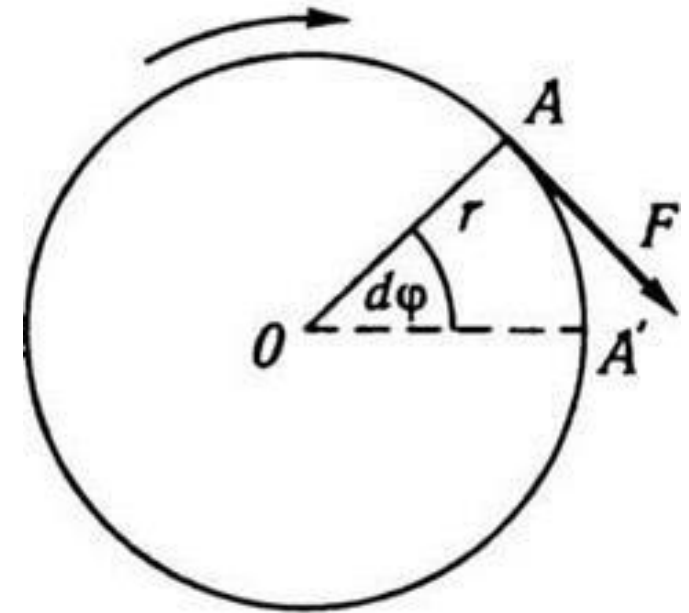
Кінематичні характеристики обертального руху:

2

Кутове прискорення є векторна величина, що дорівнює першій похідній кутової швидкості за часом:

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}, \quad [\varepsilon] = \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$



Одиниця вимірювання кутового прискорення — $\text{рад} \cdot \text{с}^{-2}$

АНАЛОГІЯ РУХУ

Поступальний рух	Обертальний рух
Переміщення $\Delta\vec{s}$, $[\Delta s] = \text{м}$	Кутове переміщення $\Delta\varphi$, $[\Delta\varphi] = \text{рад}$
Швидкість $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$, $[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Кутова швидкість $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, $[\omega] = \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
Прискорення $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, $[a] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	Кутове прискорення $\vec{\varepsilon} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}$, $[\varepsilon] = \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$

Характеристики руху

Рух матеріальної точки по колу

Період

$$T = \frac{t}{N}$$

Частота

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

Кутова швидкість

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

Кутове прискорення

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T^2} = 2\pi\nu^2$$

Переміщення

$$\Delta s = r\Delta\varphi$$

Лінійна швидкість

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{r\Delta\varphi}{\Delta t} = r\omega$$

Нормальне прискорення

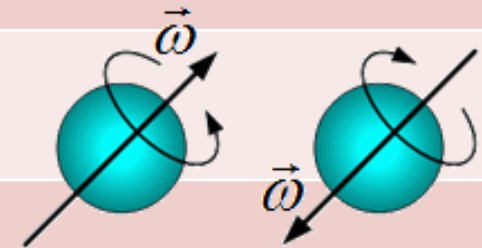
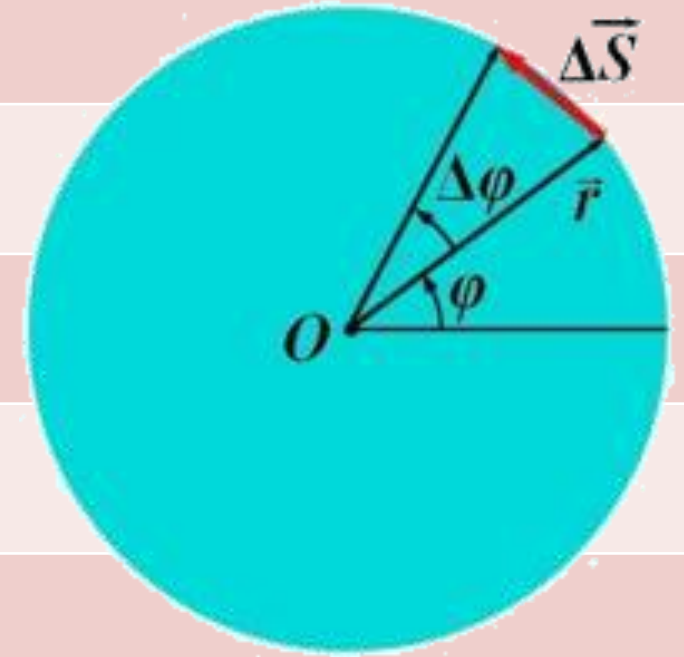
$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Тангенціальне прискорення

$$a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{r\Delta\omega}{\Delta t} = r\varepsilon$$

Повне прискорення

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



Поступальний

Обертальний

ФОРМУЛИ КІНЕМАТИКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

Рівномірний

$$a = 0$$

$$\varepsilon = 0$$

$$v = \text{const}$$

$$\omega = \text{const}$$

$$s = vt$$

$$\varphi = \omega t$$

Рівноприскорений

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \text{const}$$

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \text{const}$$

$$v = v_0 + a_\tau t$$

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$$

$$s = v_0 t + \frac{a_\tau t^2}{2}$$

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a_\tau s$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\varepsilon \varphi$$

Нерівномірний

$$s = f(t)$$

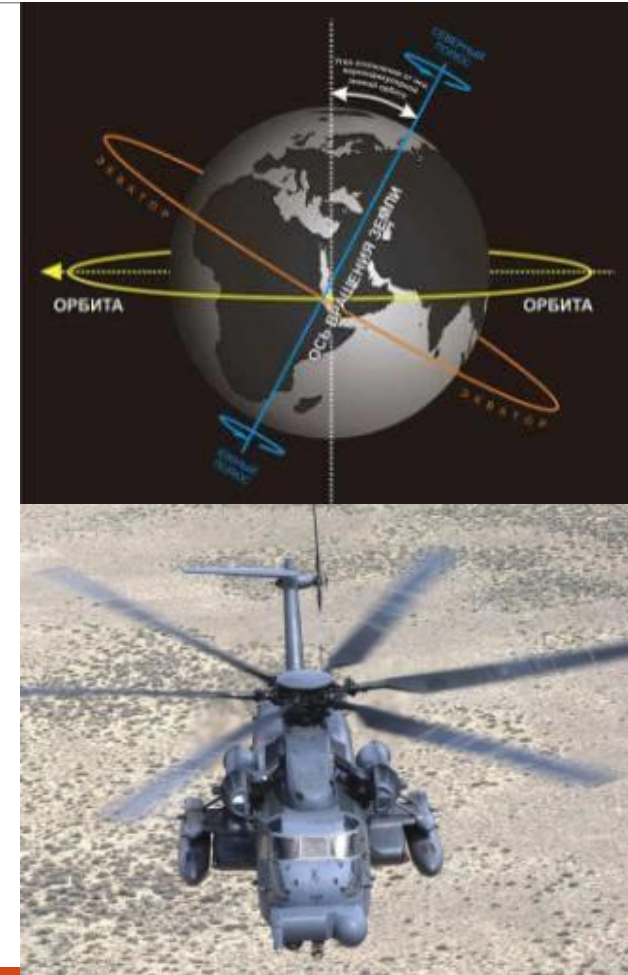
$$\varphi = f(t)$$

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = s'(t)$$

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \varphi'(t)$$

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = v'(t)$$

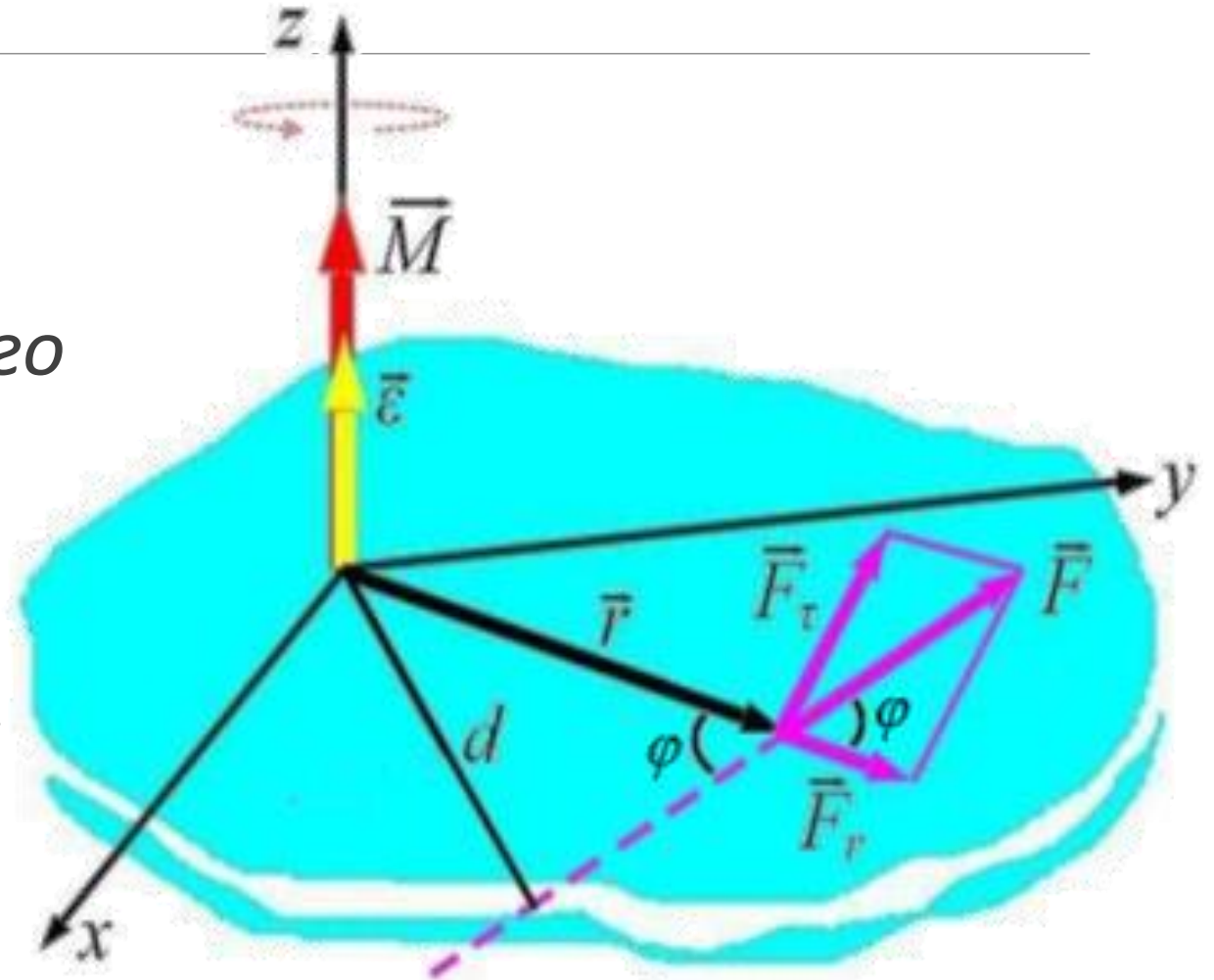
$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \omega'(t)$$



ДИНАМІКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

Основна задача динаміки обертального руху

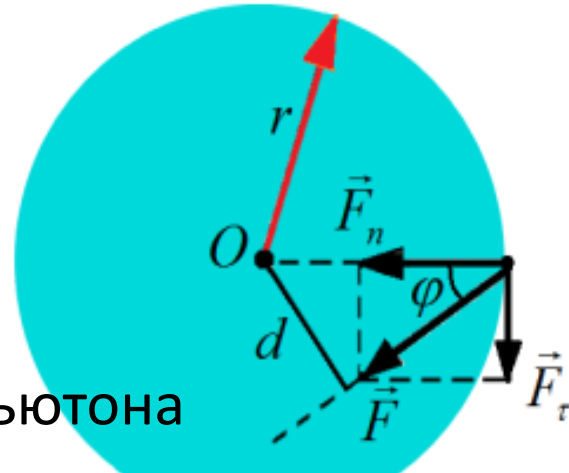
Встановити зв'язок кутового прискорення обертального руху тіла з силовими характеристиками його взаємодії з другими тілами і власними властивостями тіла, що обертається.



ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

ДЛЯ ДОВІЛЬНОЇ ТОЧКИ ТІЛА МАСОЮ M

$$\vec{F} = \vec{F}_n + \vec{F}_\tau$$



- За другим законом Ньютона

$$F_n = ma_n, \quad F_\tau = ma_\tau = m\varepsilon r$$

- З геометричних міркувань

$$F_\tau = F \sin \varphi = F \frac{d}{r}, \Rightarrow mr^2 \varepsilon = Fd = M$$

ДЛЯ ТІЛА, ЯК СУКУПНОСТІ ЧАСТИНОК
МАЛИХ МАС

- З урахуванням векторного характеру
 $(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2) \vec{\varepsilon} = \sum \vec{M}_i + \sum \vec{M}_e$
- Скалярна фізична величина, що характеризується розподілом маси відносно осі її обертання, називається моментом інерції тіла:
 $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2 = \sum m_i r_i^2$
- Сума моментів внутрішніх сил M_i дорівнює нулю, відповідно

$$I \vec{\varepsilon} = \sum \vec{M}_e = \vec{M}$$

ПОРІВНЯННЯ РУХІВ

Поступальний рух

Обертальний рух

Маса m , $[m] = \text{кг}$

Момент інерції $I = mr^2$, $[I] = \text{кг} \cdot \text{м}^2$

Сила \vec{F} , $[F] = \text{Н}$

Момент сили $M = Fd$; \vec{M} , $[M] = \text{Н} \cdot \text{м}$

Основне рівняння динаміки

Основне рівняння динаміки

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\sum \vec{M}}{I}$$

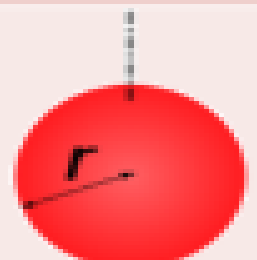

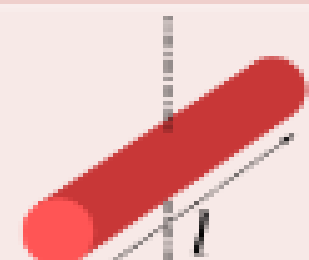
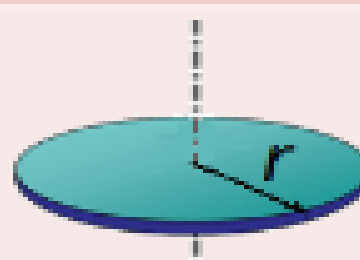
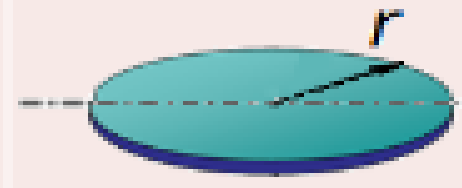
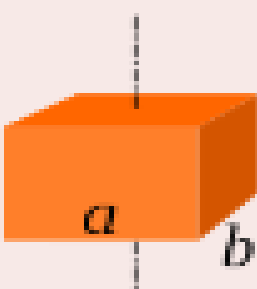
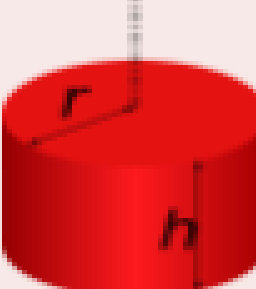
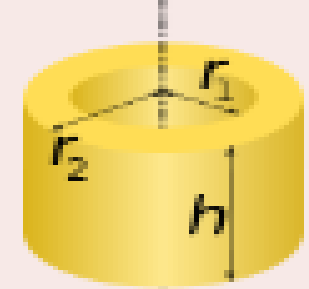
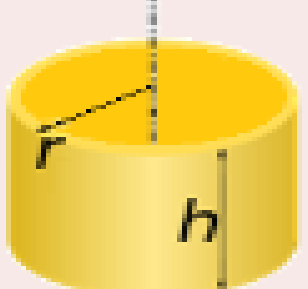
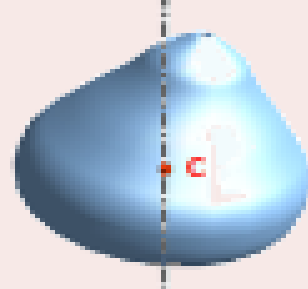
Прискорення тіла при поступальному русі прямо пропорційне сумі всіх діючих на нього сил і обернено пропорційне масі тіла.

Кутове прискорення тіла при обертальному русі прямо пропорційне сумі моментів всіх діючих на нього сил відносно осі обертання тіла і обернено пропорційне моменту інерції тіла відносно цієї осі обертання.

Принципова різниця:

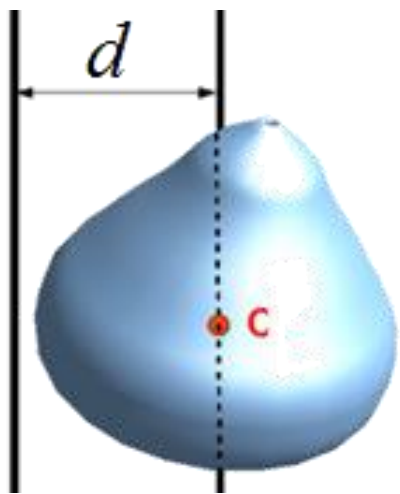
маса є інваріантом, і не залежить від того, як тіло рухається. Момент інерції змінюється при зміні положення осі обертання або її напрямлення у просторі.

Моменти інерції деяких тіл

Шар	Тонкостінна сфера	Однорідний стержень	Диск	Диск
 $I = \frac{2}{5} mr^2$	 $I = \frac{2}{3} mr^2$	 $I = \frac{1}{12} ml^2$	 $I = \frac{1}{2} mr^2$	 $I = \frac{1}{4} mr^2$
Однорідна пластинка	Однорідний циліндр	Товстостінний циліндр	Тонкостінний циліндр	Довільне тіло
 $I = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$	 $I = \frac{1}{2} mr^2$	 $I = \frac{1}{2} m(r_1^2 + r_2^2)$	 $I = mr^2$	 $I = \sum m_i r_i^2$

ТЕОРЕМА ШТЕЙНЕРА

Теорема про перенесення осей інерції (Штейнера): момент інерції твердого тіла відносно довільної осі I дорівнює сумі момента інерції цього тіла I_0 відносно осі, що проходить через центр мас тіла паралельно осі, яка розглядається, і добутку маси тіла m на квадрат відстані d між осями:



$$I = I_0 + md^2$$

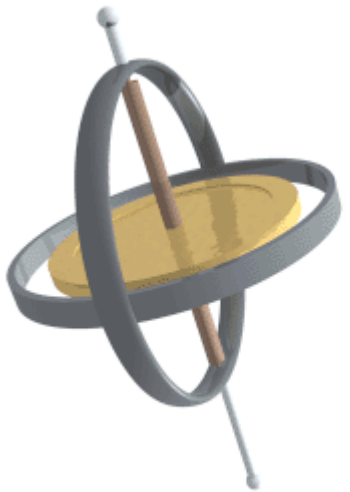
Застосування теореми Штейнера:

Задача. Визначити момент інерції однорідного стержня довжиною l відносно осі, що проходить через один із його кінців перпендикулярно стержню.

Розв'язок. Центр мас однорідного стержня розміщений посередині, тому момент інерції стержня відносно осі, що проходить через один із його кінців, дорівнює:

$$I = \frac{1}{12} ml^2 + m \left(\frac{l}{2} \right)^2 = \frac{1}{3} ml^2.$$

Кінетична енергія обертання



$$E_{об} = \frac{I\omega^2}{2}$$

$$E_{к} = \frac{mv^2}{2}$$

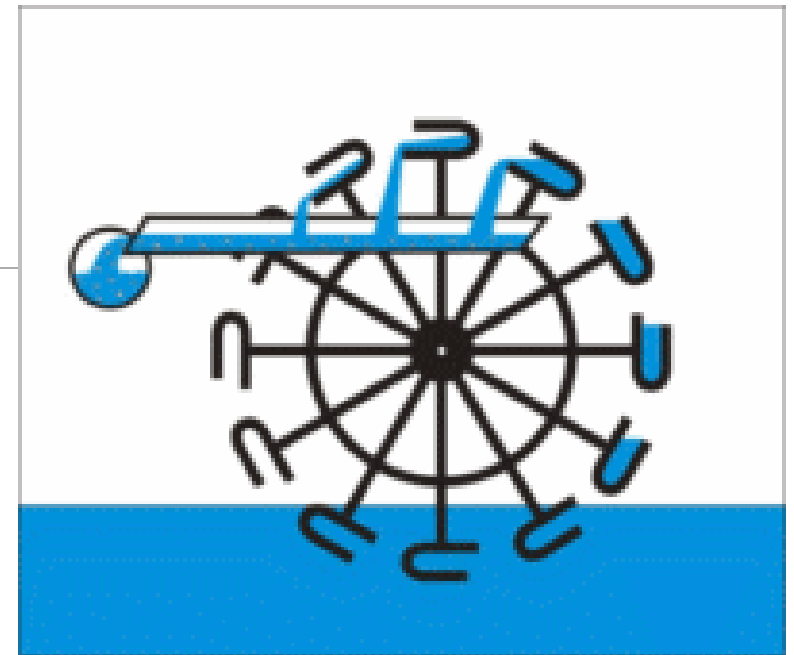
Закон збереження моменту імпульсу в механіці

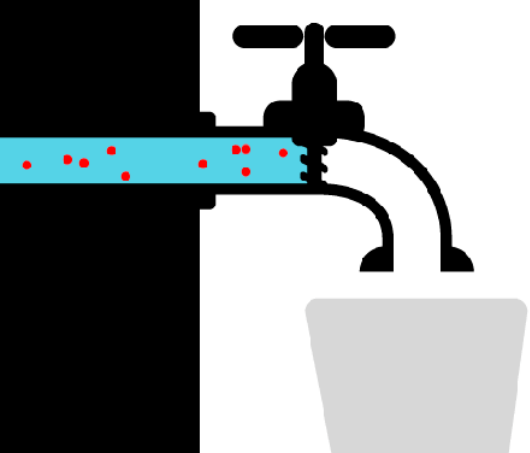
для замкненої системи момент імпульсу відносно нерухомої точки не змінюється з часом

Дійсно, для замкненої системи маємо $M=0$, отже $M \cdot dt$,
звідки

$$\begin{aligned}d(I \cdot \omega) &= 0; \\ I \cdot \omega &= \text{const.}\end{aligned}$$

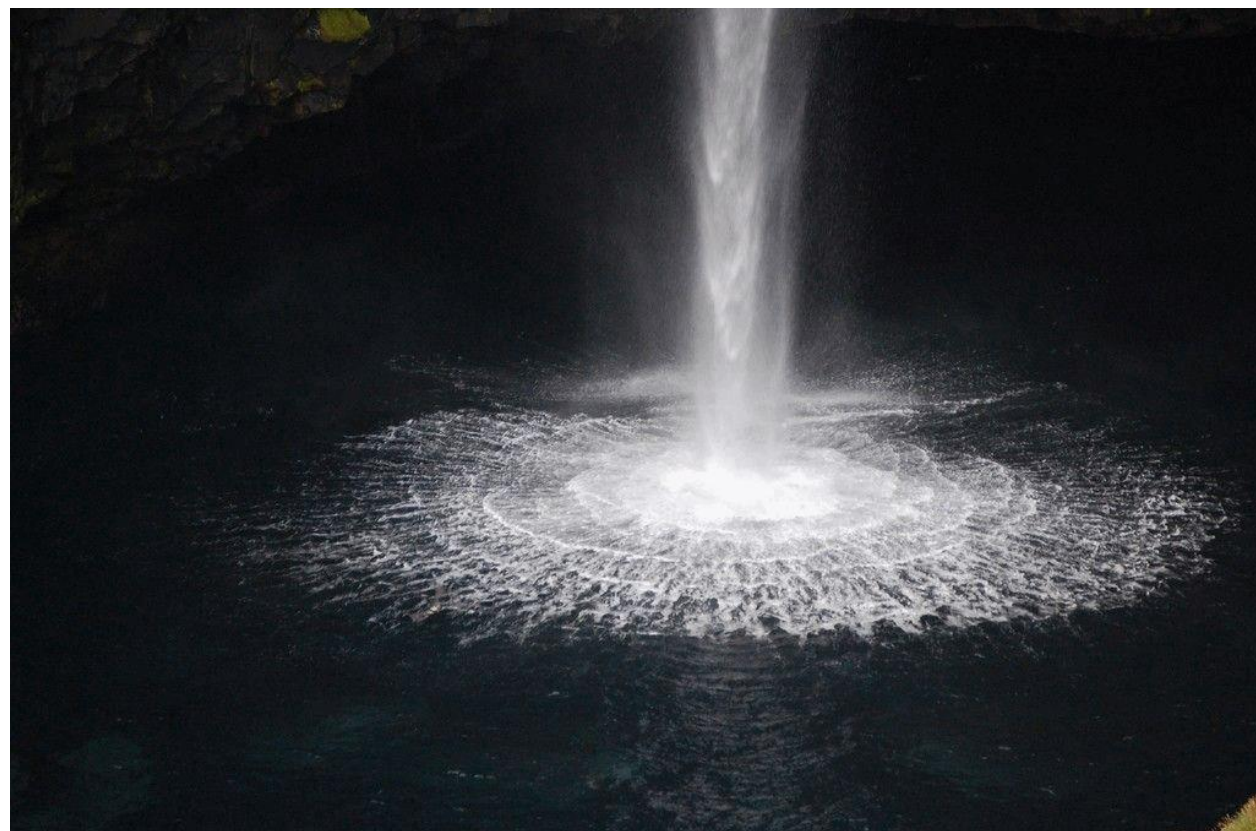
ОСНОВИ ГІДРОДИНАМІКИ



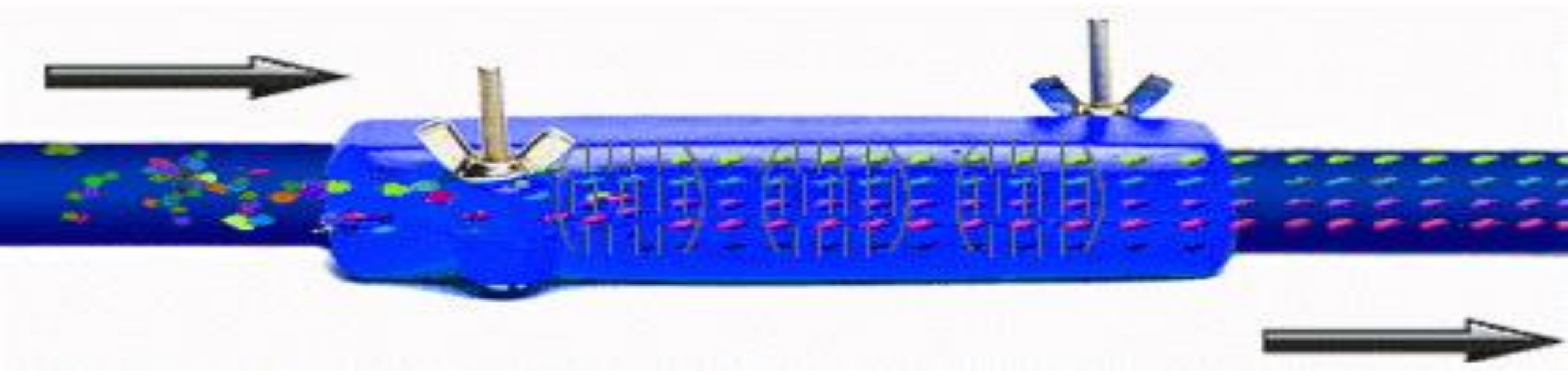


Гідродинаміка

розділ фізики, що вивчає рух рідин, їх взаємодію між собою та твердими тілами, які вони обтікають.



РУХ ІДЕАЛЬНОЇ РІДИНИ



Основні визначення



Ідеальною вважається рідина, в якій відсутні сили тертя (в'язкості) та яка нестислива.

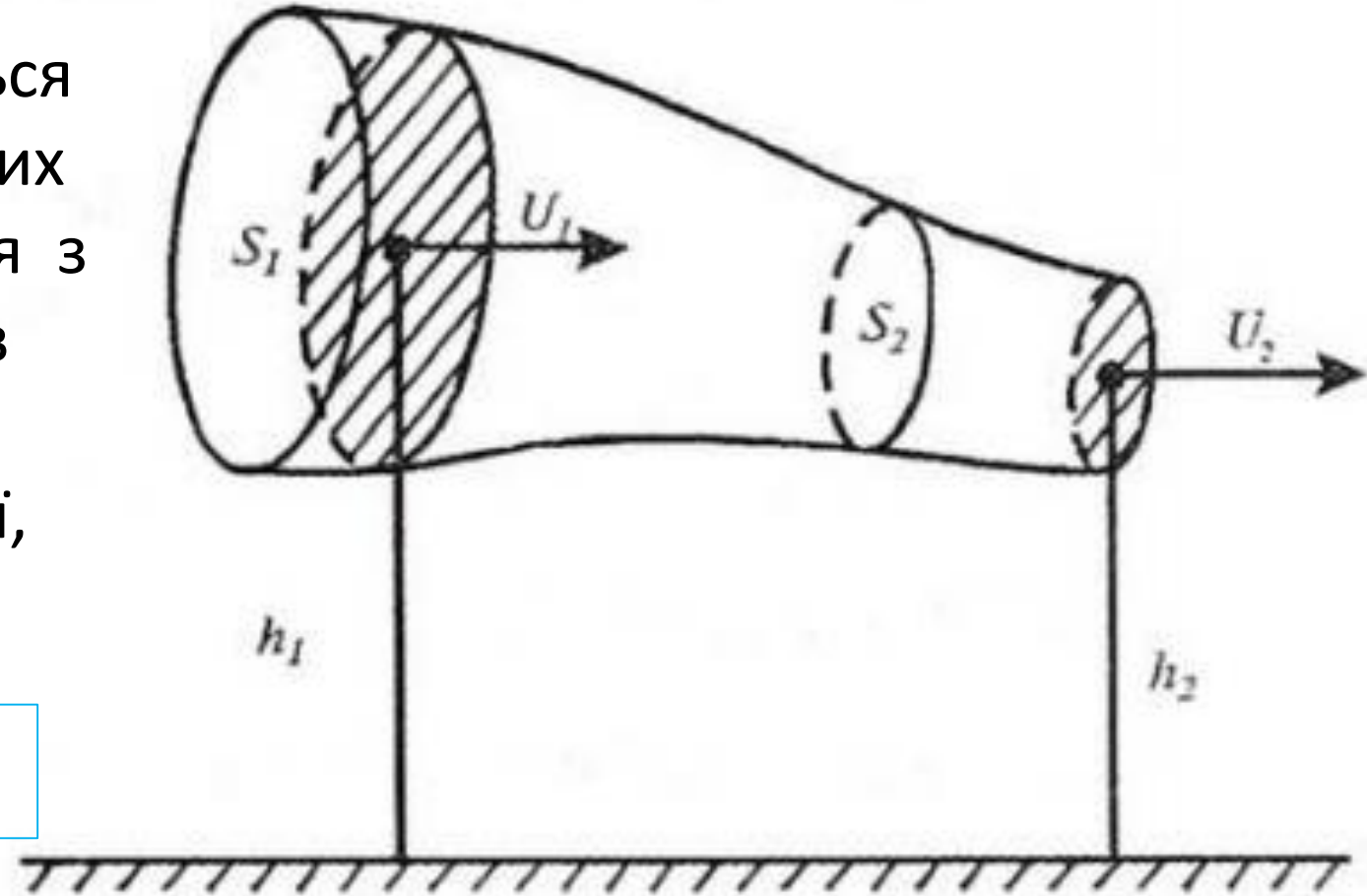
Нестисливою називають рідину, густина якої є стала.

Течією називають рух рідини, а потоком - саму рідину, що рухається. Якщо швидкість руху рідини в кожній точці об'єму не змінюється з часом, такий рух рідини називається стаціонарним.

Розглянемо трубку течії змінного перерізу

Графічно рух рідини зображується за допомогою ліній течії - таких ліній, дотичні до яких збігаються з напрямками вектору швидкості в даній точці потоку. Частина рідини, обмежена лініями течії, називається трубкою течії.

$$S_1 V_1 = S_2 V_2 = \dots = S_n V_n = \text{const}$$



Рівняння нерозривності потоку

при стаціонарній течії рідини добуток швидкості течії рідини на поперечний переріз трубки течії є величиною сталою

$$S \cdot V = \text{const}$$

$$S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2,$$
$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right) = \left(\frac{S_2}{S_1} \right),$$
$$S = \frac{\text{const}}{V}.$$

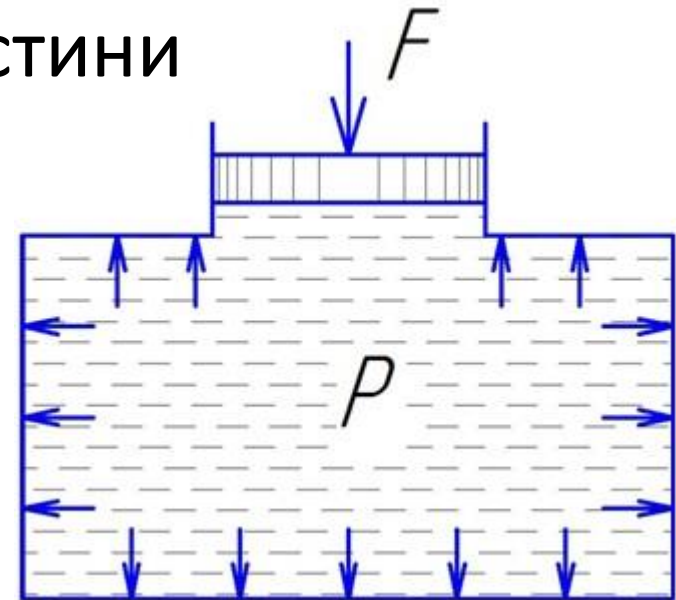


Тиск

Тиск p - скалярна величина, що вимірюється відношенням суми сил F , що діють перпендикулярно на будь-яку частину поверхні, до площі S цієї частини

$$p = \frac{F}{S}.$$

Одиниця вимірювання тиску — $\text{Па} = \text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$



Рівняння Бернуллі

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho \cdot V^2}{2} = const$$

в стаціонарному потоці повний тиск, що складається з статичного, гідростатичного та динамічного тисків, є величиною сталою для будь-яких перерізів потоку

p **статичний тиск**, тобто тиск, який утворює рідина на поверхні тіла, яке вона обтікає

$\rho \cdot g \cdot h$ **гідростатичний тиск** викликаний вагою рідини

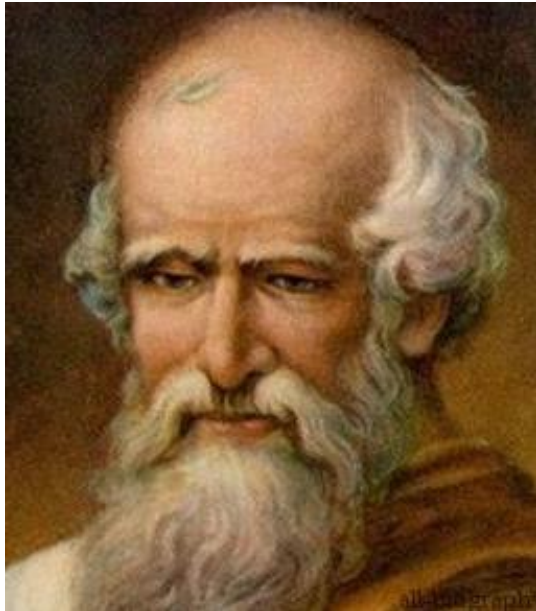
$\frac{\rho \cdot V^2}{2}$ **динамічний тиск**, зумовлений рухом рідини

Для горизонтально розміщеної трубки рівняння Бернуллі має вигляд:

$$p + \frac{\rho \cdot V^2}{2} = const$$

повна енергія одиниці об'єму ідеальної рідини в будь-якому перерізі потоку є величиною сталою

Закон Архімеда



Архімед
(287 до н.э. – 212 до н.э.) –
давньогрецький фізик,
математик, механік.

на тіло занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, що дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі, витісненому цим тілом.

$$F_A = \rho_p g V_T$$

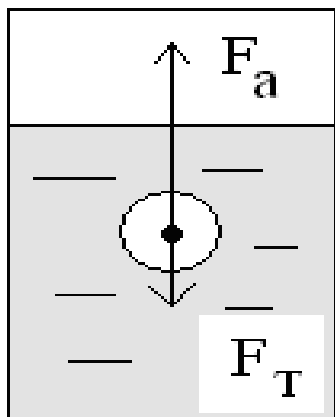
Умови плавання тіл

1. тіло спливає

$$F_A > F_T$$

$$F_A = \rho_p g V_T$$
$$F_T = m_T g = \rho_T g V_T$$
$$\rho_p g V_T > \rho_T g V_T$$

$$\rho_p > \rho_T$$

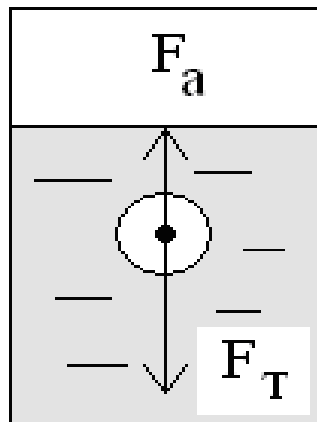


2. тіло тоне

$$F_A < F_T$$

$$F_A = \rho_p g V_T$$
$$F_T = m_T g = \rho_T g V_T$$
$$\rho_p g V_T < \rho_T g V_T$$

$$\rho_p < \rho_T$$

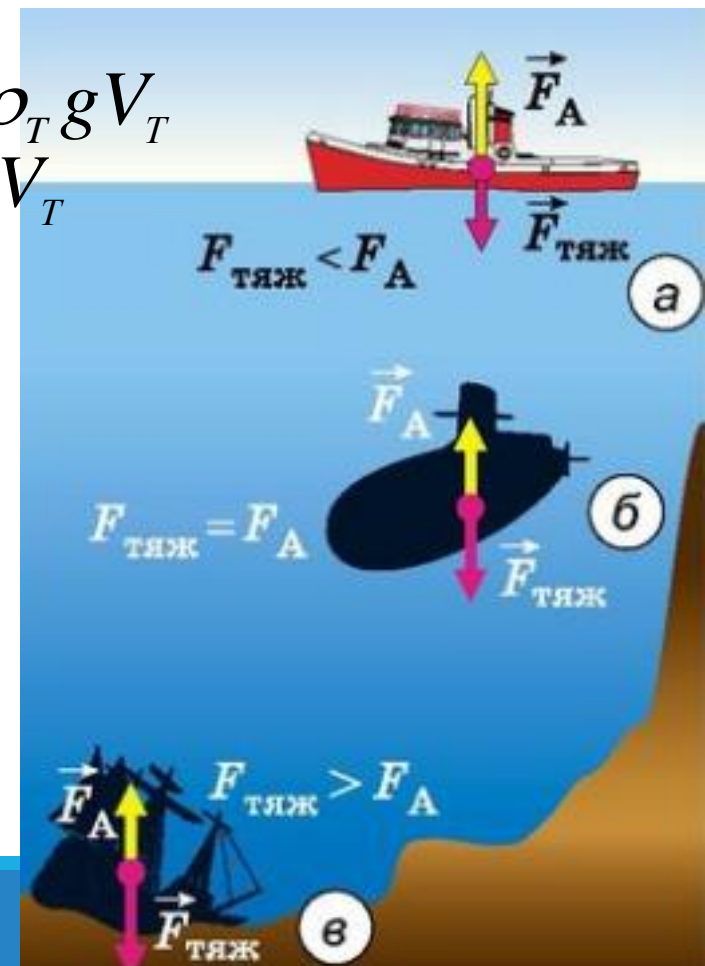
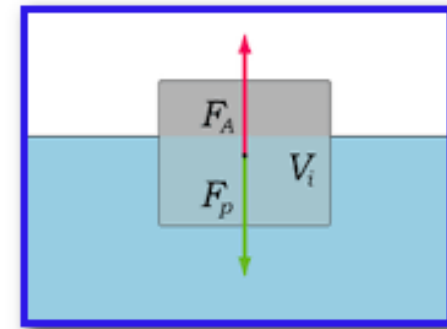
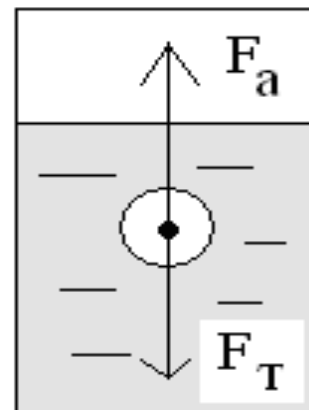


3. тіло плаває в будь-якому місці рідини (газу)

$$F_A = F_T$$

$$F_A = \rho_p g V_T$$
$$F_T = m_T g = \rho_T g V_T$$
$$\rho_p g V_T = \rho_T g V_T$$

$$\rho_p = \rho_T$$





РУХ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ

Рівняння Ньютона для в'язкої рідини

тангенціальна сила F , що викликає зсув шарів рідини один відносно одного, пропорційна площі S шару, по якому відбувається зсув, та градієнту швидкості течії

$$F = \pm \eta S \frac{dv}{dx}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta x}$$

- градієнт швидкості течії

η - коефіцієнт динамічної в'язкості.

Він характеризує опір рідини зміщенню її шарів.

Фізичний зміст коефіцієнта в'язкості

коефіцієнт в'язкості чисельно дорівнює силі внутрішнього тертя, що виникає на межі двох шарів одиничної площі при градієнті швидкості рівному одиниці.



Стокс (Stokes)
Джордж
Габриель
1819-1903

Закон Стокса

$$F = 6\pi\eta R V.$$

сила, що діє на тверде тіло сферичної форми радіусом R , яке рухається повільно у в'язкій рідині, пропорційна коефіцієнту в'язкості η рідини, радіусу R і швидкості руху V тіла

В'язкість η виражається в Паскаль-секундах (Па·с):

В'язкість, або внутрішнє тертя

це властивість рідини створювати опір переміщенню одного, шару відносно іншого

Умова для рівномірного руху кульки в рідині

Згідно другого закону Ньютона

векторна сума всіх прикладених до тіла сил чисельно дорівнює добутку маси тіла на його прискорення:

$$\overline{ma} = \overline{F}_T + \overline{F}_{\text{тр}} + \overline{F}_A$$

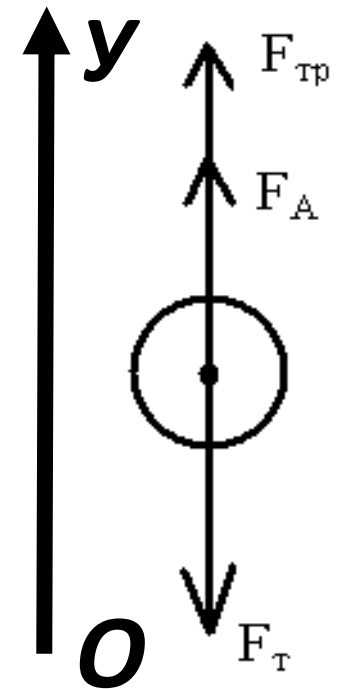
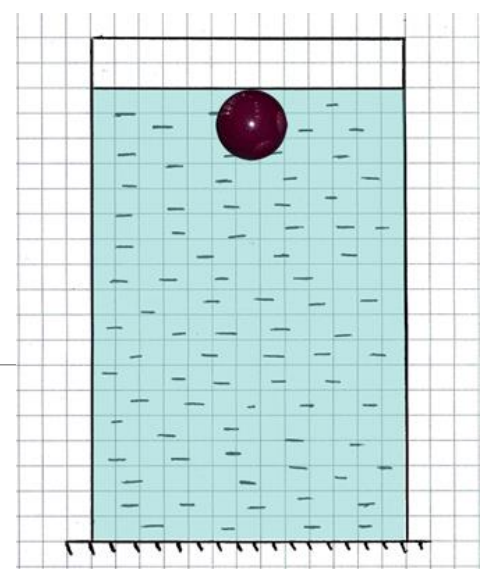
при рівномірному русі $a=0$, відповідно

$$0 = \overline{F}_T + \overline{F}_{\text{тр}} + \overline{F}_A$$

Спроектуємо вектори сили на вісь Oy : $0 = -F_T + F_{\text{тр}} + F_A$

Отже умова для рівномірного руху кульки в рідині:

$$F_T = F_{\text{тр}} + F_A$$



ЛАМІНАРНА І ТУРБУЛЕНТНА ТЕЧІЇ

Течія в'язкої рідини

може бути

Ламінарною

(якщо шари рідини, що рухається, не перемішуються)

Турбулентною

(при перемішуванні шарів)

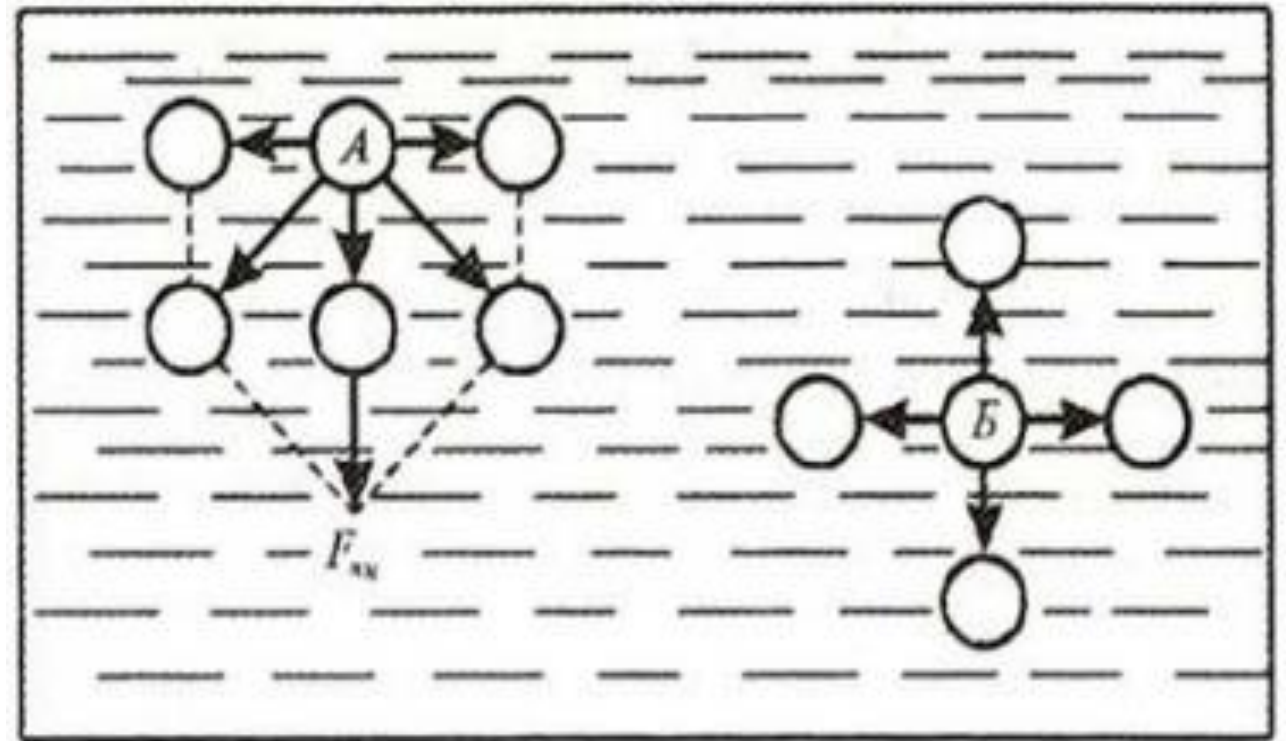
Режим течії рідини характеризується числом Рейнольдса,

$$Re = \frac{V \cdot \rho \cdot D}{\eta}$$

де η - в'язкість рідини,
 ρ - густина рідини,
 D - діаметр трубки.



Внутрішній тиск рідини

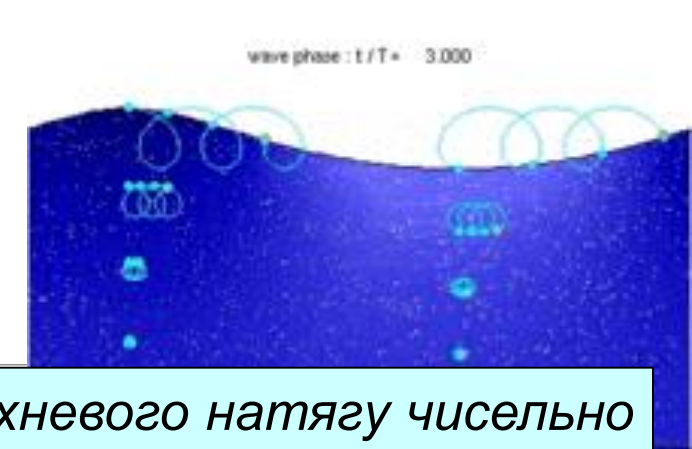


Результуюча всіх сил молекулярного притягання діючих на одиницю поверхні, називається молекулярним або внутрішнім тиском.

ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ

де σ – коефіцієнт пропорційності, що називається коефіцієнтом поверхневого натягу, чи просто поверхневим натягом.

$$\Delta A = \sigma \cdot \Delta S$$



Фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу. Коефіцієнт поверхневого натягу чисельно дорівнює роботі, яку потрібно виконати для збільшення поверхні рідини на одиницю.

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad \Delta S = 1, \sigma \approx \Delta A$$

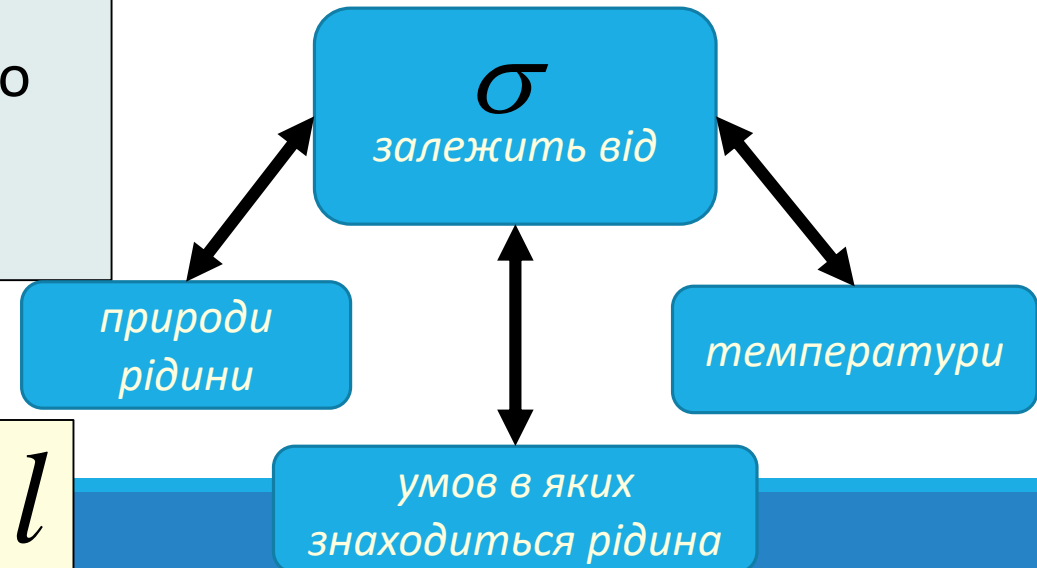
В системі СІ поверхневий натяг вимірюється в Дж/м² чи Н/м.

Напружений стан поверхневого шару рідини називається **поверхневим натягом**.

Результуюча дій сил, що направлені до середини рідини, еквівалентна дії деякої сили, перпендикулярної до контура, що обмежує поверхню рідини і направлена по дотичній до поверхні рідини називається **силою поверхневого натягу**.

Під силою поверхневого натягу F розуміють суму сил притягання, що діють на контур, який обмежує поверхню рідини

$$F = \sigma \cdot l$$

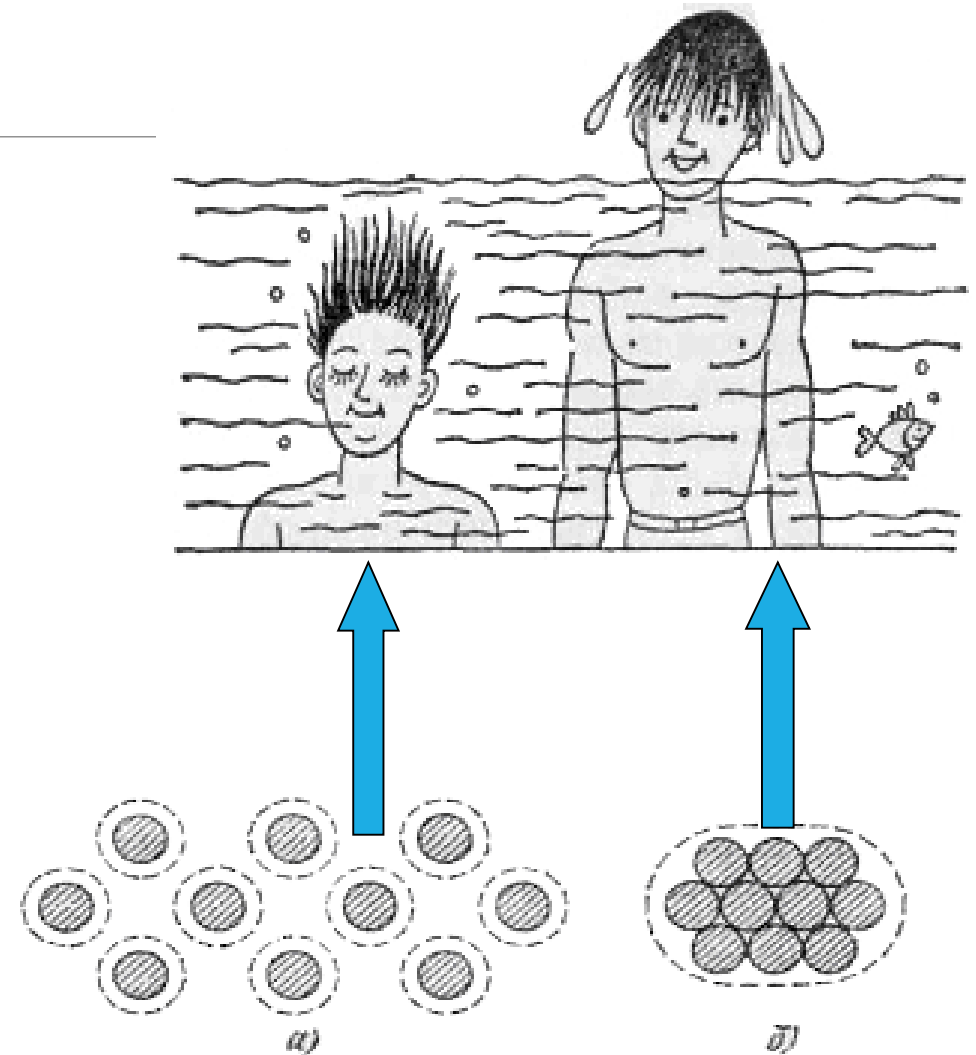


Особливі властивості поверхневого шару рідини

Заштрихованні круги зображують переріз волосини, а штрихова лінія зображує водяну плівку, що оточує її:

а) якщо волосся розпушене, поверхня плівки велика.

б) якщо волосся злиплося поверхня плівки мала



КАПІЛЯРНІ ЯВИЩА

Формула Лапласа:

додатковий тиск, викликаний кривизною поверхні рідини,

α - коефіцієнт поверхневого натягу,

R_1 і R_2 - радіуси кривизни

двох взаємно перпендикулярних перерізів
поверхні рідини

$$\Delta p = \pm \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

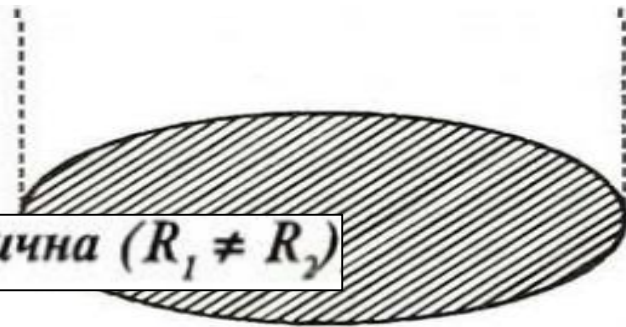
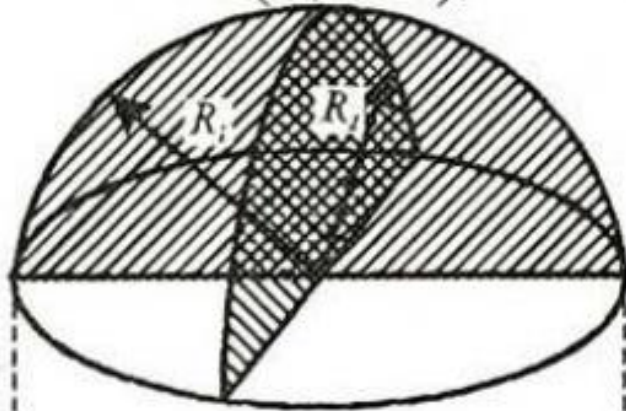
**Додатковий тиск береться зі знаком «+», якщо поверхня опукла,
зі знаком «-»- якщо поверхня угнута.**

У разі **сферичної** поверхні ($R_1 = R_2 = R$) формула Лапласа має вигляд:

$$\Delta p = \pm \frac{2\alpha}{R}$$

Форма меніска в капілярі

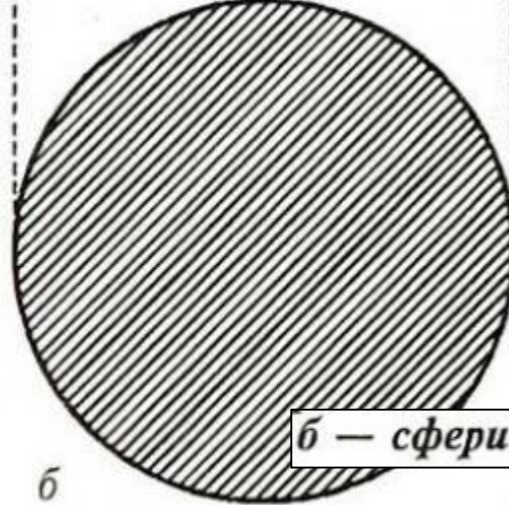
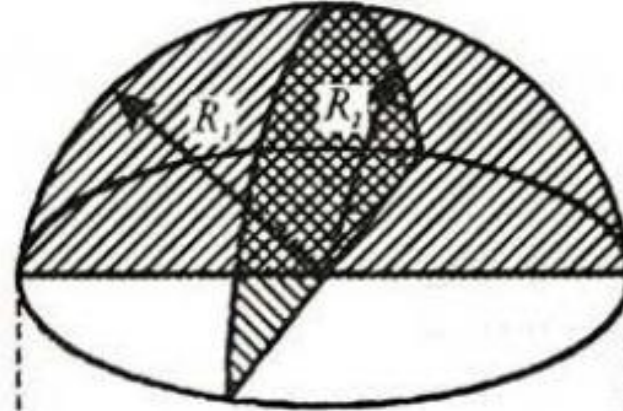
$$\Delta p = \pm \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



a — еліптична ($R_1 \neq R_2$)

a

$$\Delta p = \pm \left(\frac{2\sigma}{R} \right)$$



б — сферична ($R_1 = R_2 = R$) поверхні

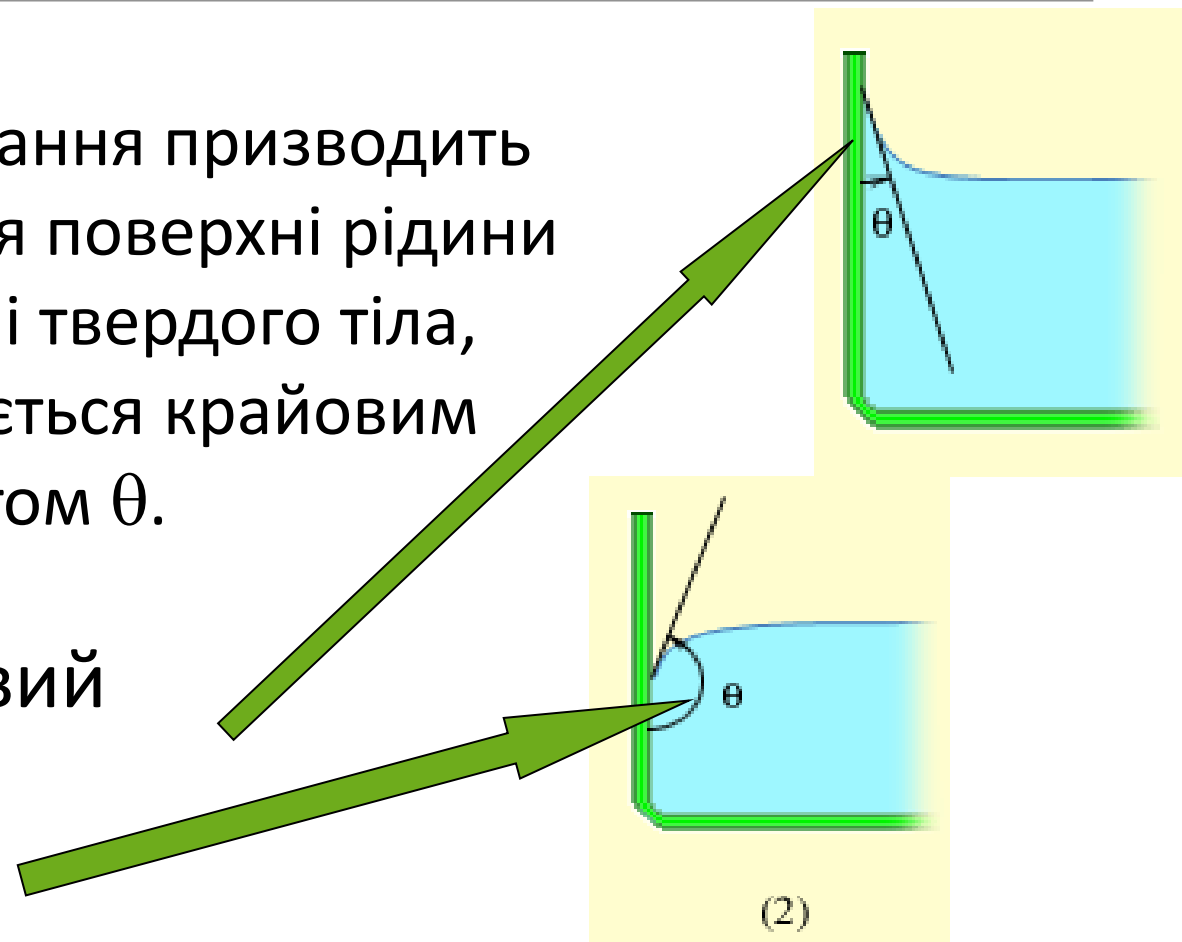
б

Явище змочування. Капілярність



Явище змочування призводить до викривлення поверхні рідини біля поверхні твердого тіла, характеризується крайовим кутом θ .

Для змочувальної рідини крайовий кут гострий:
для незмочувальної — тупий.



Застосування капілярних явищ

В природі явище капілярності відіграє як корисну, так і шкідливу роль

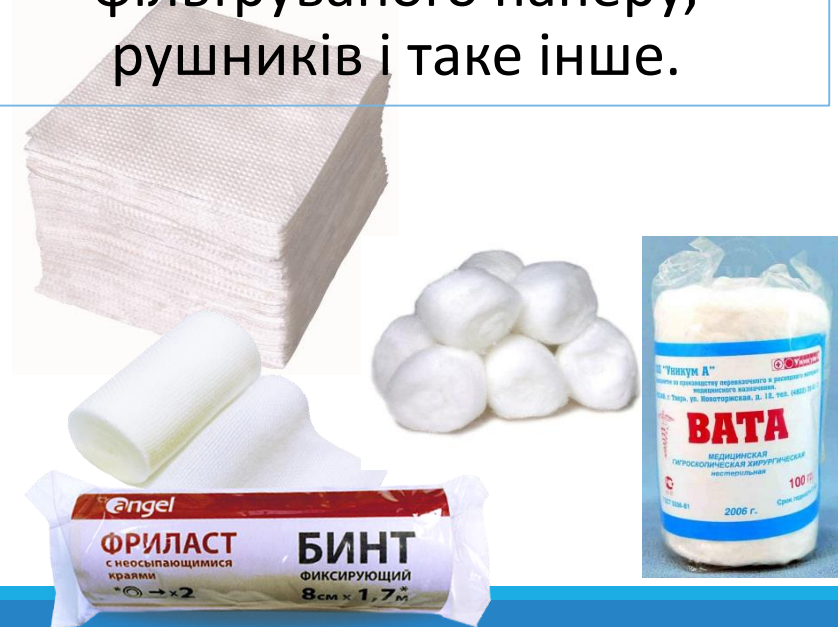
Живлення рослин, дерев водою з ґрунту і розчиненими в ній солями відбувається за рахунок повітряних проміжків в ґрунті, пор в деревині і рослині, які відіграють роль капілярів.



Зрихлена земля має мало пор і втримує вологу, а втоптана земля випаровує і втрачає вологу через капілярність.



На явищі капілярності заснована дія різних перев'язочних матеріалів, бинтів, вати, серветок, фільтрованого паперу, рушників і таке інше.

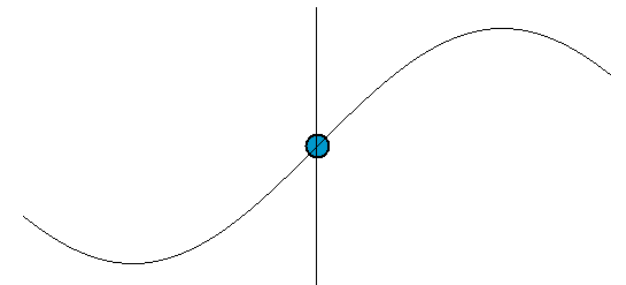


Завдання для самостійного опрацювання

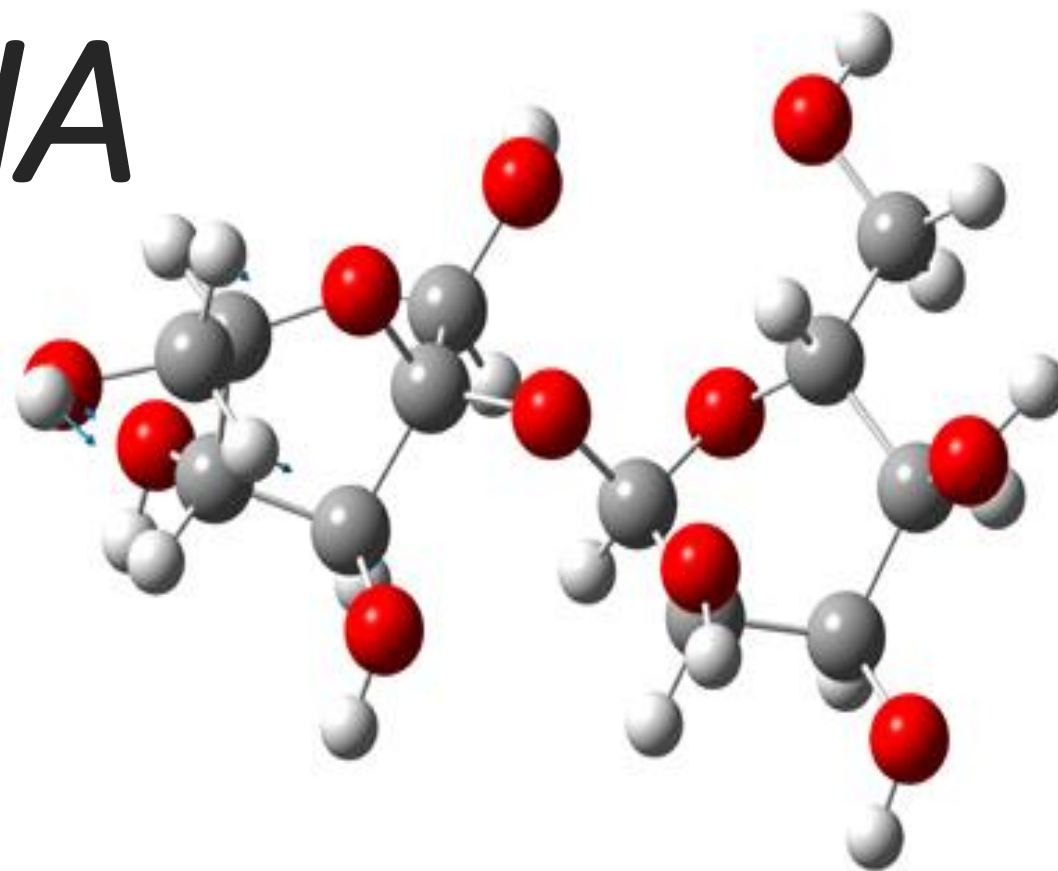
КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ



1. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ
2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАРМОНІЧНОГО КОЛИВАННЯ
3. ЕНЕРГІЯ МЕХАНІЧНИХ ГАРМОНІЧНИХ КОЛИВАНЬ
4. ЗГАСАЮЧІ КОЛИВАННЯ
5. ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ
6. БІЖУЧА ХВИЛЯ
7. СТОЯЧА ХВИЛЯ
8. КОЛИВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ В БІОЛОГІЇ

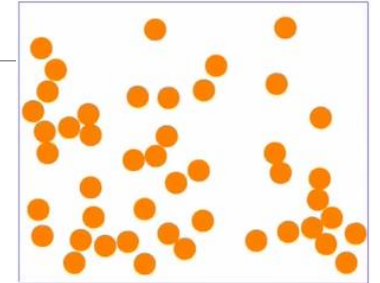


МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА



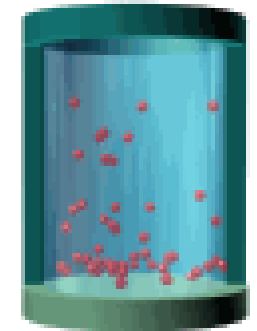
Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ)

❖ Всі тіла складаються з частинок між якими є відстань.

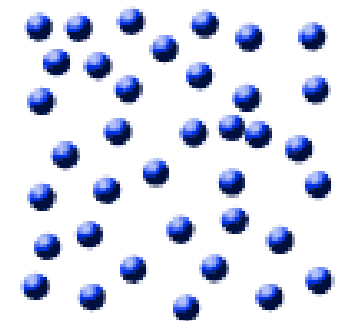


❖ Частинки неперервно хаотично рухаються

$$E_{K0} = \frac{m_0 v_0^2}{2}$$



❖ Частинки взаємодіють між собою з силою взаємного притягання і відштовхування. Мають потенціальну енергію.



Кількість речовини. Число Авогадро

Число Авогадро — кількість структурних одиниць (атомів, молекул або інших) в одному молі

$$v = \frac{N}{N_A}$$

$$v = \frac{m}{M}$$

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



Амедео Авогадро
1776—1856

$$N_A = 6.022140857(74) \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Макросистема і мікросистема

Макросистема

- це самі тіла в рідкому, газоподібному, твердому станах



газоподібний,



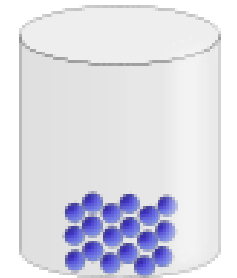
рідкий,



твердий стан

Мікросистема

– це частинки з яких складаються тіла



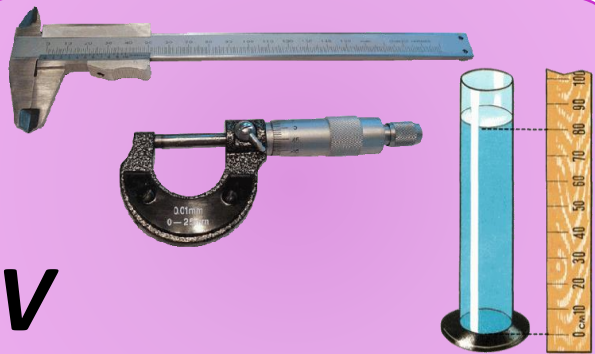
газоподібний, рідкий, твердий стан

Стан макросистеми залежить від стану мікросистеми

Макро- і мікропараметри

Макропараметри

- це параметри, які можна виміряти, за допомогою фізичних приладів



t^0



m



P



Мікропараметри

- це параметри, які можна обчислити за допомогою формул

m_0

маса
молекули

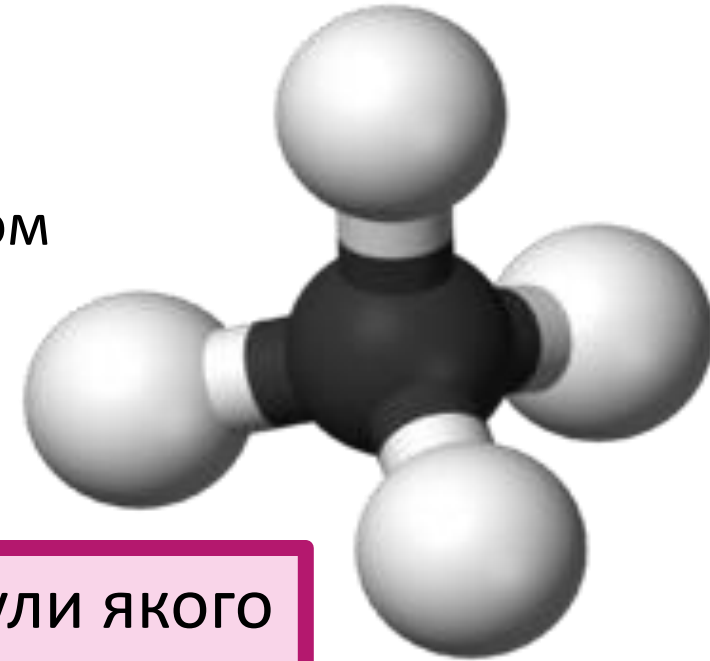
v_0

швидкість
молекули

Ідеальний газ

- це спрощена модель реального газу, в якій допускається наступне:

- число молекул велике і розміри молекул набагато менші за відстані між ними;
- молекули підпорядковуються законам руху Ньютона, але індивідуальні молекули рухаються хаотично;
- зіткнення молекул між собою і зі стінками посудини абсолютно пружні;
- сили взаємодії між молекулами газу відсутні, крім протягом зіткнень;
- газ складається з ідентичних молекул;
- газ перебуває в тепловій рівновазі зі стінками посудини.

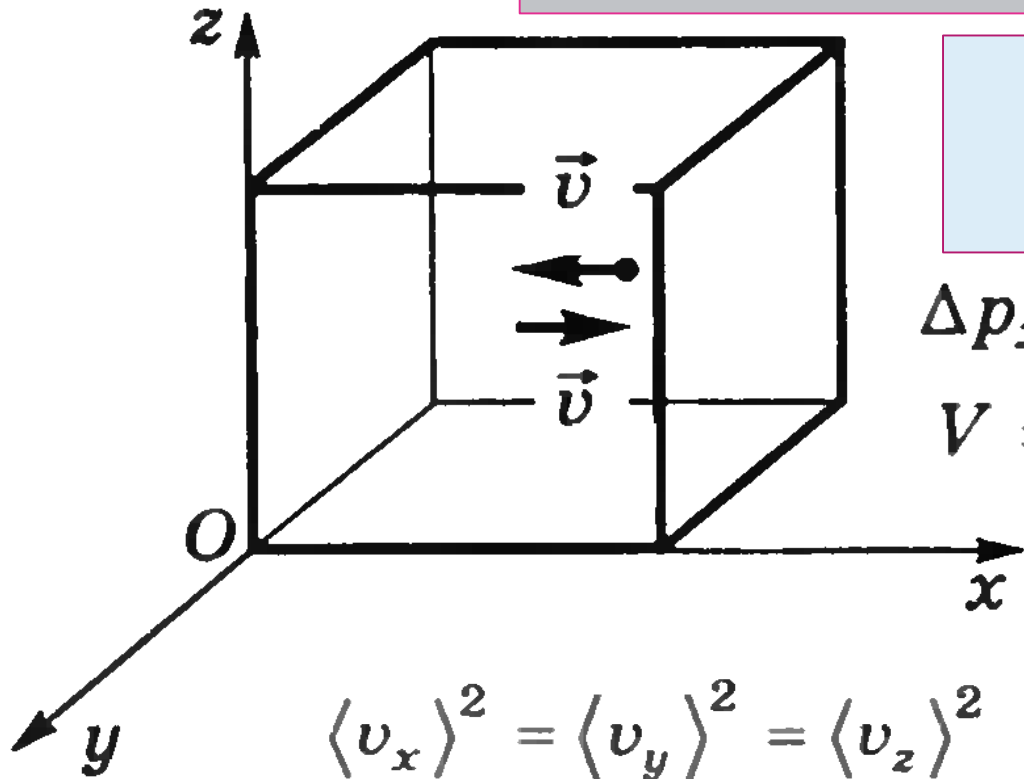


Ідеальний газ - фізична модель реального газу, молекули якого знаходяться на великих відстанях один від одного, тому їх можна прийняти за матеріальні точки, а взаємодію знехтувати

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії (МКТ)

$$P = \frac{1}{3} n \cdot m_0 \cdot v_0^2$$

дає можливість розрахувати тиск газів



Вздовж осі ОХ 1/3 молекул.

В одному напрямку 1/6 молекул.

$$\Delta p_x = m_0 v_x - (-m_0 v_x) = 2m_0 v_x \rightarrow F_1 \Delta t = 2m_0 v_x$$

$$V = Sl = Sv_x \Delta t \rightarrow N = \frac{nV}{2}$$

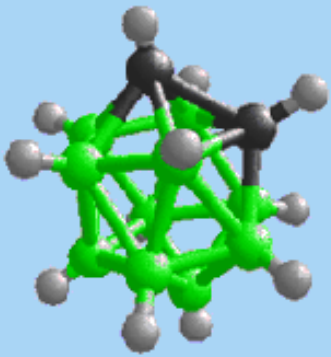
$$\text{За час } \Delta t \text{ об стінку вдариться } \rightarrow N = \frac{nSv_x \Delta t}{2}$$

$$\langle F \rangle = N \cdot \frac{2m_0 v_x}{\Delta t} = \frac{nSv_x \Delta t}{2} \cdot \frac{2m_0 v_x}{\Delta t} = nSv_x^2 m_0$$

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle$$

$$\langle v^2 \rangle = \langle v_x^2 \rangle + \langle v_y^2 \rangle + \langle v_z^2 \rangle = 3\langle v_x^2 \rangle \text{ и } \langle v_x^2 \rangle = \frac{\langle v^2 \rangle}{3}$$

$$p = \frac{\langle F \rangle}{S} = \frac{1}{3} nm_0 \langle v^2 \rangle$$



Основне рівняння МКТ з урахуванням кінетичної енергії

$$P = \frac{1}{3} n \cdot m_0 \cdot \vec{V}_0^2$$

$$P = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m_0 \vec{V}_0^2}{2}$$

$$P = \frac{2}{3} n E_{K0}$$

$$E_{K0} = \frac{m_0 \vec{V}_0^2}{2}$$

$$P \leftrightarrow E_{K0}$$

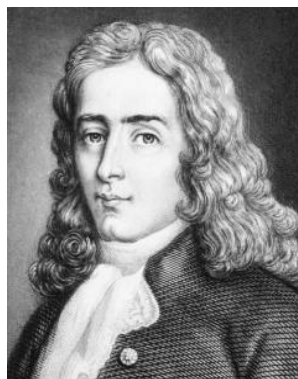
Температурні шкали

Шкала Цельсія
1742



Цельсій Андерс
(1701-1744),
шведський
астроном і фізик

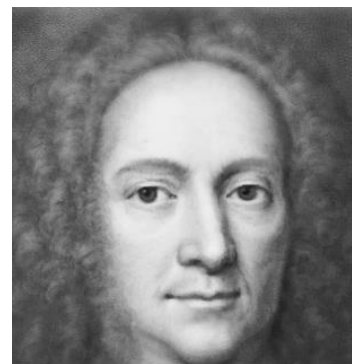
Шкала
Реомюра
1730



**Реомюр
Рене Антуан**
(1683-1757),
французький
природодослідник

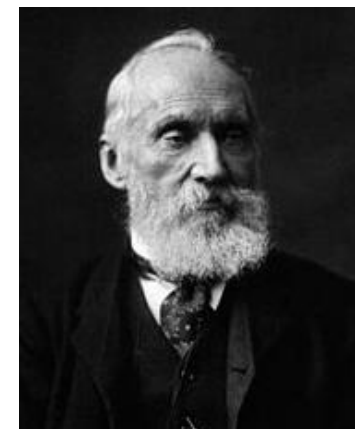


Шкала
Фаренгейта
1724

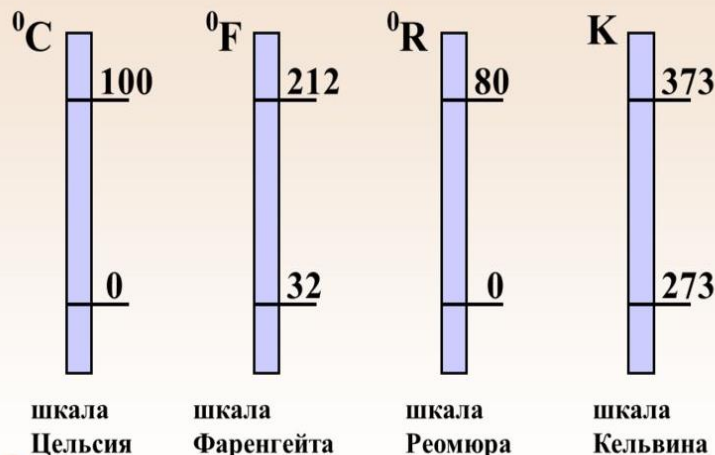


**Фаренгейт
Габріель
Даніель**
(1686-1736),
німецький фізик.

Шкала Кельвіна
1848

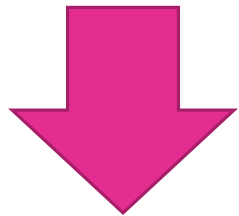
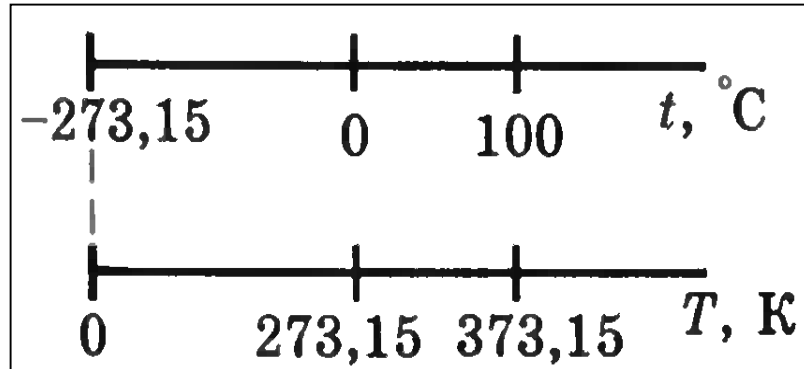
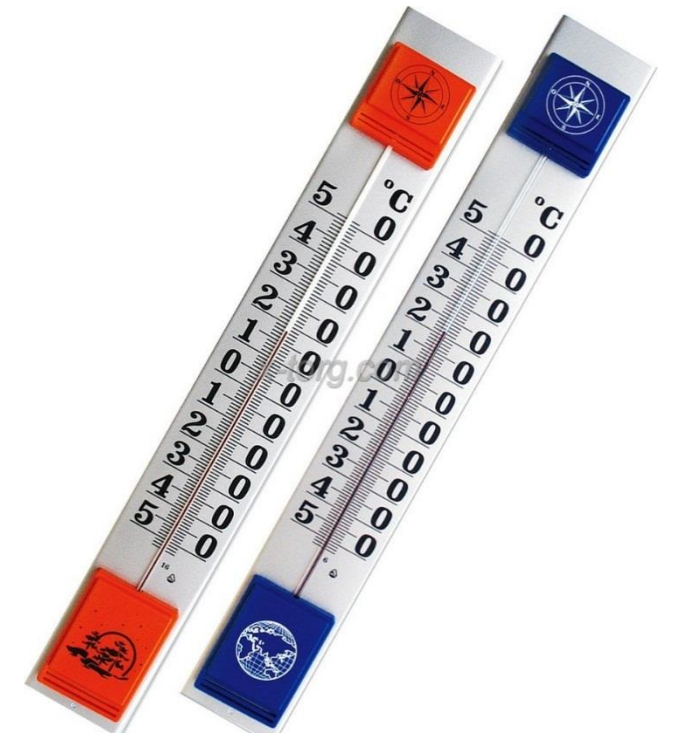


Томсон Уільям
(з 1892 року за
наукові досягнення
одержав титул
барона Кельвіна)
(1824-1907),
англійський фізик

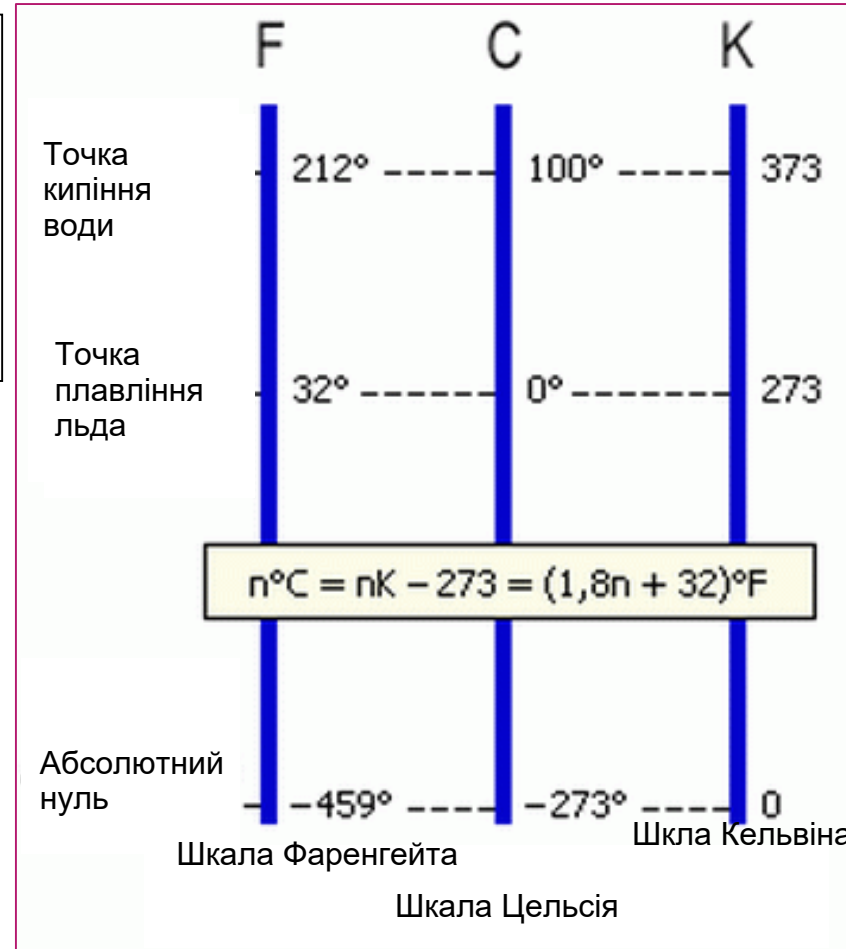


Графічне порівняння температурних шкал, що використовуються в науці

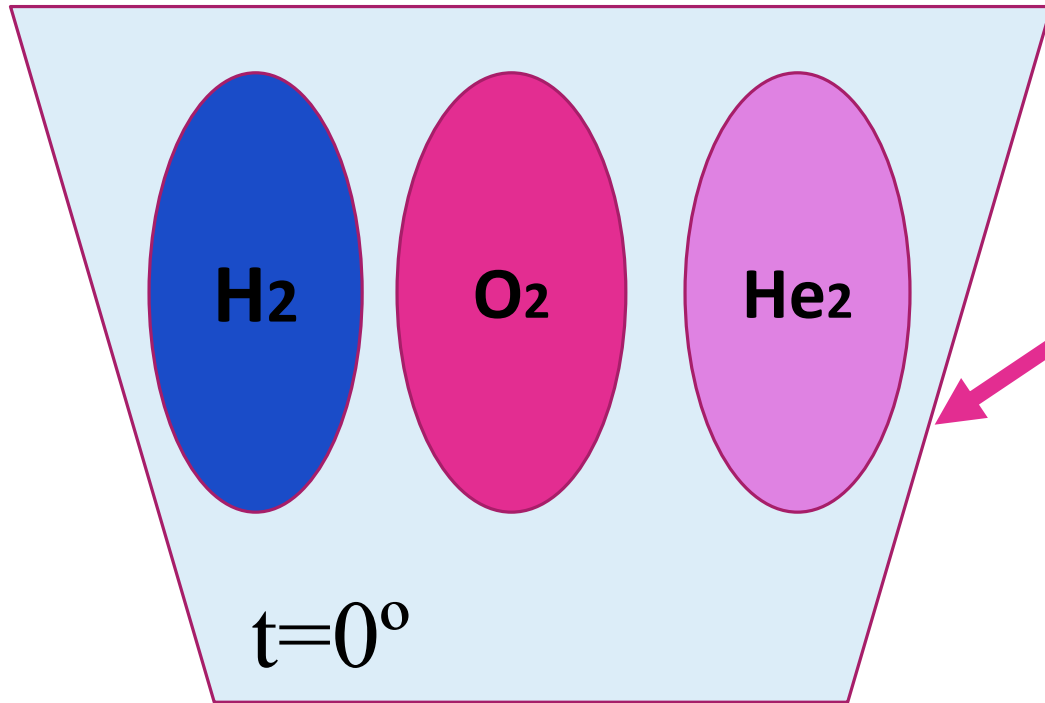
Температура – ступінь нагрітості тіла



$$T = t + 273$$



Дослід Больцмана



Через деякий час в результаті термодинамічної рівноваги, всі балони будуть мати однакову температуру

$$\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = \frac{m}{M} \cdot N_A$$
$$\frac{P_1 V_1}{N_1} = \frac{P_2 V_2}{N_2} = \frac{P_3 V_3}{N_3} = Q_1$$



Людвиг Эдвард
БОЛЬЦМАН
(1844-1906)

$$P = nkT$$

Рівняння Больцмана

$$Q = kT$$

$$\frac{PV}{N} = kT$$

$$PV = NkT$$

$$P = \frac{N}{V} kT$$

$$P = nkT$$

$t=0^\circ$

$$\frac{P_1 V_1}{N_1} = \frac{P_2 V_2}{N_2} = \frac{P_3 V_3}{N_3} = Q_1$$

$t=100^\circ$

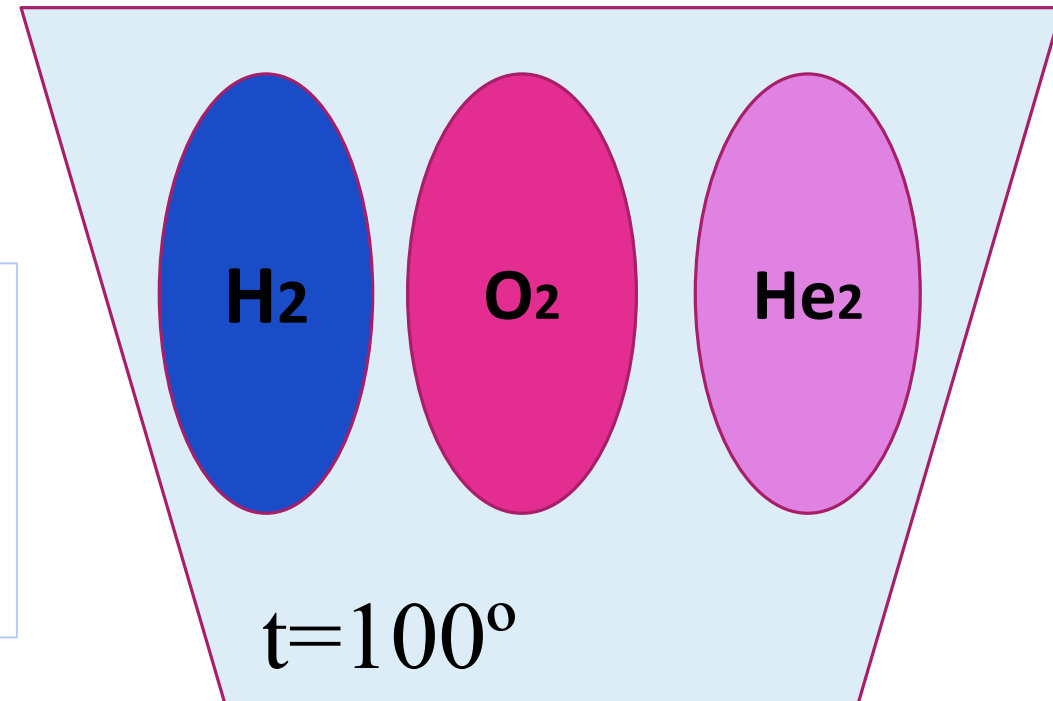
$$\frac{P_1 V_1}{N_1} = \frac{P_2 V_2}{N_2} = \frac{P_3 V_3}{N_3} = Q_2$$

$$Q_2 - Q_1 \sim (t_2 - t_1)$$

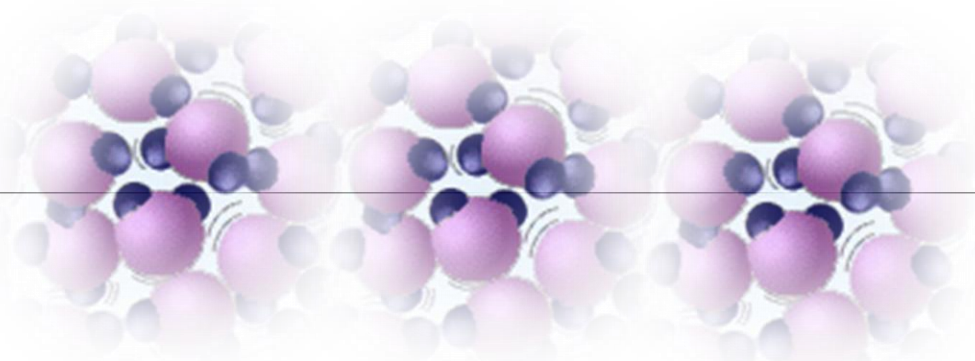
$$Q_2 - Q_1 = k(t_2 - t_1)$$

$$k = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж / К}$$



Середньо-квадратична швидкість молекули

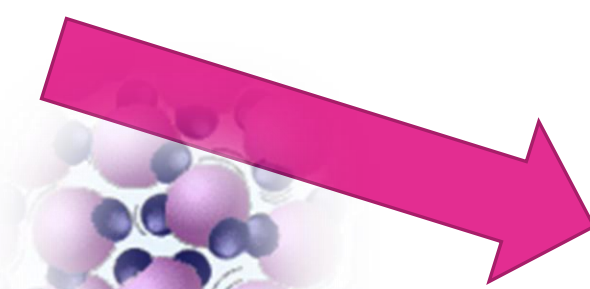


$$\langle W_{\text{к}} \rangle = \frac{3}{2} kT$$

$$\langle W_{\text{к}} \rangle = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2}$$

$$\frac{3}{2} kT = \frac{m_0 v^2}{2}$$

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$



$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона)

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

$$P = nkT$$

$$n = \frac{N}{V} \quad N = \frac{m}{M} N_A$$

$$P = \frac{\frac{m}{M} N_A}{V} kT$$

$$PV = \frac{m}{M} N_A kT$$

$$R = N_A k = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

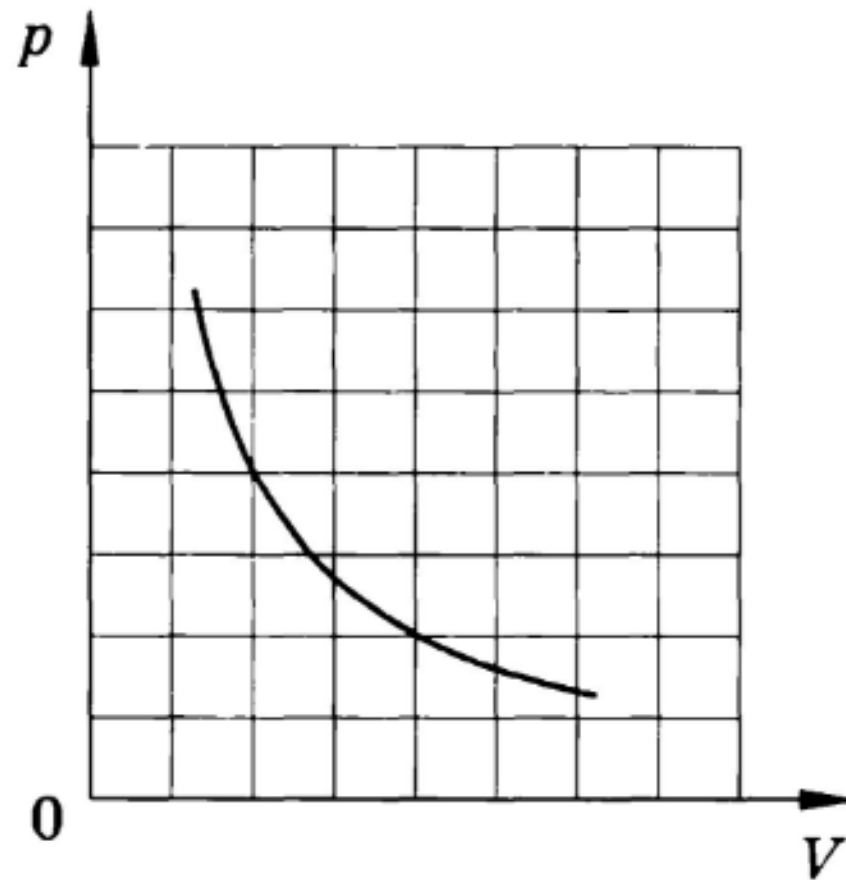
R - універсальна
газова стала

рівняння
Менделєєва-
Клапейрона

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

Рівняння стану
ідеального газу

ИЗОПРОЦЕСИ



Ізопроцеси


це процеси, при яких один з параметрів стану (p , V або T) залишається сталим, а два інших змінюються при незмінній масі.

Дослідні газові закони



$$PV = \frac{m}{M} RT = \text{const}$$

$$\frac{PV}{T} = \frac{mR}{M} = \text{const}$$

$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$


Ізотермічний

Ізобарний

Ізохорний

Ізотермічний процес

Закон Бойля-Маріотта

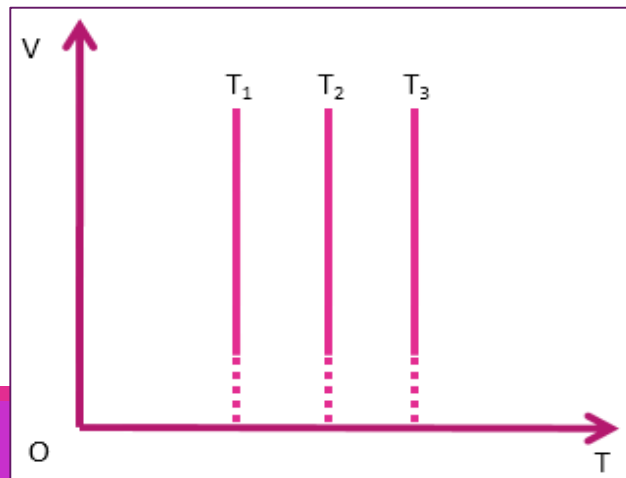
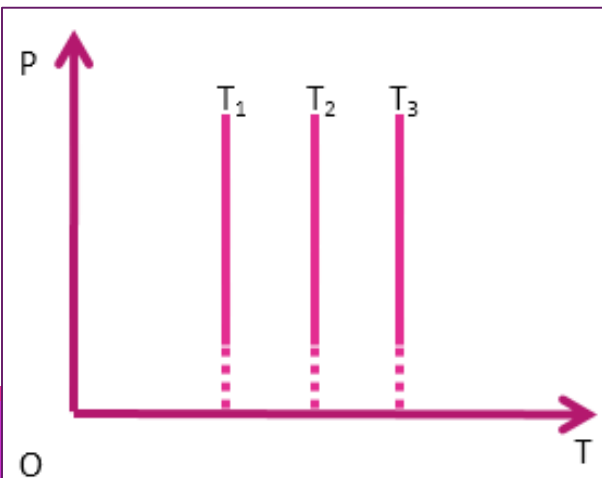
$$T = \text{const}$$
$$m = \text{const}$$

Ізотермічний процес – процес зміни стану макроскопічної системи мікроскопічних тіл, що відбувається за сталої температури

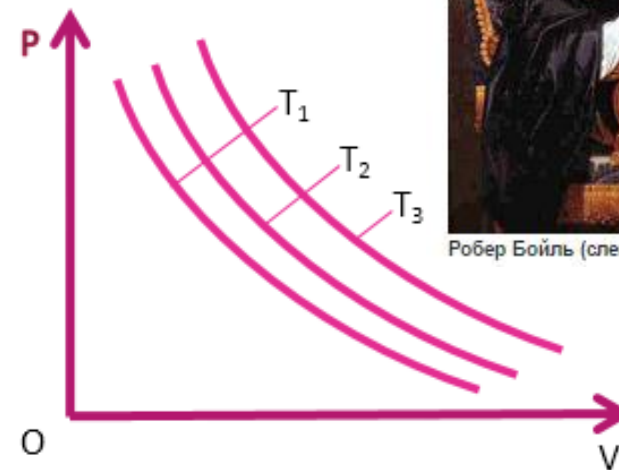
Закон Бойля-Маріотта.

Добуток тиску даної маси газу на об'єм, що його займає газ за сталої температури, є величиною сталою

$$pV = \text{const}$$



Роберт Бойль (слева, 1627-1691, англичанин) и Эдм Мариотт (1620-1684, француз)



Чим вища температура, за якої відбувається процес, тим вище розташована ізотерма ($T_1 < T_2 < T_3$)

Ізобарний процес Закон Гей-Люссака

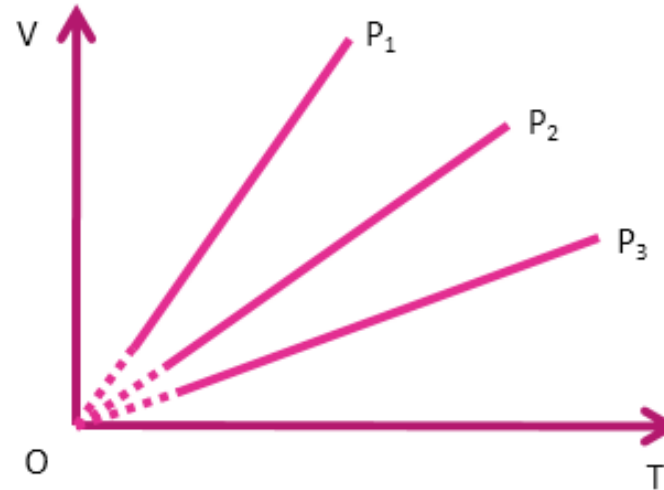
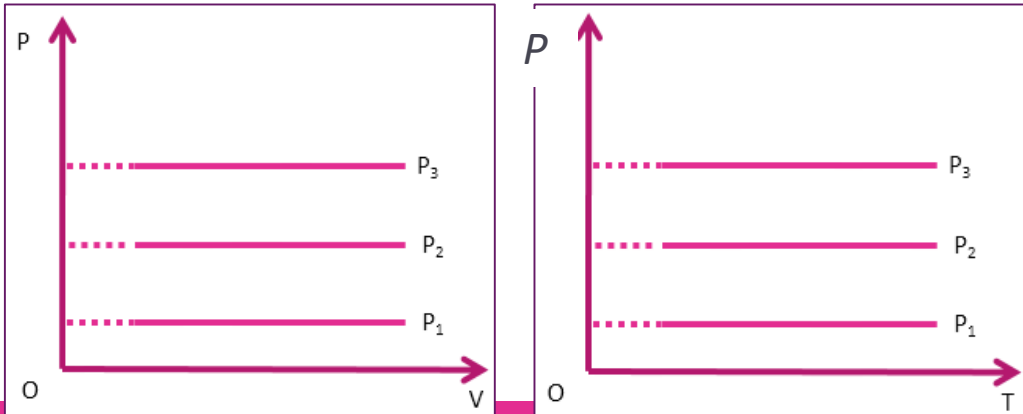
$$p = \text{const}$$
$$m = \text{const}$$

Ізобарний процес – процес зміни стану макроскопічної системи мікроскопічних тіл, що відбувається за сталого тиску

Закон Гей-Люссака.

За незмінної маси газу і сталого тиску об'єм газу прямопропорційний абсолютній температурі

$$V/T = \text{const}$$



Французький хімік і фізик **Жозеф-Луї Гей-Люссак** 18 ст.

Чим більший тиск, тим менший кут нахилу ізобари до горизонтальної осі ($P_1 < P_2 < P_3$)

Закон Ж.Шарля

Ізохорний процес

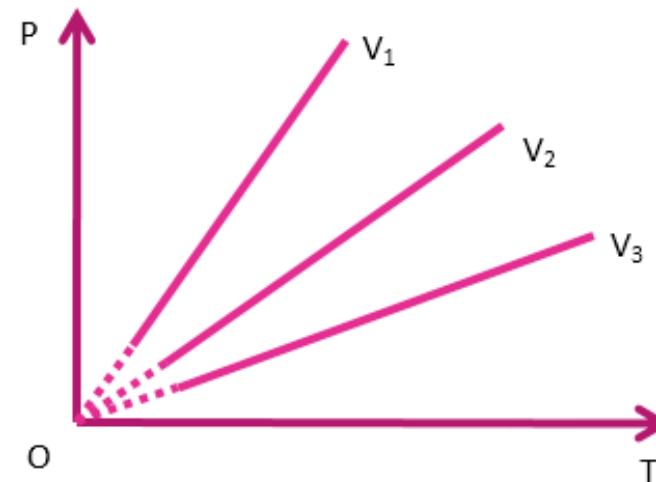
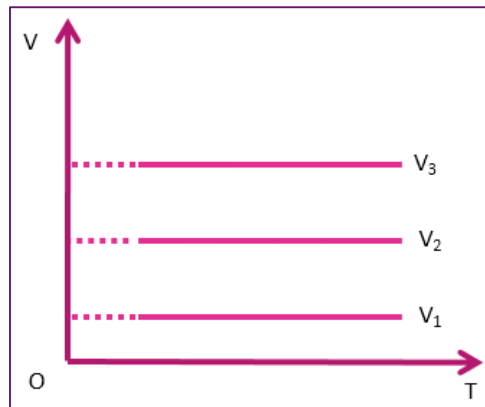
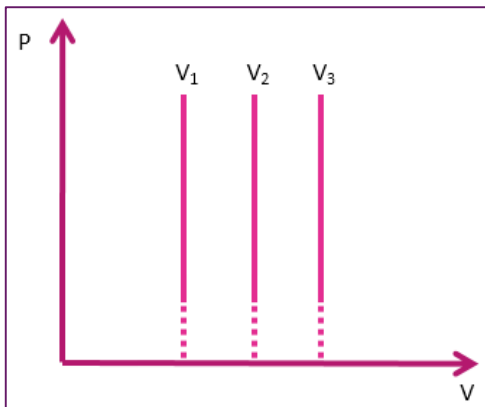
$$V = \text{const}$$
$$m = \text{const}$$

Ізохорний процес – процес зміни стану макроскопічної системи мікроскопічних тіл, що відбувається за сталого об'єму.

Закон Ж.Шарля

За сталого об'єму тиск газу прямо пропорційний його абсолютній температурі

$$P/T = \text{const}$$

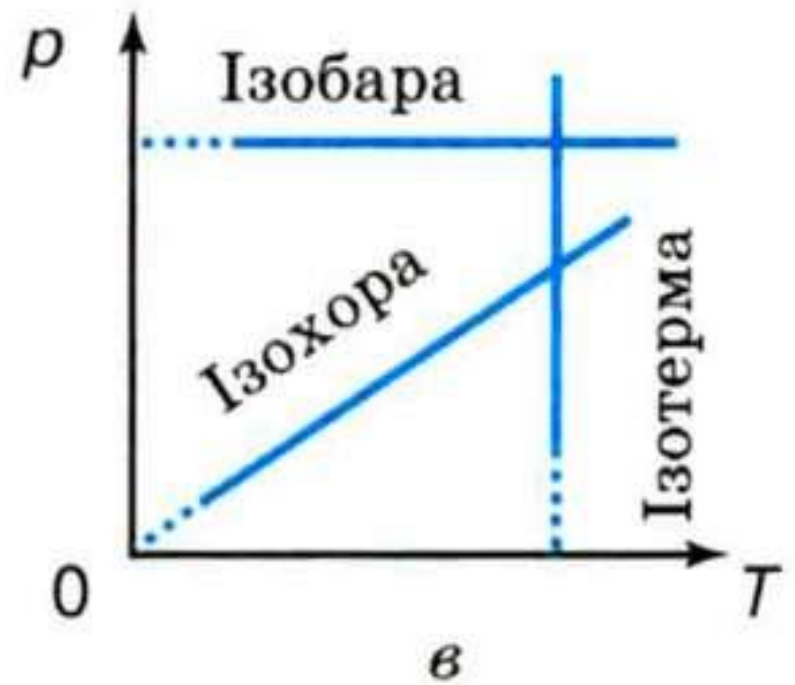
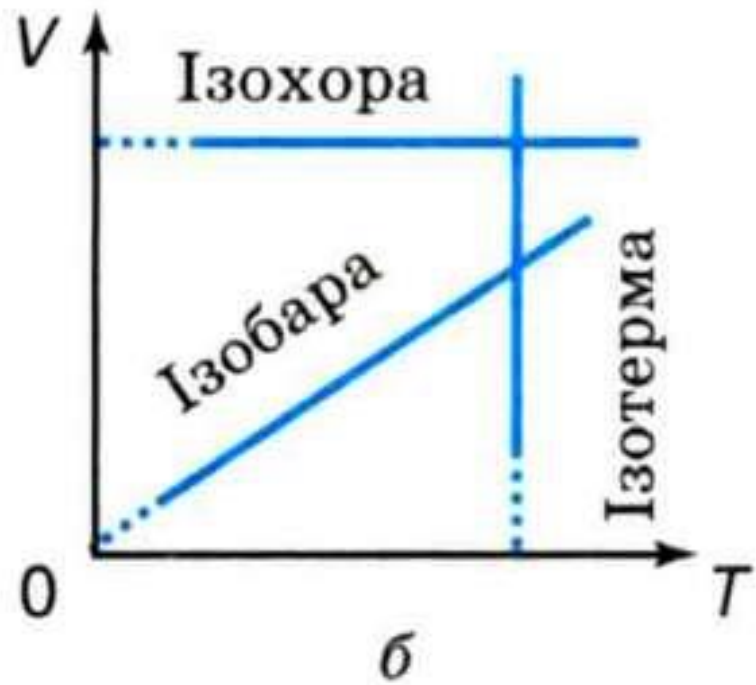
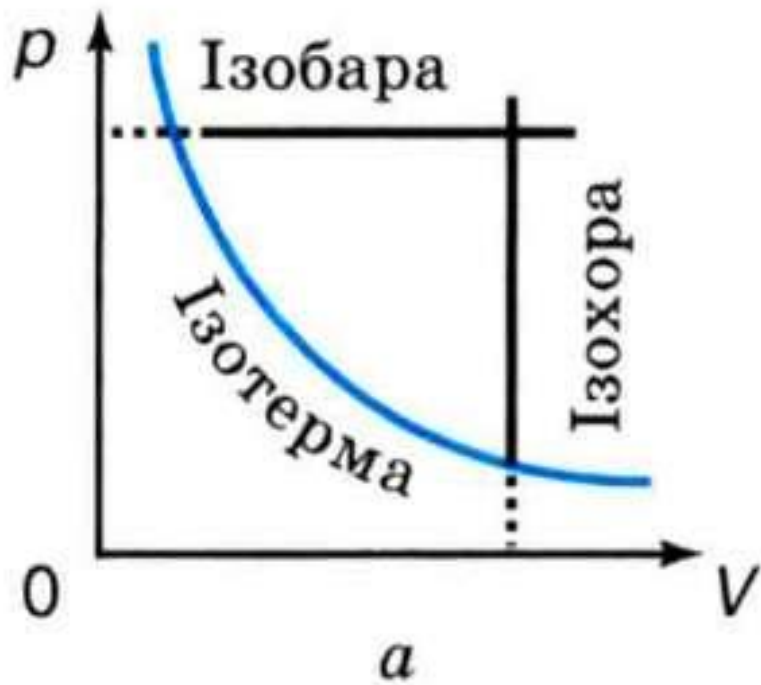


Чим менший об'єм газу, тим менший кут нахилу ізохори до осі температур ($V_1 < V_2 < V_3$)



Жак Александр Сезар Шарль (1746–1823) – французький фізик

Узагальнені графіки



Адіабатичний процес

процес, який відбувається без теплообміну із навколишнім середовищем. Система не може віддавати кількість теплоти.

$$Q=0$$

Q-кількість теплоти

ВИПАРОВУВАННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЯ



ВИПАРОВУВАННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЯ

Процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний називають **пароутворенням**, перехід з газоподібного стану в рідкий, - **конденсацією**.

Для перетворення рідини в пару потрібно надати певну кількість теплоти, яку називають теплотою пароутворення, що визначається за виразом:

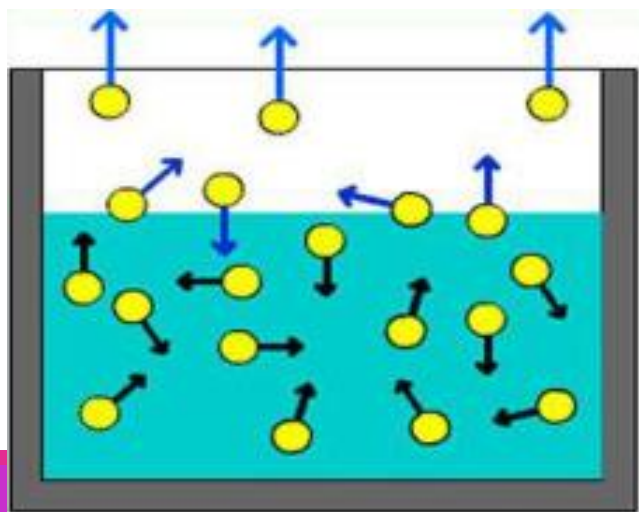
$$Q = r m,$$

де r - питома теплота пароутворення, m - маса тіла

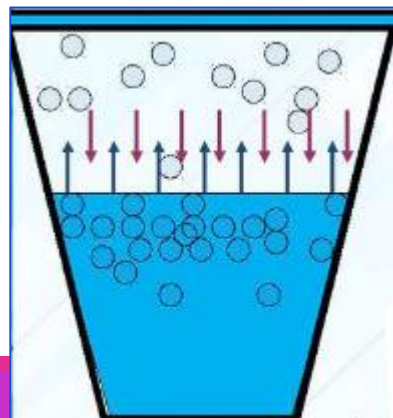


Динамічна рівновага

У відкритій ємності рідини випаровується, доки вся не перетвориться в пару.



Якщо ж рідина міститься в закритій ємності, рано чи пізно настає **динамічна рівновага** - стан, при якому число молекул, що залишають рідину, дорівнює в середньому числу молекул пари, які повернулися за той же час в рідину.





Пароутворення



Пароутворення

випаровування

це пароутворення лише з поверхні рідини, під час якого рідину залишають найшвидші молекули, завдяки чому рідина охолоджується.

t - будь-яка

кипіння

Це пароутворення, що відбувається одночасно як з поверхні, так і з усього об'єму рідини.

$t=100$

Реальний газ. Рівняння Ван-дер-Ваальса

Газ, властивості якого (на відміну від ідеального газу) залежать від взаємодії молекул, називається **реальним**.

$$(p + p')(V - b) = RT.$$

V - об'єм, в якому можуть рухатися молекули

b - об'єм, що займають самі молекули

$p' = \frac{a}{V^2}$ збільшення тиску, де a - константа



Класифікація вологостей повітря

Вологість повітря

Абсолютна вологість «e»

визначається кількістю водяних парів (в грамах), що містяться в 1м³ повітря або пружністю (парціальний тиском) водяної пари.

$$e = E' - A \cdot H (t_1^0 - t_2^0)$$

E' – пружність насиченого пару при температурі навколишнього середовища;
 e – пружність пару, що міститься в повітрі;
 H – атмосферний тиск,
 E – пружність насиченої пари.

Відносна вологість повітря «r»

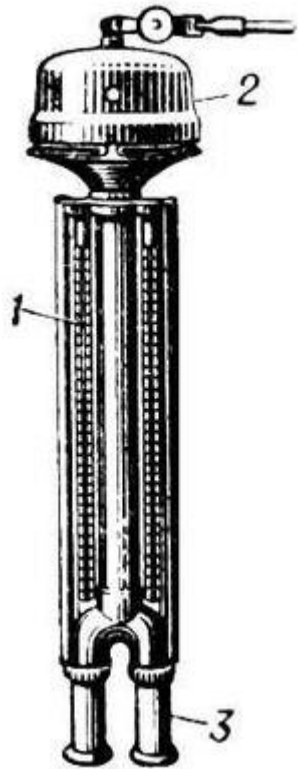
Відносною вологістю повітря «r» є відношення абсолютної вологості до кількості водяної пари, яка насичує 1м³ повітря при даній температурі.

$$r = \frac{e}{E} \times 100\%$$

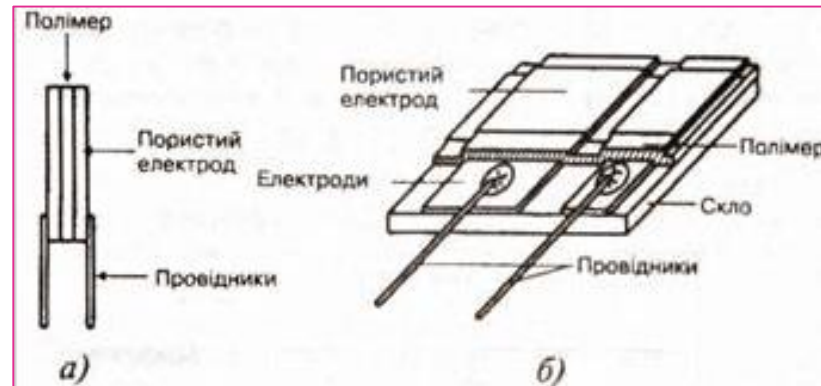
Вологість – це вміст водяної пари у повітрі

Методи вимірювання вологості повітря

Аспіраційний психрометр

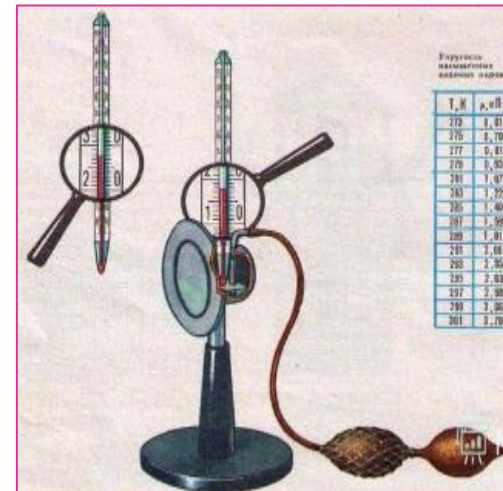


Ємнісний гігрометр



Ємнісний гігрометр:
а – гігроскопічна полімерна плівка з металевими електродами; б – конструкція гігрометра

Конденсаційний гігрометр

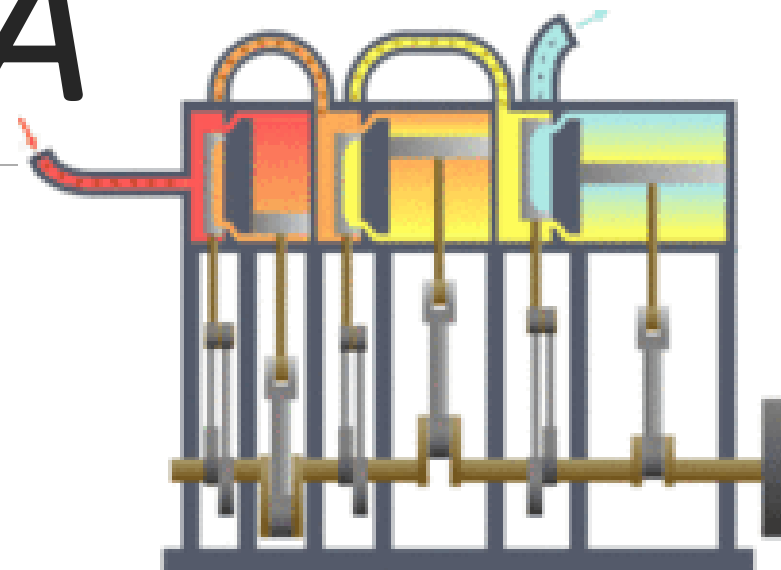


Відношення масових частин води	
T, K	ρ _в , г/л
270	0,81
275	0,78
277	0,81
278	0,83
281	0,87
283	0,92
285	0,96
287	0,99
289	1,01
291	1,04
293	1,06
295	1,08
297	1,09
299	1,10
301	1,11

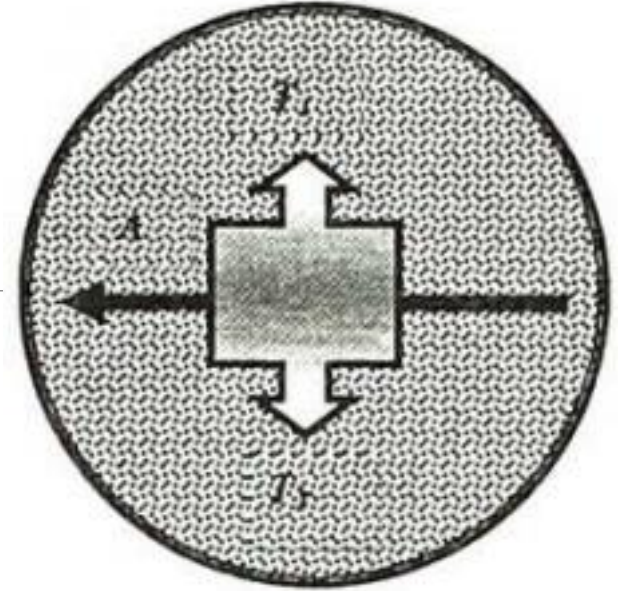
Сорбційний гігрометр

В основу приладу покладено вимірювання залежності електропровідності вологосорбуючої плівки від вологості середовища, яке аналізується. Для цього використовується сіль $LiCl$

ТЕРМОДИНАМІКА



Термодинаміка

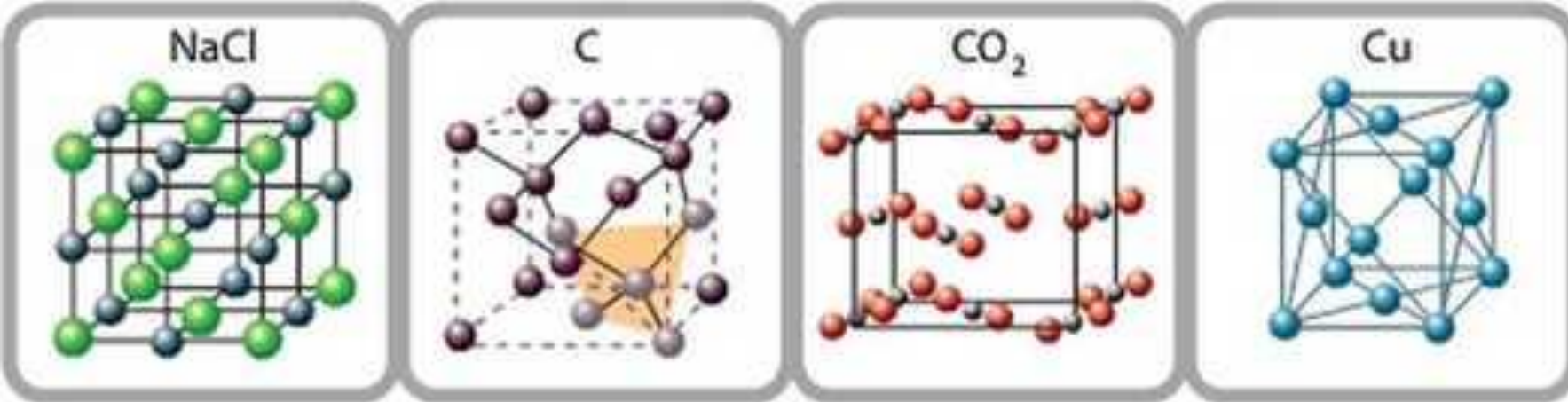


розділ фізики, що вивчає найбільш загальні властивості макроскопічних фізичних систем, які перебувають у стані термодинамічної рівноваги, та процеси переходу між цими системами.

ТЕМПЕРАТУРА І ТЕПЛОВЕ РОЗШИРЕННЯ ТІЛ



Структура кристалічного (твердого) тіла



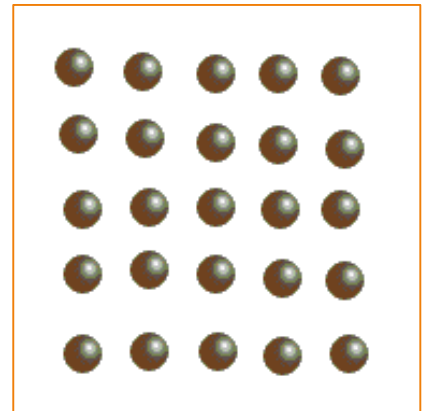
Йонні

Атомні

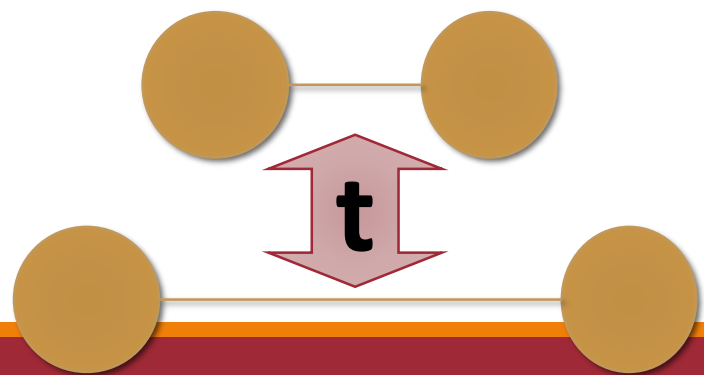
Молекулярні

Металеві

<p>Кам'яна сіль</p> 	<p>Алмаз</p> 	<p>Твердий двоокис вуглецю</p> 	<p>Мідь</p> 
---	---	--	--



Збільшується температура і збільшується міжатомна відстань



Теплове лінійне та об'ємне розширення тіл

Теплове розширення залежить лінійно від температури

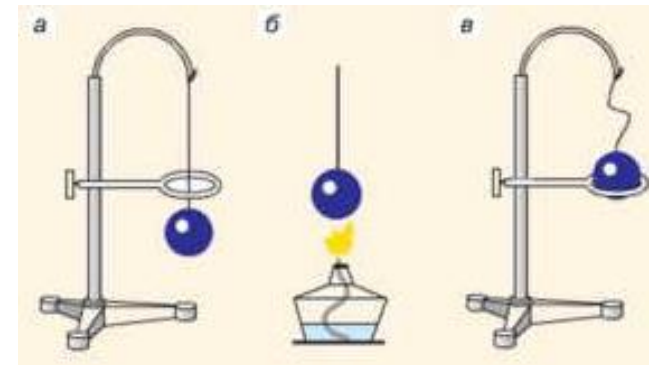
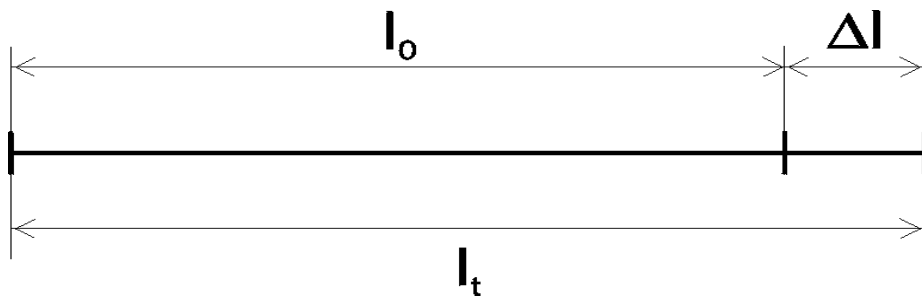


$$\Delta l = \alpha l \Delta T$$

де α - коефіцієнт лінійного розширення

де β - коефіцієнт об'ємного розширення

$$\Delta V = \beta V \Delta T = 3\alpha V \Delta T,$$



Одиниця вимірювання коефіцієнта лінійного розширення - $\frac{1}{\text{К}}$

Параметри термодинамічної системи

Термодинамічна система - сукупність макроскопічних тіл, що можуть взаємодіяти між собою та з іншими тілами (зовнішнім середовищем) шляхом обміну з ними енергією та речовиною.



типи термодинамічних систем

Ізольована система, яка не обмінюється з зовнішнім середовищем ні енергією, ні речовиною;

Замкнута система, яка обмінюється з зовнішнім середовищем енергією, але в ній відсутній обмін речовиною;

Відкрита система, в якій відбувається обмін із зовнішнім середовищем енергією, речовиною і взагалі інформацією

Термодинамічні параметри

тиск p

об'єм V

температура T

маса m

молярна
концентрація n

термодинамічний стан системи

Якщо параметри термодинамічної системи мають цілком певні значення і не змінюються з часом при незмінних зовнішніх умовах, то така система перебуває у **рівноважному стані**

Перехід системи з одного стану в інший, що супроводжується зміною термодинамічних параметрів, називається **термодинамічним процесом**

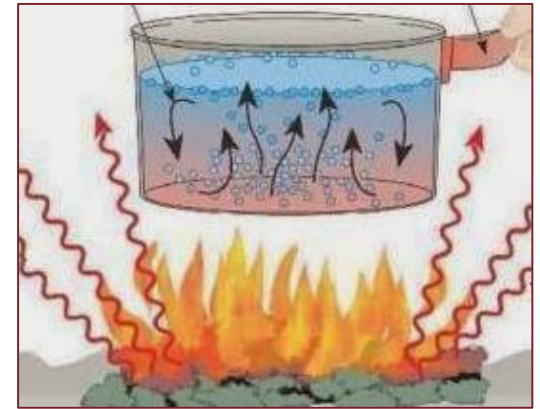
Внутрішня енергія тіл

Внутрішня енергія U включає енергію хаотичного (теплого) руху всіх мікрочастинок системи (молекул, атомів, іонів) та енергію взаємодії цих частинок

$$[U] = \text{Дж} \quad U - \text{внутрішня енергія}$$

Складається із суми кінетичних енергій руху молекул і суми потенціальних енергій їх взаємодії.

$$U = \sum_{i=1}^{\infty} E_{Ki} + \sum_{i=1}^{\infty} E_{Pi}$$



Внутрішня енергія характеризує стан термодинамічної системи, тобто є функцією стану системи

Внутрішня енергія ідеального газу

$$E_{Pi} = 0$$

$$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$$

U - Внутрішня енергія ідеального газу.

i - ступінь свободи руху молекул у просторі.

Внутрішня енергія

одноатомного газу

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$$

Для одноатомного (інертні газу)

$$i=3$$

двохатомного газу

$$U = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$$

Для двухатомного

$$i=5$$

трьохатомного газу

$$U = \frac{7}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$$

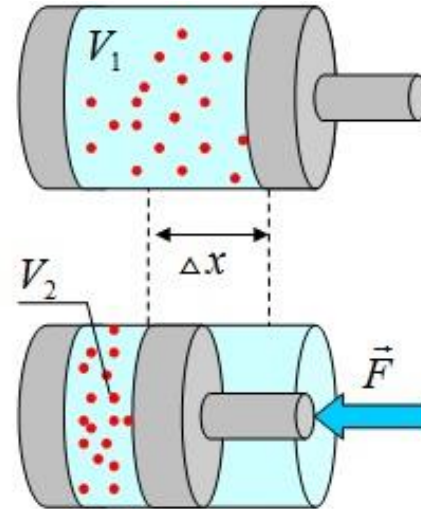
Для трьохатомного

$$i=7$$

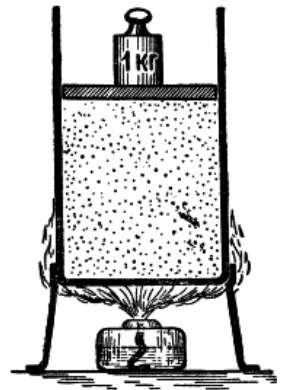
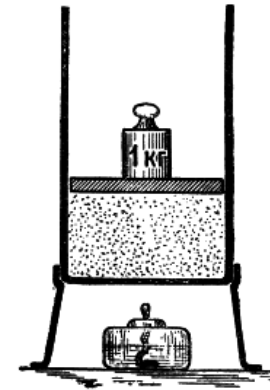
Способи зміни внутрішньої енергії

Теплопередача

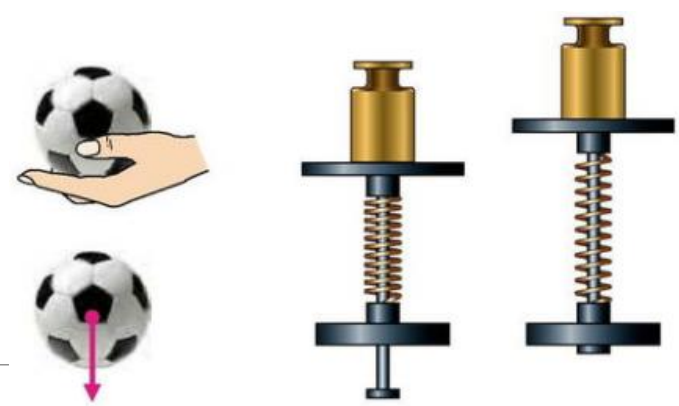
– передача кількості теплоти від одного тіла до іншого



Виконання роботи системою
або
над системою



Робота і теплота



Енергія, що передається при цьому термодинамічній системі зовнішніми тілами, називається **роботою**, яка виконується над системою.

Енергія, яка передається системі зовнішніми тілами шляхом теплообміну, називається **теплотою**, що отримується системою від зовнішнього середовища

Одиниці вимірювання теплоти - Дж.

Види теплопередачі

1

Нагрівання-охолодження



$$Q = \pm ct\Delta t$$

c - **питома теплоємність** – кількість теплоти, яку необхідно передати одному кілограму речовини, щоб змінити його температуру на 1 Кельвін.

$$[c] = 1 \frac{\text{ДЖ}}{\text{КГ} \cdot \text{К}}$$

Теплоємність

Теплоємність речовини – фізична величина, яка показує, яку кількість теплоти треба передати системі, щоб змінити її температуру на 1 Кельвін.



СИМЕОН ДЕНИ
ПУАССОН
(1781–1840)

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

$$[C] = 1 \frac{\text{ДЖ}}{\text{К}}$$

Процес, що відбувається без теплообміну між газом і навколишнім середовищем, називається адіабатичним і описується

рівнянням Пуассона

$$PV^\gamma = \text{const}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

коефіцієнт Пуассона, є відношення молярної теплоємності газу при ізобарному процесі, до молярної теплоємності газу при ізохорному процесі

$$\gamma > 1 \quad \text{Так як} \quad C_p > C_v$$



Юліус Роберт фон Майєр
1814 – 1878
Німецький лікар и фізик

Рівняння Майєра

$$C_p = C_v + R$$

- Формула Майєра

При ізопроцесах теплоємність речовини змінюється

$$C_p = \frac{i+2}{2} \cdot \frac{R}{M}$$

- теплоємність при ізобарному процесі

$$C_v = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M}$$

- теплоємність при ізохорному процесі

$$C_p > C_v$$



тому, що кількість тепла яка надається при ізобарному процесі іде не тільки на збільшення внутрішньої енергії газу, а і на виконання роботи проти зовнішніх сил в процесі розширення.

Види теплопередачі

2

Випаровування – конденсація



$$Q = \pm Lm$$



L- питома теплоємність пароутворення

– це фізична величина, яка показує, яку кількість теплоти необхідно передати системі, щоб перетворити на пар 1 кг речовини.

Види теплопередачі

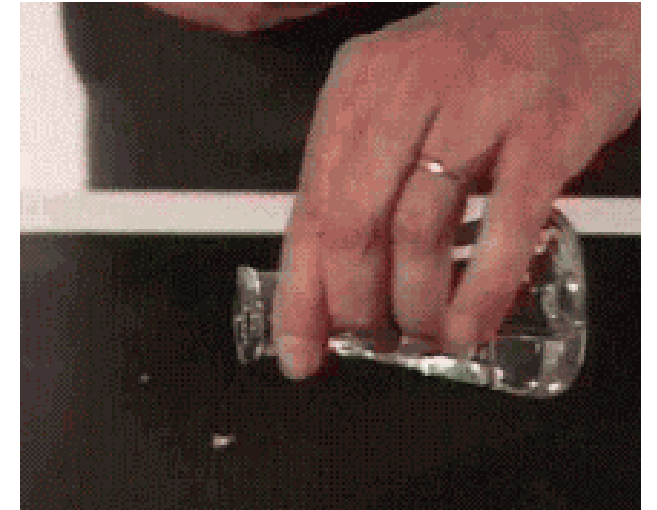
3

Плавління- кристалізація



$$Q = \pm \lambda m$$

$$[\lambda] = \frac{1 \text{ Дж}}{\text{кг}}$$



λ - питома теплота плавління - це фізична величина, яка показує, яку кількість теплоти необхідно передати 1 кг речовини, щоб повністю його розплавити.

Види теплопередачі

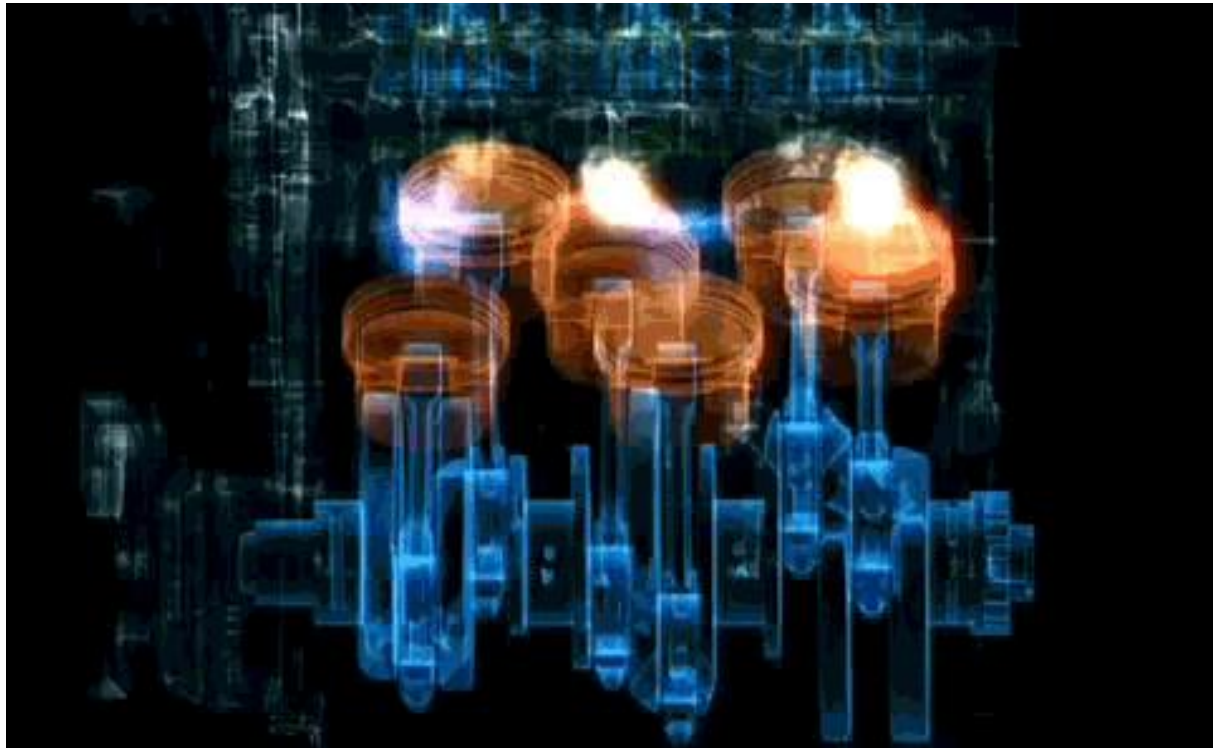
4

Згорання палива

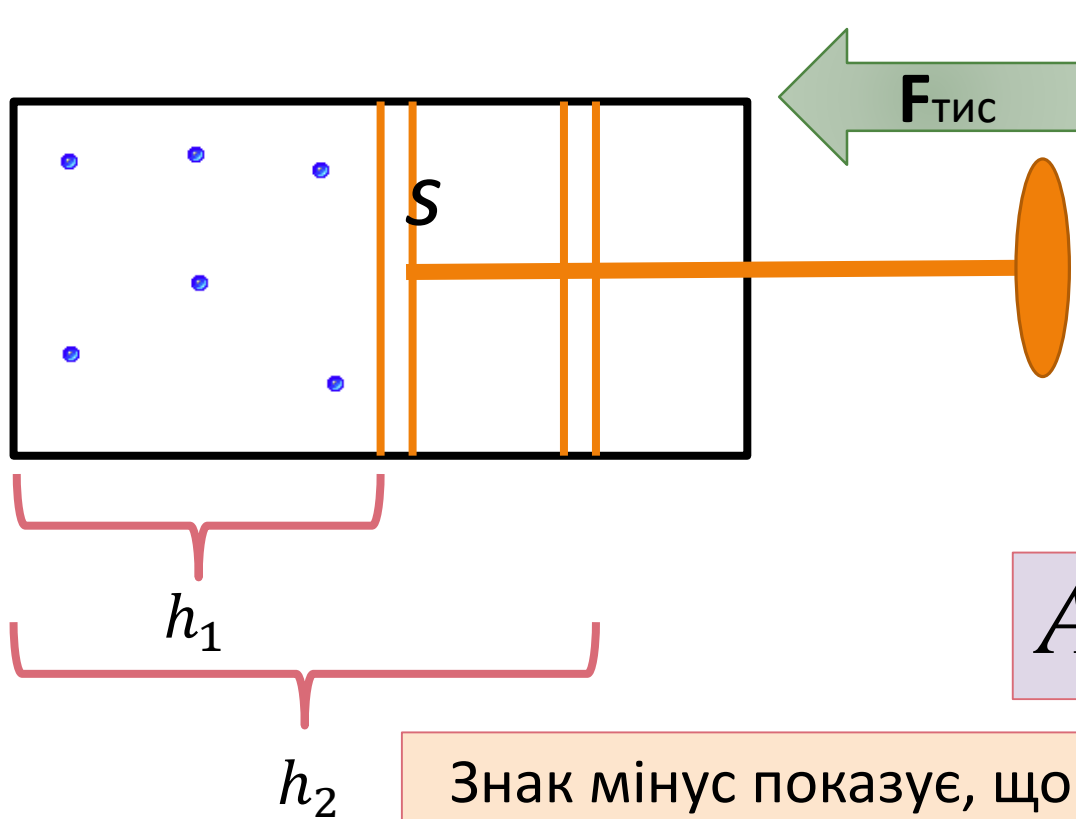
$$Q=q \cdot t$$

q- питома теплота згорання палива

$$[q] = \frac{1 \text{ ДЖ}}{\text{кг}}$$



Робота в термодинаміці



$$A = \int_{h_2}^{h_1} \vec{F}_{\text{мис}} d\vec{S} = \vec{F}_{\text{мис}} \vec{S} = \int_{p_2}^{p_1} F_{\text{мис}} (h_2 - h_1)$$

$$A = -F_{\text{мис}} (h_2 - h_1) = -pS(h_2 - h_1)$$

$$A = -p(Sh_2 - Sh_1) = -p(V_2 - V_1)$$

$$A = -p\Delta V$$

робота в термодинаміці

Знак мінус показує, що робота виконується над газом, знак плюс - роботу виконує сам газ.

Фізичний зміст універсальної газової сталої (R)

Задача

Яку роботу необхідно виконати, над одним молем газу, при ізобарному процесі, щоб змінити його температуру на 1К?

Дано:

$$\nu = \frac{m}{M} = 1 \text{ моль}$$

$$P_1 = P_2$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 1 \text{ К}$$

$A = ?$

Розв'язання:

При зміні температури газу змінюється його стан. Стан газу описується рівнянням Менделєєва -Клапейрона.

Стан газу до зміни температури $P_1 V_1 = \nu R T_1$

Після зміни температури $P_2 V_2 = \nu R T_2$



$$P_2 V_2 - P_1 V_1 = \nu R T_2 - \nu R T_1$$

$$P(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1)$$

$$A = \nu R \Delta T$$

$$A = 1 R \cdot 1$$

$$A = R$$

Фізичний зміст універсальної газової сталої-Універсальна газова стала-це робота, яку необхідно виконати над 1 молем газу при ізобарному процесі, щоб змінити його T на 1К.

1

Перший закон (перший початок) термодинаміки

Теплота, що надається системі, витрачається на зміну внутрішньої енергії системи та на виконання системою роботи проти зовнішніх сил

$$\Delta U = Q + A$$

$$dU = dQ + dA$$

$$\Delta U = Q \pm A$$

A > 0 - робота виконується над системою,

A < 0, коли робота виконується системою проти зовнішніх сил.

Внутрішню енергію системи можна змінити, завдяки теплопередачі і виконання роботи.

Перший закон термодинаміки в ізопроцесах

Ізотермічний процес

$$\Delta U = Q + A$$

$$dU = dQ + dA$$

Ізохорний процес

Ізобарний процес

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$A = -P \Delta V$$

Адiabатичний процес

Ізотермічний процес

$$T = \text{const}$$

$$T_1 = T_2$$

$$\Delta T = 0$$

$$\Delta U = Q + A$$

$$\Delta U = 0$$

При ізотермічному процесі, система виконує роботу завдяки теплопередачі.

$$Q = A$$

Ізохорний процес

$$V = \text{const}$$

$$V_1 = V_2$$

$$\Delta V = 0$$

$$A = 0$$

При ізохорному процесі, зміна внутрішньої енергії відбувається завдяки теплопередачі.

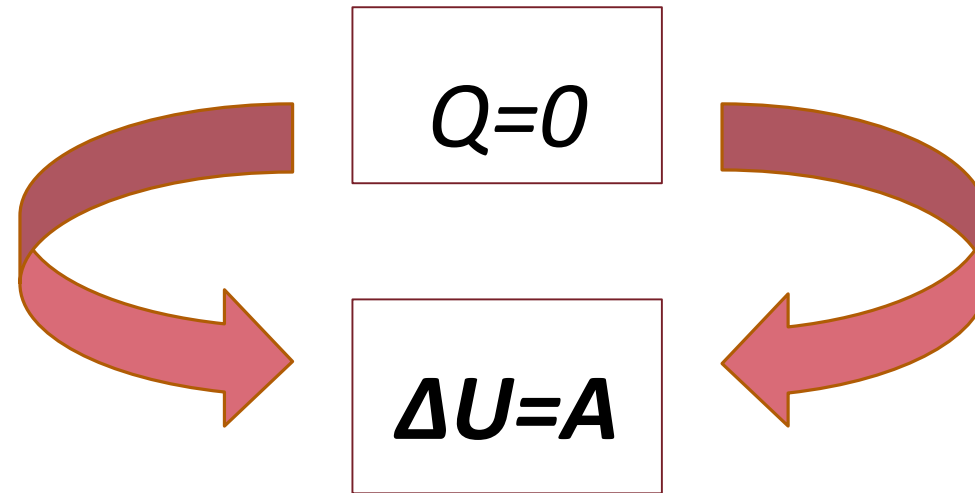
$$\Delta U = Q$$

Ізобарний процес

Під час цього процесу відбувається передача теплоти і виконання роботи, тому І закон виконується повністю і не залежить від зміни тиску

$$\Delta U = Q + A$$

Адіабатичний процес



При цьому процесі, система може виконувати роботу, завдяки зміні внутрішньої енергії

Ентальпія (H)

термодинамічний потенціал, що характеризує стан системи в термодинамічній рівновазі при виборі в якості незалежних змінних тиску, ентропії (термодинамічна величина, міра розсіювання тепла) і числа частинок.

$$A = p\Delta V.$$

$$Q = \Delta U + A = \Delta U + p\Delta V = \Delta(U + pV) = \Delta H$$

$$\Delta H = \Delta(U + pV)$$

Закон Гесса



австро-американський
фізик Віктор Франц
Гесс (Victor Franz Hess)
1883 р. н.

тепловий ефект Q хімічної реакції не залежить від шляху реакції від вихідних речовин до продуктів реакції, а визначається лише різницею ентальпій кінцевих і початкових речовин

$$Q = \sum H_k - \sum H_p$$

$$\sum H_k \text{ і } \sum H_p$$

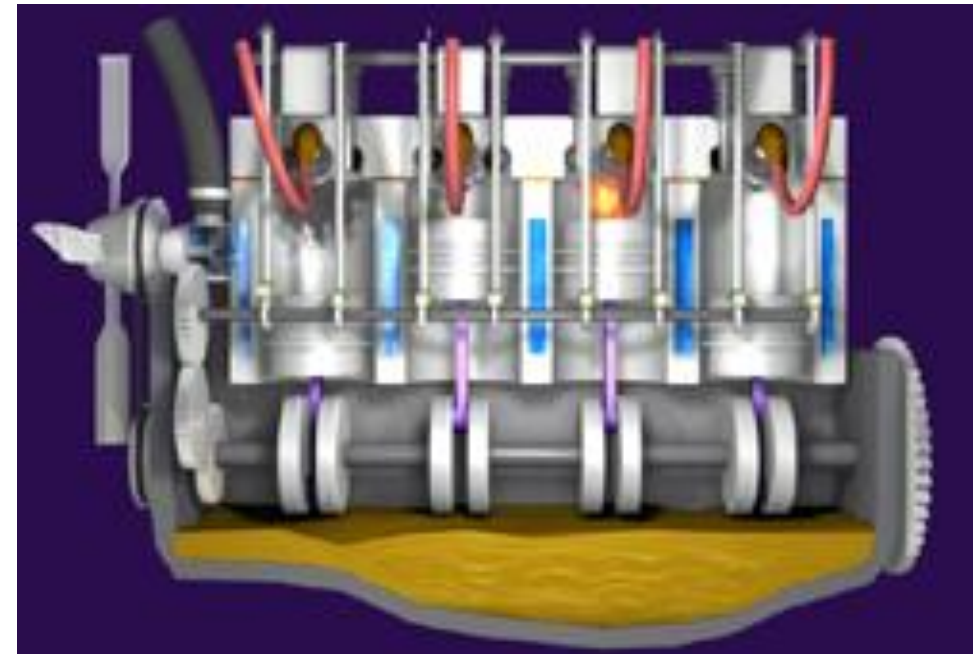
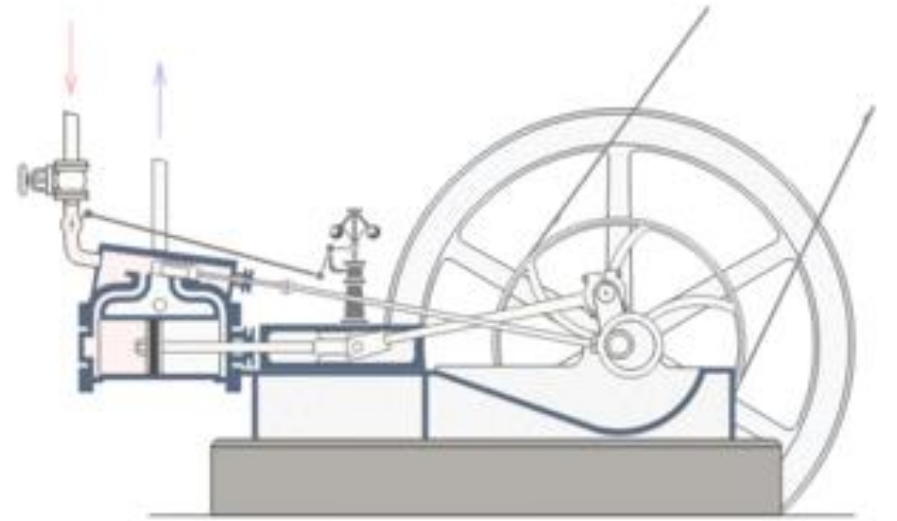
сума ентальпій продуктів реакції та вихідних речовин відповідно.

Тепловий двигун

це пристрій, що перетворює теплову енергію в інші форми енергії (наприклад, в механічну) .

Теплові машини працюють завдяки 1-му закону термодинаміки.

Кількість теплоти, яка виділяється в тепловій машині йде на виконання роботи і на зміну внутрішньої енергії системи. $Q=A+\Delta U$



Структура роботи теплового двигуна

Нагрівач
тіло або середовище з температурою, вищою, ніж її має робоче тіло

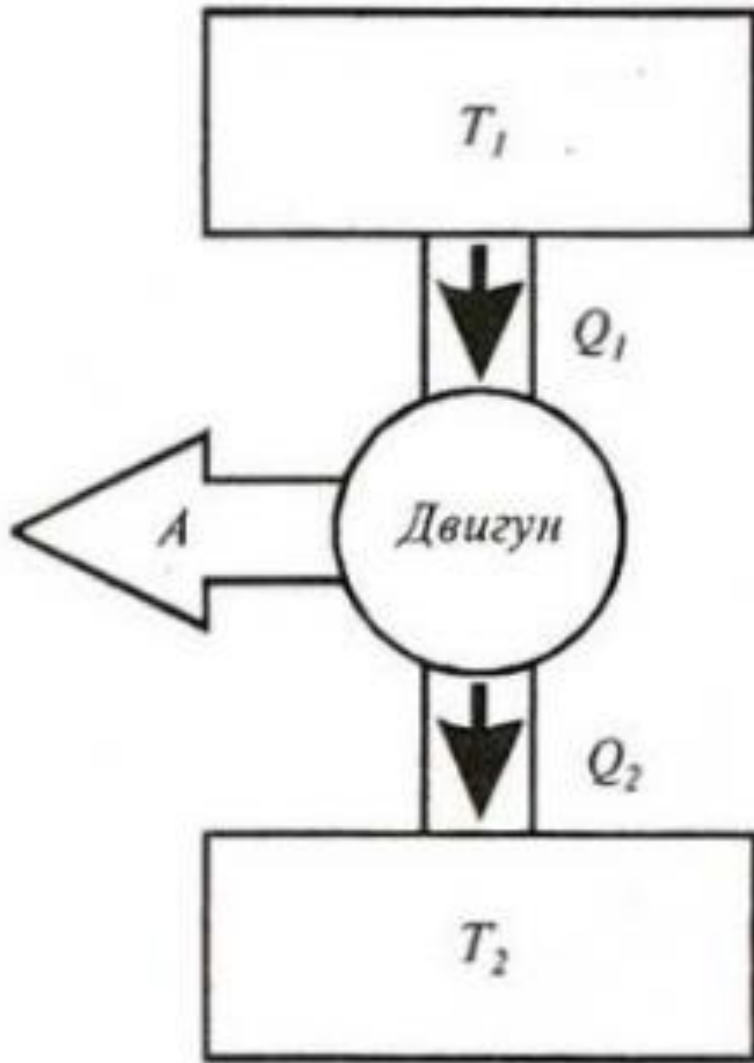
Робоче тіло
(пари, газу), яке, нагріваючись при згорянні палива і розширюючись, здатне виконати роботу

Холодильник
тіло або середовище з температурою, нижчою, ніж у робочого тіла



Схема теплового двигуна

Необхідною умовою роботи теплового двигуна є використання колового процесу (циклу), тобто замкненого термодинамічного процесу, в результаті якого система повертається до початкового стану



$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

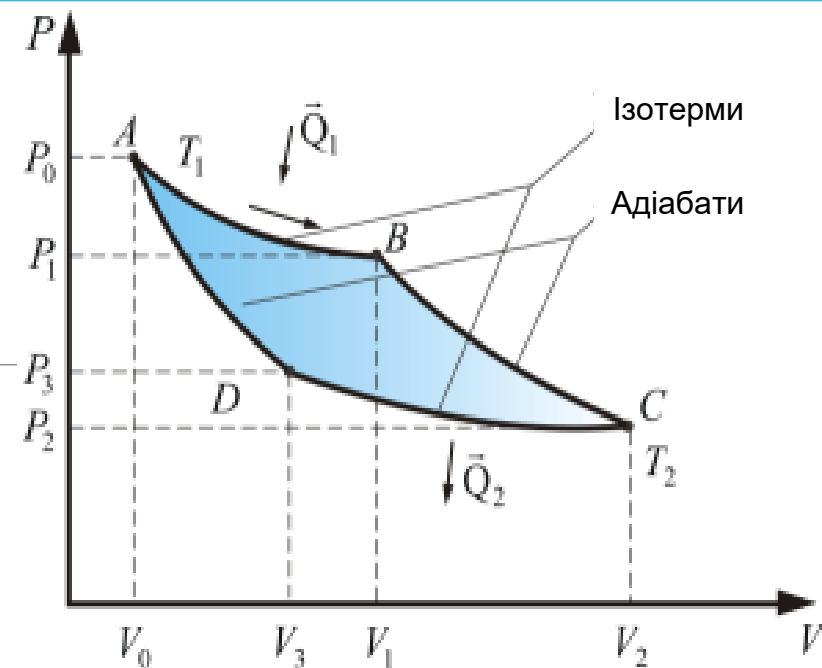
- коефіцієнт корисної дії (ККД)

ККД двигуна внутрішнього згоряння становить близько 25%, дизельного двигуна - від 35 до 40%.



Цикл Карно

Коловий процес, що складається з двох ізотермічних і двох адіабатичних процесів, і в якому відбувається перетворення теплоти в роботу



Під час колового процесу система може **отримувати теплоту (Q1)** і **віддавати її (Q2)**

$$\eta_K = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

η - термічний ККД для колового процесу

Термічний ККД не залежить від природи робочого тіла і визначається лише температурами **T1 нагрівача** і **T2 холодильника**

$$\eta_K = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

2

Другий закон (другий початок) термодинаміки

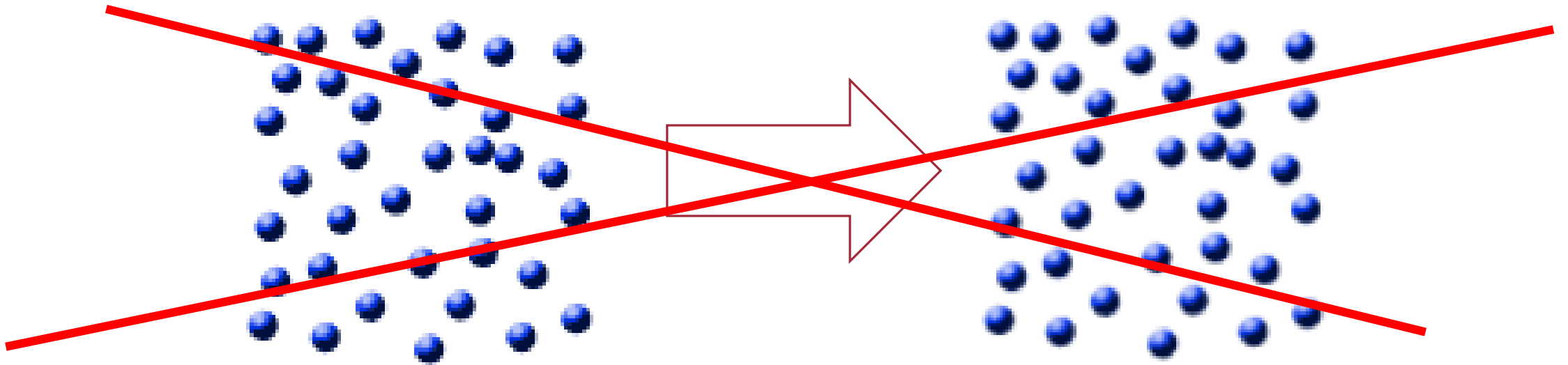
Теплові процеси в природі не оберненні, тільки гаряче тіло може передавати енергію холодному тілу, а навпаки процесу не існує



3

Третій закон (третій початок) термодинаміки

Неможливо досягти абсолютного нуля температури, тому що неможливо повністю зупинити рух частинок із яких складається тіло.





Домашнє завдання

- ❖ ТЕРМОРЕЦЕПЦІЯ У ТВАРИН
- ❖ МЕХАНІЗМИ ТЕРМОРЕЦЕПЦІЇ
- ❖ ПОВЕДІНКОВА РЕАКЦІЯ ТВАРИН НА ТЕМПЕРАТУРУ

Електрика

МОДУЛЬ 5

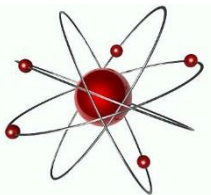


Основні поняття

Електрика - розділ фізики, що вивчає сукупність явищ, зумовлених існуванням, рухом і взаємодією електрично заряджених тіл або частинок.

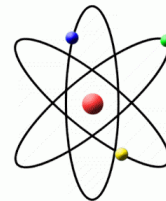
Електрика

Електростатика



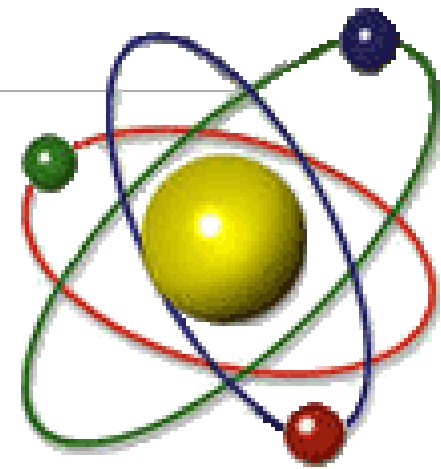
*вивчає взаємодію
нерухомих електричних
зарядів.*

Електродинаміка

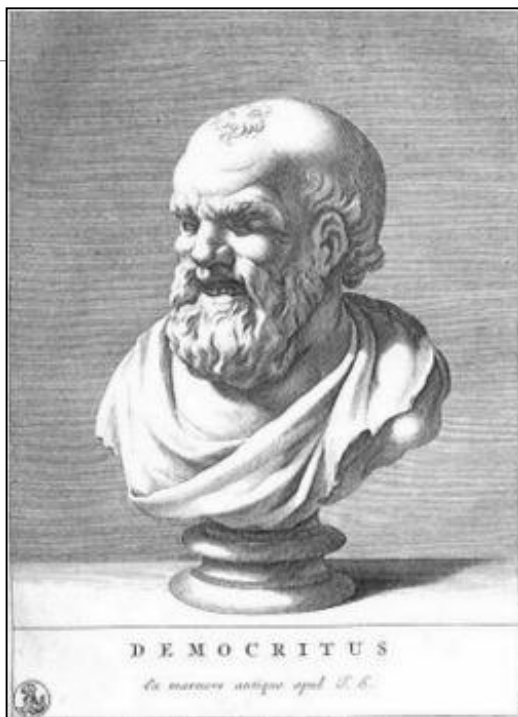


*розглядає явища і процеси,
зумовлені рухом електричних
зарядів або заряджених тіл*

Будова атома і атомного ядра. Досліди Резерфорда



Учення про атоми за Демокритом



Демокрит Абдерський
давньогрецький філософ-
матеріаліст

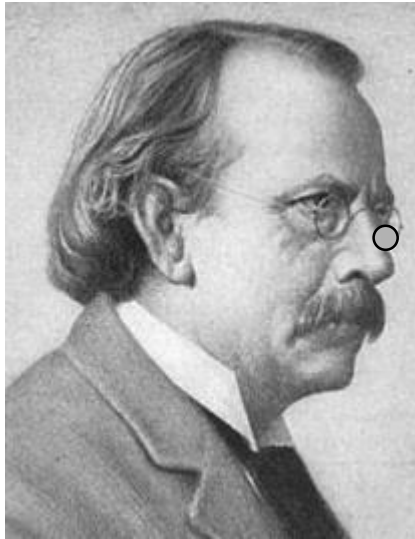
(приблизно 460—370 роки до н. е.)

За Демокритом фізичні атоми неподільні

Атоми рухаються у великій пустоті, вдаряються один об одного, та тримаються разом, утворюючи різні тіла.

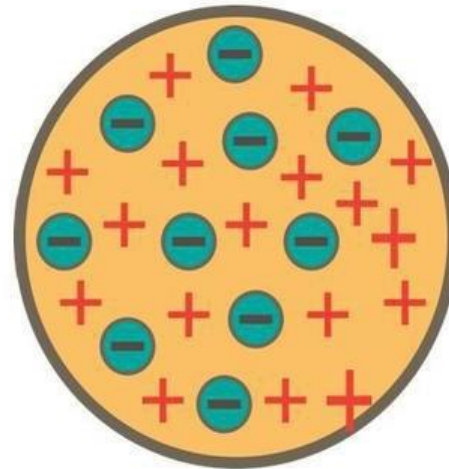
Атоми не можуть доторкатися — між будь-якими двома атомами завжди є простір.

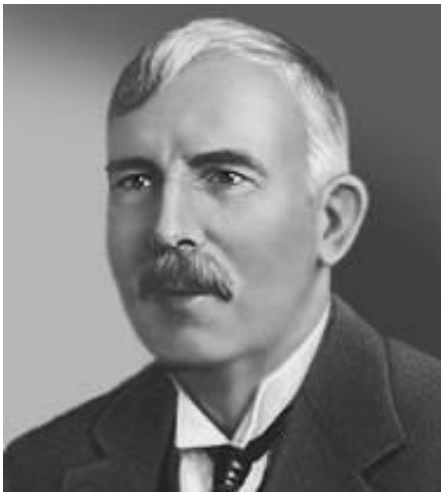
Модель атома Томсона



Джозеф Джон Томсон
англійський фізик
(1856 — 1940)

Атом – позитивно заряджений простір, в який вкраплені негативні електрони (1904 р.)





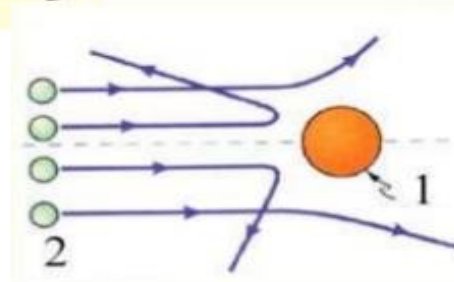
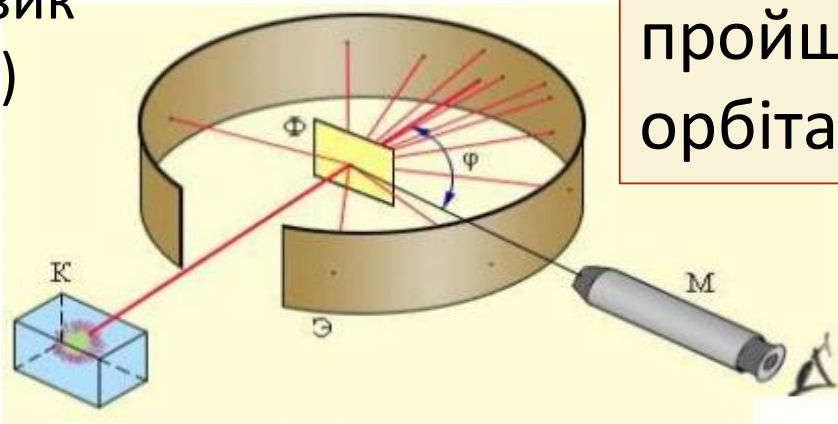
Ернест Резерфорд
британський фізик
(1871 — 1937)

Дослід Резерфорда

Висновки з дослідів

1.- Основна маса α -частинок (іонізовані ядра гелію) вільно пройшла через металеву пластинку.

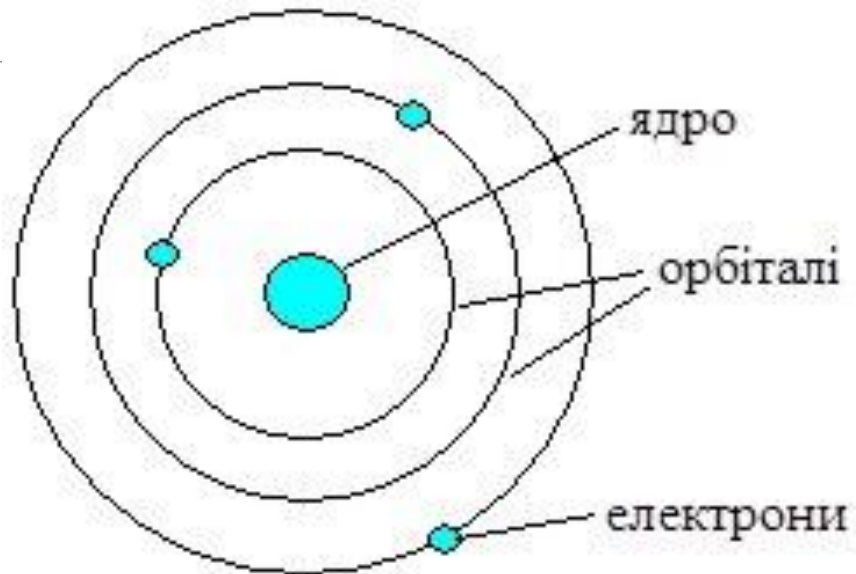
Висновок: атом має пустоту і α -частинка пройшла між ядром атома та електронними орбітами.



2.- Незначне відхилення від прямолінійного руху було визвано електронами на орбіті атома метала, які мають від'ємний заряд і маленьку масу.

3.- α -частинки були відкинуті назад тільки завдяки зустрічі з позитивним ядром атома металу.

Планетарна модель будови атома по Резерфорду



Електрон – найменша негативно заряджена частинка в природі

$${}_{-1}^0e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$$

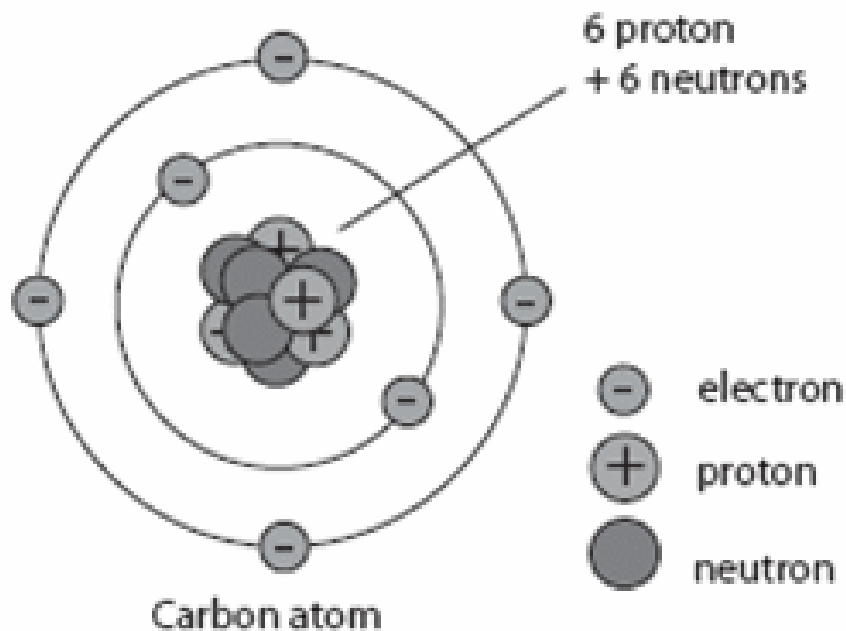
$$m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ кг}$$

В центрі атома знаходиться ядро, в якому зосереджений весь позитивний заряд атома і основна маса.

Навколо ядра по окремим орбітам обертаються від'ємно заряджені електрони, які несуть на собі весь негативний заряд атома.

Будова ядра атома

ядро складається з позитивно заряджених протонів і нейтральних частинок нейтронів.



$${}^1_1P = +1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 1836 m_e$$

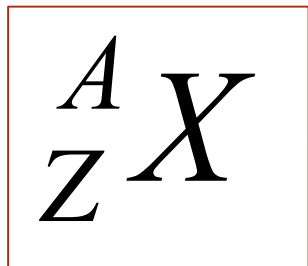
Протон – найменша позитивно заряджена частинка в природі.

Нейтрон – нейтральна частинка

$${}^1_0n, m = 1838 m_e$$

Порядковий номер таблиці Менделєєва

показує кількість електронів на орбітах атома, кількість протонів у ядрі



X – будь-який елемент

A – масове число

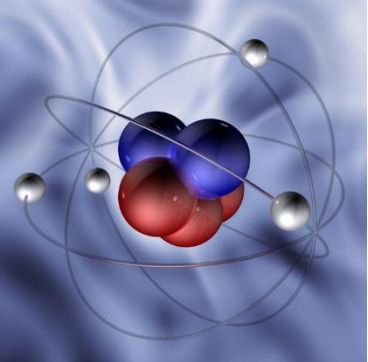
Z – порядковий номер, що показує кількість електронів на орбітах і протонів в ядрі

Атом нейтральний

$$Z_e = Z_p$$

Число нейтронів

$$N = A - Z$$



Ядро атома

В електродинаміці ядерні реакції не розглядаються тому при всіх процесах ядро атома залишається стабільною частинкою, а значить залишається незмінним позитивний заряд атома

Ядро атома дуже стабільна частинка.

Змінити склад ядра атома, тобто забрати у ядра протон чи нейтрон можна тільки за допомогою ядерних реакцій.

Теплові, світлові, хімічні, механічні дії не можуть змінити склад ядра атома..

В результаті механічних, хімічних, теплових, світлових дій можна змінити склад електронної оболонки атома.

При нормальних умовах

Якщо у атома забрати один або декілька електронів, атом стане позитивним іоном.

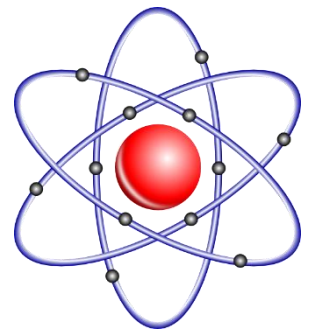
Якщо до атома додати один або декілька електронів атом перетворюється на негативний іон.

$$Z_e = Z_p$$

$$Z_e < Z_p$$

$$Z_e > Z_p$$

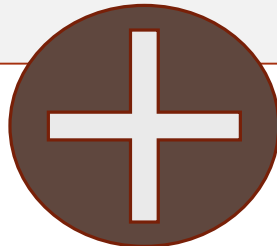
ЕЛЕКТРОСТАТИЧНЕ ПОЛЕ ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ



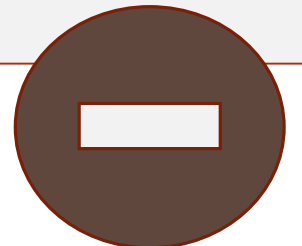
Особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими тілами, називається **електромагнітним полем**, що складається з двох взаємозв'язаних полів - *електричного* і *магнітного*.

Електричне поле нерухомих зарядів, що здійснює взаємодію між ними, називається **електростатичним полем**.

Тіло заряджено **позитивно**, якщо в ньому сума електронів менша суми протонів в ядрах атом.



Тіло заряджено **негативно**, якщо сума електронів більша, ніж сума протонів в ядрах атома.



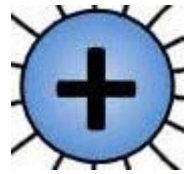
Електричний заряд

це джерело електромагнітного поля, пов'язане з матеріальним носієм; характеристика елементарної частинки, що визначає її електромагнітну взаємодію.

Електричний заряд має дискретний характер - існує мінімальний елементарний електричний заряд q_0 , якому кратні всі електричні заряди тіл або частинок.

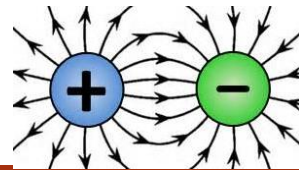
Якщо $q_0 = 1,60217733 \cdot (10)^{-19}$ Кл, то будь-який заряд

$$q = nq_0, \text{ де } n = 1, 2, 3 \dots$$

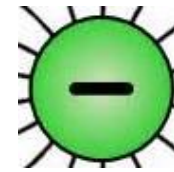


В природі існують два види електричного заряду

+q – позитивний;



-q – негативний;



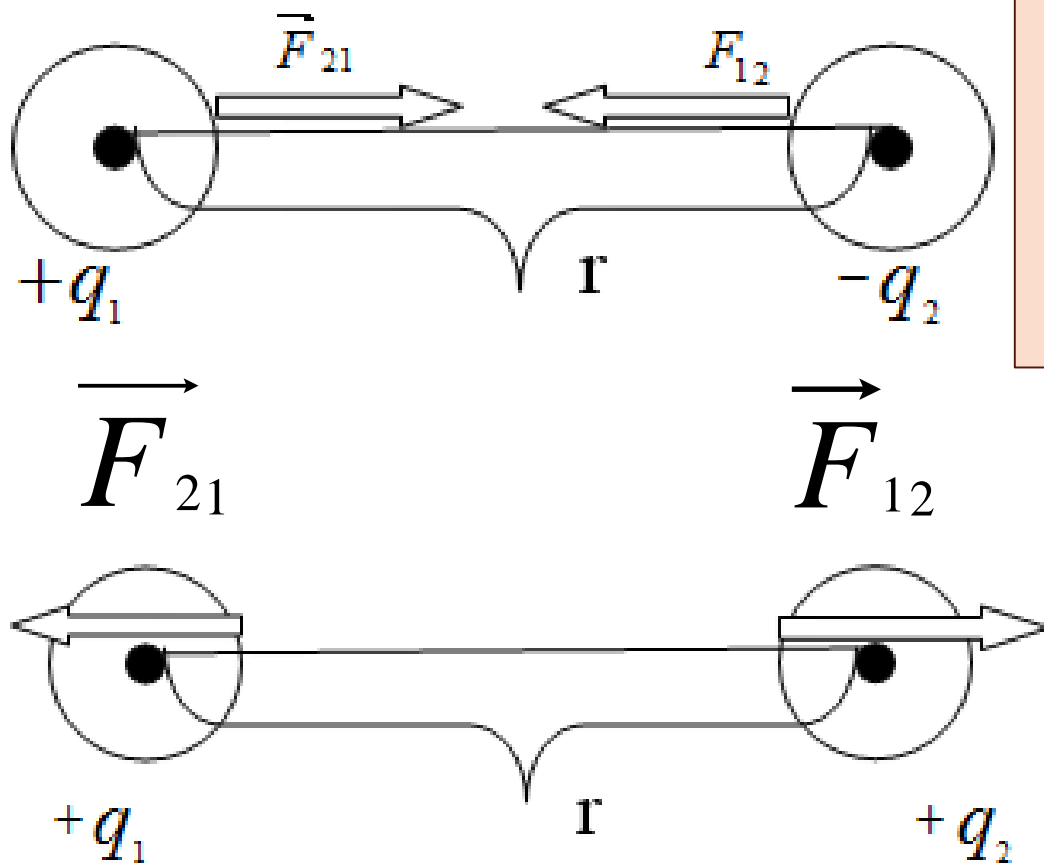
Закон збереження електричного заряду

В замкнутій системі сума зарядів залишається величиною сталою:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \sum_{n=1}^{\infty} q_n = const$$

алгебраїчна сума електричних зарядів довільної замкнутої (електрично ізольованої) системи залишається незмінною, незважаючи на будь-які процеси, що відбуваються в цій системі

Закон Кулона



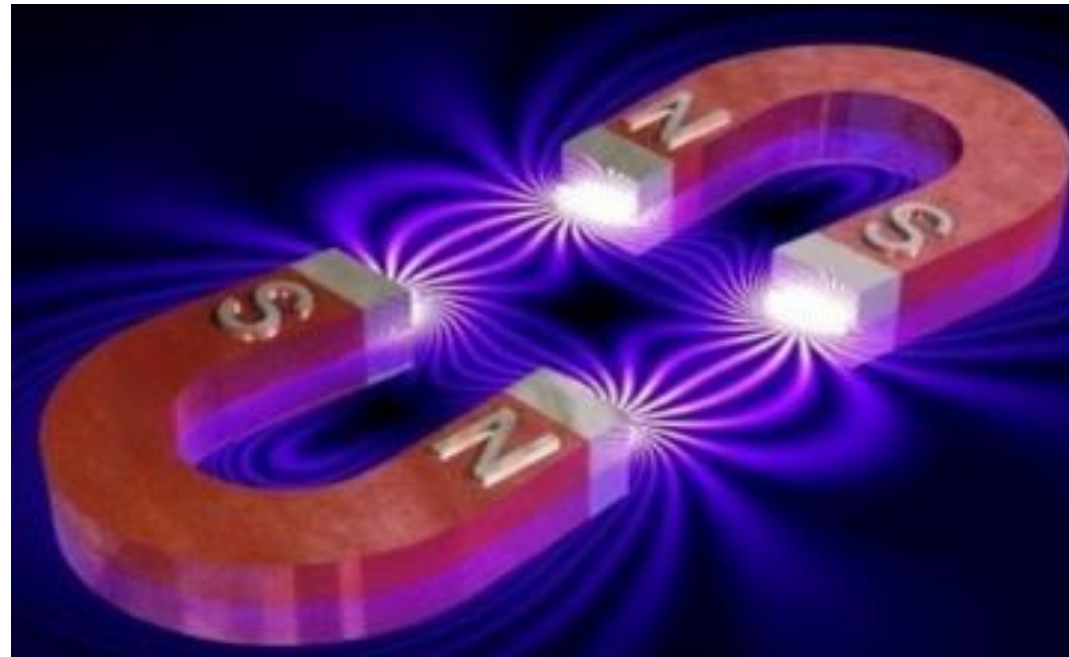
два точкових електричних заряди взаємодіють між собою з силою прямо пропорційною добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційною квадрату відстані між ними

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \quad \left(K = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \right)$$

ϵ - діелектрична проникливість в речовині
 ϵ_0 - діелектрична проникливість у вакуумі

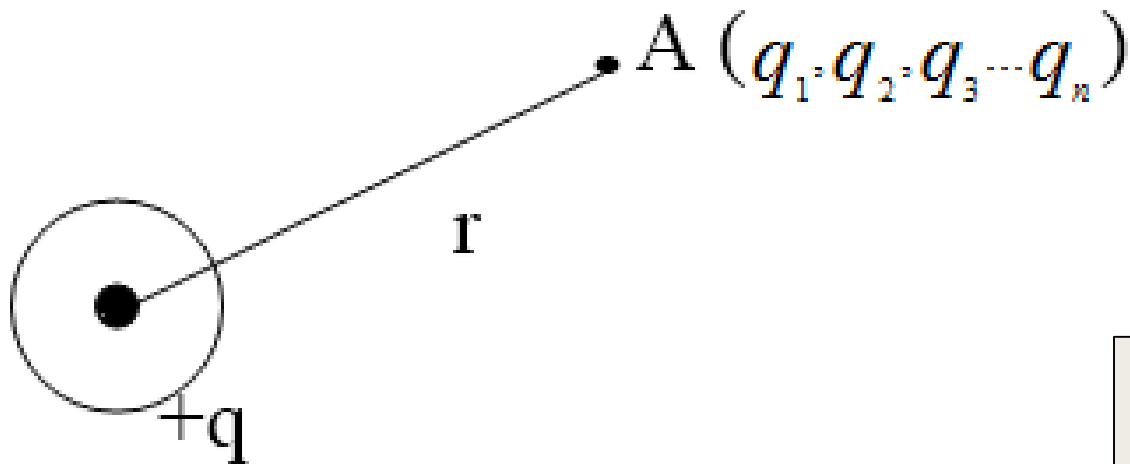
Електричне поле

особливий вид матерії, який виникає навколо будь-якого зарядженого тіла і проявляється по дії на внесений в нього інший електричний заряд



Напруженість електричного поля

Розглянемо електричне поле заряду q .
 Виберемо довільну точку цього поля на
 відстані r і по черзі в цю точку будемо
 вносити заряди q_1, q_2, \dots, q_n .



$$|\vec{E}| = 1 \text{ Н/Кл}$$

Напруженість
 електричного поля

$$\vec{E} = \frac{F_k}{q}$$

Напруженість
 електричного поля
 точкового заряду

$$\vec{E} = k \frac{|q|}{r^2}$$

$$\frac{F_k}{|q_1|} = \frac{k|q||q_1|}{r^2} = k \frac{|q|}{r^2}$$

$$\frac{F_k}{|q_2|} = \frac{k|q||q_2|}{r^2} = k \frac{|q|}{r^2}$$

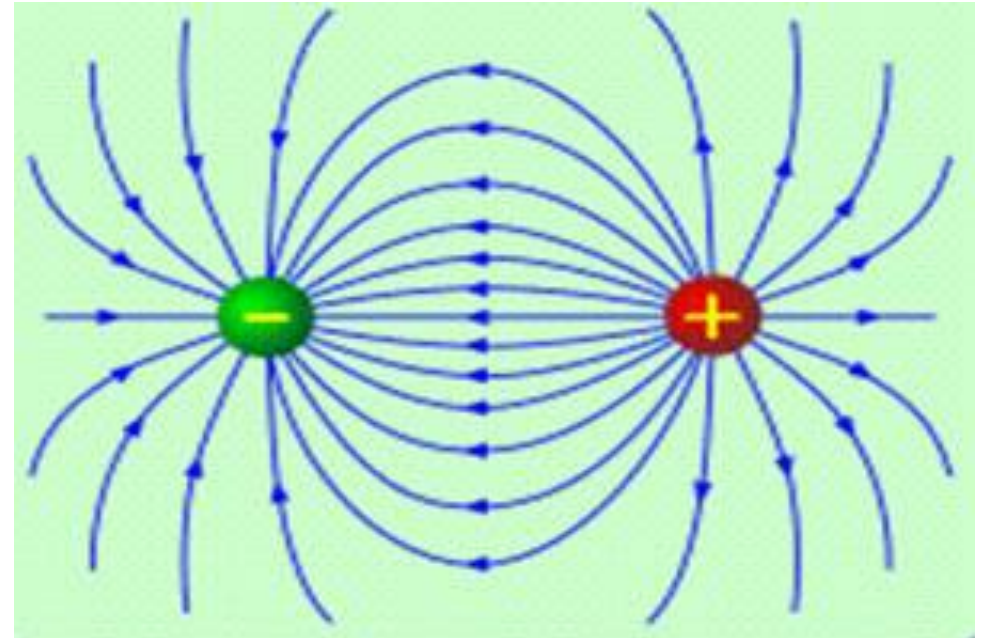
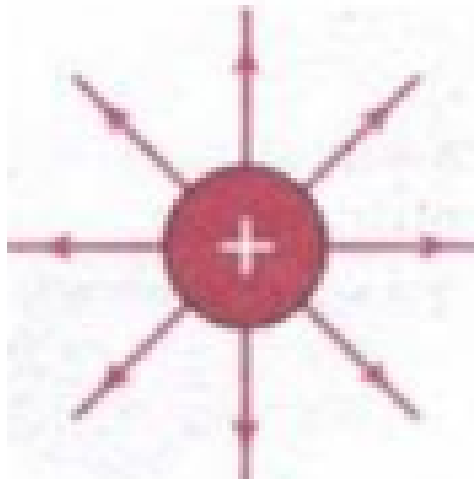
$$\frac{F_k}{|q_3|} = \frac{k|q||q_3|}{r^2} = k \frac{|q|}{r^2}$$

•••••

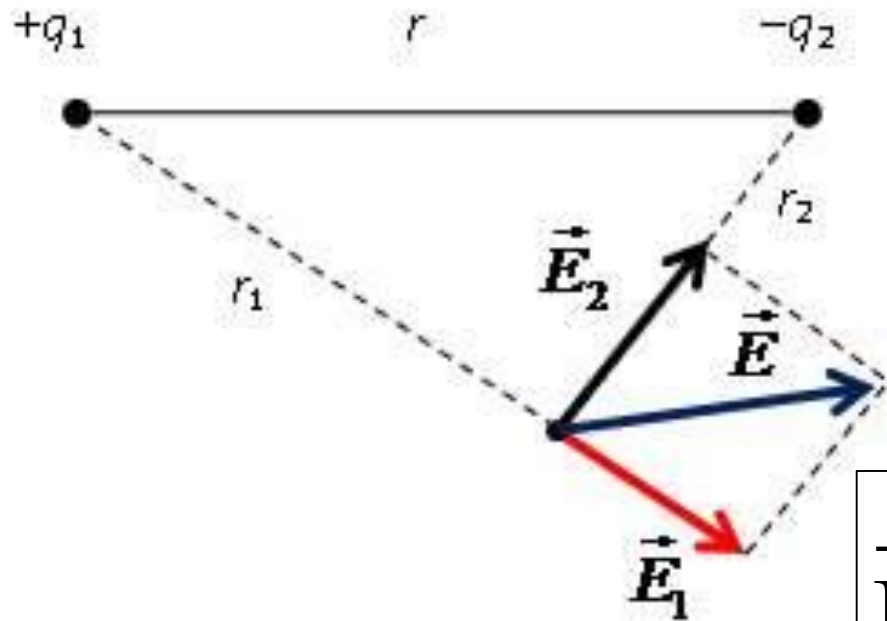
$$\frac{F_k}{|q_n|} = \frac{k|q||q_n|}{r^2} = k \frac{|q|}{r^2}$$

Лінії напруженості електричного поля

Лінії напруженості – геометричне зображення електричного поля, вони виходять із позитивного заряду і входять у негативний. В кожній точці цієї лінії дотична є вектор напруженості.



Принцип суперпозиції полів

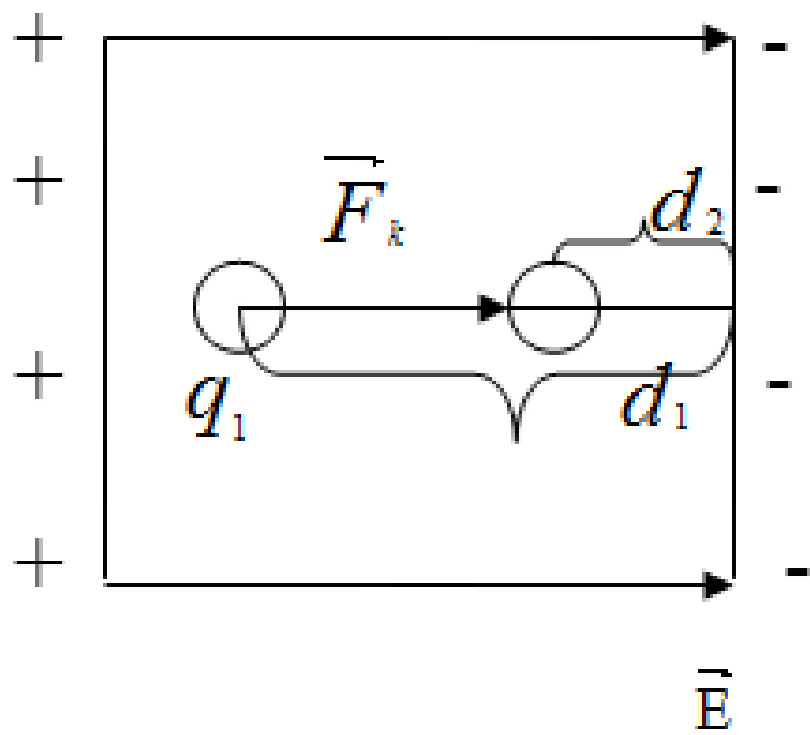


Напруженість результуючого електричного поля дорівнює геометричній сумі напруженостей електричних полів, які створюють це поле.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

Робота електричного поля по переміщенню електричного заряду

Розглянемо рух заряду в електричному полі:



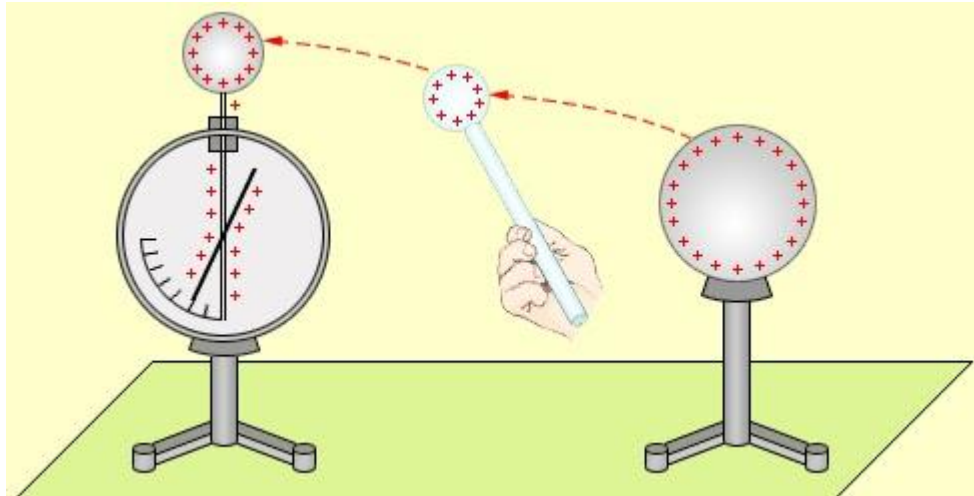
$$A = \vec{F} \times \vec{S} \longrightarrow A = \vec{F}_k \times (d_1 - d_2)$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_k}{q} \longrightarrow \vec{F}_k = \vec{E} \times q$$

$$A = \vec{E} \times q \times (d_1 - d_2)$$

$$A = -\left(\vec{E}q d_2 - \vec{E}q d_1\right)$$

Енергія електричного заряду



W- Енергія

$$A = W_1 - W_2$$

$$W = Eqd$$

Потенціал та напруга електричного поля

потенціал – це робота електричного поля по переміщенню електричного заряду з даної точки в нескінченність

$$\varphi = \frac{W_p}{q}$$

$$\varphi = \vec{E} \times d$$

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

- різниця потенціалів

$$[\varphi] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1\text{В}$$

напруга – це робота електричного поля по переміщенню електричного заряду із точки в точку

$$A = -(\vec{E}q d_2 - \vec{E}q d_1)$$

$$A = q(\vec{E}d_1 - \vec{E}d_2)$$

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U$$

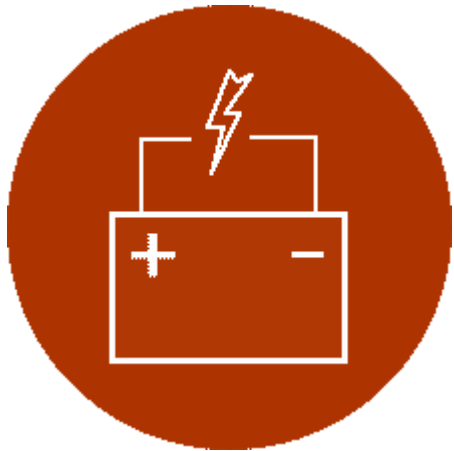
- напруга електричного поля

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

$$[U] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1\text{В}$$

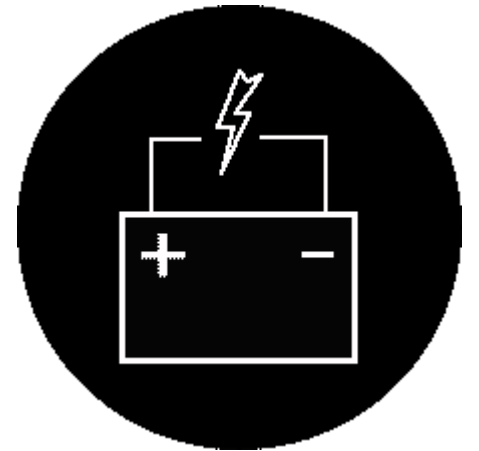
Електроємність

Електроємність – це здатність провідників накопичувати електричний заряд.



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

$$[C] = 1\Phi$$



Провідники в електричному полі

Провідники – це речовини, які в своєму складі мають вільні носії електричного заряду

1. Тверді тіла – метали-провідники.

Метали мають достатній порядковий номер (велика кількість електронів на електронних орбітах атомів), велику щільність атомів, сильні сили взаємодії між ними.

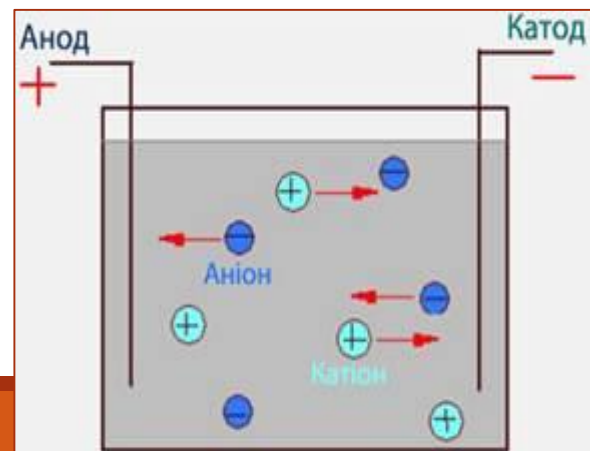
Завдяки цим властивостям електрони відриваються з останніх орбіт атома і стають вільними, а атоми перетворюються на позитивні іони.

Провідність у металів – електронна.



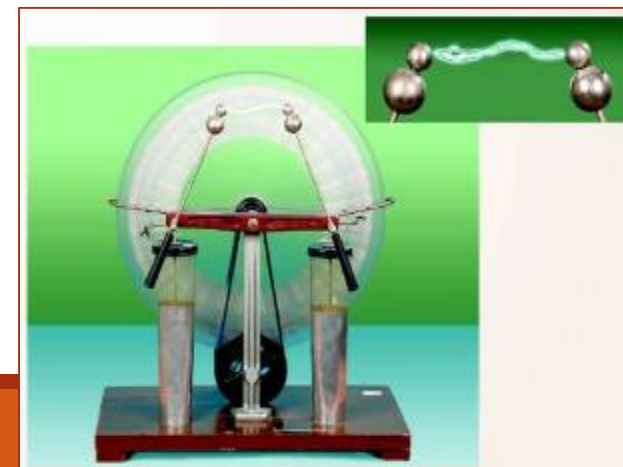
2. Рідини –

електроліти-
провідники,
провідність
електронів – іонна.

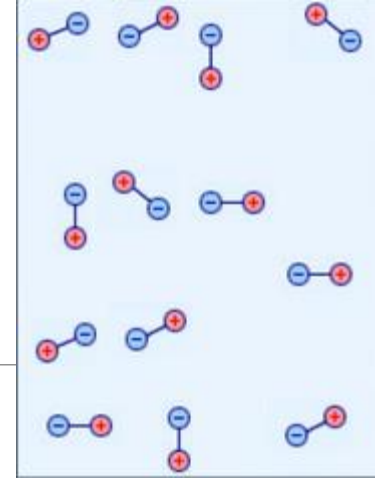


3. Гази –

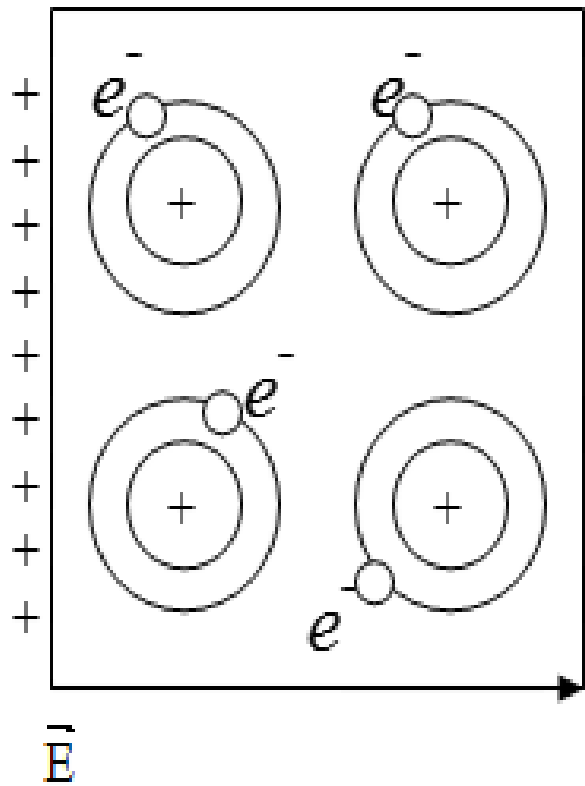
іонізовані
гази-провідники,
провідність в
іонізованих газах –
електронно-іонна.



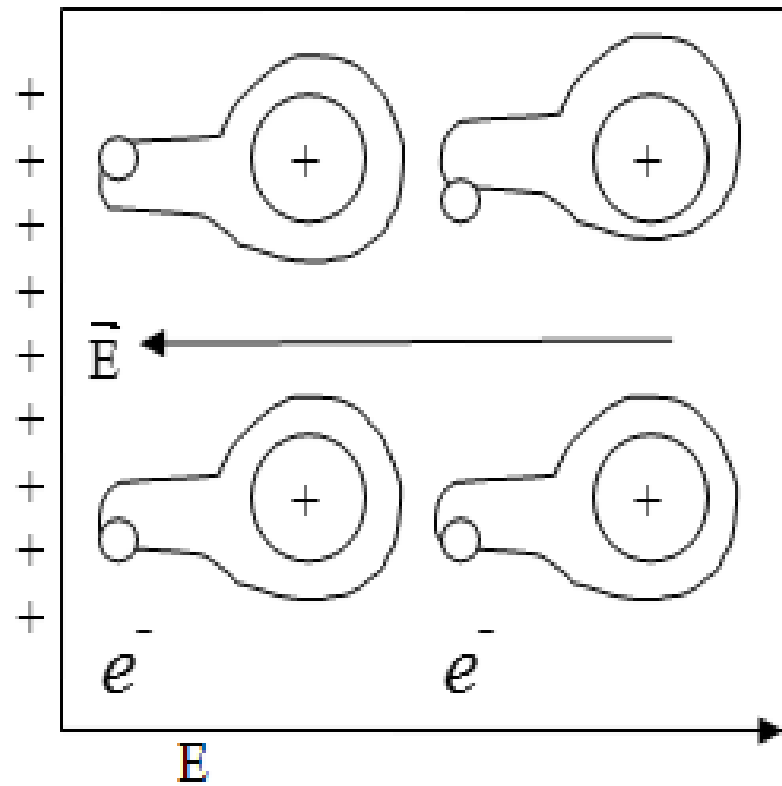
Діелектрики в електричному полі



Діелектрики – це речовини, які не мають у своєму складі вільних носіїв електричного заряду.



Через деякий час електрони змістяться в сторону «+», а ядра атомів – в сторону «-».



Діелектрична проникність речовини:

$$\epsilon = \frac{\vec{E}}{E'}$$

Дана величина показує в скільки разів електричне поле діелектрика зменшує зовнішнє електричне поле.

Конденсатори

Конденсатори – прилади для накопичення електричної енергії.

Система з двох чи більше електродів (обкладок), які розділені діелектриком, товщина якого менша у порівнянні з розміром обкладок.

Така система має взаємну електричну ємність і здатна зберігати електричний заряд.

Типи конденсаторів

Вакуумні,
у яких обкладки
знаходяться у вакуумі без
діелектрика.



З рідким діелектриком




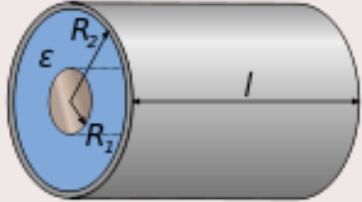
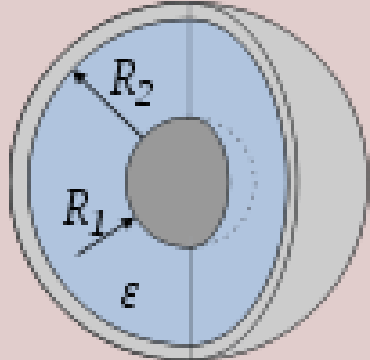
З газоподібним
діелектриком



Електролітичні і оксид-
напівпровідникові
конденсатори.
В якості діелектрика
виступає оксидний шар
металевого анода



За формою обкладок конденсатори бувають: плоскі, циліндричні, сферичні, рулонні та інші

Назва	Ємність	Електричне поле	Схема
Плоский конденсатор	$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$	$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$	
Циліндричний конденсатор	$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)}$	$E(r) = \frac{Q}{2\pi r l \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Сферичний конденсатор	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$	$E(r) = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Сфера	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1$		

Зв'язок енергії електричного поля з електроємністю конденсатора

$$W = \frac{cU^2}{2}$$

$$c = \frac{q}{\varphi}$$

c – електроємність

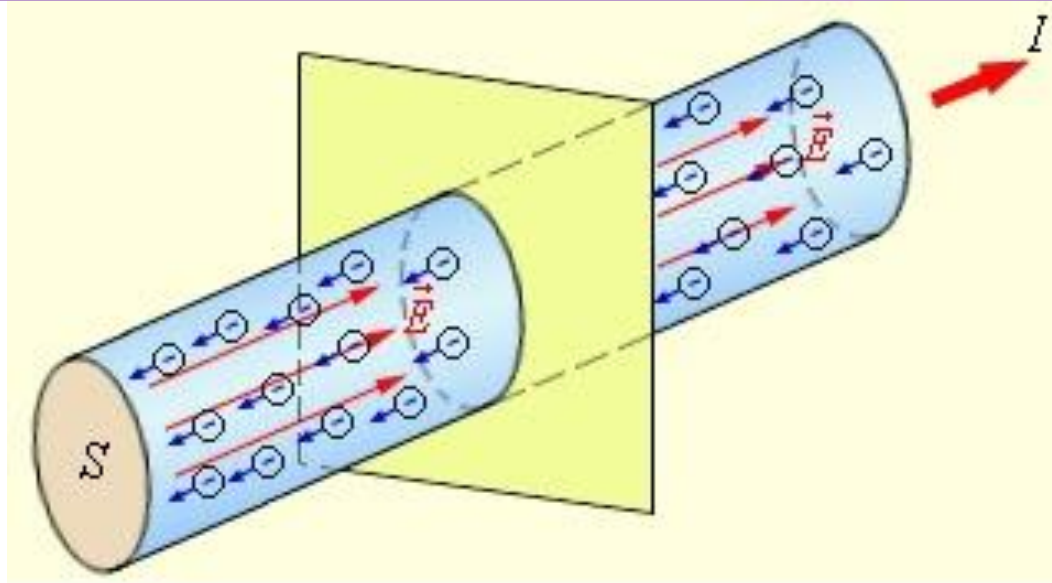
Електроємність – здатність провідника накопичувати заряди та утримувати їх

Закони постійного струму

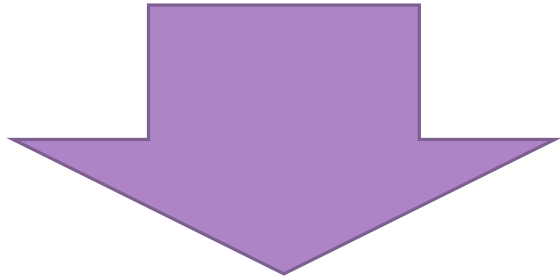


Електричний струм

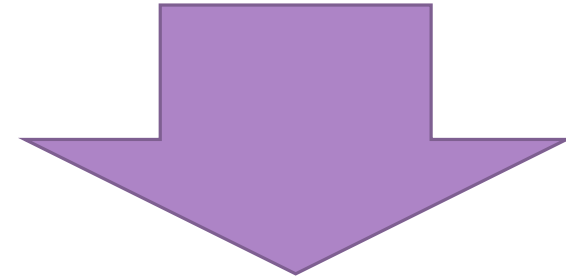
впорядкований рух заряджених частинок, який виконує роботу по перенесенню електричного заряду від постачальника до споживача



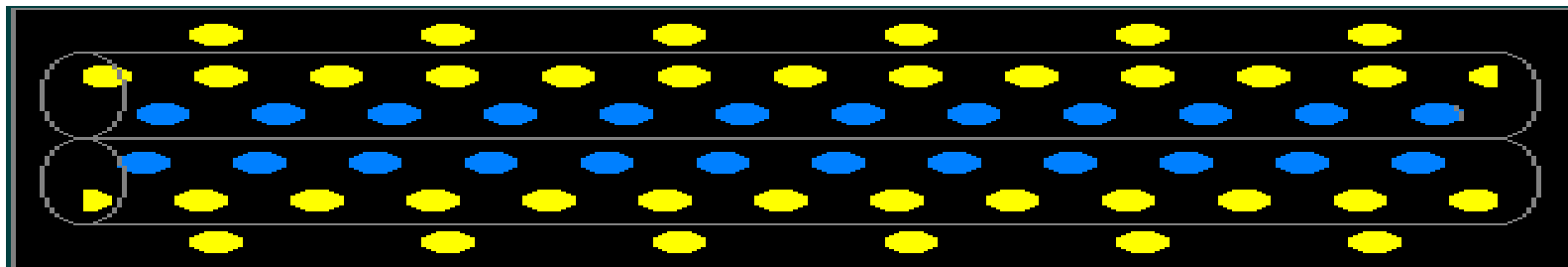
Умови існування електричного струму



Наявність вільних електричних зарядів



Наявність електричного поля (Кулонівська сила)



Характеристики електричного струму

1

Сила струму

– фізична величина, яка показує кількість електричного заряду, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

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

$$[I] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = 1\text{А}$$

2

Напруга

– робота електричного поля по переміщенню електричного заряду із точки в точку.

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

$$[U] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1\text{В}$$

3

Електричний опір

- це причини, які заважають впорядкованому руху заряджених частинок

1) тепловий хаотичний рух

$$R = R_0 (1 + \alpha t^0)$$

2) взаємодія з протилежно зарядженими частинками

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

$$[R] = 1\text{Ом}$$

Закон Ома для ділянки кола

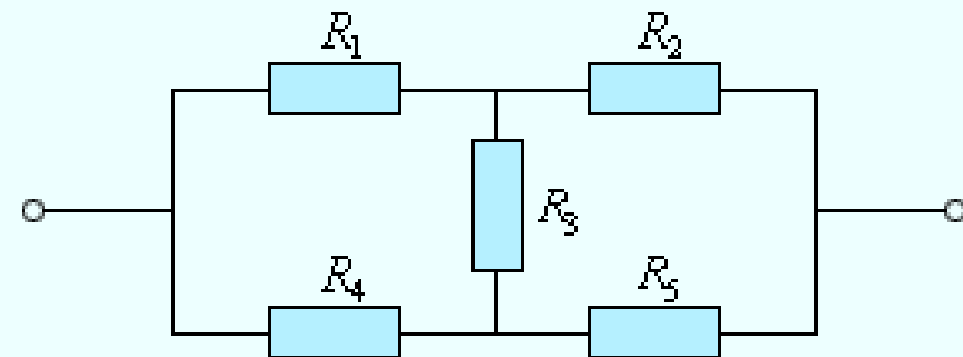


Георг Симон Ом
1787—1854

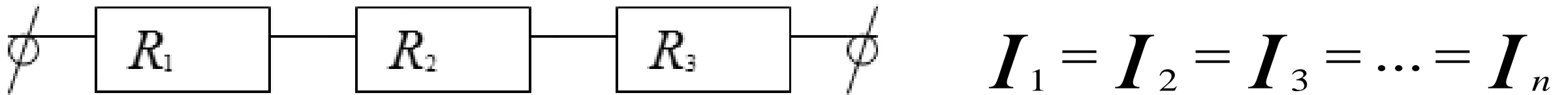
На ділянці кола сила струму I прямо пропорційна напрузі U і обернено пропорційна опорі R ділянки

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

Послідовне і паралельне з'єднання провідників



Послідовне з'єднання провідників



$$U_{\text{заг}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

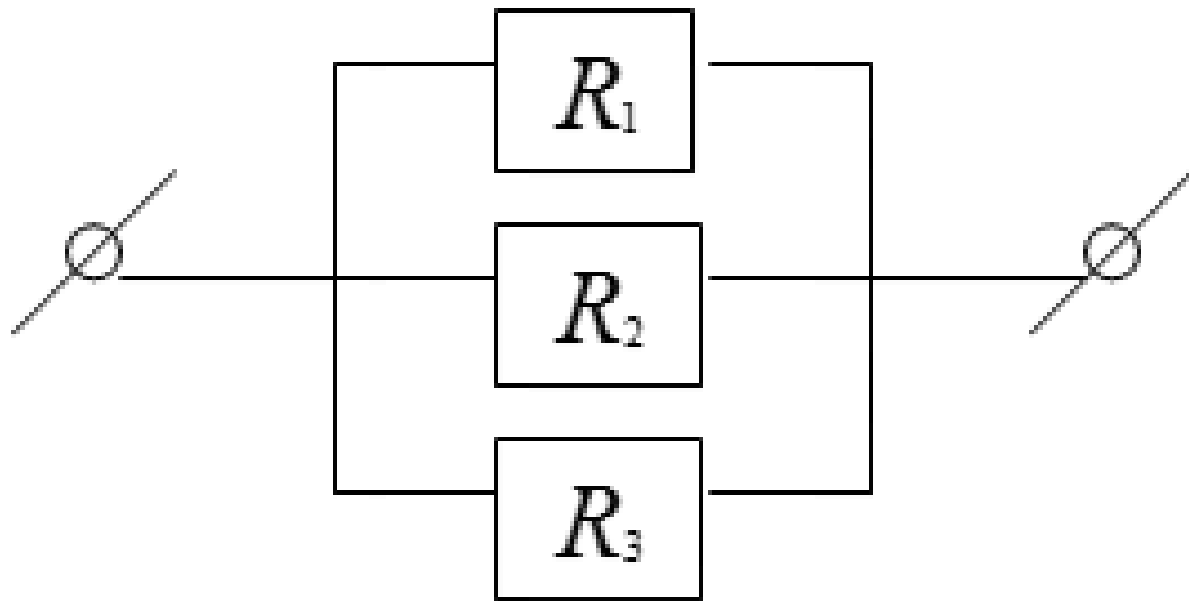
$$U = IR$$

$$I_{\text{заг}} R_{\text{заг}} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 + \dots + I_n R_n$$

загальний опір при послідовному з'єднанні провідників

$$R_{\text{заг}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Паралельне з'єднання провідників



$$U_{заг} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$

$$I_{заг} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

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

$$\frac{U_{заг}}{R_{заг}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_n}{R_n}$$

загальний опір при паралельному з'єднанні провідників

$$\frac{1}{R_{заг}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Джерела струму

Джерела струму служать для створення електричного поля

генератори



батарейки



аккумулятори



Сторонніми силами називають всі сили, крім Кулонівської, які в джерелах струму створюють електричне поле.

Електрорушійна сила

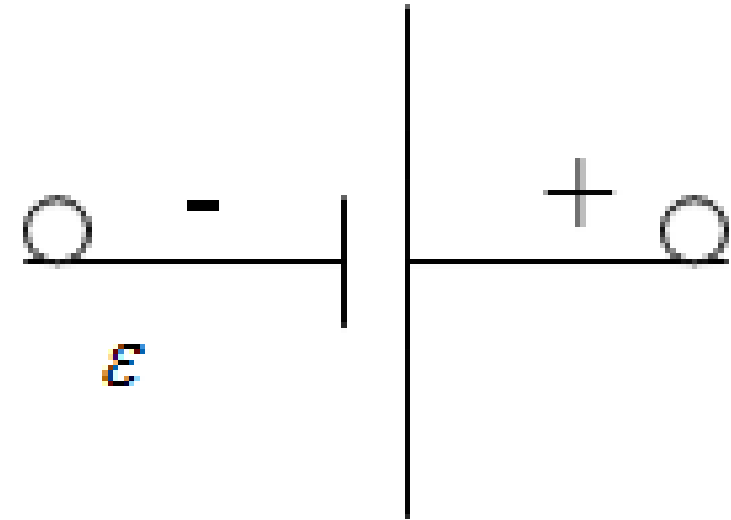
– це робота сторонніх сил по розподілу електричного заряду в джерелі струму і створенню на його полюсах електричного поля.

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

$$[\varepsilon] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1\text{В}$$

Кожне джерело струму має електричний опір, який будемо називати **внутрішній опір r**

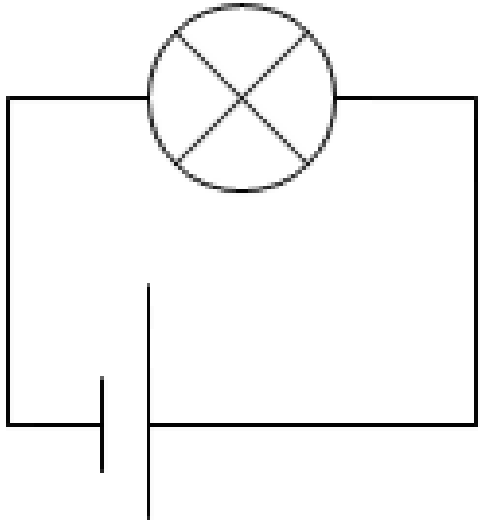
Зовнішній опір R - це опір всього навантаження, який підключається до джерела струму



Закон Ома для повного кола

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

$$\varepsilon = U_1 + U_2$$



$$U_1 = Ir$$

$$U_2 = IR$$

U_1 - напруга на клеммах джерела

U_2 - напруга в колі

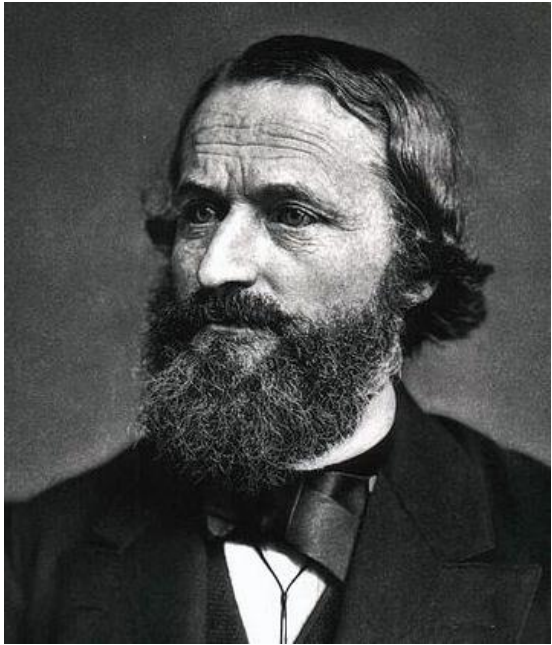
$$\varepsilon = Ir + IR$$

$$\varepsilon = I(r + R)$$

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

Сила струму в замкненому колі прямопропорційна електрорушійній силі джерела, і оберненопропорційна повному опору кола

Правила Кірхгофа для точок розгалуження електричних схем



Густав Роберт Кірхгоф
Німецький фізик
1824-1887

I правило Кірхгофа

в точці розгалуження електричних схем сумарний струм завжди дорівнює нулю.

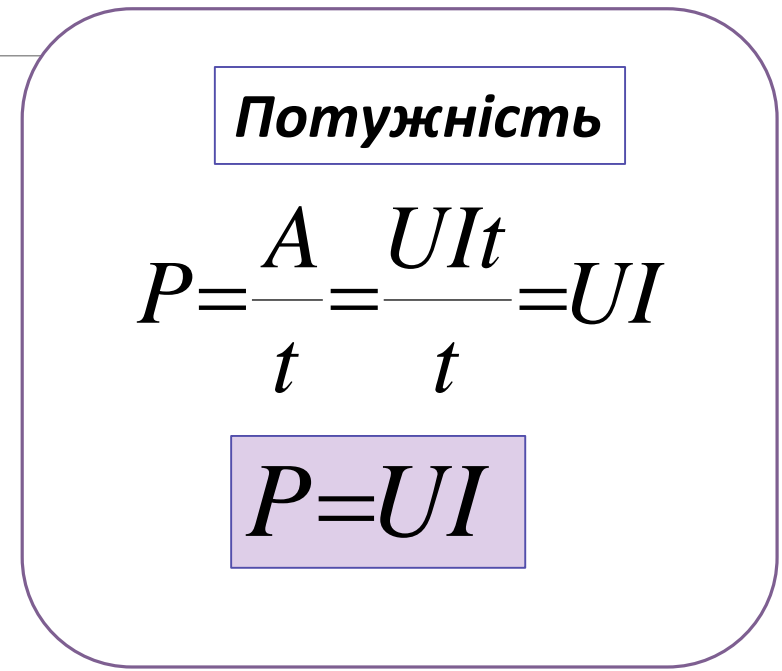
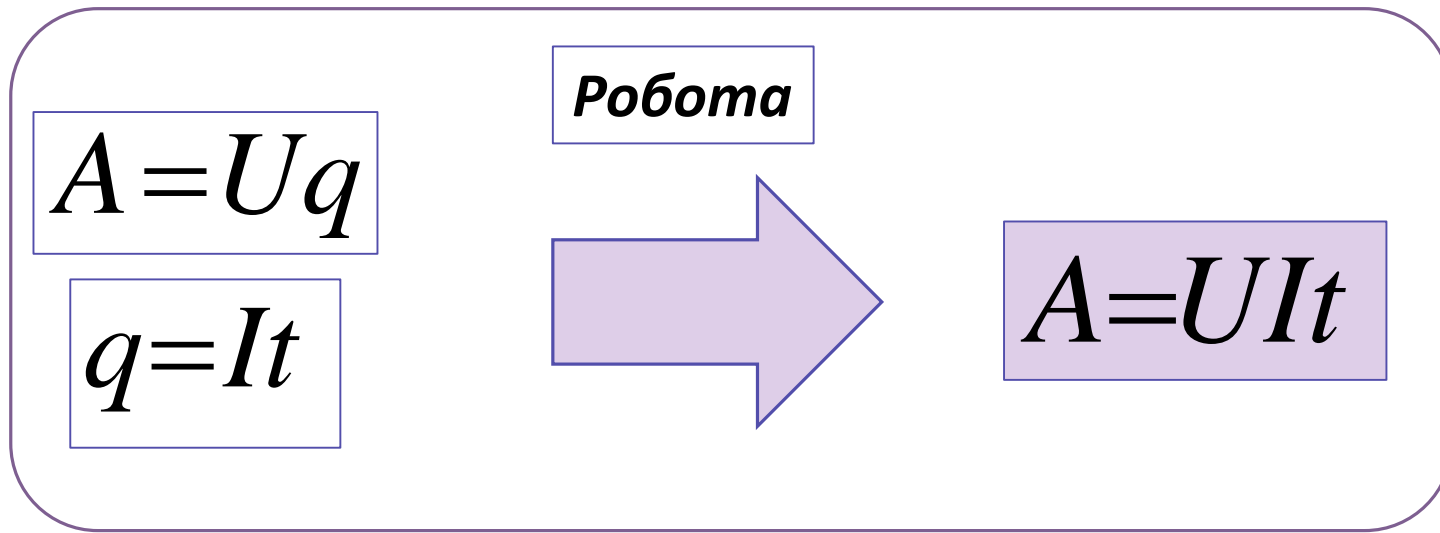
$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \dots + \vec{I}_n = \sum_{n=1}^k \vec{I}_n = 0$$

II правило Кірхгофа

в точці розгалуження сума ЕРС на кожній ділянці дорівнює сумі добутку сили струму на опір кожної ділянки.

$$\sum_{n=1}^k \mathcal{E}_n = \sum_{n=1}^k I_n R_n = \sum_{n=1}^k U_n$$

Робота і потужність постійного струму. ККД



$$ККД = \frac{U}{\varepsilon} 100\%$$

U - напруга в зовнішньому колі
 ε - електрорушійна сила.

Закон Джоуля-Ленца

кількість теплоти Q , яка є в провіднику під час проходження ним електричного струму, прямопропорційна квадрату сили струму I , опору провідника R і часу t проходження струму

$$A=Q=I^2 R t$$

Електричний струм у вакуумі

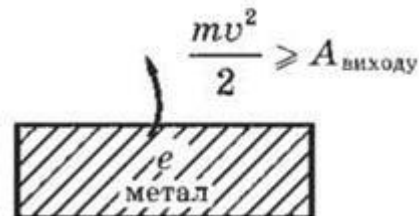


Вакуум — розріджений до такої міри газ, що середня довжина вільного пробігу молекул перебільшує лінійні розміри посудини.

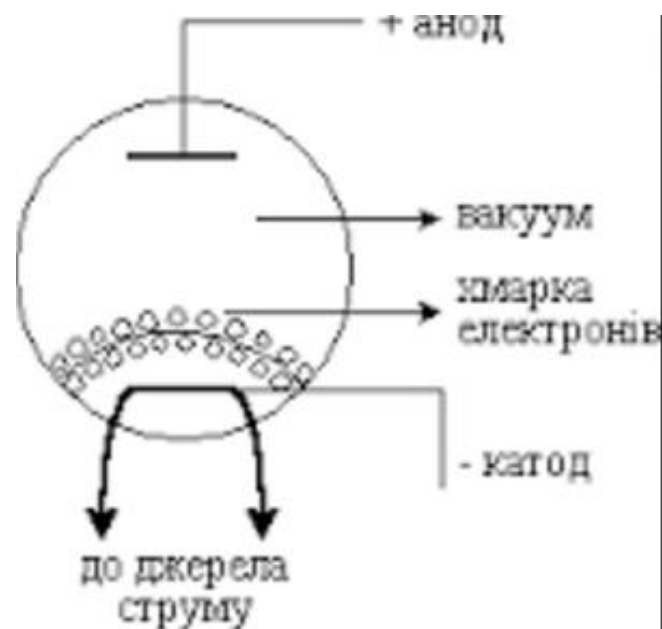
У вакуумі практично відсутні вільні носії заряду

Струм у вакуумі можливий тільки завдяки зарядженим частинкам, що виникають при емісійних явищах.

Термоелектронна емісія — випромінювання електронів твердими та рідкими тілами при їх нагріванні. Вилітають електрони, кінетична енергія яких більша або дорівнює роботі виходу їх із металу (роботі на подолання зв'язку електрона з металом).



Термоелектронна емісія

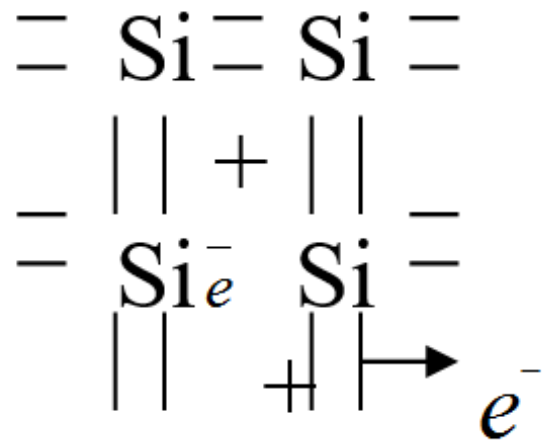


Якщо розжарений метал зробити катодом вакуумної трубки (прикласти до нього негативний потенціал) та ввести ще один електрод, приклавши до нього позитивний потенціал (анод), то електричне поле між катодом та анодом відтягуватиме електрони від катода, електронна хмаринка навколо нього почне розсіюватись, створяться умови для подальшої емісії електронів.

Отже, в трубці, яка одержала назву двохелектродної лампи, або діодом створиться термоелектронний струм.

Напівпровідники в електричному полі

Напівпровідники - це речовини, які при нормальних умовах є діелектрики, а при зміні умов (нагрівання, освітлення) переходять в ранг провідників.



Кремній чотирьохвалентний при н.у. діелектрик.

Якщо нагрівати або освітлювати кремній, то додаткова енергія йде на розрив парно-електронних зв'язків, що приводить до появи вільних носіїв електричного заряду.

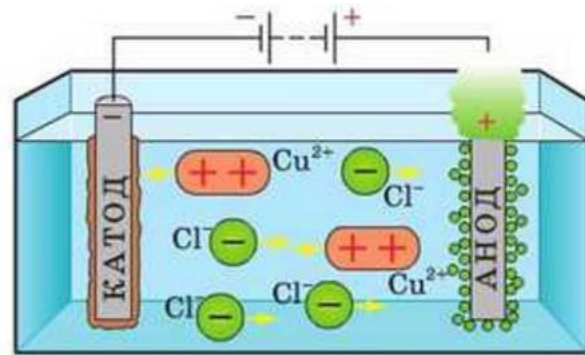
В результаті кремній-діелектрик переходить в ранг провідника з подвійною провідністю (**електронною** – n-провідність, та «**дірковою**» - p- провідність).

Завдяки нагріванню і освітленню напівпровідників опір зменшується, тому що енергія йде не на тепловий хаотичний рух, а на збільшення кількості носіїв електричного заряду.

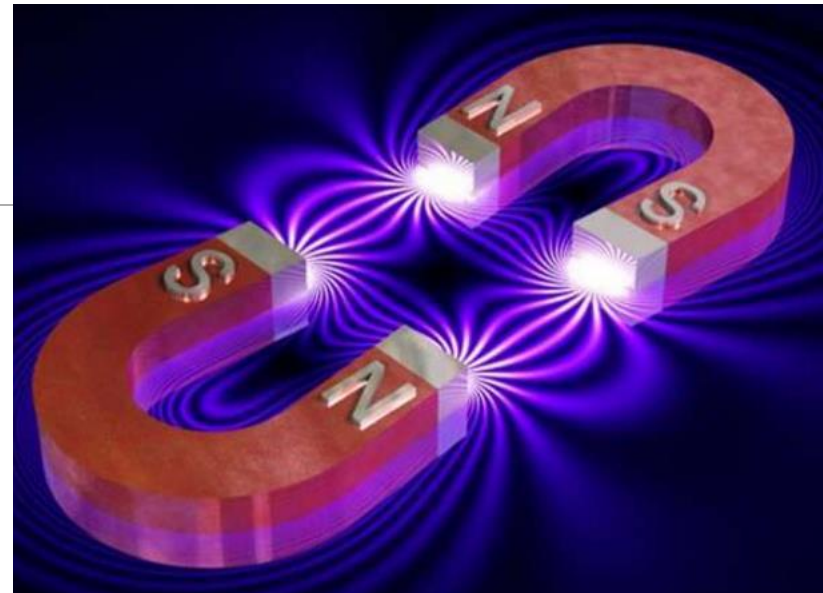
Вище представлений спосіб переведення діелектрика в провідник називається **власною провідністю**.

Домашнє завдання

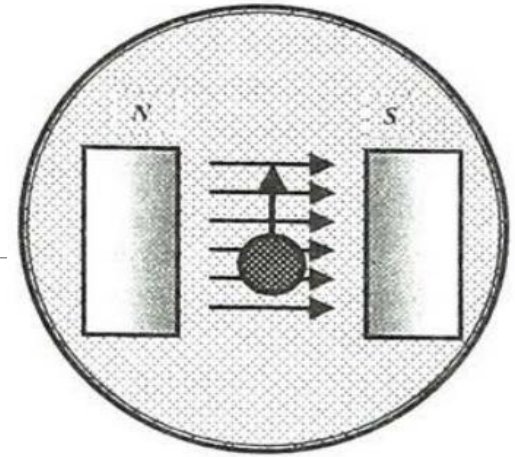
- Електричний струм в рідинах
- Електричний струм у газах



МАГНЕТИЗМ



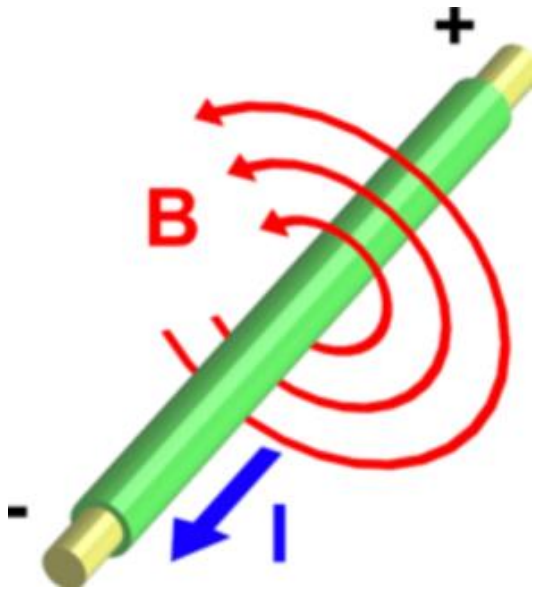
Магнетизм



- це розділ фізики, що вивчає взаємодію між електричними струмами, між струмами і магнітами (тілами з магнітним моментом) та між магнітами, а також властивості речовин, в яких проявляється ця взаємодія.

МАГНІТНЕ ПОЛЕ

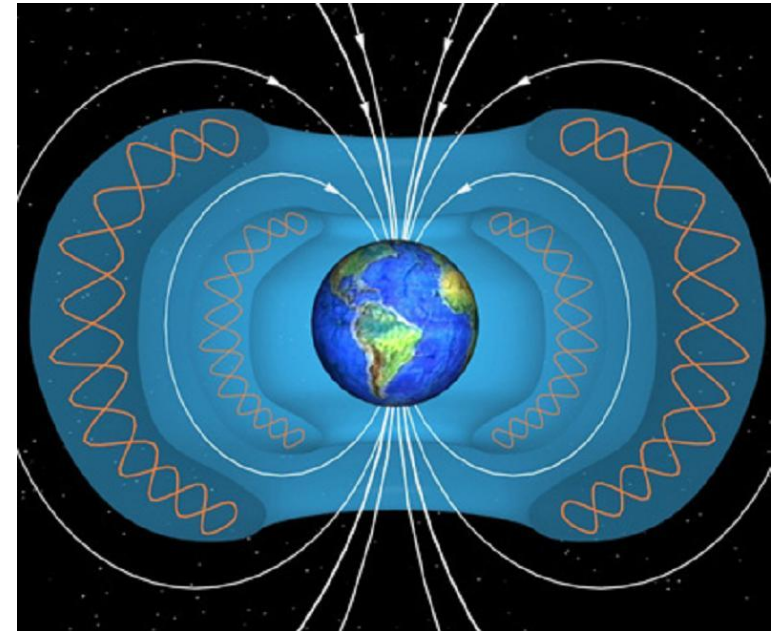
– особливий вид матерії, який виникає навколо провідника з електричним струмом, рухомої зарядженої частинки, постійного магніту і проявляється по дії на внесений у нього інший провідник з електричним струмом, іншу рухому заряджену частинку і інший постійний магніт.



Одиниця вимірювання магнітної індукції - Тл

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

μ_0 - магнітна стал а ($\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{ м}^2$),
 μ - магнітна проникність середовища.

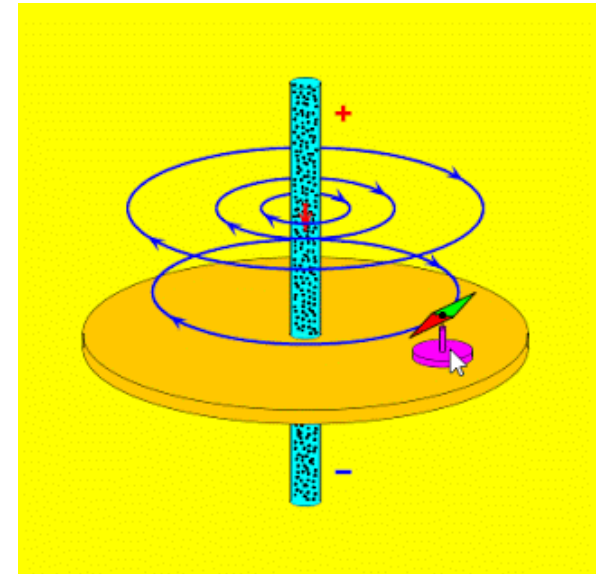
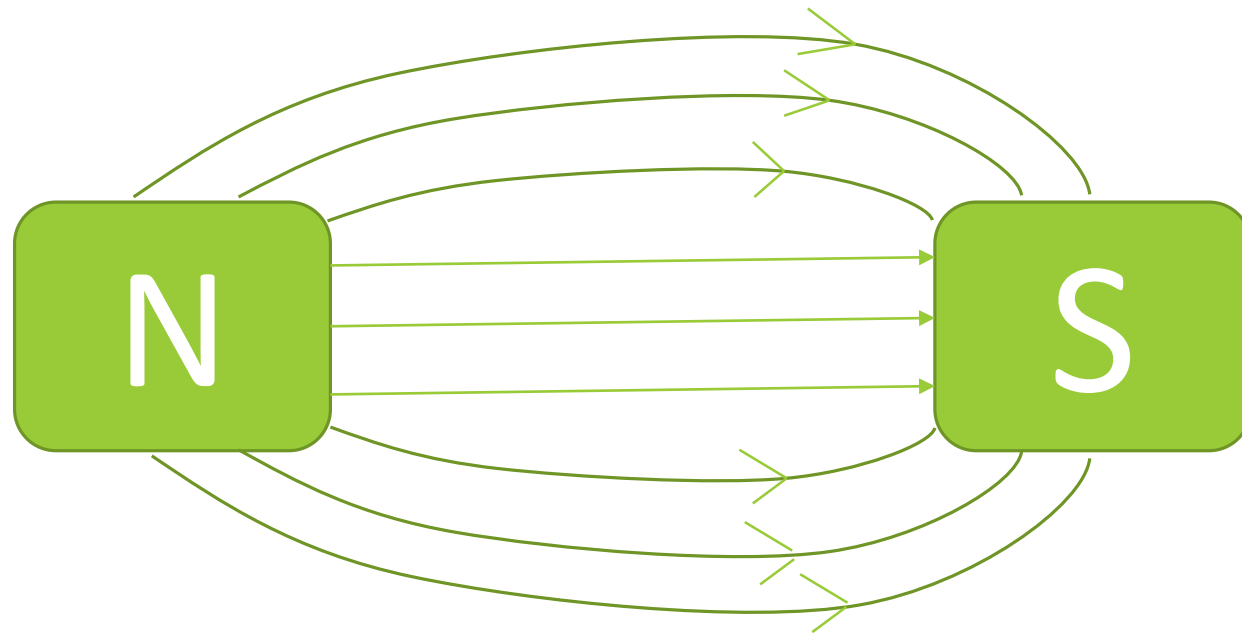
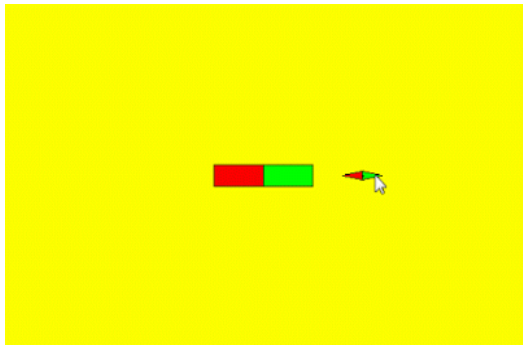


Одиниця вимірювання напруженості магнітного поля - $\text{А} \cdot \text{ м}^{-1}$

Геометричне зображення магнітного поля

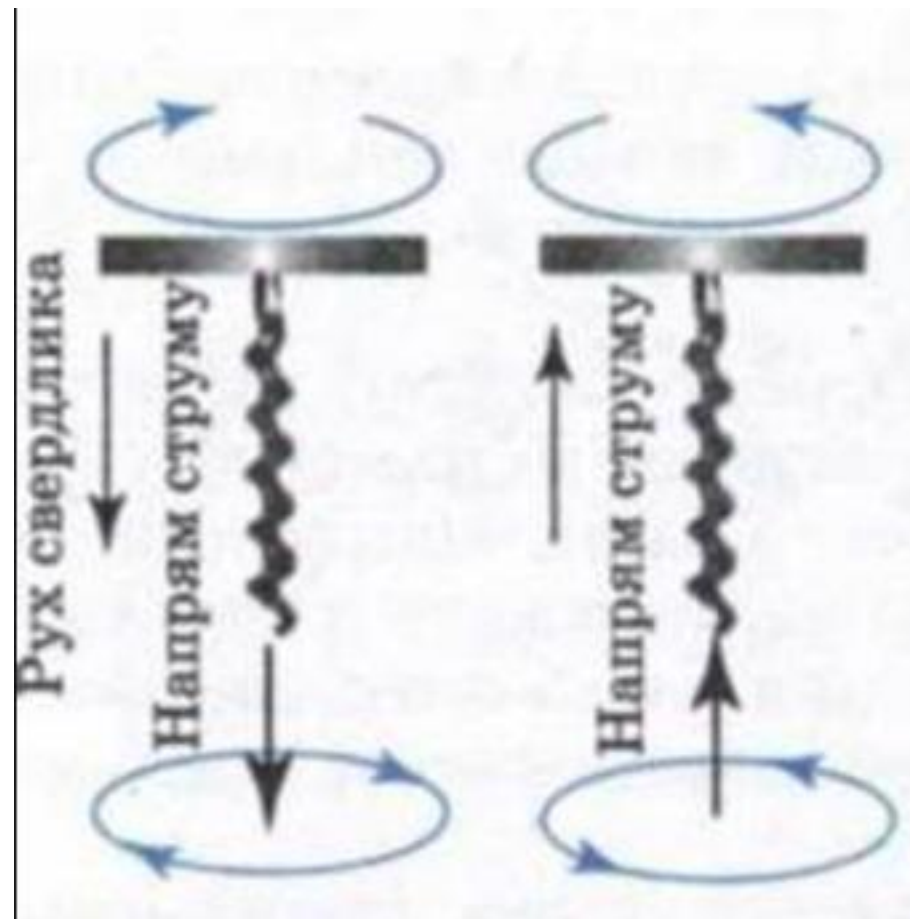
– лінії вектора магнітної індукції.

Вони замкнуті, виходять із північного і входять у південний полюс



Правило свердлика для визначення напрямку вектора магнітної індукції

рукоятку свердлика треба крутити таким чином, щоб центральна частина свердлика рухалась по напрямку сили струму, тоді рух рукоятки покаже напрямок вектора магнітної індукції.



Закон Біо-Савара-Лапласа



Біо-Жан Батист
(1774 – 1862)
Французький
фізик.



Савар Фелікс
(1791 – 1841)
Французький
фізик.



Лаплас Пьер Симон
(1749 – 1827)
Французький астроном,
фізик и математик.
Надав загальний вигляд
закону

– даний закон дає можливість визначити вектор магнітної індукції в будь-якій точці магнітного поля створеного нескінченним провідником.

$$\Delta \vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{I} \cos \alpha}{r^2} \Delta l$$

μ - магнітна проникність речовини
– показує в скільки разів магнітне поле магнетика збільшує або зменшує зовнішнє магнітне поле.
 μ_0 - магнітна постійна

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \cos \alpha}{r^2} dl$$

Закон Ампера. Правило лівої руки



Ампер Андре-Марі
(1775-1836) французький
фізик і математик

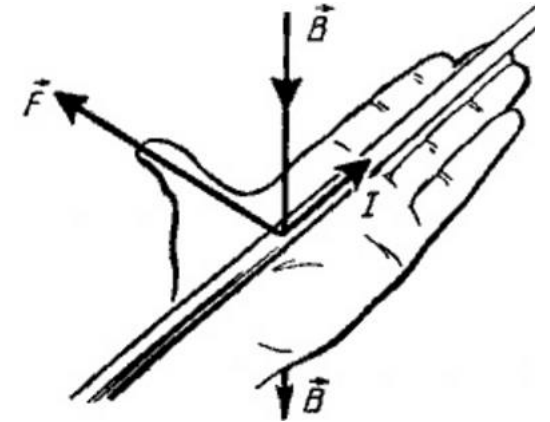
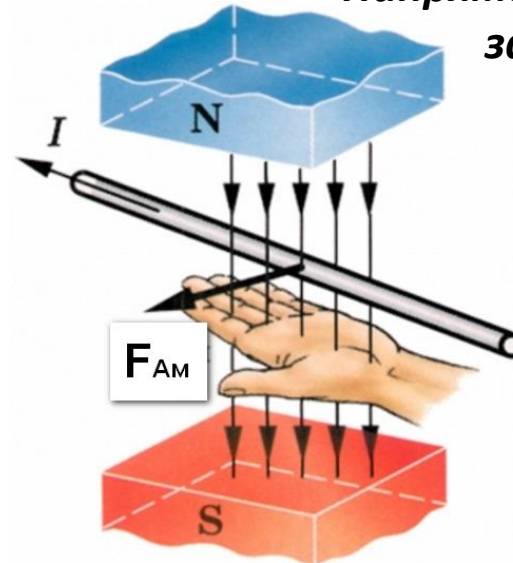
$$\vec{F}_A = \vec{B} \vec{I} l \sin \alpha$$

Закон Ампера

дає можливість визначити, з якою силою зовнішнє магнітне поле діє на провідник з електричним струмом.

Завдяки силі Ампера працюють електровимірювальні прилади, електродвигуни.

Напрямок сили Ампера визначається за правилом лівої руки.



Якщо руку розташувати так, щоб вектор магнітної індукції входив в долоню, а витягнуті чотири пальці збігалися з напрямком струму, то відігнутий великий палець укаже напрямок сили, що діє на провідник з боку поля

Сила Лоренца

сила, з якою зовнішнє магнітне поле діє на рухоми заряджену частинку

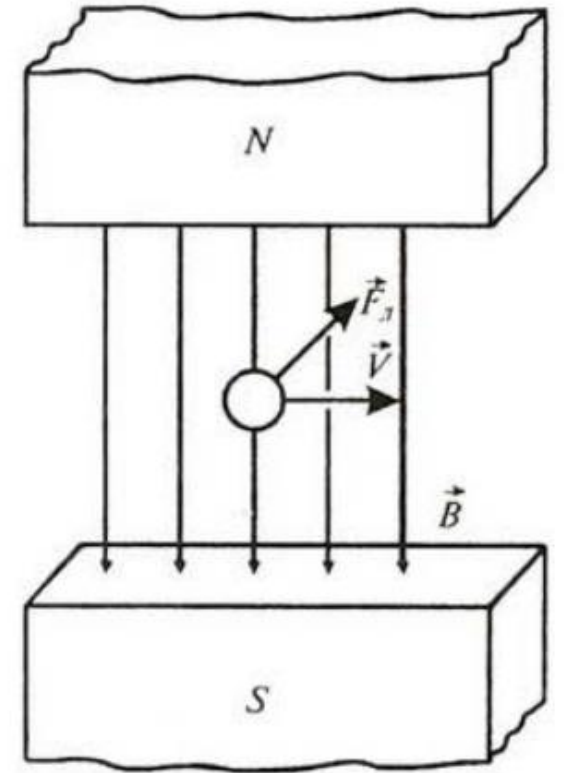


Хендрик Антон Лоренц (1853-1928)
нідерландський фізик-теоретик

$$\vec{F}_L = \frac{\vec{F}_A}{N}$$

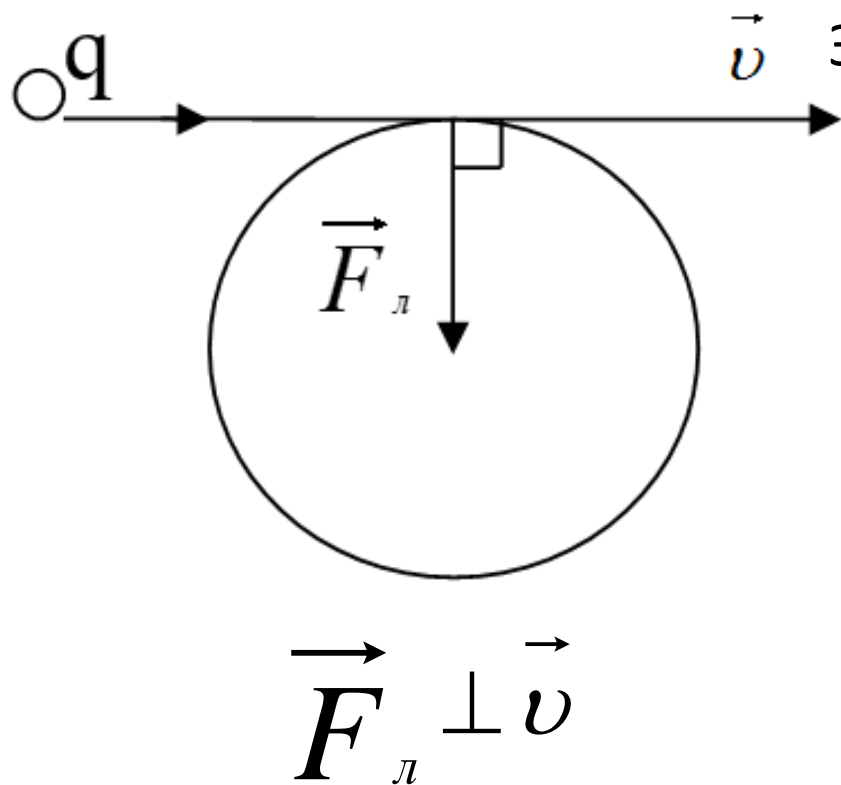
$$\vec{F}_L = \vec{B}q\vec{v} \sin \alpha$$

якщо ліву руку розташувати так, щоб вектор магнітної індукції входив в долоню, а витягнуті чотири пальці збігалися з напрямком вектора швидкості, то відігнутий великий палець вкаже напрямок сили, що діє на позитивний заряд



Рух зарядженої частинки в магнітному полі

Дана умова із механіки відповідає руху по колу або по дузі кола



Заряджена частинка попадаючи в магнітне поле тільки зміцнює напрямок руху по колу або по дузі кола

$$\vec{F}_g = \vec{F}_l$$



$$\begin{aligned} ma &= Bg\vec{v} \\ m \frac{v^2}{R} &= Bg\vec{v} \\ \frac{mv}{R} &= Bg \end{aligned}$$



$$\vec{v} = \frac{\vec{B}gR}{m}$$



Електромагнітна індукція

Задача Фарадея:

якщо провідник з електричним струмом створює магнітне поле, чи може магнітне поле створити електричний струм в контурі без джерела струму.

Фарадей Майкл
(1791—1867)
англійський фізик

В контурі без джерела струму з'являвся електричний струм тільки в тому випадку, коли на контур діяло змінне магнітне поле.

Це явище отримало назву **електромагнітної індукції**.

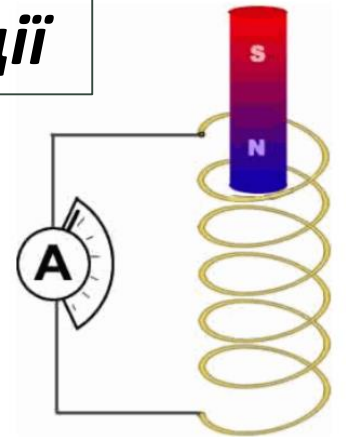
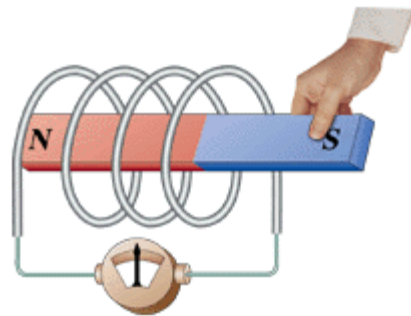
Потік вектора магнітної індукції

$$\Phi = \vec{B}S \cos \alpha$$

$$[\Phi] = 1 \text{ Вб}$$

Закон електромагнітної індукції

Усяка зміна магнітного поля, у якому розміщений провідник довільної форми, викликає в останньому появу ЕРС електромагнітної індукції

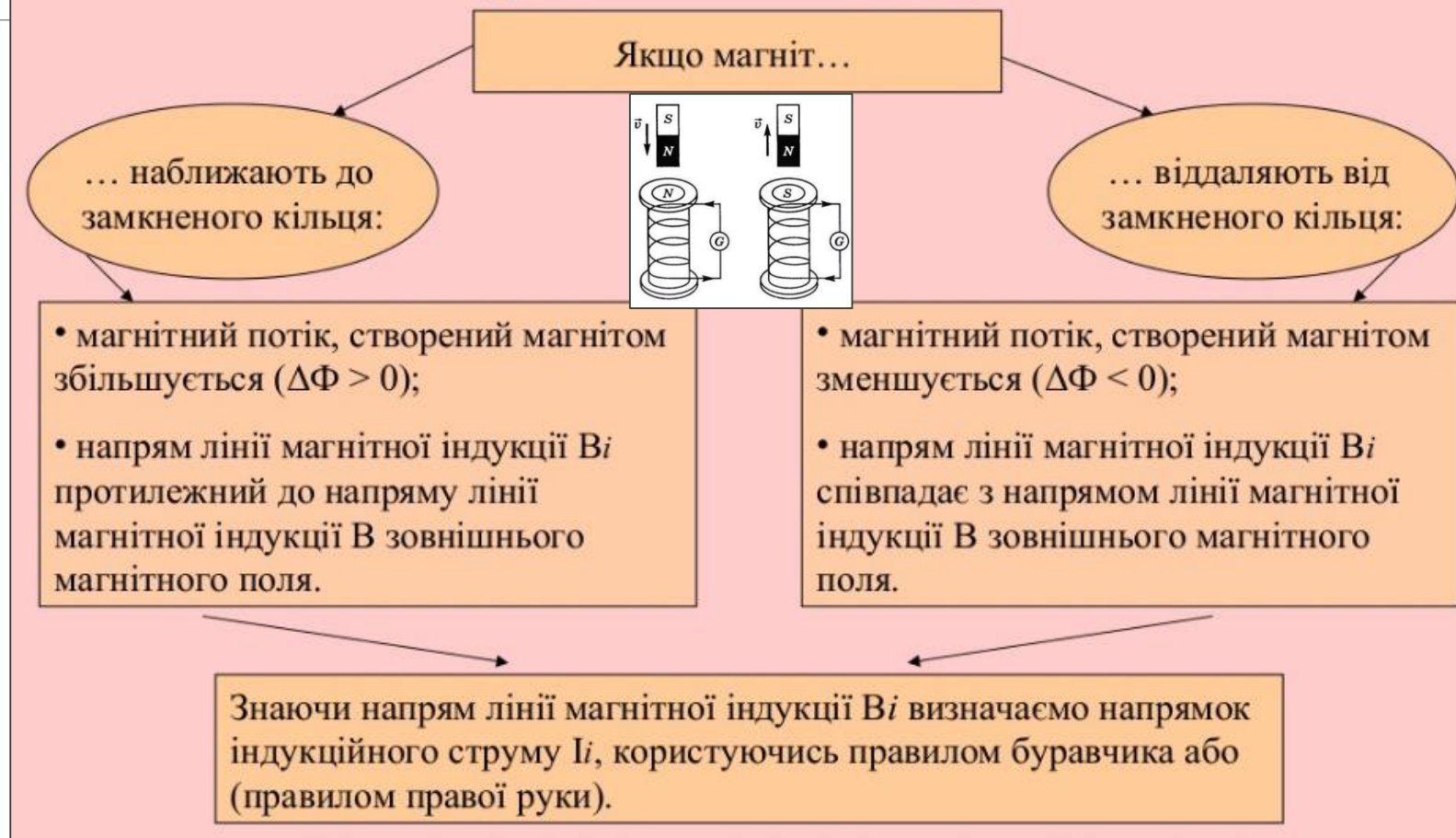


Правило Ленца

індукційний струм у замкнутому контурі має такий напрям, що створений ним магнітний потік через площу, обмежену контуром, прагне компенсувати ту зміну магнітного потоку, яка викликає даний струм.

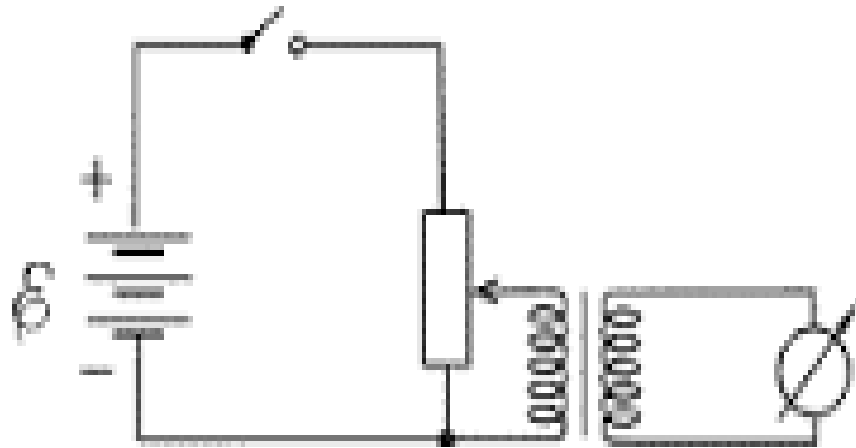


Алгоритм застосування правила Ленца



Явище самоіндукції

В момент вмикання і вимикання вимикача в першому контурі буде змінний електричний струм, який створить навколо котушки змінне магнітне поле.



Завдяки змінному магнітному полю у другому контурі буде відбуватись явище електромагнітної індукції, завдяки якій виникне індукційний струм.

Вище описане явище називається самоіндукція

Самоідукцією називається явище виникнення в провіднику або в котушці електрорушійної сили, яка утворюється внаслідок зміни власного струму і створеного ним магнітного потоку.

$$\Phi = LI$$

де L – індуктивність контуру

$$[L] = 1 \text{ Гн}$$

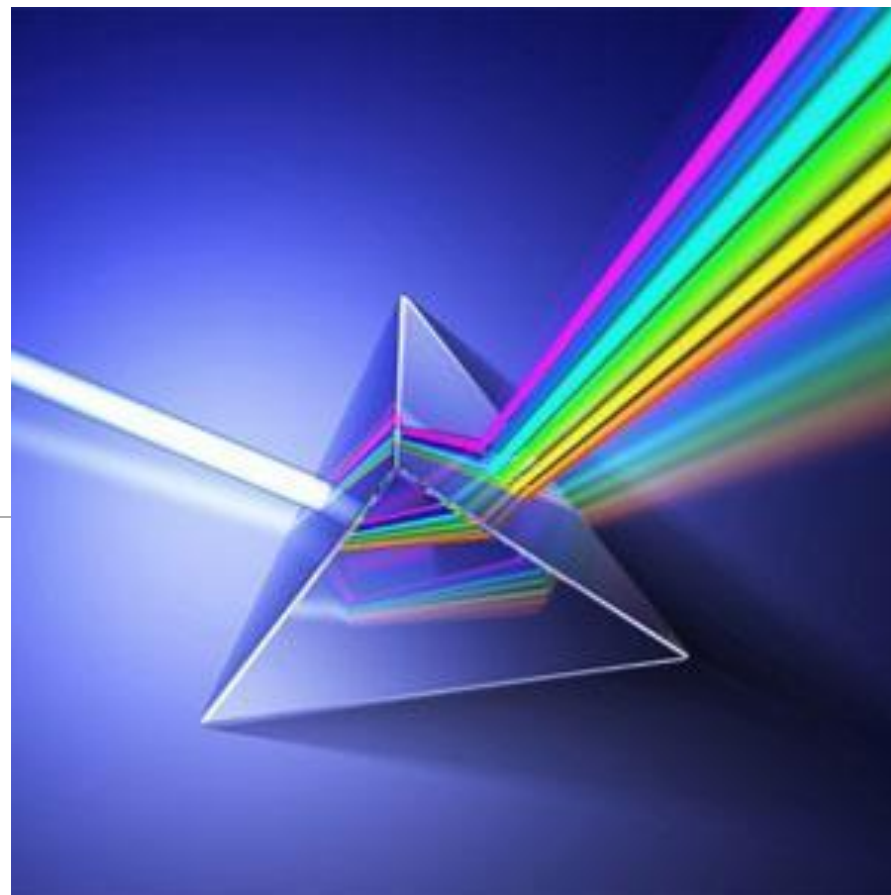
Фізичний зміст індуктивності: вона грає таку ж роль в електромагнітній індукції, як маса в механіці.

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(L \times I)}{dt}$$

закон самоіндукції

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -L \frac{dI}{dt}$$

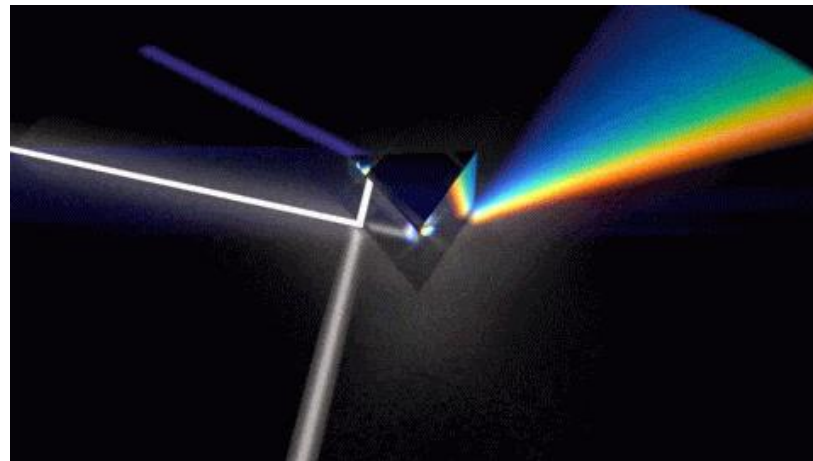
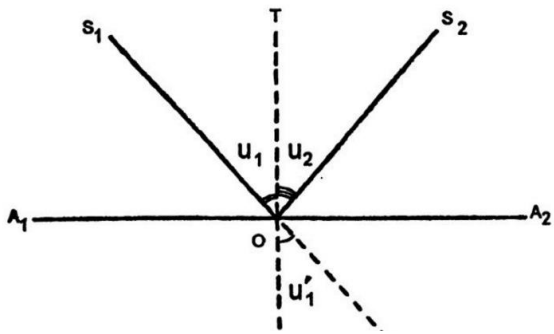
Оптика



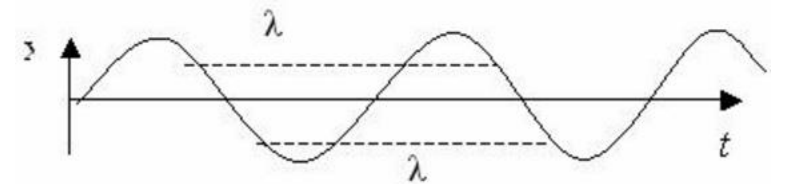
Оптика

розділ фізики, в якому вивчається оптичне випромінювання (світло), процеси його розширення та явища, що спостерігаються при взаємодії світла і речовини

Геометрична



Хвильова



Геометрична оптика

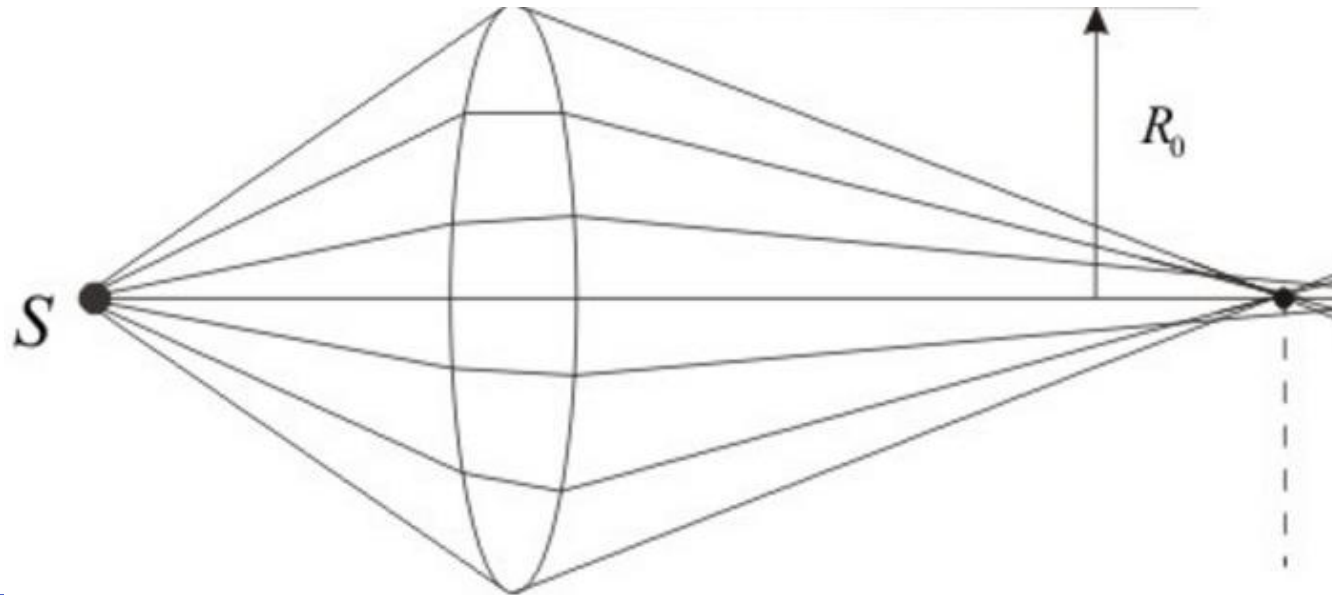
Геометричною оптикою називається частина оптики, в якій вивчаються закони поширення світла в прозорих середовищах на основі уявлень про нього як про сукупність світлових променів



Світловий промінь
– це лінія, яка вказує напрямок
поширення світлової енергії

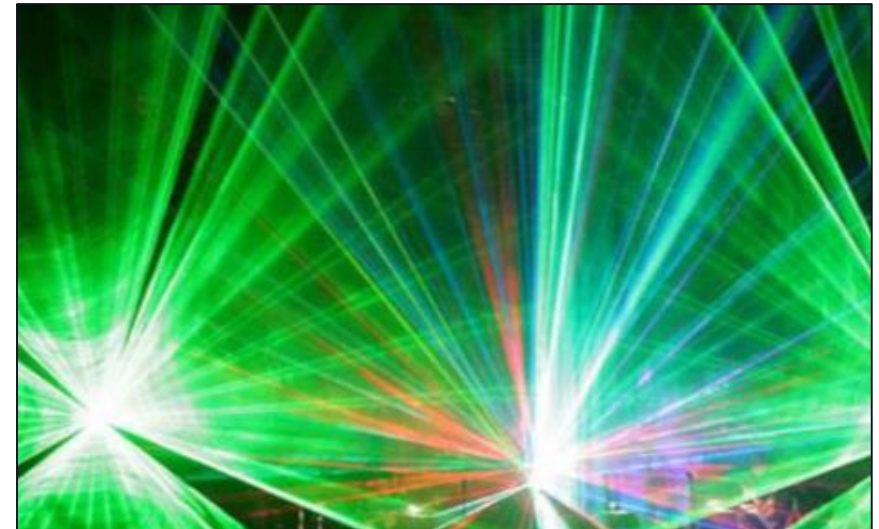
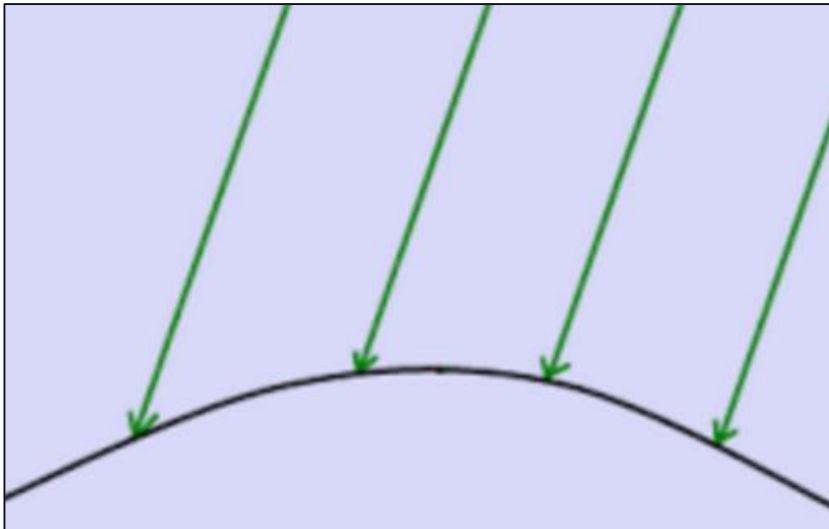
Зображення в геометричній оптиці

зображенням точкового джерела називають точку, в якій перетинаються промені від цього джерела після проходження ними оптичної системи

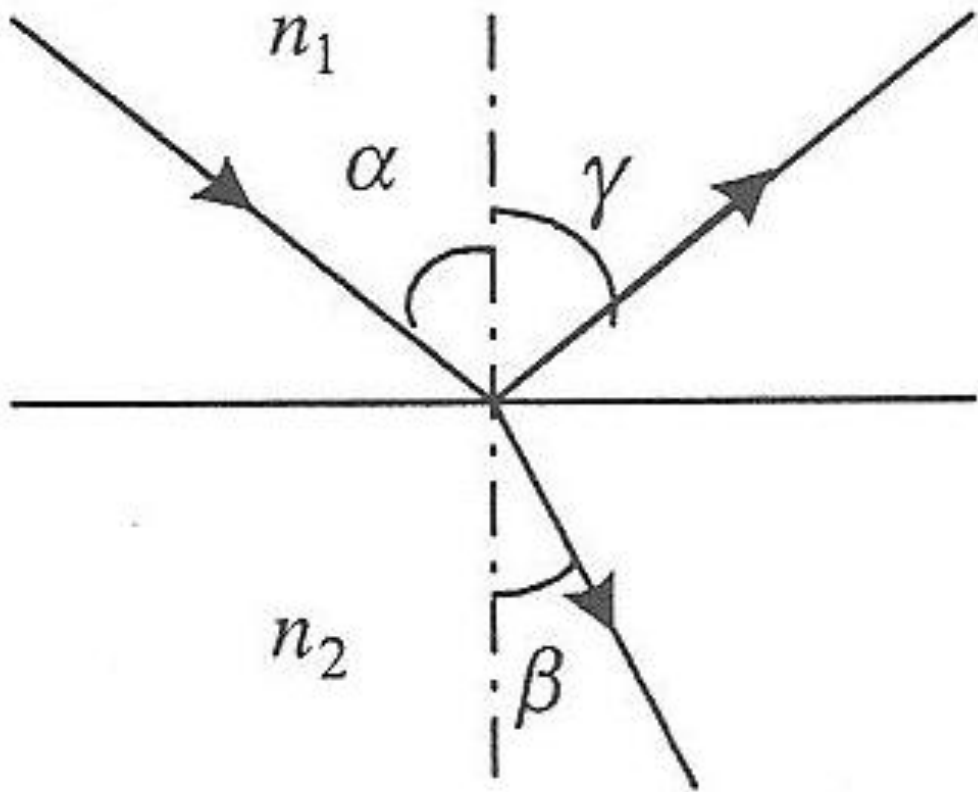


Закон прямолінійного поширення світла

стверджує, що в оптично однорідному середовищі або у вакуумі світло поширюється прямолінійно, тобто промінь світла являє собою пряму лінію



Закони відбивання і заломлення світла

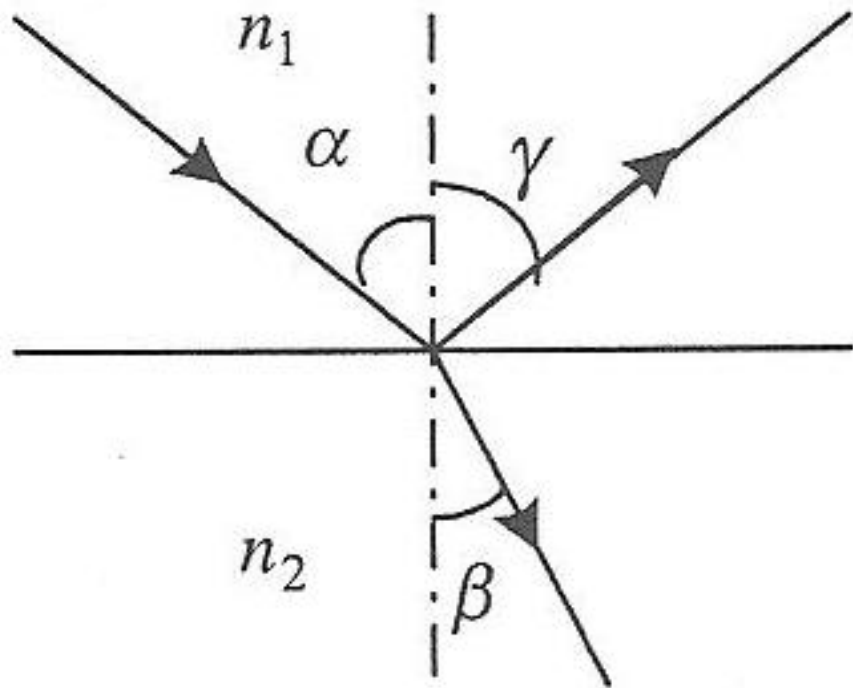


Кут α між напрямком падаючого променя і нормаллю до межі поділу двох середовищ, яка проведена в точку падіння, називають **кутом падіння**.

Кут γ між напрямком відбитого променя і нормаллю до межі поділу двох середовищ, яка проведена в точку падіння, називають **кутом відбивання**.

Кут β між заломленим променем і нормаллю до межі поділу називають **кутом заломлення**.

Закони заломлення світла



1

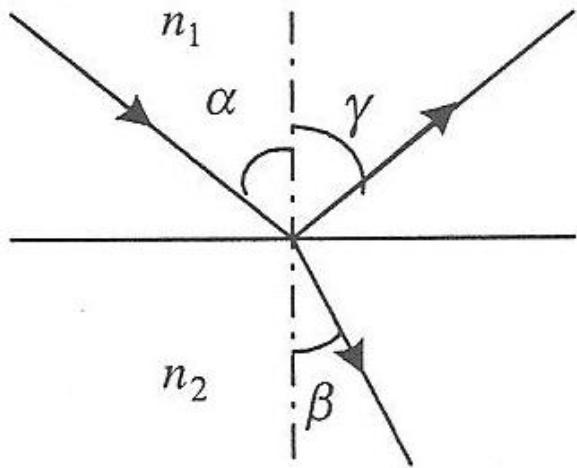
падаючий і заломлений промені і нормаль, проведена до межі поділу двох середовищ, лежать в одній площині

2

відношення синуса кута падіння α до синуса кута заломлення β є величина стала і залежить тільки від оптичних властивостей середовищ, які межують між собою; його називають відносним показником заломлення n_{21} другого середовища відносно першого

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

Показники заломлення



n_1 і n_2 - абсолютні показники заломлення першого і другого середовища. Якщо промінь світла падає із вакууму в будь-яке середовище, то відношення

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

- називають абсолютним показником заломлення даного середовища.

$$n = \frac{c}{\mathcal{V}}$$

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\mathcal{V}_1}{\mathcal{V}_2}$$

відносний показник заломлення дорівнює відношенню швидкості світла в середовищі, в якому світло поширюється до заломлення, до швидкості світла в середовищі, в яке воно переходить після заломлення



Лінзи



Лінза — це прозоре тіло, яке обмежене з обох сторін сферичними поверхнями.



а) двовипукла



**б) плоско-
опукла**



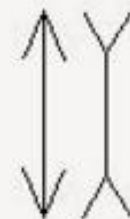
в) двоввігнута



**г) плоско-
ввігнута**

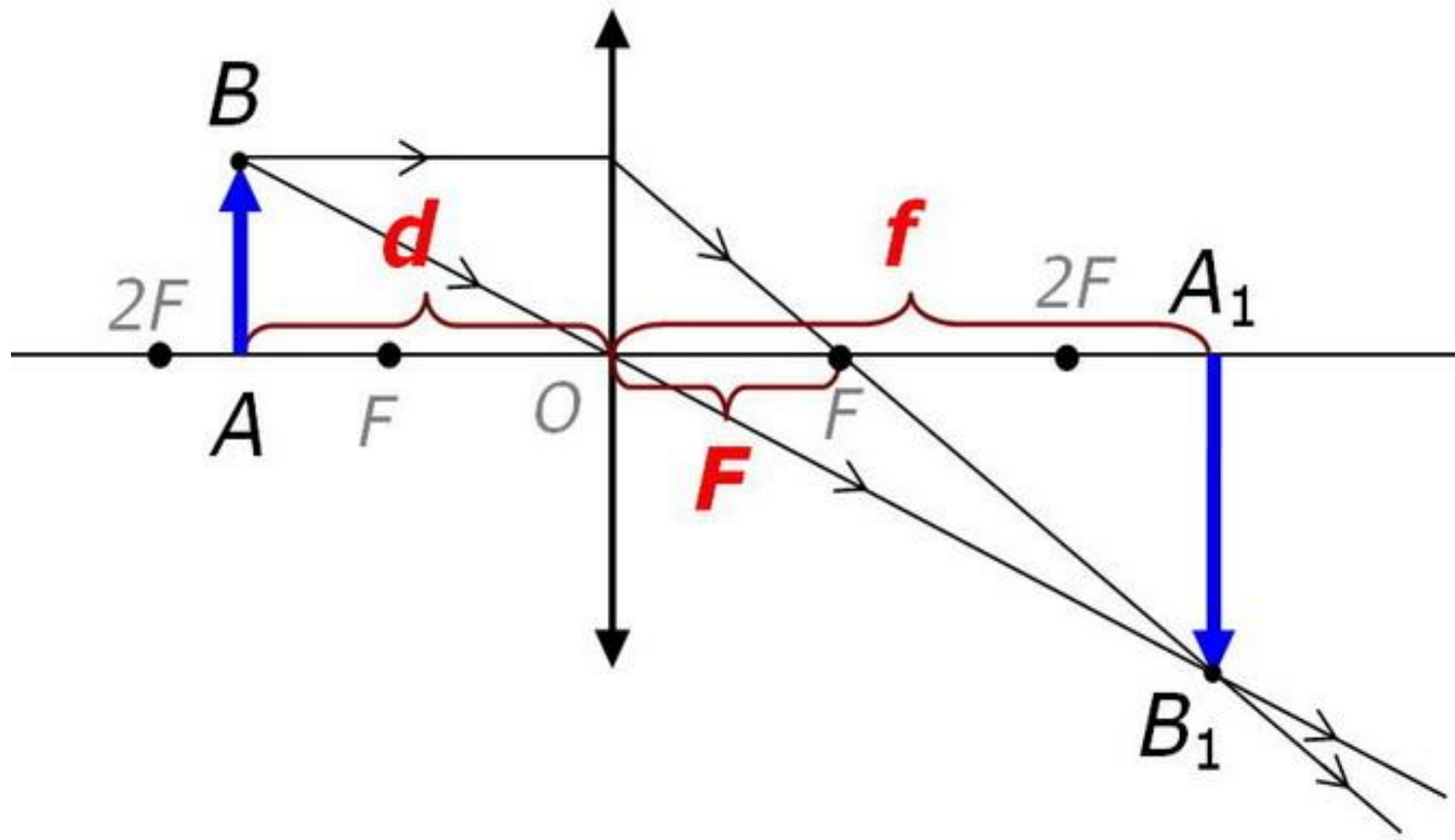


**д) опукло-
ввігнута**



е)

Формула тонкої лінзи



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

d - відстань від предмета до лінзи;
 f - відстань від зображення до лінзи;

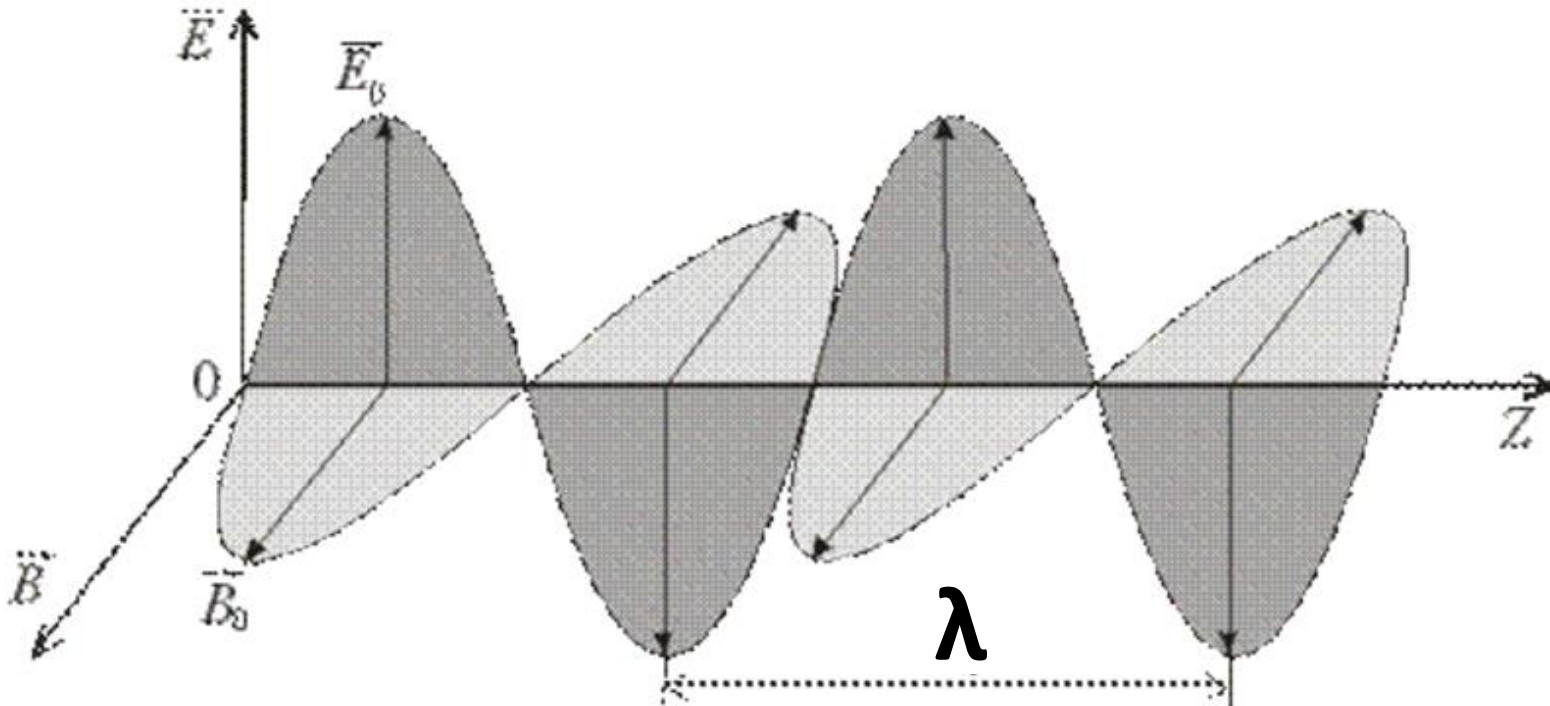
F - фокусна відстань.

Хвильова оптика

У **хвильовій оптиці** розглядаються явища, в яких проявляється хвильова природа світла (*інтерференція, дифракція*)

Основним поняттям хвильової оптики є поняття електромагнітної хвилі

Модель поширення електромагнітної хвилі в просторі



$$\lambda = cT$$

$$T = \frac{c}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

Інтерференція світла

накладання хвиль, при якому в різних точках спостерігається посилення (конструктивна інтерференція) або послаблення амплітуди коливань.

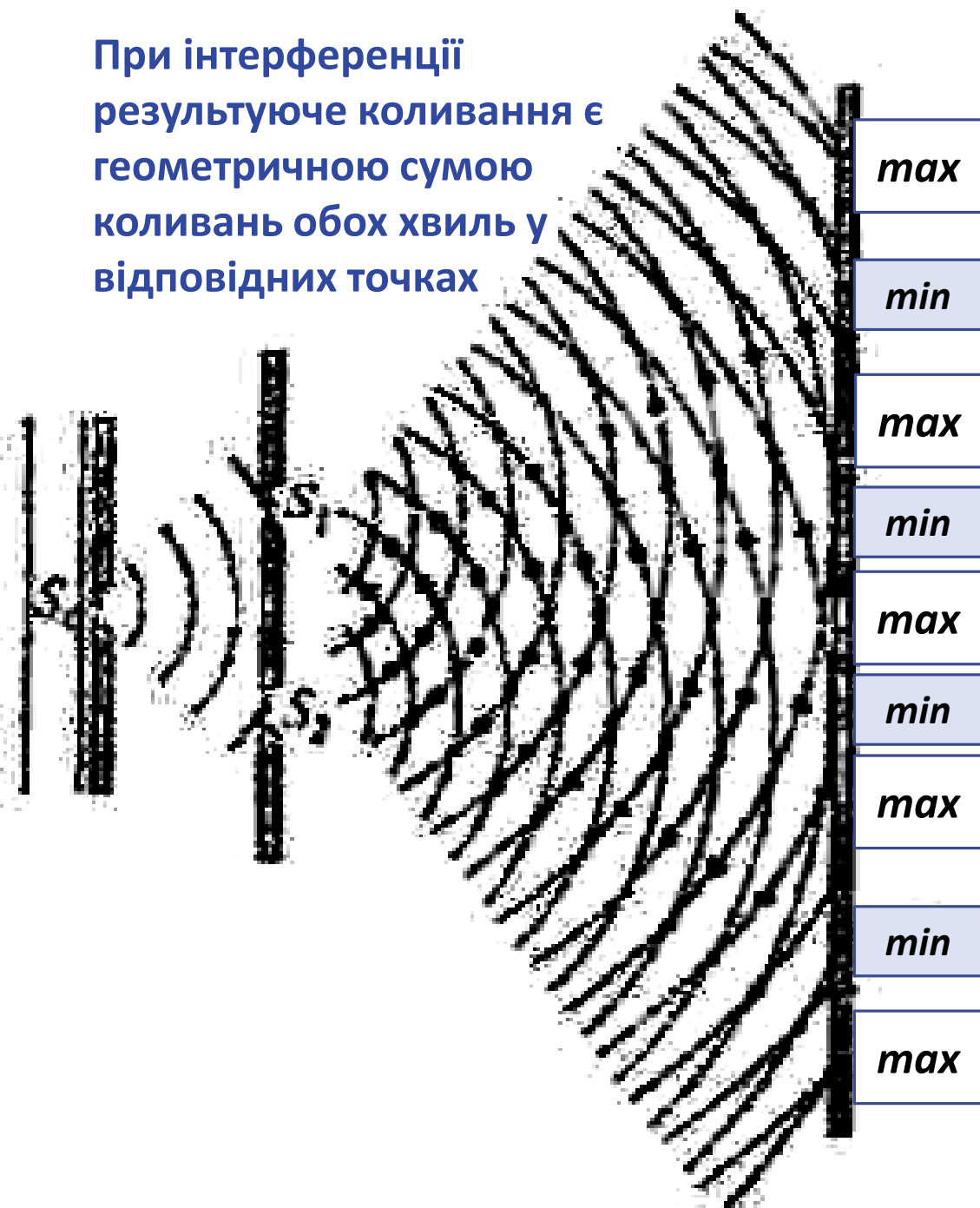
Результат накладання хвиль називається **інтерференційною картиною**

Інтерференція спостерігається у когерентних хвиль

Когерентні хвилі - це хвилі, що розповсюджуються в просторі з однаковою частотою і постійною різницею фаз.

$$X = X_m \sin \omega t + \varphi_0$$

При інтерференції
результуюче коливання є
геометричною сумою
коливань обох хвиль у
відповідних точках



Інтерференційна картина

Найпростішим випадком інтерференції є накладання двох гармонічних хвиль з однаковою частотою і поляризацією.

Використання інтерференції



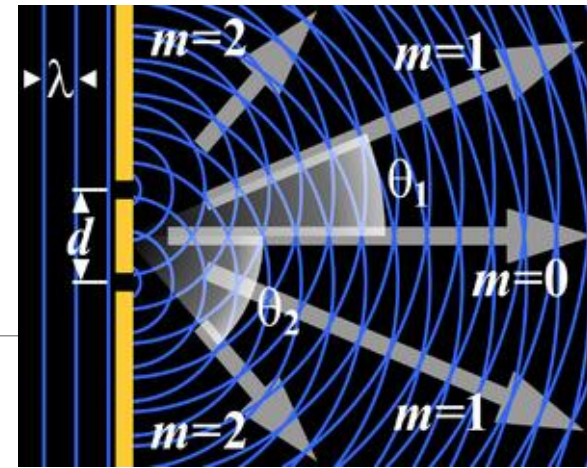
Явище інтерференції використовується в радіотехніці і акустиці для створення складних антен



Особливо велике значення інтерференція має в оптиці, вона лежить в основі оптичної та акустичної голографії

Дифракція світла

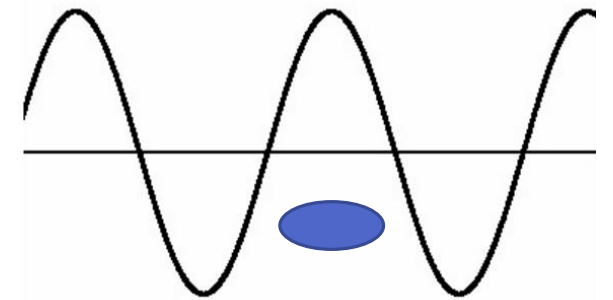
явище, що спостерігається при поширенні світла мимо різких країв непрозорих або прозорих тіл, крізь вузькі отвори



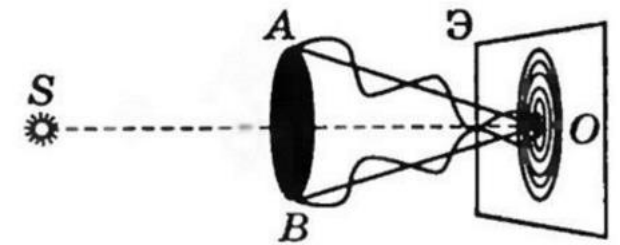
Хвиля здатна обгинати перешкоди.

Дифракція добре проявляється тоді, коли розмір перешкоди на шляху хвилі порівняний з її довжиною або менший.

Якщо довжина хвилі більша чим довжина перешкоди, то хвиля проходить її не змінюючи свої параметри.

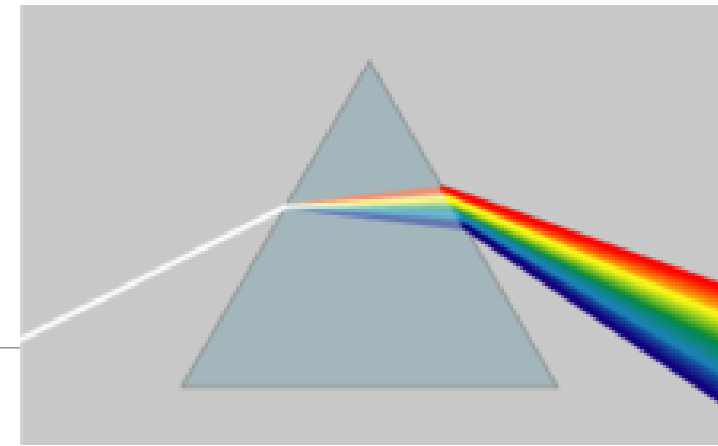


Якщо довжина хвилі менша чим довжина перешкоди то хвиля огинає перешкоду і за перешкодою створюється простір в якому неможливо прийняти електромагнітну хвилю.



Дисперсія світла

залежність показника заломлення (або діелектричної проникності) середовища від частоти хвилі світла.

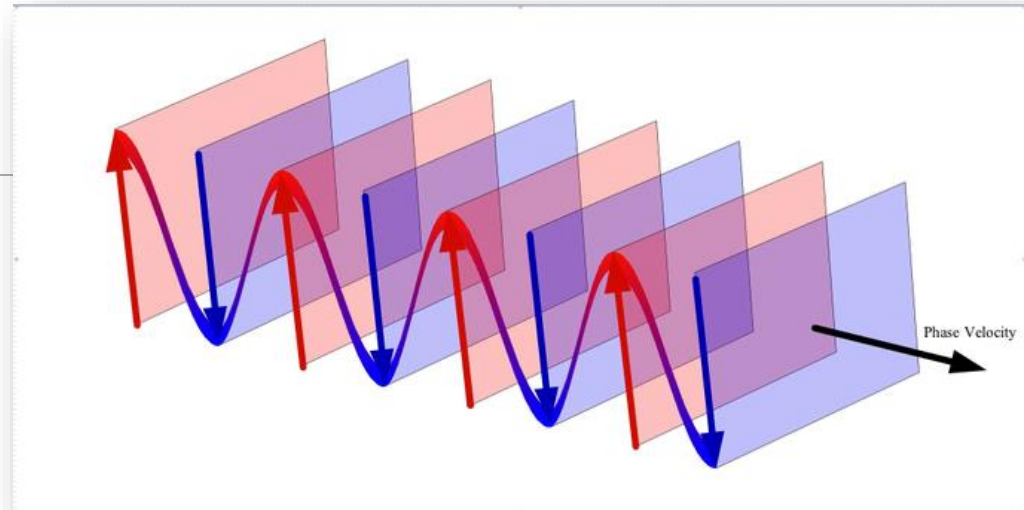


$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Із закону заломлення видно, чим більша довжина хвилі тим більше кут заломлення.

Так як кожен колір має свою довжину хвилі, то при проходженні через призму він заломлюється під своїм кутом, що і приводить до створення спектру.

Квантова природа світла



Квантова оптика

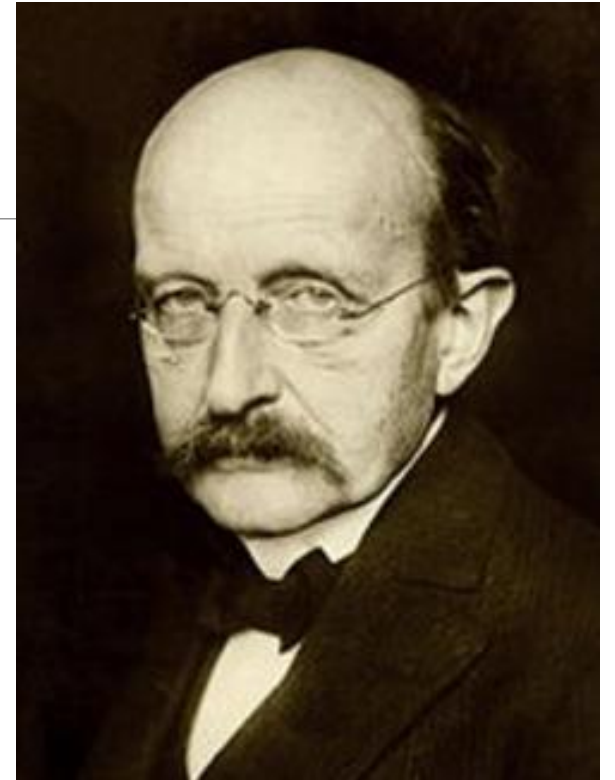
Квантова оптика розглядає оптичні явища, в яких вивчається квантова природа світла

Основні ідеї квантової теорії були розроблені в період з 1900 до 1930 рр.



Згідно з гіпотезою М. Планка, енергія випромінюється не безперервно, а дискретно, тобто певними порціями квантами (фотонами).

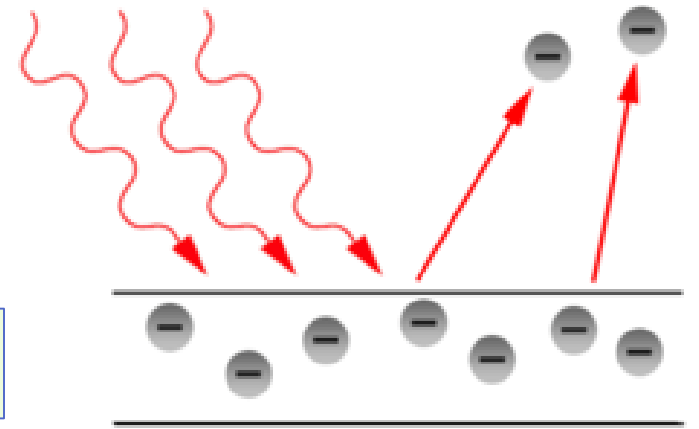
Квантова природа світла визначає, що **світло – це потік фотонів (квантів)**, а кожен фотон має масу, імпульс і дискретну енергію тільки при швидкості світла.



Макс Карл Эрнст Людвиг Планк
(1858 — 1947)
німецький фізик-теоретик,
основоположник квантової
фізики.

Фотоефект

явище «вибивання» світлом електронів із металів



Розрізняють:

- 1) **Зовнішній фотоефект** – виривання електронів з речовини під дією світла.
- 2) **Внутрішній фотоефект** – перерозподіл електронів за енергетичними рівнями під дією світла (електромагнітного випромінювання).

Енергія фотона. Рівняння Планка

$$E_{\phi} = h \nu$$

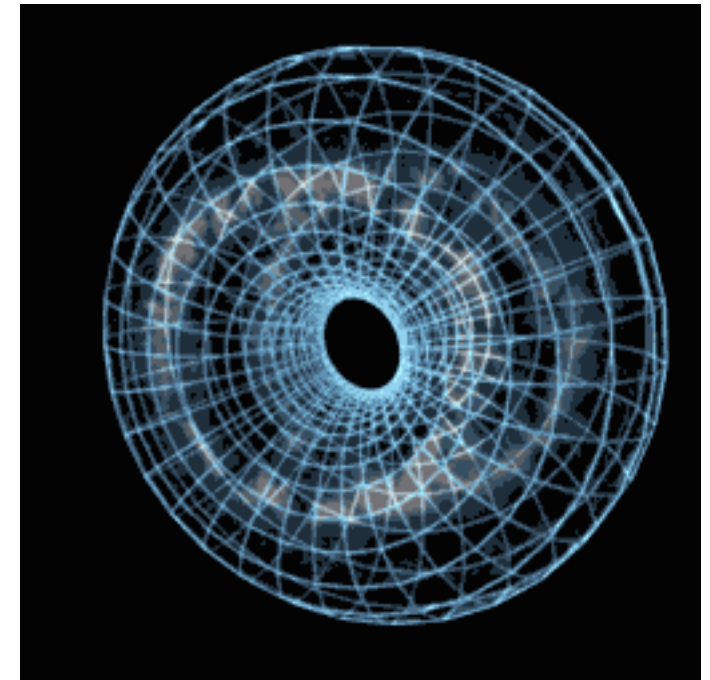
$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

де h – постійна Планка,

$$h = 6.626\ 069\ 57(29) \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с.}$$

– частота світла, $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек. – швидкість світла.

Схематичний вигляд фотона, де частота - це період обертання тороїда.



Маса та імпульс фотона

Фотон — квант електромагнітного поля, елементарна частинка, що є носієм електромагнітної взаємодії

Енергія фотона по Ейнштейну:

$$E_{\phi} = m_{\phi} c^2 \quad h\nu = m_{\phi} c^2$$

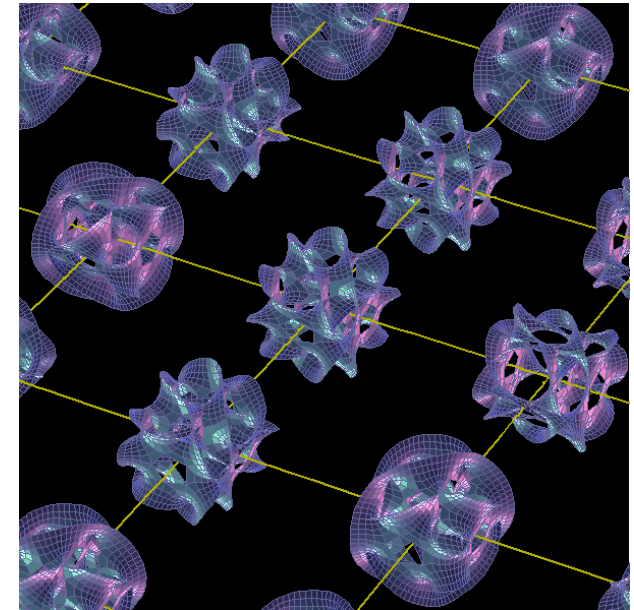
Маса фотона:

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2}$$

Імпульс фотона:

$$p_{\phi} = m_{\phi} c = \frac{h\nu}{c^2} \cdot c = \frac{h\nu}{c}$$

$$p_{\phi} = \frac{h\nu}{c}$$



Рівняння Ейнштейна

Закон збереження енергії для процесу взаємодії фотона з електроном під час фотоефекту описується рівнянням Ейнштейна:

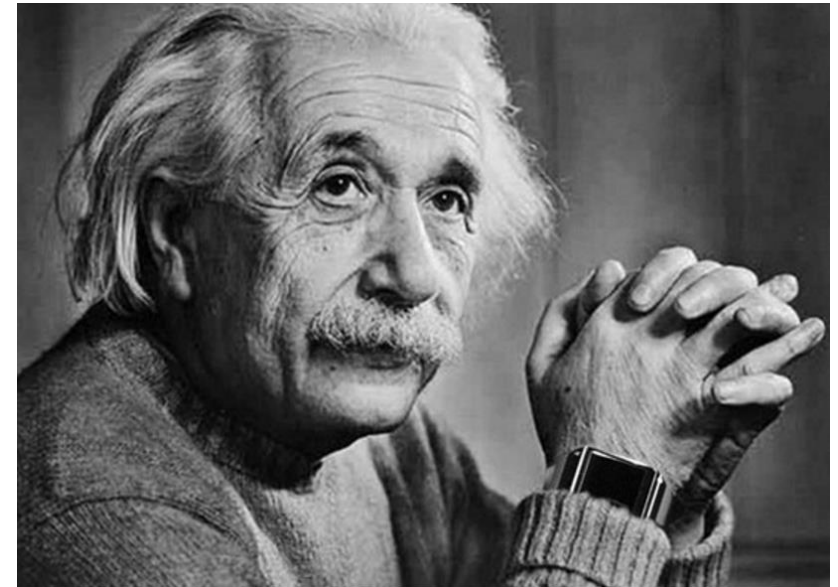
$$h\nu = A_{\text{вих}} + \frac{m_e V_e^2}{2} \quad \text{де}$$

A – робота виходу електрона з речовини,

$\frac{m_e V_e^2}{2}$ – кінетична енергія електрона

Мінімальна енергія фотона, яка достатня для одержання фотоефекту, дорівнює:

$$A_{\text{вих}} = h\nu_{\text{min}}$$



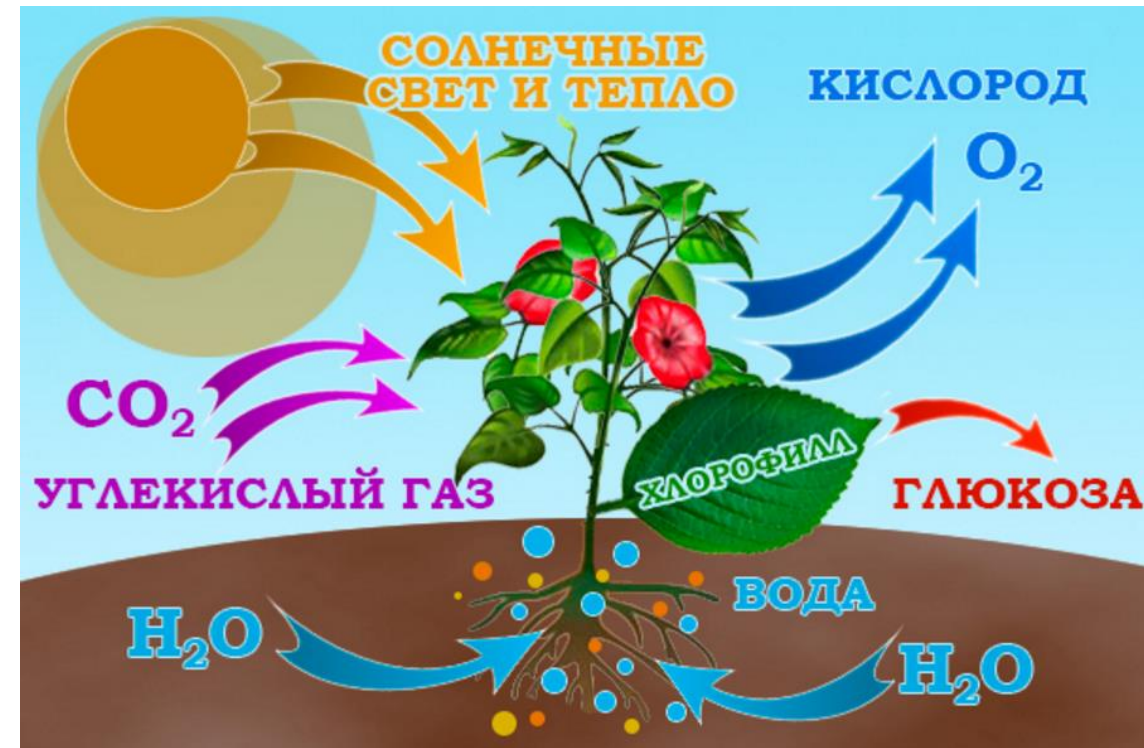
Альберт Ейнштейн (1879-1955)
є знаменитим ученим, одним із засновників сучасної теоретичної фізики

Фотосинтез та його роль в с.-г.

Фотосинтез — процес синтезу органічних сполук з вуглекислого газу та води з використанням енергії світла й за участю фотосинтетичних пігментів (хлорофіл у рослин, хлорофіл, бактеріохлорофіл і бактеріородопсин у бактерій), часто з виділенням кисню як побічного продукту.

Це надзвичайно складний процес, що включає довгу послідовність координованих біохімічних реакцій. Він відбувається у вищих рослинах, водоростях, багатьох бактеріях, деяких археях і найпростіших — організмах, відомих разом як фототрофи.

Сам процес відіграє важливу роль у кругообігу вуглецю у природі.



Дякую за увагу!

Література

1. Зисман Г.А. Курс загальної фізики / Зисман Г.А., Тодес О.М.. – М. Наука, 1972 – 1974. . – 508 с. – (Т. 3).
2. Савельєв І.В. Курс загальної фізики / І.В. Савельєв. – М.: Наука, 1972-1974. – 543 с. – (Т. 2).
3. Савельєв І.В. Курс загальної фізики / І.В. Савельєв. – М.: Наука, 1972-1974. – 456 с. – (Т. 3).
4. Калашников С.Г. Електрика / С.Г. Калашников – М.: Наука, 1977. . – 326 с.
5. Сивухин Д. В. Загальний курс фізики / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1977. – 560 с. – (Т. 1).
6. Сивухин Д. В. Загальний курс фізики / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1977. – 591 с. – (Т. 2).
7. Сивухин Д. В. Загальний курс фізики / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1977. – 704 с. – (Т. 3).
8. Сивухин Д. В. Загальний курс фізики / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1977. – 792 с. – (Т. 4).
9. Матвеев А.Н. Електродинаміка / А.Н. Матвеев – М.: Вища школа, 1981. – 424с.
10. Епифанов Г.И. Твердотільна електроніка. / Г.И. Епифанов, Мома Ю.А. – М.: Вища школа, 1986. – 304с.
11. Сена Л.А. Одиниці фізичних величин та їх розмірності / Л.А. Сена – М.: Наука, 1977. – 335с.
12. Чертов А. Г. Одиниці фізичних величин / А. Г. Чертов. – М.: Вища школа, 1977. – 287 с.

Навчальне видання

«ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ»

в слайдах для теоретичного вивчення матеріалу
методичні рекомендації з вивчення дисципліни

Методичні рекомендації

Укладач: **Бацуровська** Ілона Вікторівна

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 13,75.

Тираж 100 прим. Зам. № __

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р