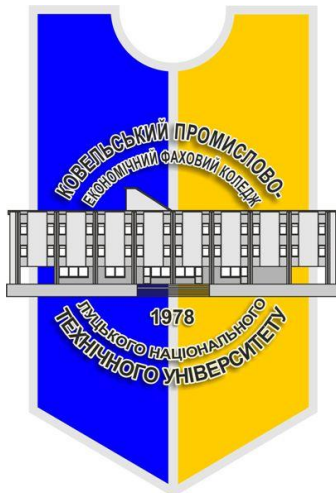


Міністерство освіти і науки України
ВСП « Ковельський промислово-економічний фаховий коледж
Луцького національного технічного університету»



ФІЗИКА І АСТРОНОМІЯ

конспекти лекцій для студентів І-го курсу
для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня фаховий молодший
бакалавр усіх спеціальностей денної форми навчання.

Ковель, 2019

УДК 53.01/.0982.0(07)

Ф-50

До друку

Голова навчально-методичної ради Луцького НТУ _____ В.І. Талах

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій Луцького НТУ Директор бібліотеки _____ С.С.Бакуменко

Затверджено навчально-методичною радою Луцького НТУ,

протокол № _____ від «_____» _____ 2019 року.

Рекомендовано до видання методичною радою КПЕК Луцького НТУ,

протокол № ____ від «__» _____ 2019 року.

Голова методичної ради КПЕК Луцького НТУ _____ І. М. Ілюшик

Розглянуто і схвалено на засіданні циклової методичної комісії природничо-математичних дисциплін Ковельського промислово-економічного коледжу Луцького НТУ, протокол № _____ від «_____» _____ 2019 року.

Голова циклової методичної комісії _____ Лиховид Л.Г.

Укладач: _____ Л.І. Серeda, викладач фізики КПЕК Луцького НТУ

Рецензент: _____ С.Ф. Бабарика, к.т.н., викладач КПЕК Луцького НТУ

Відповідальний за випуск: _____ Л.І. Серeda, викладач фізики КПЕК Луцького НТУ

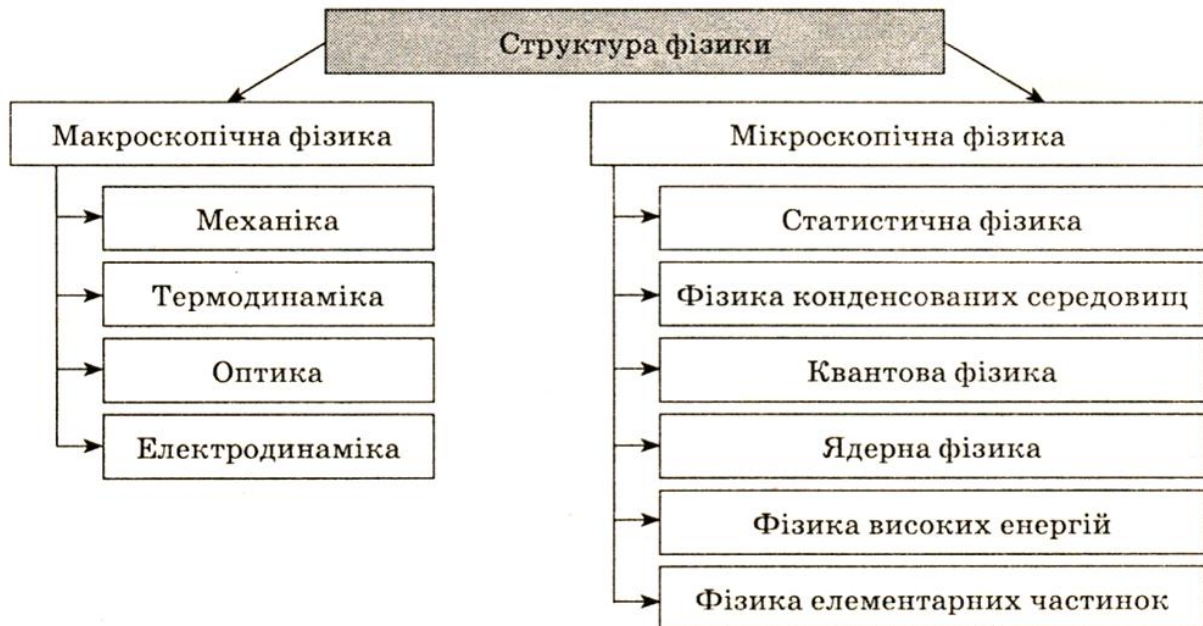
Ф-50 Фізика і астрономія[Текст]: конспекти лекцій для студентів І-го курсу усіх спеціальностей денної форми навчання/уклад. Л.І. Серeda. – Ковель: КПЕК Луцького НТУ, 2019. –104с.

Методичне видання складене відповідно до діючої програми предмету «Фізика і астрономія» рівень «стандарт» авторський колектив під керівництвом Локтева В.М. з метою розуміння студентами суті фізичних процесів з урахуванням внутрішньо-наукових та між предметних зв'язків.

Призначене для студентів вищих навчальних закладів І-ІІ рівнів акредитації

1. Вступ

Зародження і розвиток фізики як науки

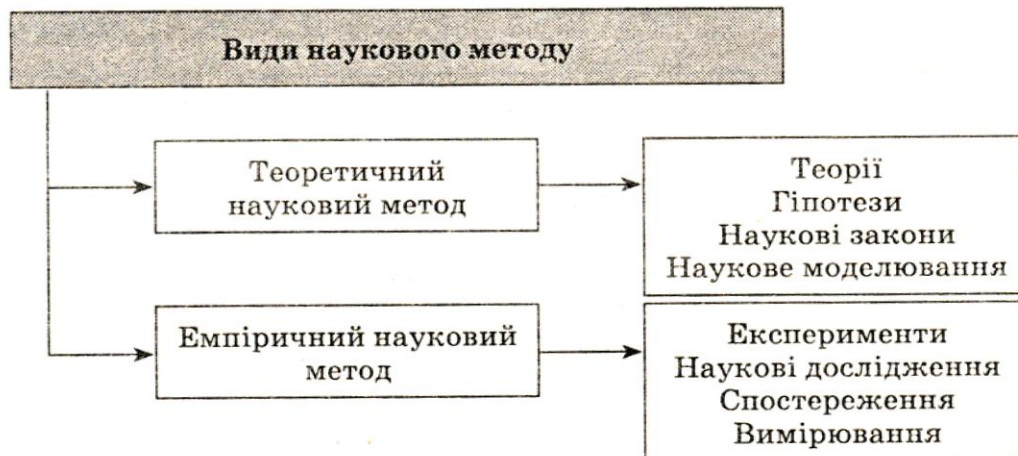


Науковий метод — це сукупність основних способів отримання нових знань та методів розв'язання задач у межах різних наук

Основою отримання знань є спостереження та експерименти

Для пояснення отриманих результатів висуваються гіпотези та створюються теорії, на основі яких формуються висновки і припущення. Отримані прогнози перевіряються за допомогою експерименту або збирання нових фактів

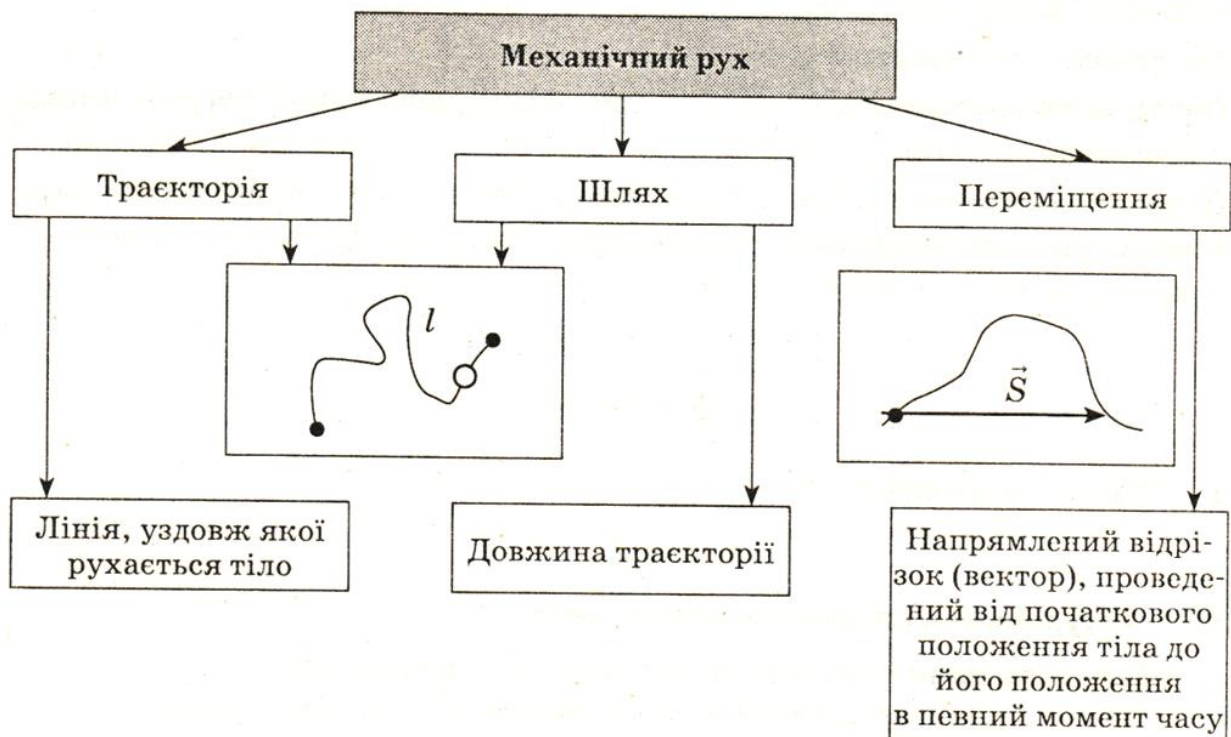
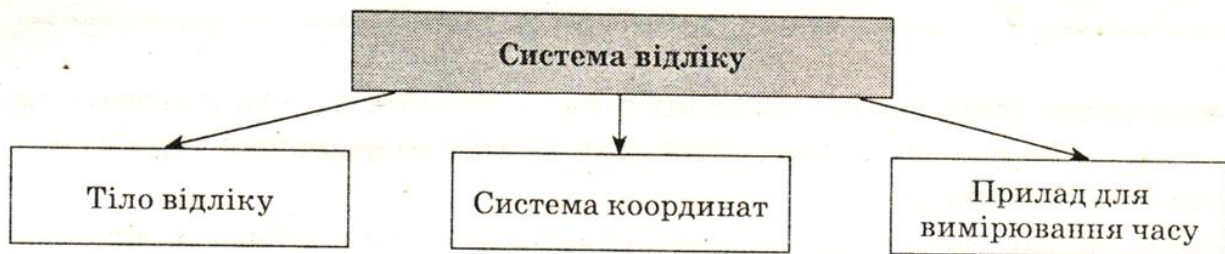
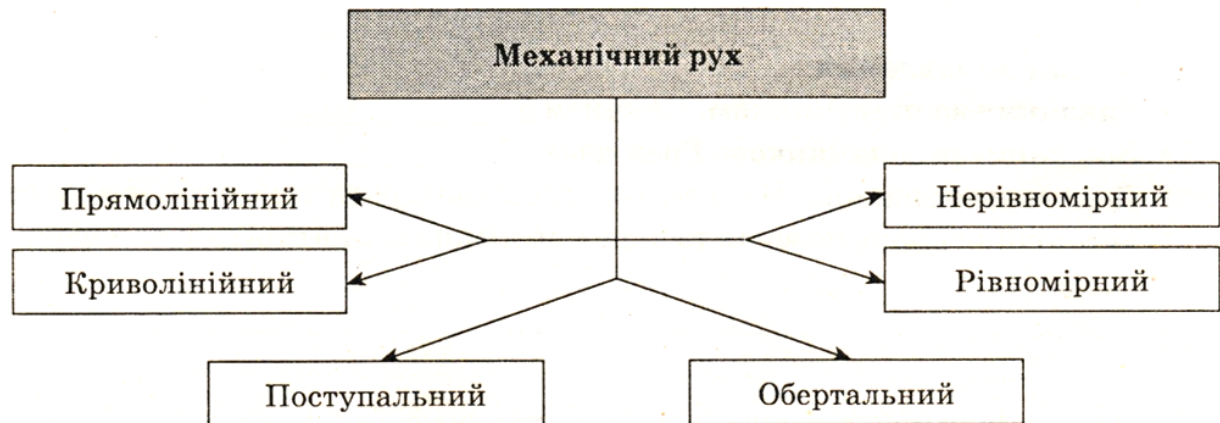
Види наукового методу



1.1. Кінематика

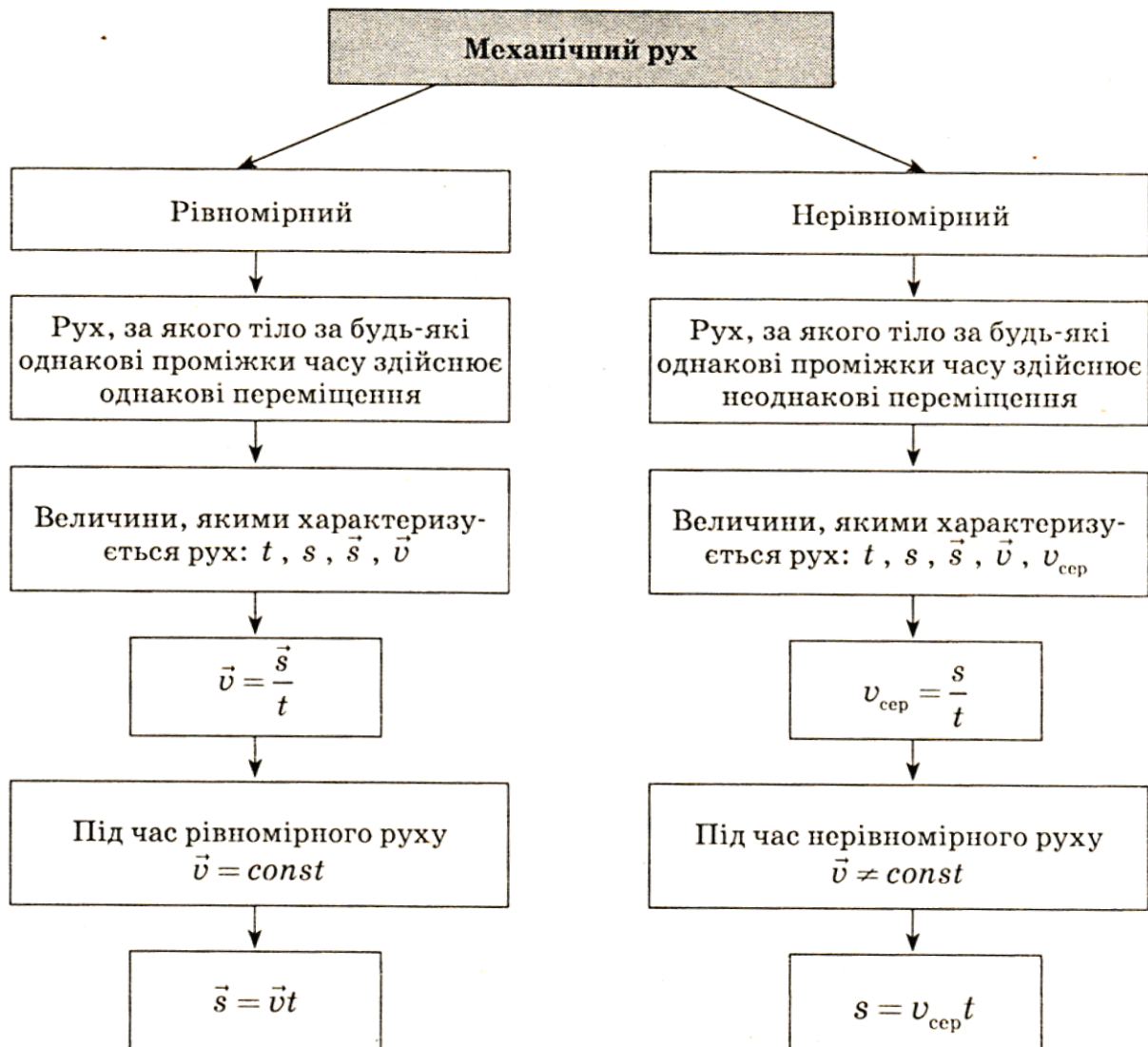
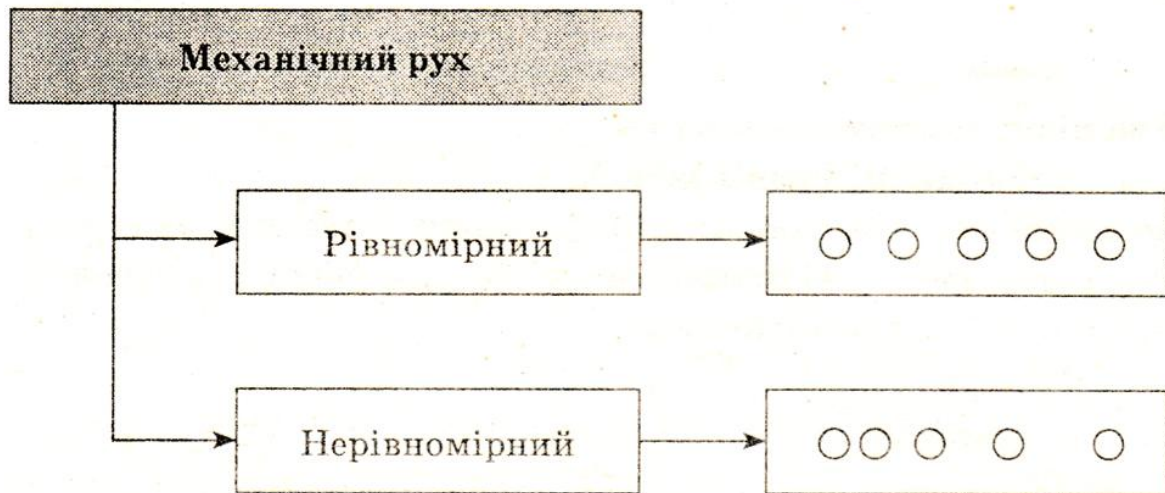
Механічний рух, траєкторія, шлях, переміщення.

Основна задача механіки

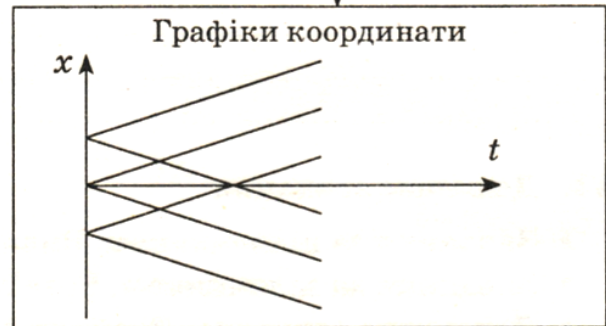
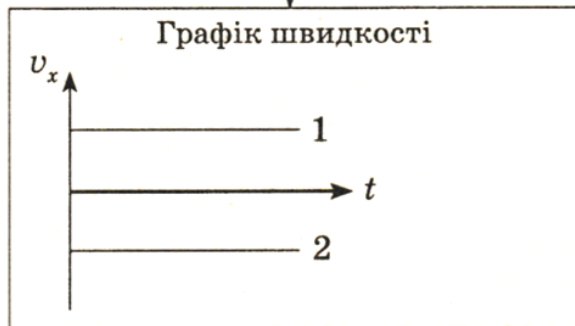


Рівномірний прямолінійний рух як найпростіший вид руху.

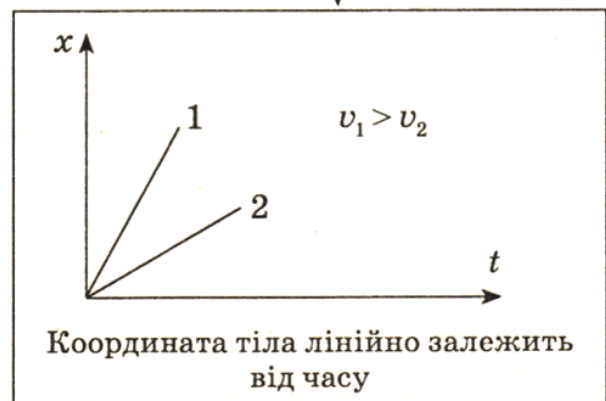
Середня швидкість



Прямолінійний рівномірний рух



- Швидкість із часом не змінюється.
- Графік 1 — тіло рухається в напрямку осі X .
- Графік 2 — тіло рухається проти напрямку осі X .
- Переміщення тіла за даний час чисельно дорівнює площі прямокутника під графіком швидкості



Закон додавання швидкостей.

Закон додавання переміщень
 $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$

Класичний закон додавання швидкостей: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$, де
 $\vec{v}$ — швидкість тіла відносно нерухомої системи відліку,
 $\vec{v}_1$ — швидкість тіла відносно рухомої системи відліку,
 $\vec{v}_2$ — швидкість рухомої системи відліку відносно нерухомої

Класичний закон додавання швидкостей справджується:

- для будь-яких напрямків векторів швидкості;
- для швидкостей, значно менших за швидкість світла

Прискорення. Рівняння рівноприскореного руху

Рівноприскорений прямолінійний рух — це рух, за якого швидкість тіла за будь-які однакові інтервали часу змінюється на ту саму величину

Прискорення: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, $\vec{a} = \text{const}$, $[a] = \text{м/с}^2$

Швидкість: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$,
де v_0 — початкова швидкість руху
 v — кінцева швидкість руху

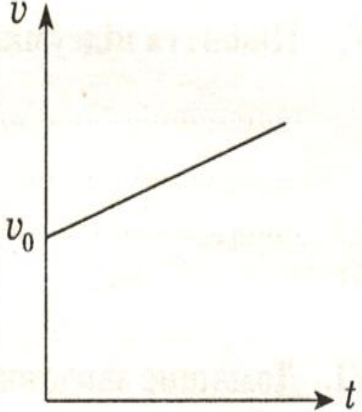
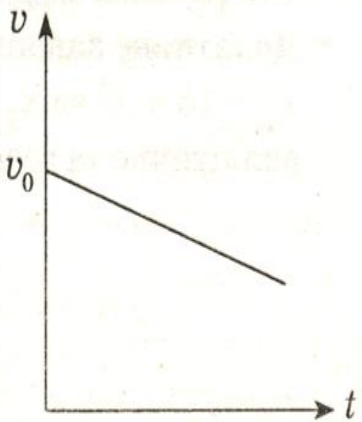
Переміщення: $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$; $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$;
 $s_x = \frac{(v_x + v_{0x})t}{2}$.

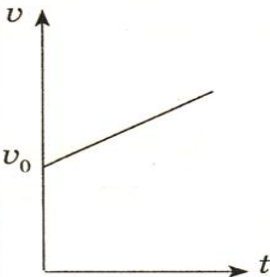
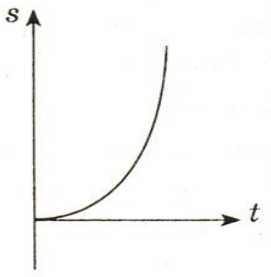
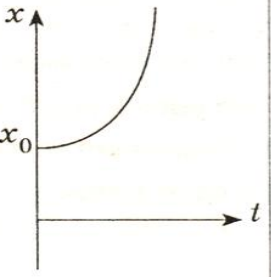
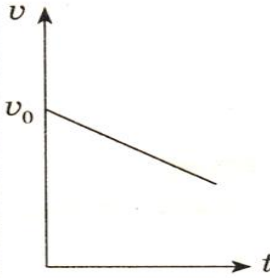
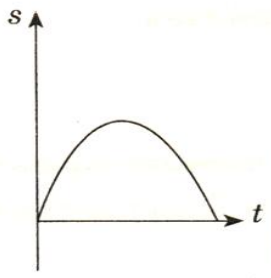
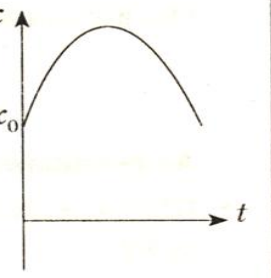
Основна задача механіки: $x = x_0 + s_x$

Основна задача механіки для прямолінійного рівномірного руху: $x = x_0 + v_x t$

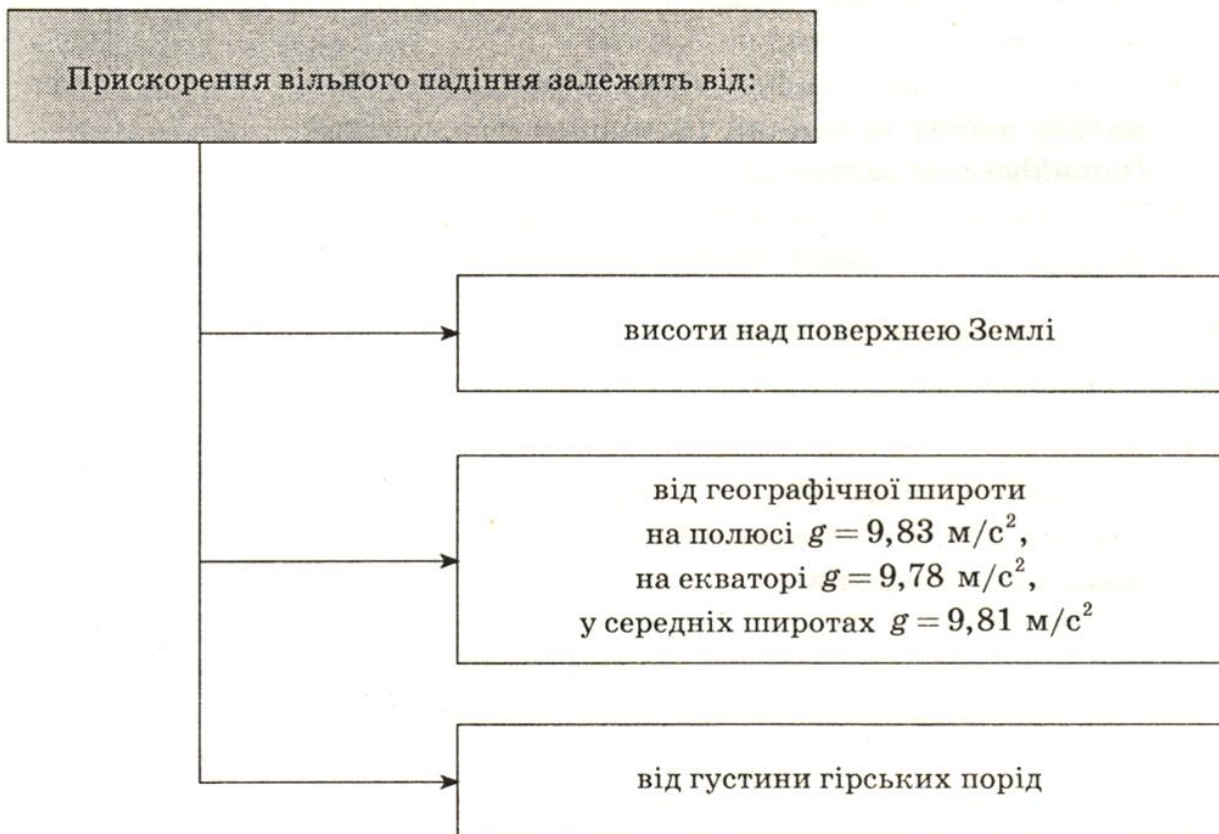
Основна задача механіки для прямолінійного рівноприскореного руху: $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$

Графіки залежності кінематичних величин від часу для рівноприскореного прямолінійного руху

Прискорення та швидкість	Рух	Формули	Графіки
$a_x > 0$ $v > v_0$	Рівноприскорений рух (напрямок прискорення збігається з напрямком осі OX та з напрямком початкової швидкості)	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ $v = v_0 + at$	Графіки залежності від часу 
$a < 0$ $v < v_0$	Рівноприскорений рух зі зменшенням швидкості (напрямок прискорення протилежний напрямку осі OX та початковій швидкості)	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ $v = v_0 - at$	

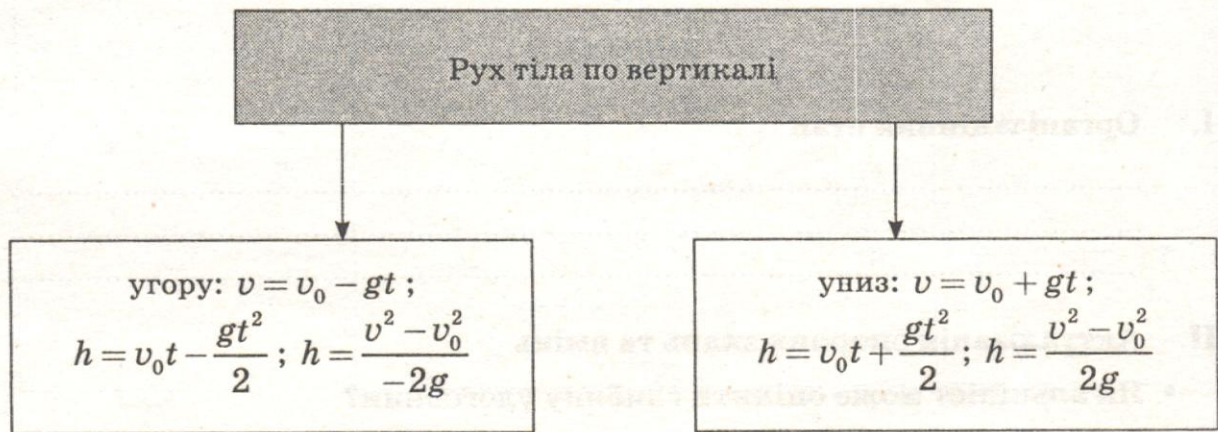
Формула	Залежність швидкості від часу	Залежність переміщення від часу	Залежність координати від часу
Якщо $a_x > 0$, то $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ $x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$			
Якщо $a < 0$, то $s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$ $x = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}$			

Вільне падіння. Прискорення вільного падіння.



Досягнення Г. Галілея у фізиці:

- ✓ створив науку про рух — кінематику;
 - ✓ відкрив закони падіння тіл та коливання маятника;
 - ✓ довів, що прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла;
 - ✓ перший звернув увагу на існування явища інерції;
 - ✓ провів роботи в розділі фізики, який має назву «статика»;
- в астрономії:*
- ✓ відкрив супутники Юпітера;
 - ✓ відкрив фази Венери;
 - ✓ відкрив сонячні плями;
 - ✓ побачив, що Чумацький Шлях складається з великої кількості зірок;
 - ✓ спостерігав кільця Сатурна;
 - ✓ побачив, що поверхня Місяця має гори та кратери.



Способи вимірювання прискорення земного тяжіння (вільного падіння):

1. За допомогою математичного маятника шляхом вимірювання його довжини і періоду коливань T .
2. Вимірювання часу вільного падіння без початкової швидкості і використання формули:

$$h = \frac{gt^2}{2}, g = \frac{2h}{t^2}.$$

Основні формули для вільного падіння без початкової швидкості:

$$\vec{v} = \vec{g}t; h = \frac{gt^2}{2}; v = \sqrt{2gh}.$$

Основні формули для тіла, яке у початковий момент мало вертикально напрямлену швидкість v_0 :

$$\vec{v} = \vec{v}_0 \pm \vec{g}t; h = v_{0t} \pm 0,5gt^2$$

(знак «-» — для тіла, кинутого вертикально вгору, знак «+» — для тіла, кинутого вертикально вниз).

На прискорення вільного падіння впливають:

- обертання Землі навколо власної осі: максимальне значення g_{max} на полюсах, мінімальне g_0 на екваторі;

- деформації Землі: на зменшення значення g_0 на екваторі впливає і те, що екваторіальний радіус Землі більший від полярного;

- значення g_0 більше на довільній широті, там, де містяться поклади залізної й інших важких руд, менше — над родовищами газу.

Рух тіла, кинутого вертикально вгору,— це рух з прискоренням вільного падіння, яке, як завжди, напрямлене вертикально вниз. Під час піднімання напрям швидкості протилежний до напрямку прискорення, отже, швидкість зменшується від початкового значення v_0 до нуля. У цьому разі під час розв'язування задач можна початок координат осі Оу поєднати з початком положення тіла на поверхні Землі і спрямувати вісь вертикально вгору. Тоді загальне рівняння руху матиме вигляд:

$$y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

Отже, якщо тіло, кинуте вертикально вгору з початковою швидкістю v_0 , його миттєва швидкість v за модулем зменшується (під час піднімання до найвищої точки), і рух описується так:

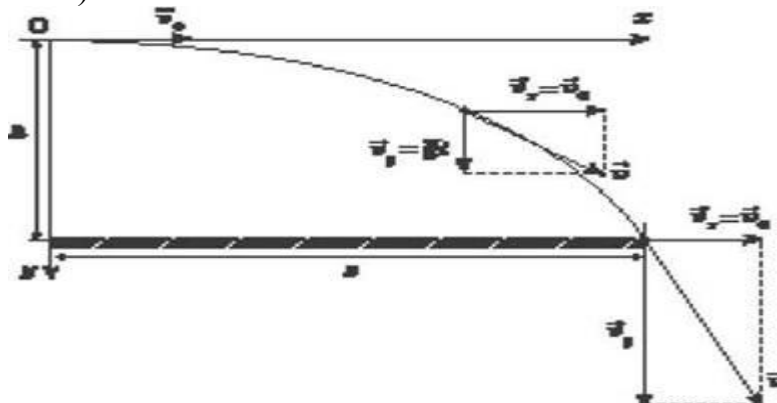
$$v = v_0 - gt; h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}; v^2 = v_0^2 - 2gh.$$

Максимальна висота піднімання h_{max} і час t_1 піднімання до цієї висоти:

$$h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g}; t_1 = \frac{v_0}{g}.$$

Рух тіла, кинутого горизонтально

Розглянемо рух тіла, кинутого горизонтально зі швидкістю v_0 з висоти h над Землею (рис. 5) і під кутом α до горизонту з початковою швидкістю v_0 (рис. 6). Такі рухи складаються з двох незалежних один від одного рухів: рівномірного в горизонтальному напрямі (рух за інерцією) і рівноприскореного у вертикальному напрямі (вільне падіння внаслідок притягання до Землі).



Рівняння руху в горизонтальному напрямі:

$$x = v_x t,$$

де v_x — проекція швидкості v_0 на вісь Ox ; $v_x = v_0$.

Рух тіла у вертикальному напрямі (вздовж осі Oy) є вільним падінням, тому рівняння руху по осі Oy :

$$y = \frac{gt^2}{2}.$$

Вилучивши час з рівнянь руху, можна отримати рівняння траєкторії, яке виражає зв'язок між координатами x і y :

$$y = \frac{gx^2}{2v_0^2}.$$

Отже, траєкторією руху тіла, кинутого горизонтально, є парабола.

У будь-який момент часу швидкість $\vec{v}$ напрямлена по дотичній до траєкторії. Розкладемо вектор $\vec{v}$ на горизонтальну v_x і вертикальну v_y у складові. Модуль горизонтальної складової швидкості у будь-який момент часу залишається сталим: $v_x = v_0$, а модуль вертикальної складової лінійно зростає з часом: $v_y = gt$. Оскільки $v_x \perp v_y$, модуль швидкості v у будь-який момент польоту дорівнює:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}.$$

Час падіння до поверхні Землі:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Дальність польоту:

$$s = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Модуль швидкості падіння поблизу поверхні Землі:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$$

знаходимо кут α , під яким напрямлено швидкість тіла біля поверхні Землі:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x}; \quad \alpha = \operatorname{arctg} \frac{v_y}{v_x}.$$

Рух тіла, кинутого горизонтально та під кутом до горизонту

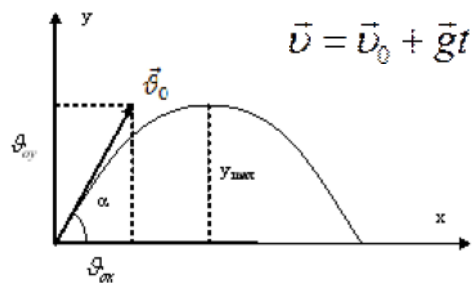
Даний рух тіла можна розглядати як суму двох рухів: в горизонтальному напрямі – рівномірного і

у вертикальному напрямі – рівноприскореного.

Нехай тілу надали початкової швидкості v_0 під кутом α до горизонту.

Знайдемо:

1. Траєкторію руху тіла.
2. Найбільшу висоту підняття тіла над горизонтом.
3. Дальність польоту.



Проектуємо вектор $\vec{v}_0$ на координатні осі x і y : $v_x = v_{0x}$
 $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$

Тоді координати точки для будь-якого моменту часу t : (1) $y = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$

Якщо з рівнянь (1) виключимо час, то дістанемо рівняння траєкторії:

$$y = t g \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} t = \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

Отже, тіло летітиме по параболічній траєкторії.

Коли тіло перебуває на максимальній висоті, його швидкість напрямлена горизонтально, тобто проекція швидкості на вісь Oy дорівнює нулю.

Оскільки $v_y = v_{0y} - gt$, для часу підняття тіла на максимальну висоту одержуємо:

У кінці польоту тіла координати $y=0$, час t польоту $t_{\text{під}} = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ знайдемо за формулою для y :

$$y = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

Знаючи час підняття тіла, нескладно знайти й висоту, на яку воно підійметься: для цього досить підставити в формулу $t = t_{\text{під}}$ час

У результаті дістанемо: $h = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

Наприкінці руху тіло повернулося на початкову висоту, тобто $y=0$

Звідси випливає: $v_{0y}t_{\text{пол}} - \frac{gt_{\text{пол}}^2}{2} = 0$ $t_{\text{пол}} = \frac{2v_{0y}}{g} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$

Очевидно, що час польоту є у два рази більшим від часу підняття, тобто час підняття дорівнює часу спуску. Знайдемо тепер $L = v_{0x} \cdot t_{\text{пол}}$ дальність польоту. Оскільки , то

$$L = \frac{2v_{0x}v_{0y}}{g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Скориставшись формулу $2 \sin \alpha \cos \alpha = \sin 2\alpha$

, одержуємо:

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Рівномірний рух тіла по колу

Криволінійний рух – це рух, траєкторією якого є крива лінія.

Звертаю вашу увагу на те, що криволінійні рухи більш поширені, ніж прямолінійні. Будь-який криволінійний рух можна розглядати як рух по дугах кіл із різними радіусами. Вивчення руху по колу дає також ключ до розгляду довільного криволінійного руху.

Перейдемо безпосередньо до розгляду рівномірного руху по колу, тобто руху по колу з постійною за модулем швидкістю.

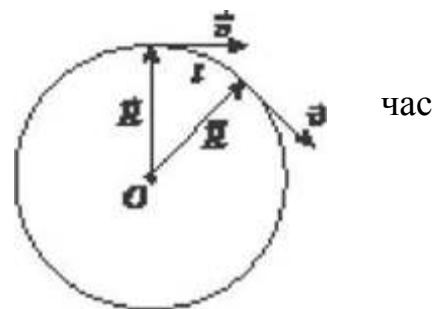
Модуль і напрямок швидкості в разі рівномірного руху по колу.

Рівномірний рух по колу часто спостерігається в техніці, наприклад, так рухаються частини обертових механізмів. Рух Місяця навколо Землі і планет навколо Сонця приблизно можна вважати рівномірним рухом по колу.

В разі рівномірного руху тіло проходить однакові шляхи за будь-які однакові проміжки часу. При цьому миттєва швидкість тіла залишається незмінною за модулем.

Рівномірним рухом по колу називають рух, під якого тіло (матеріальна точка) за будь-які рівні проміжки часу проходить однакові відрізки дуг.

У випадку рівномірного руху тіла по колу модуль швидкості залишається незмінним. А що ж змінюється? Змінюється напрямок швидкості.



• **У разі руху по колу швидкість у будь-якій точці траєкторії спрямована по дотичній до кола в цій точці.**

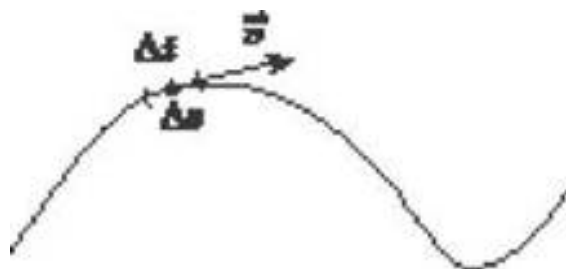
У цьому можна переконатися, спостерігаючи за роботою на точилі. Якщо притиснути до обертового точильного каменя кінець сталеві дротини, то ви побачите, як розжарені частинки відриваються від каменя у вигляді іскор. Ці частинки летять з тією швидкістю, яку вони мали в момент відривання від каменя. Напрямок руху іскор збігається з дотичною до кола в тій точці, де дротина торкається каменя. По дотичній до кола рухаються також бризки від коліс автомобіля, що пробуксовує.

Швидкість руху тіла по колу (лінійну швидкість) за аналогією з рівномірним прямолінійним рухом можна знайти за формулою:

$$v = \frac{l}{t},$$

де l — довжина дуги кола, пройденої матеріальною точкою за час t .

Нехай тіло здійснить один оберт по колу, тоді формула для визначення швидкості набуде вигляду:



$$v = \frac{2\pi R}{T},$$

де T — це час одного оберту по колу радіусом R . Цей час називають періодом обертання.

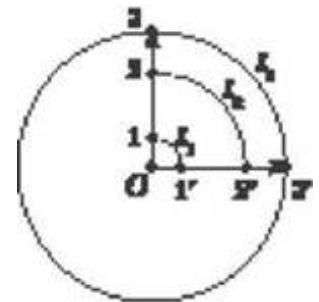
Лінійну швидкість вимірюють у метрах за секунду (м/с).

Набагато частіше в природі й техніці зустрічається обертальний рух тіла, коли нерухомою залишається одна точка або сукупність точок, що лежать на осі обертання. Таким є рух дзиги, колеса нерухомого велосипеда, стрілок годинника тощо. Під час обертання навколо нерухомої осі O різні точки 1, 2, 3 тіла (рис. 3) матимуть різні лінійні швидкості 1, 2, 3, тому не можна говорити про швидкість тіла. Бажано знайти такі характеристики обертального руху тіла, які були б спільними, однаковими для всіх його точок.

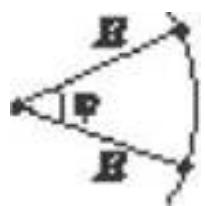
Лінійну швидкість вимірюють у метрах за секунду (м/с).

Обертальний рух

Набагато частіше в природі й техніці зустрічається обертальний рух тіла, коли нерухомою залишається одна точка або сукупність точок, що лежать на осі обертання. Таким є рух дзиги, колеса нерухомого велосипеда, стрілок годинника тощо. Під час обертання навколо нерухомої осі O різні точки 1, 2, 3 тіла матимуть різні лінійні швидкості 1, 2, 3, тому не можна говорити про лінійну швидкість тіла. Бажано знайти такі характеристики обертального руху тіла, які були б спільними, однаковими для всіх його точок.



Кутова швидкість



Кожна з точок диска має свою лінійну швидкість, бо за один і той же час вони проходять відповідно відрізки дуг $l_1 > l_2 > l_3$. Однаковою для цих точок буде кутова швидкість обертання. Кутова швидкість ω точки, що рівномірно рухається по колу, чисельно дорівнює відношенню кута φ , на який повертається радіус-вектор, до часу t і залишається сталою:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

• **Кутова швидкість** — це фізична величина, що дорівнює відношенню кута повороту тіла до проміжку часу, упродовж якого цей поворот відбувся.

У фізиці кути вимірюють у радіанах (рад). Щоб знайти значення кута φ у радіанах слід провести з його вершини довільну дугу і знайти відношення довжини цієї дуги до радіуса R .

$$\varphi = \frac{l}{R}.$$

Отже, одиницею вимірювання кутової швидкості є ***1 рад/с***, що відповідає швидкості точки, яка обертається рівномірно й радіус-вектор якої за 1 с описує кут в 1 рад. А формула для одного оберту по колу набуде вигляду:

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

Період обертання і обертова частота

Рух тіла по колу часто характеризують не швидкістю руху, а проміжком часу, за який тіло здійснює один повний оберт. Ця величина називається періодом обертання T .

- ***Період обертання T — це час одного повного оберту.***

Щоб здійснити один повний оберт, тіло має пройти шлях $2\pi R$ (довжина кола). Отже,

$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

- ***Число повних обертів за 1 с називають обертовою частотою ν .***

Одиниця частоти 1/с.

Період і частота є взаємно зворотними величинами: **$T = \frac{1}{\nu}$ і $\nu = \frac{1}{T}$.**

Припустімо, що тіло зробило n повних обертів за час t . Тоді період обертання дорівнюватиме:

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

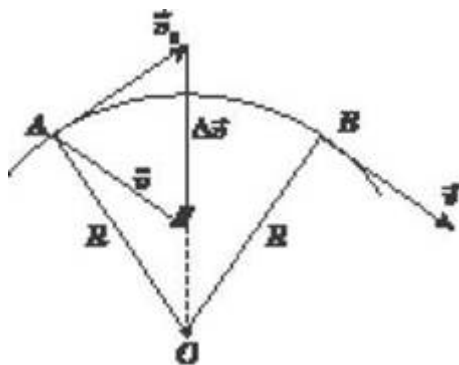
а число обертів за секунду, тобто обертова частота: **$\nu = \frac{N}{t}$.**

Для частоти обертання ν **$v = 2\pi R\nu$, $\omega = 2\pi\nu$.**

Співвідношення лінійної і кутової швидкостей на підставі **$v = \omega R$** и:

Прискорення в разі рівномірного руху по колу

У випадку руху по колу, як і в разі будь-якого криволінійного руху, напрямок швидкості змінюється з часом. А оскільки швидкість тіла змінюється — нехай лише за напрямком, — виходить, тіло рухається з прискоренням. У разі рівномірного руху зміна швидкості зумовлена лише зміною напрямку швидкості. Неважко довести, що зміна швидкості Δv спрямована перпендикулярно швидкості — по радіусу до центра кола. Прискорення a спрямоване так само, як і Δv , тому в разі рівномірного руху по колу



- ***прискорення в кожен момент часу спрямоване по радіусу до центра кола.***

З цієї причини ***прискорення тіла у випадку рівномірного руху по колу називають доцентровим прискоренням.***

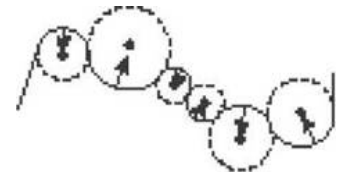
При рівноприскореному русі по колу його прискорення у будь-якій точці траєкторії напрямлена по радіусу до центра і називається ***доцентровим.***

Розрахунок показує, що модуль доцентрового прискорення дорівнює:

$$a_{\text{доц}} = \frac{v^2}{R}.$$

Інші вирази для доцентрового прискорення: $a =$

$$R\omega^2 = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 n^2 R.$$



Отже, у будь-якій точці криволінійної траєкторії тіло рухається з прискоренням, напрямленим до центра того кола, частиною якого є ділянка траєкторії поблизу цієї точки. А модуль прискорення залежить від швидкості тіла та від радіуса відповідного кола.

Порівняння прямолінійного рівноприскореного руху та рівномірного руху тіла по колу

Рух тіла з прискоренням		
Запитання	Вид руху	
	Рівноприскорений прямолінійний рух	Рівномірний рух по колу
Чи постійне прискорення: А) за модулем Б) за напрямком	А) постійне Б) постійне	А) постійне Б) змінюється
Формула швидкості	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	$v = \frac{2\pi R}{T}$, $v = 2\pi R\nu$, $v = \omega R$
Формула прискорення	$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$	$a = \frac{v^2}{R}$, $a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$, $a = 4\pi^2 R\nu^2$
Формула координати	$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$	$x = R \cdot \cos \frac{2\pi t}{T}$, $y = R \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}$

1.2. Динаміка

Види сил у механіці. Вимірювання сил. Додавання сил. Рівнодійна

Динаміка — це розділ механіки, який вивчає чинники, що спричиняють рух тіла або змінюють його

Основна задача динаміки — з'ясувати, як впливає взаємодія тіл на характер руху

Сила		
Точка прикладання	Абсолютне значення	Напрямок

Типи фізичних взаємодій			
Гравітаційна	Електромагнітна	Сильна (ядерна)	Слабка
Сила всесвітнього тяжіння (сила тяжіння)	Сила пружності Сила тертя		

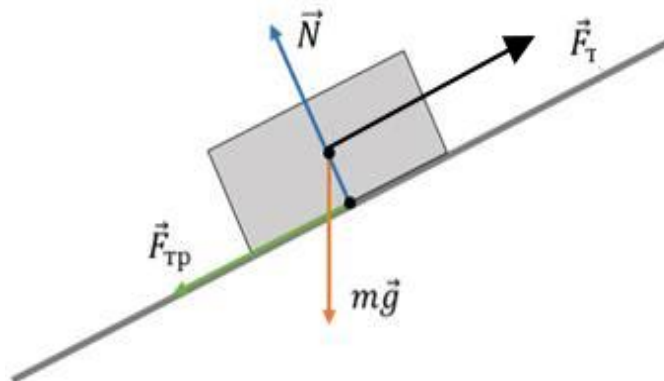
Взаємодія тіл — одне з фундаментальних понять у фізиці. Саме взаємодії є причиною будь-яких змін, що відбуваються з тілами навколо нас. Усі взаємодії в сучасній фізиці можна розподілити на чотири види: гравітаційне, електромагнітне, сильне і слабе.

Гравітаційні взаємодії (тяжіння): притягання тіл до Землі, існування Сонячної системи, зоряних систем (галактик) зумовлені дією сил тяжіння.

Електромагнітні взаємодії: зумовлені зв'язками в атомах, молекулах і звичайних макротілах.

Сильні (ядерні) взаємодії: наявність у ядрах однаково заряджених протонів і нейтральних частинок свідчить про те, що мають існувати взаємодії, набагато інтенсивніші за електромагнітні, інакше ядро не могло б утворитися. Ці взаємодії проявляються лише в межах ядра.

Слабкі взаємодії: під впливом «внутрішніх причин» нестабільні вільні частинки за той чи інший характерний час перетворюються на інші частинки (розпадаються). Існують повільні розпади з характерним часом 10^{-10} – 10^{-6} с; вони відбуваються за рахунок так званої слабкої взаємодії.

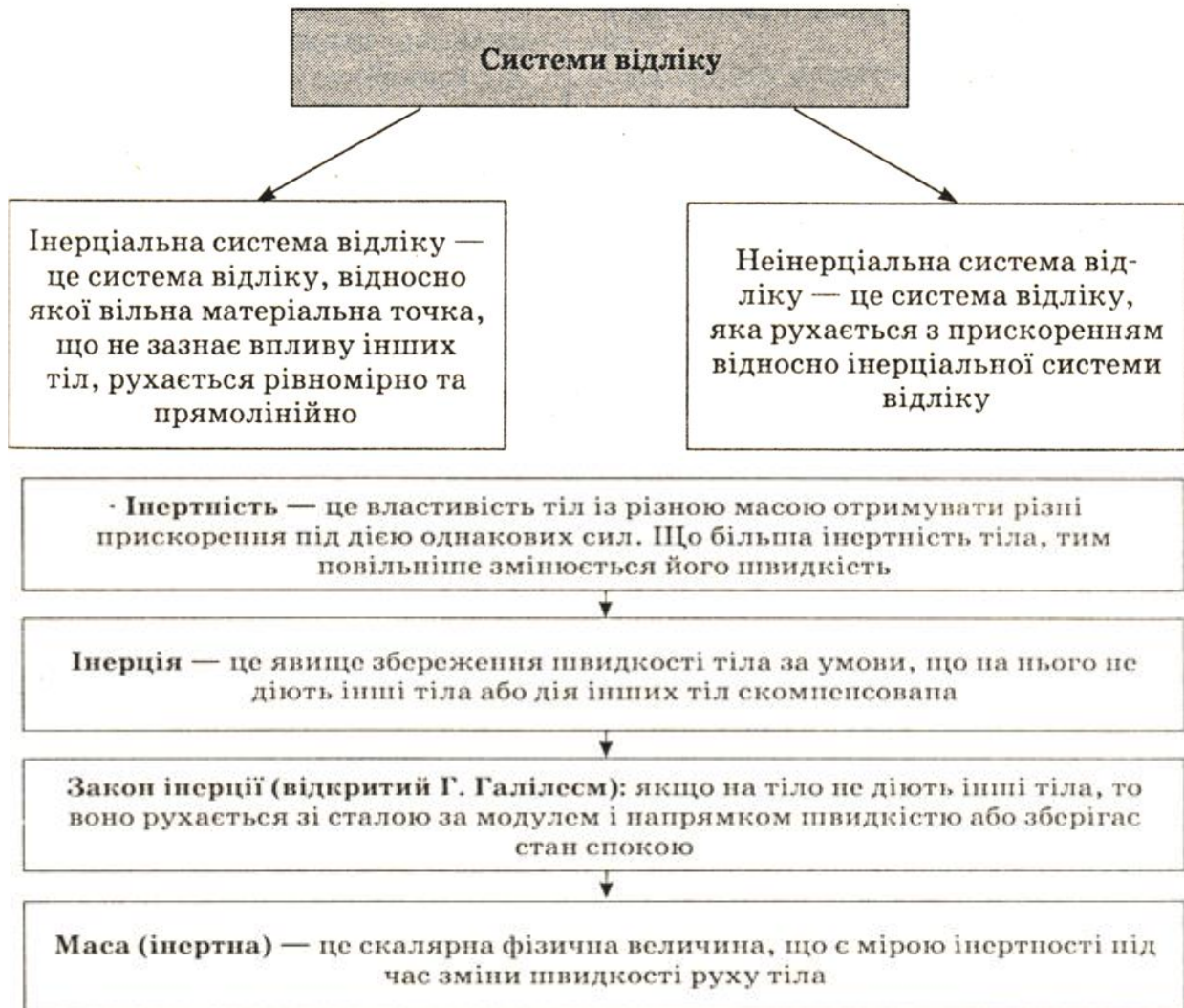




Рівнодійна сила — це сила, дія якої замінює дію кількох сил, що одночасно діють на тіло.

Рівнодійна дорівнює геометричній сумі сил, які діють на тіло. Оскільки рівнодійна сил — це також сила, то для її визначення треба вказати точку прикладання, напрям та модуль цієї сили.

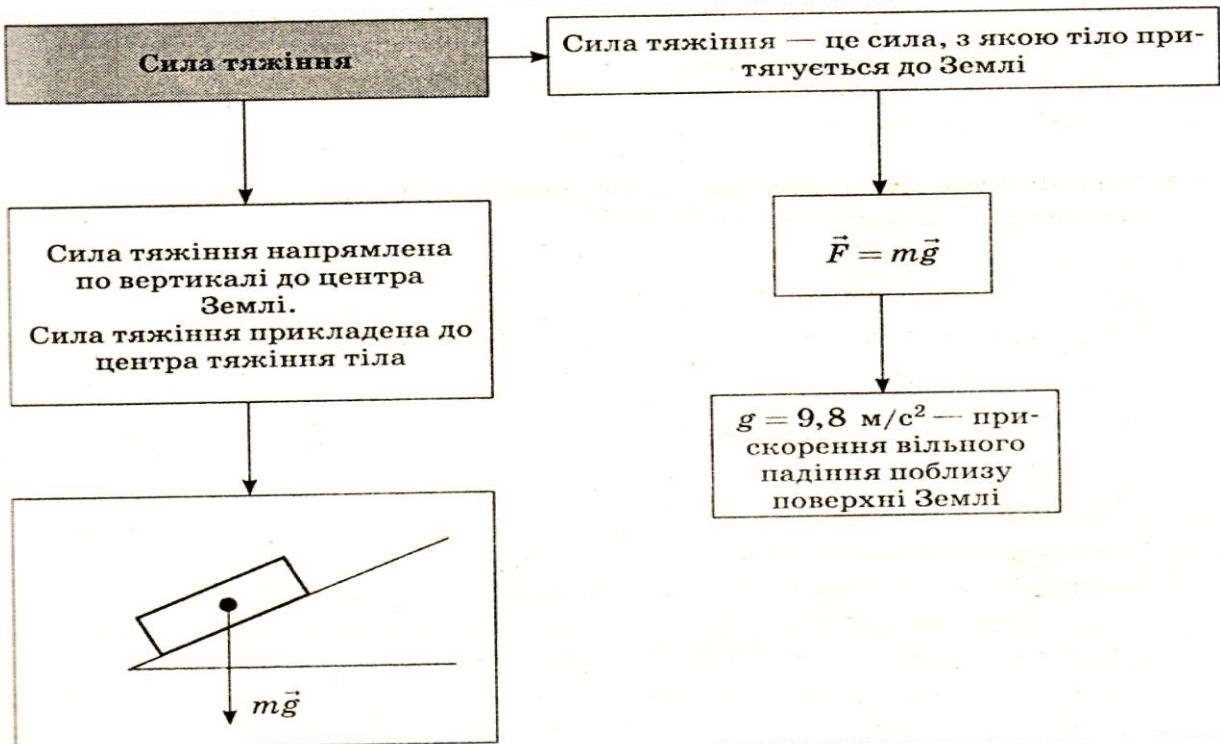
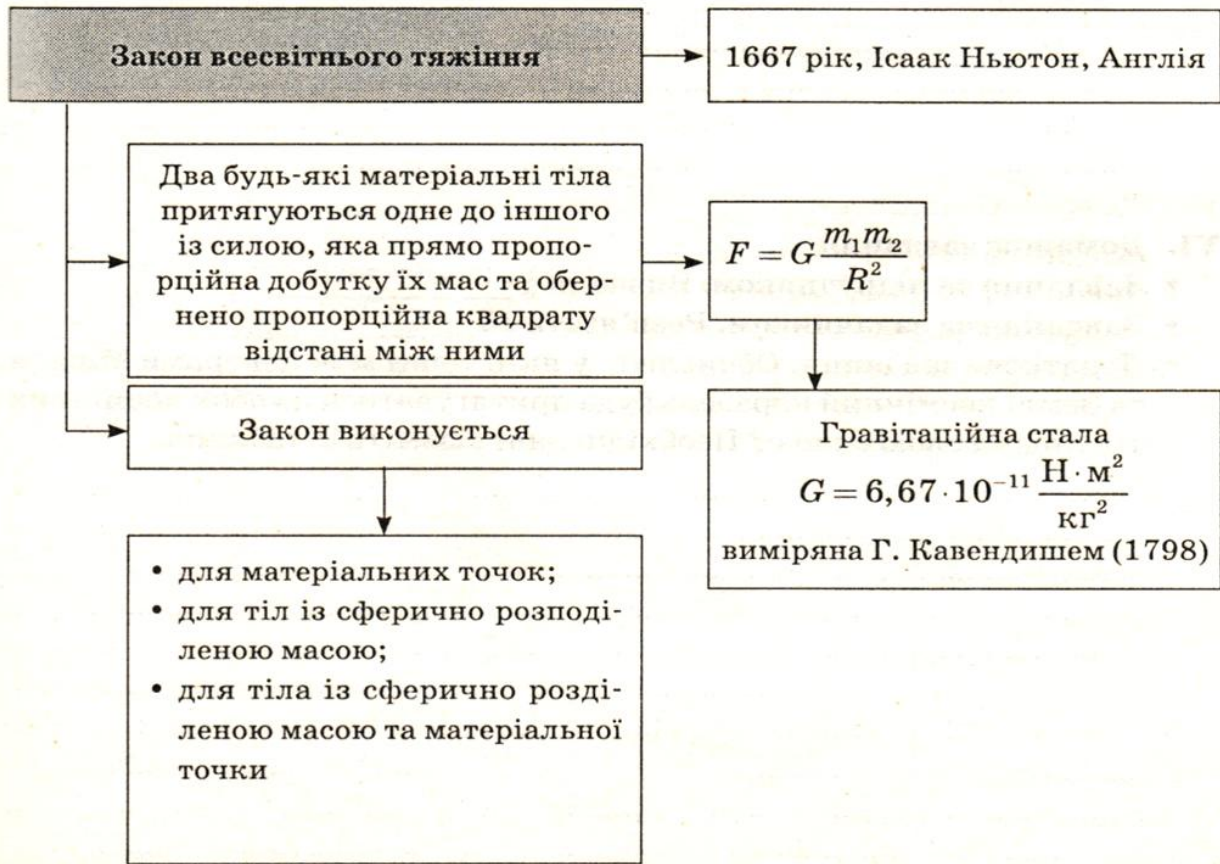
**Інерціальні системи відліку. Перший закон Ньютона.
Інертність та маса. Другий закон Ньютонаю.
Третій закон Ньютона. Межі застосування.**



Закони Ньютона	Перший закон	Другий закон	Третій закон
Фізична система	Макроскопічне тіло		Система двох тіл
Модель	Матеріальна точка		Система двох матеріальних точок
Яке явище описує	Стан спокою або рівномірного прямолінійного руху	Рух із прискоренням	Взаємодія тіл
Як формулюється закон	Існують такі системи відліку, відносно яких ізольовані тіла або тіла, дія на які інших тіл скомпенсована, рухаються рівномірно та прямолінійно або знаходяться в стані спокою	Сила, що діє на тіло, дорівнює добутку маси тіла на його прискорення, або прискорення тіла, зумовлене дією на нього сили, прямо пропорційне прикладеній силі та обернено пропорційне масі тіла: $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$	Два тіла взаємодіють між собою з силами однієї природи, рівними за числовим значенням та протилежними за напрямком: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

Важливо пам'ятати, що другий закон Ньютона виконується тільки в інерціальних системах відліку. Отже, використовуючи перший закон Ньютона, спочатку необхідно вибрати інерційну систему відліку, а потім можна в ній застосовувати для розрахунку прискорення тіла другий закон Ньютона.

**Закон Всесвітнього тяжіння. Прискорення вільного падіння.
Вага. Невагомість. Перша космічна швидкість.
Розвиток космонавтики, внесок українських учених
у розвиток космонавтики**



Закон всесвітнього тяжіння

Прискорення вільного падіння залежить від висоти над поверхнею Землі:

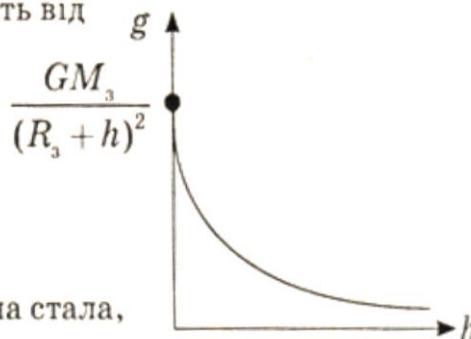
$$g = \frac{GM_3}{(R_3 + h)^2}, \text{ де}$$

$R_3 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$ — радіус Землі,

$M_3 = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ — маса Землі,

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

h — висота над поверхнею Землі



від географічної широти

на полюсі $g = 9,83 \text{ м/с}^2$

на екваторі $g = 9,78 \text{ м/с}^2$

у середніх широтах $g = 9,81 \text{ м/с}^2$

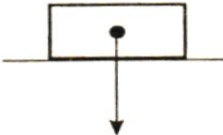
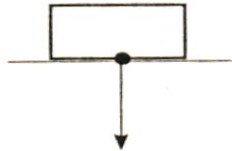
від густини гірських порід

Порівняння маси та ваги тіла

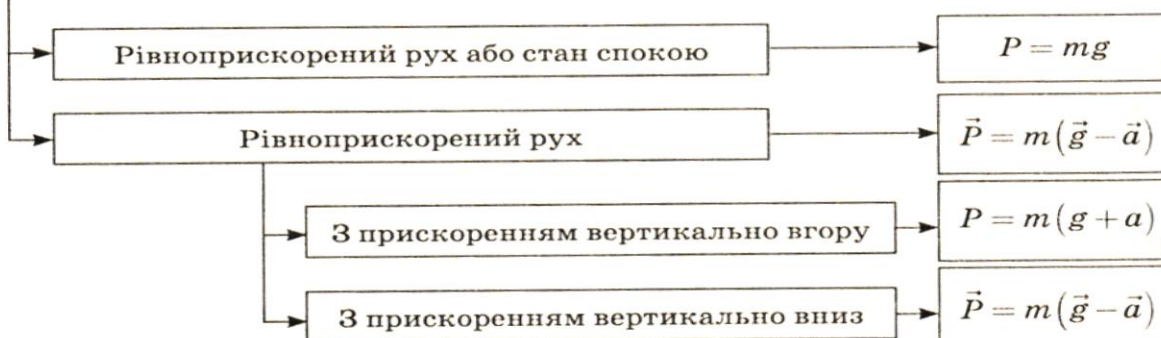
№	Запитання	Маса	Вага
1	Векторна чи скалярна величина?	Скалярна	Векторна
2	Одиниця вимірювання	кг	Н
3	Прилад для вимірювання	Терези	Динамометр
4	Чи змінюється в різних точках Землі?	Ні	Так
5	Чи залежить від висоти над поверхнею Землі?	Ні	Так
6	Чому дорівнює в стані невагомості?	Не змінюється	Дорівнює нулю
7	Чи змінюється на інших планетах (наприклад, на Місяці)?	Ні	Так

Порівняння сили тяжіння та ваги тіла

№	Запитання	Сила тяжіння	Вага
1	Векторна чи скалярна величина?	Векторна	Векторна
2	Одиниця	Н	Н

Порівняння сили тяжіння та ваги тіла			
№	Запитання	Сила тяжіння	Вага
3	Прилад для вимірювання	Динамометр	Динамометр
4	Напрямок дії сили	Вертикально вниз	По нормалі до площини опори
5	Формула	$F = mg$	$P = mg$
6	Брусок знаходиться на підставці. До якого тіла прикладена? 	До тіла 	До опори або підвісу 

Вага тіла в різних випадках руху



Космічні швидкості		Розрахунок першої космічної швидкості
I	$v_1 \approx 7,9$ км/год	$v_1 = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3 + h}}$, де $R_3 = 6,4 \cdot 10^6$ м — радіус Землі, $M_3 = 6 \cdot 10^{24}$ кг — маса Землі, $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м ² /кг ² — гравітаційна стала, h — висота над поверхнею Землі
II	$v_2 \approx 11,2$ км/год	
III	$v_3 \approx 16,4$ км/год	
		$v < v_1$ — тіло падає на Землю $v_1 \leq v \leq v_2$ — супутник Землі $v_2 \leq v \leq v_3$ — рух тіла в межах Сонячної системи, $v \geq v_3$ — вилітає за межі Сонячної системи
		Деякі дати в історії космонавтики: 4 жовтня 1957 року — перший штучний супутник Землі; 12 квітня 1961 року — перший політ людини в космос (СРСР, Ю. О. Гагарін)

Леонід Костянтинович Каденюк — перший космонавт України (з моменту Незалежності)

- народився 21 січня 1951 року на Україні; має військове звання генерала-майора повітряних сил України; з 1971 по 1992 рік — у загоні космонавтів СРСР; з 19 листопада по 5 грудня 1997 року здійснив космічний політ на американському космічному кораблі «Колумбія». Проводив на орбіті експерименти з вивчення процесу розвитку рослин як одного з елементів життєзабезпечення майбутніх довготривалих польотів.

- у грудні 1999 року за космічний політ отримав звання « Герой України ».

Цікава інформація

- першим українським космонавтом вважають харків'янина Валентина Бондаренко, який загинув у 1961 році. Крім Бондаренка, який у космос не літав, між 1961 та 1991 роками в космосі побувало близько 30 космонавтів — мешканців УРСР. Фактично першим українцем, який побував у космосі, є Павло Попович, що став четвертим космонавтом СРСР. З моменту Незалежності України в космос літав тільки один громадянин України — Л. Кадсінок. За той же період часу в космосі побували 7 українців — громадян Росії.

Сили тертя. Коефіцієнт тертя ковзання, Сили опору під час руху в рідині або газі. Сила тертя

Сила тертя – сила, яка виникає при русі одного тіла по поверхні іншого, або при спробі викликати такий рух.

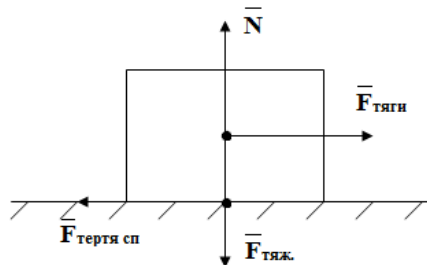
$F_{\text{тертя}}$ виникає:

1. при дотику;
2. вздовж стичних поверхонь;
3. проти руху.

Види сил сухого тертя.

Сила тертя спокою – сила, що виникає при спробі зрушити одне з дотичних тіл щодо іншого й тому перешкоджає руху тіл одне щодо одного.

Якщо збільшувати прикладену до тіла силу, ми все-таки зрушимо його. Виходить, сила тертя спокою не може перевищувати деяку «граничну» величину, що називається максимальною силою тертя спокою. Досвід показує, що максимальна сила тертя спокою трохи більше сили тертя ковзання, однак у багатьох задачах для спрощення ці сили вважають рівними.



Сила тертя спокою може набувати значень від нуля до $F_{\text{тер.спок.мах.}}^P$.

Незважаючи на свою назву, сила тертя спокою часто приводить тіла в рух.

Наприклад, без цієї сили ми буквально й кроку не могли б ступити: роблячи крок, ми відштовхуємося від дороги саме за допомогою сили тертя спокою. Сила тертя спокою розганяє й автомобілі: з її допомогою колеса, що обертаються, відштовхуються від дороги.

Дослід: динамометр приєднати до навантаженого бруска і тягнути з певною силою.

Якщо швидкість $v = 0$: $F_{\text{тертя сп.}}$ завжди дорівнює прикладеній силі.

Природа сили тертя

Сила тертя спокою виникає з двох причин:

1. На шорсткуватих поверхнях існують нерівності. При спробі зрушити одне тіло відносно іншого ці нерівності зачіпаються одна за одну, у результаті чого виникають сили, подібні до сил пружності.

2. Якщо обидві поверхні ретельно відшліфовані, при зіткненні поверхонь виникають сили міжмолекулярного притягання. Це може призвести навіть до прилипання поверхонь.

Природа сил тертя електромагнітна

Тертя ковзання.

Сила тертя ковзання – це сила, що виникає при русі одного тіла по поверхні іншого тіла.

Сила тертя ковзання завжди спрямована проти напрямку руху тіла, до якого вона прикладена. Необхідно відзначити, що при ковзанні одного тіла по поверхні іншого завжди виникає пара сил: одна сила прикладена до ковзного тіла й спрямована проти його швидкості, інша – прикладена до поверхні, по якій тіло ковзає, і спрямована проти першої сили ковзання.

Модуль сили тертя ковзання $F_{\text{тер}}^P$ **пропорційний модулю сили нормального тиску** N^P . $F_{\text{тер}}^P = \mu N^P$

Залежність сили тертя ковзання від роду поверхонь, що дотикаються.

Сила тертя залежить від роду поверхонь стичних тіл.

Коефіцієнт пропорційності μ називається *коефіцієнтом тертя ковзання*. Він визначається матеріалом дотичних поверхонь та якістю їх обробки.

Коефіцієнт тертя визначається експериментально

Тертя кочення.

Сила тертя кочення – це сила, що виникає при коченні одного тіла по поверхні іншого тіла.

За тих самих умов тертя кочення завжди буде менше тертя ковзання.

Звичайне тертя кочення тим менше, чим твердіші поверхні дотичних тіл: тому, наприклад, сталева кулька довго котиться по склу. Ось чому рейки й колеса вагонів роблять зі сталі, а шосе роблять із твердим покриттям.

Модуль сили тертя кочення дорівнює відношенню добутку коефіцієнта тертя кочення k , модуля сили нормальної реакції опори $F_{\text{тер. коч}} = \frac{kN}{R}$, а R тіла, що котиться:

В'язке (вологе) тертя.

Вологе тертя – це сила опору, яка виникає під час руху тіла у рідинах та газах.

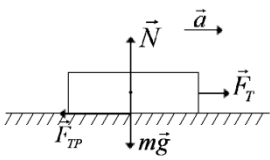
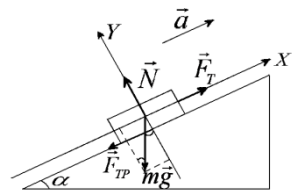
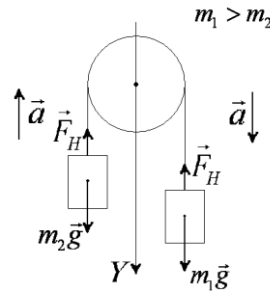
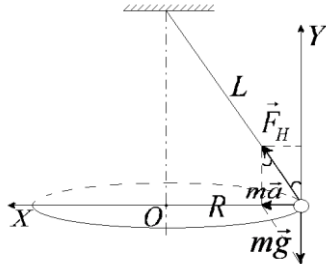
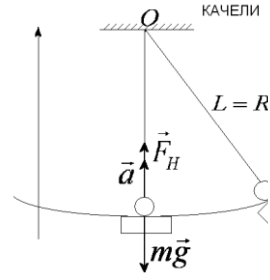
Характерні особливості:

1. У рідинах та газах відсутнє тертя спокою.
2. Сила вологого тертя залежить від форми тіла, що рухається.
3. Рідке тертя залежить від швидкості руху тіла: за невеликої швидкості сила тертя пропорційна швидкості, за великої швидкості – пропорційна квадрату швидкості.

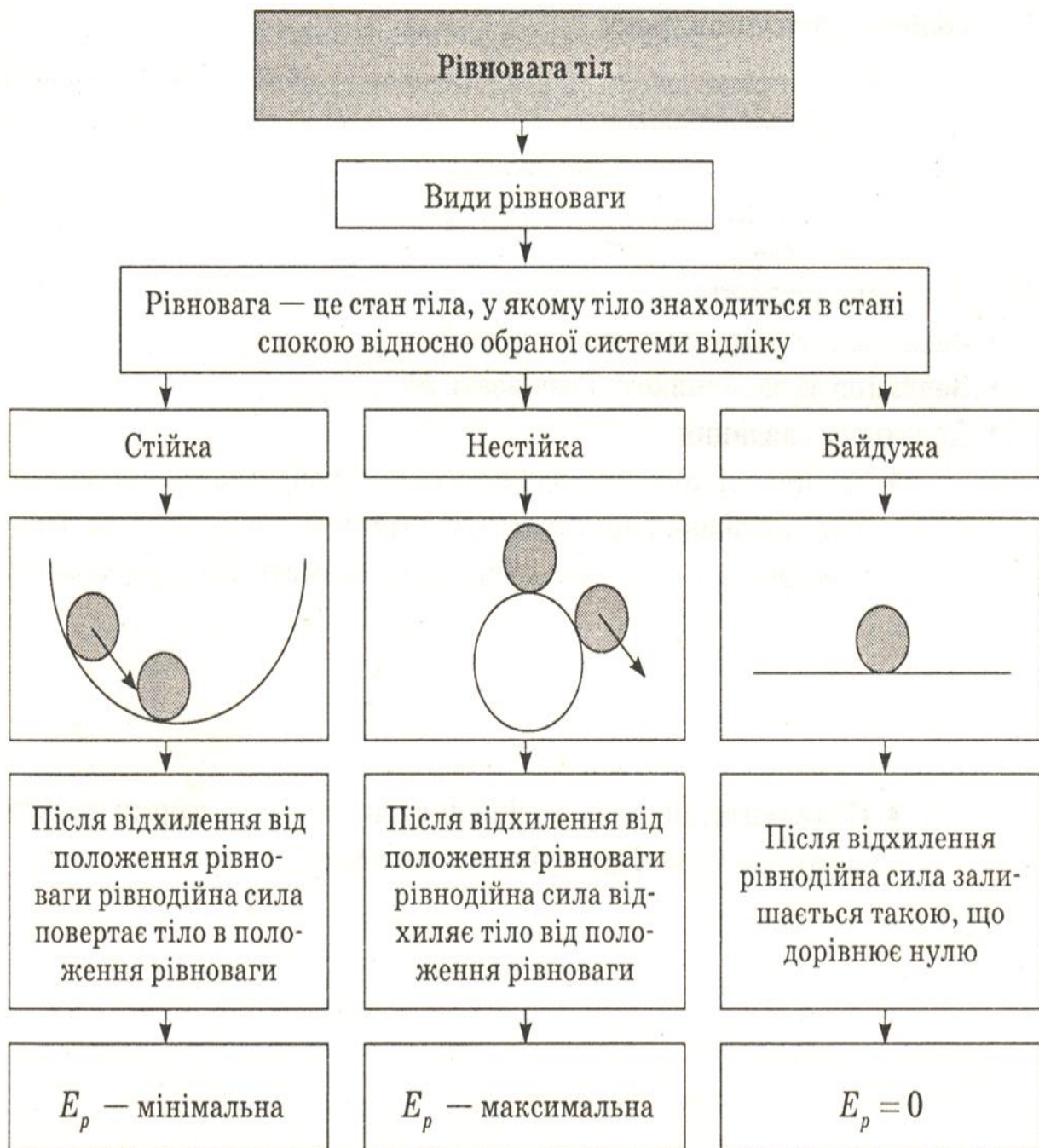
$$F_{\text{сопр}} = \beta v \quad F_{\text{сопр.}} = \beta v^2$$

Коефіцієнт β називається ***коефіцієнтом рідкого тертя*** або ***коефіцієнтом опору середовища***.

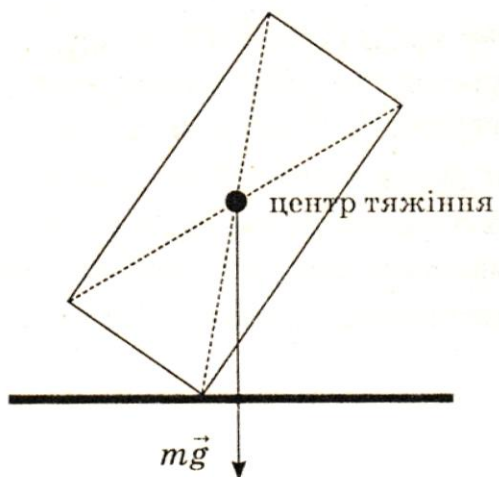
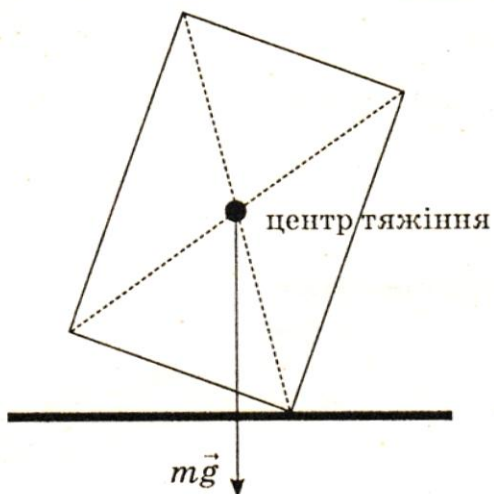
Рух тіла під дією кількох сил (рух тіла похилою площиною, зміна ваги тіла).

<u>Алгоритм (спосіб розв'язання)</u>	<u>По горизонталі</u>	<u>По- похилій площині</u>	<u>Рух зв'язаних систем</u>	<u>Рух по колу</u>	
1.Приклад розкладання сил					
2.Рівняння руху	$\vec{F}_T + \vec{F}_{TP} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$	$\vec{F}_T + \vec{F}_{TP} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$	$m_1\vec{g} + \vec{F}_H = m_1\vec{a}$ $m_2\vec{g} + \vec{F}_H = m_2\vec{a}$	$m\vec{g} + \vec{F}_H = m\vec{a}$	$m\vec{g} + \vec{F}_H = m\vec{a}$
3.Проекції рівнянь руху на осі координат	$\begin{cases} OX : F_T - F_{TP} = ma \\ OY : N - mg = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} OX : F_T - mg\sin\alpha - F_{TP} = ma \\ OY : -mg\cos\alpha + N = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} m_1g - F_H = m_1a \\ m_2g - F_H = -m_2a \end{cases}$	$\begin{cases} OX : F_H\sin\alpha = ma \\ OY : F_H\cos\alpha - mg = 0 \end{cases}$	$-mg + F_H = ma$
4.Розв'язування системи рівнянь відносно невідомого	$\begin{aligned} N &= mg \\ F_{TP} &= \mu N = \mu mg \\ F_T - \mu mg &= ma \\ a &= \frac{F_T - \mu mg}{m} \end{aligned}$	$\begin{aligned} N &= mg\cos\alpha \\ F_{TP} &= \mu N = \mu mg\cos\alpha \\ F_T - mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha &= ma \\ a &= \frac{F_T - mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha}{m} \end{aligned}$	$\begin{aligned} m_1g - m_2g - F_H + F_H &= m_1a + m_2a \\ g(m_1 - m_2) &= a(m_1 + m_2) \\ a &= \frac{g(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2} \\ F_H &= m_1(g + a) \end{aligned}$	$\begin{aligned} F_H &= \frac{mg}{\cos\alpha} \\ \frac{mg}{\cos\alpha} \sin\alpha &= ma \\ g\operatorname{Tg}\alpha &= a \end{aligned}$	$\begin{aligned} F_H &= ma + mg \\ F_H &= m(a + g) \end{aligned}$

1.3 Елементи статики та закони збереження. Рівновага тіл. Момент сили, центр тяжіння тіла. Стійкість рівноваги



Стійкість рівноваги тіла

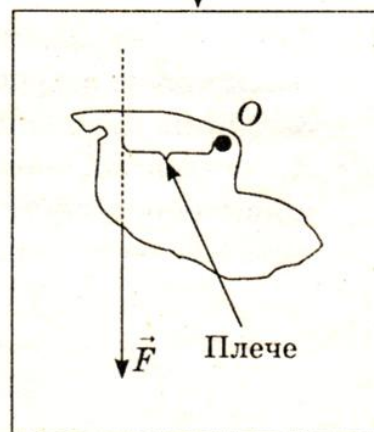
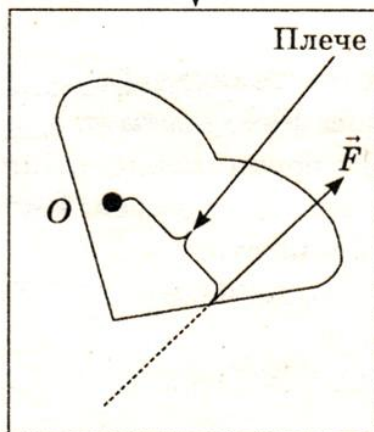
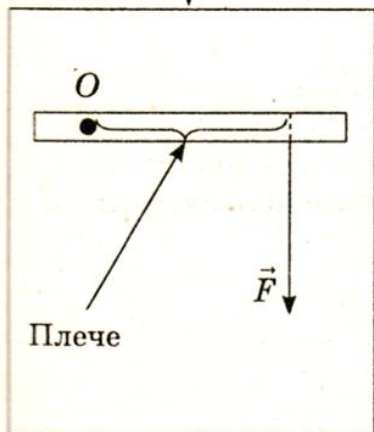


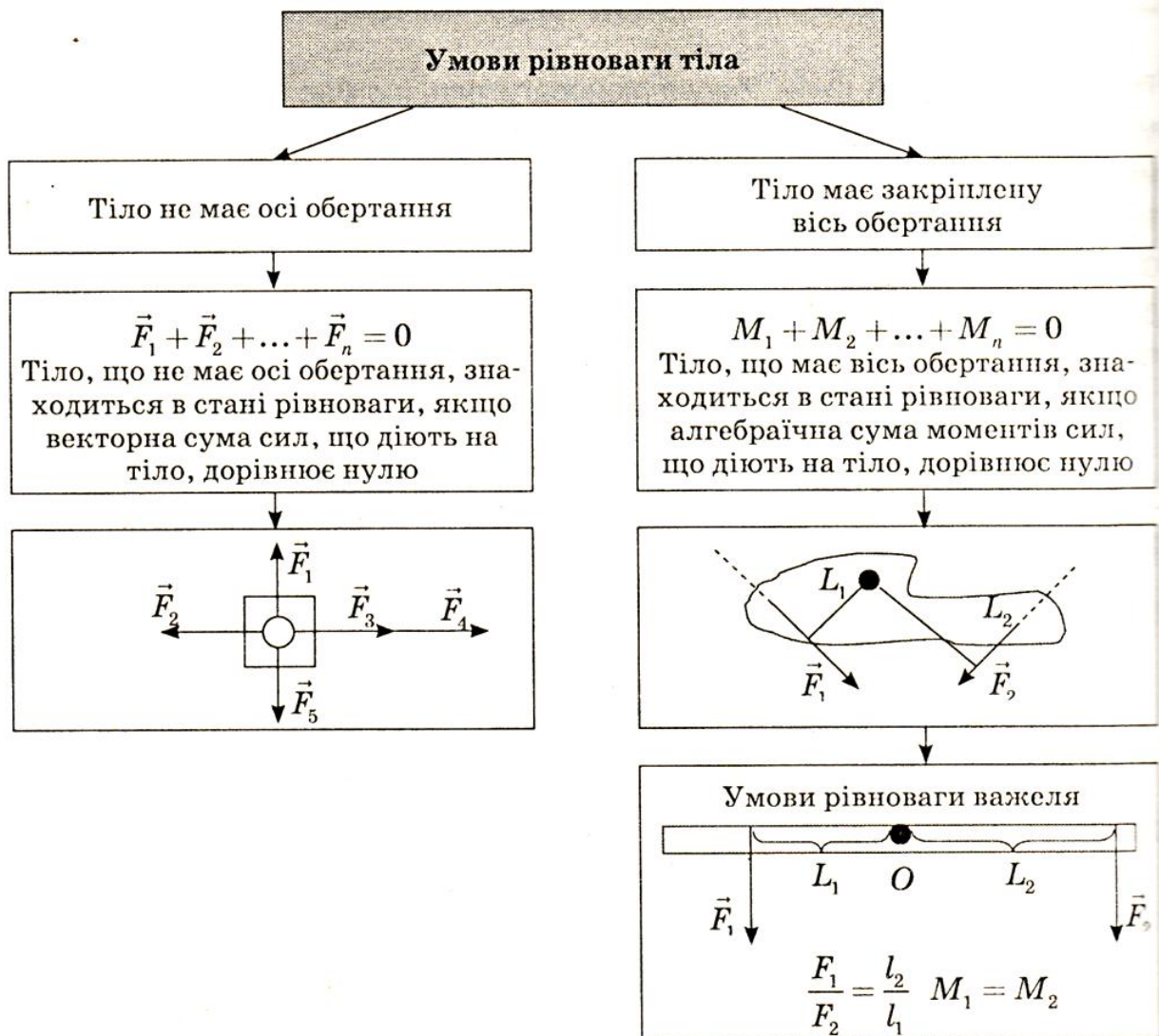
Критерій стійкості тіла — кут нахилу тіла, за якого воно ще не падає

Припустимий кут нахилу тіла тим більший, чим більша площа опори тіла та чим нижче розташовано центр тяжіння тіла

Плече сили

Найменша відстань від вісі обертання до лінії дії сили





Консервативні (потенціальні) сили Застосування законів збереження. Реактивний рух у природі і техніці. Пружні та не пружні зіткнення.

Консервативні сили

Сила, що діє на тіло, яке рухається поступально, називається **консервативною** (потенціальною), якщо робота, що виконується даною силою при переміщенні тіла, не залежить від того, по якій траєкторії відбулось це переміщення.

При переміщенні тіла вздовж замкненої траєкторії робота консервативних сил рівна нулю (прикладом консервативних сил є сили гравітаційного притягання).

Неконсервативними силами є сили, які призводять до втрати механічної енергії, перетворюючи її в теплову. До таких сил належить сила тертя.

Біля поверхні Землі на тіло діє сила тяжіння $m\vec{g}$.

1. Робота, яку виконує сила тяжіння з переміщення тіла вертикально вниз:

$$A = mgh = mg(y_1 - y_2)$$

1. Нехай тіло рухається по похилій площині. Кут між силою тяжіння та вектором переміщення – α .

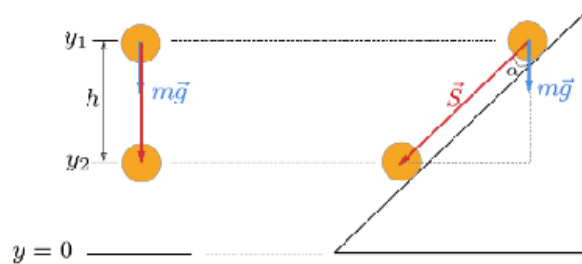
Тоді робота:

$$A = mgS \cos \alpha$$

У прямокутному трикутнику гіпотенуза, помножена на косинус кута, дорівнює прилеглому катетові.

Отже, $S \cos \alpha = h = (y_1 - y_2)$, а робота:

$$A = mgh = mg(y_1 - y_2)$$



Як бачимо, **робота сили тяжіння залежить лише від вертикальної відстані h** , яку визначають початкова та кінцева координати y_1 та y_2 . З іншого боку, **робота сили тяжіння не залежить від форми траєкторії руху тіла**. Тож зрозуміло, що **робота сили тяжіння по замкненій траєкторії дорівнює нулеві**, адже початкова і кінцева координати збігаються. Сили, які мають таку властивість, називаються **консервативними**.

Неконсервативні сили

Нехай ми рухаємо тіло по столу. Спочатку із положення 1 в положення 2, потім – в протилежний бік. Відстань від точки 1 до точки 2 – S . Розгляньмо роботу, яку виконує сила тертя.

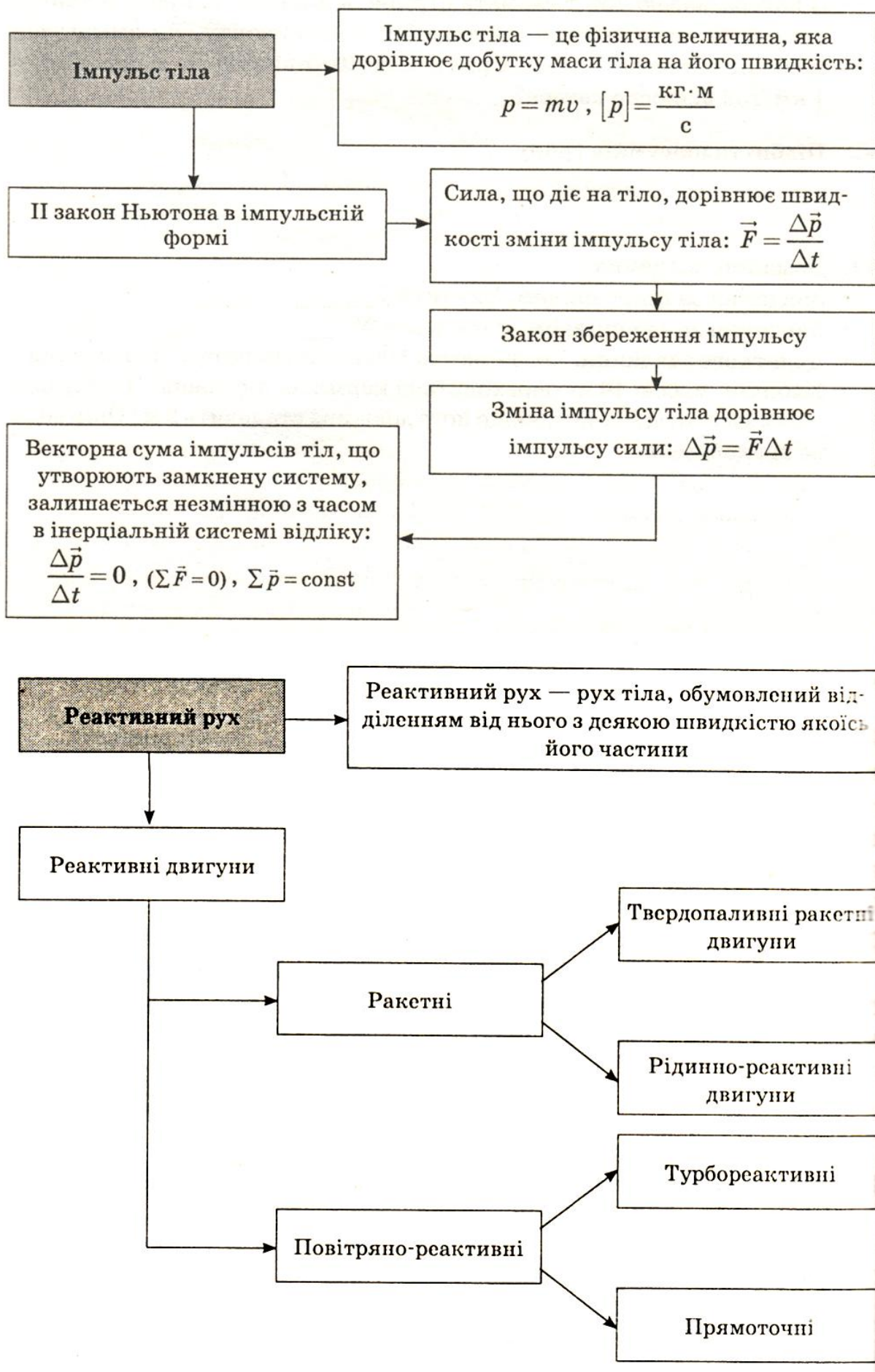


- «1 → 2»: вектор переміщення спрямовано в протилежний до сили тертя бік. Робота:

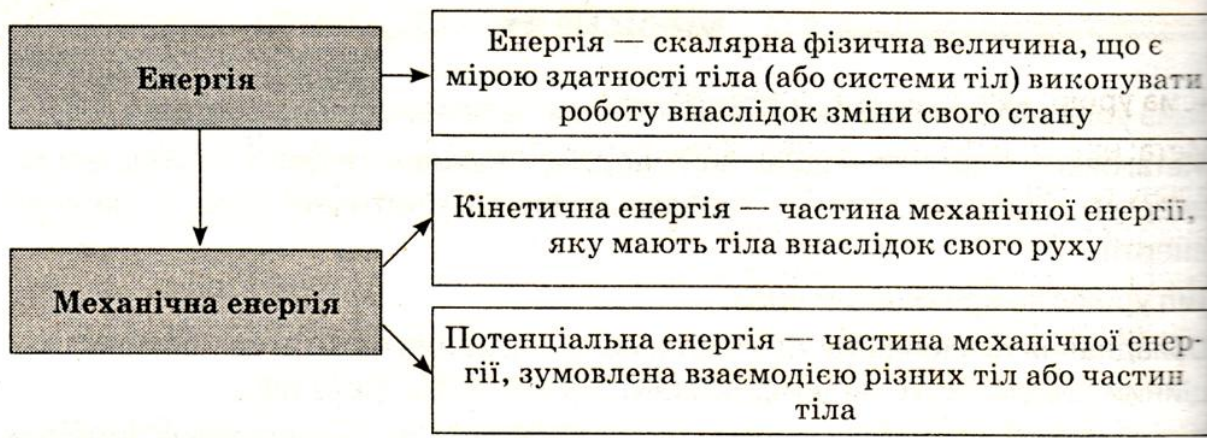
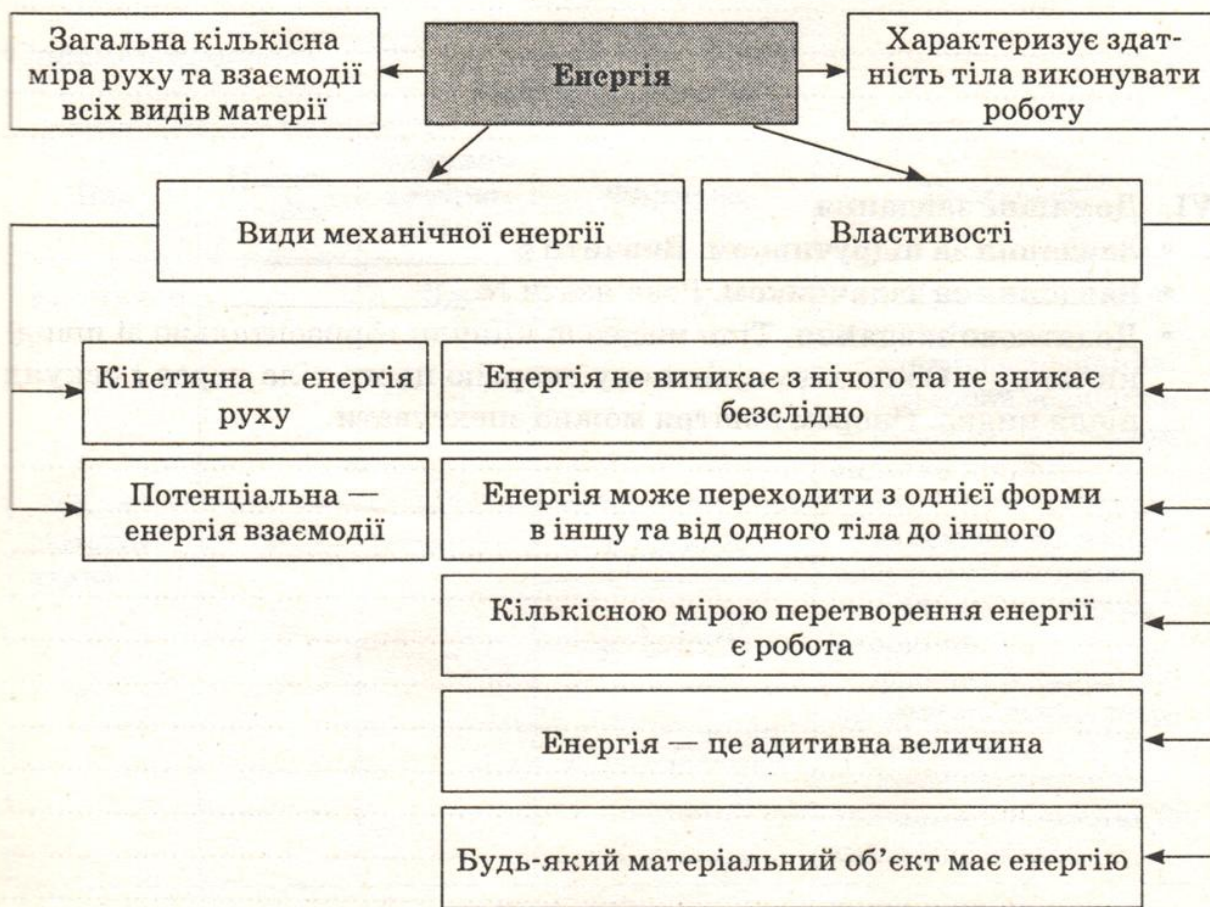
$$A_{T:1 \rightarrow 2} = -F_T S$$

- «2 → 1»: ситуація аналогічна. Вектор переміщення та сила тертя знову спрямовані протилежно одне до одного:

$$A_{T:2 \rightarrow 1} = -F_T S$$



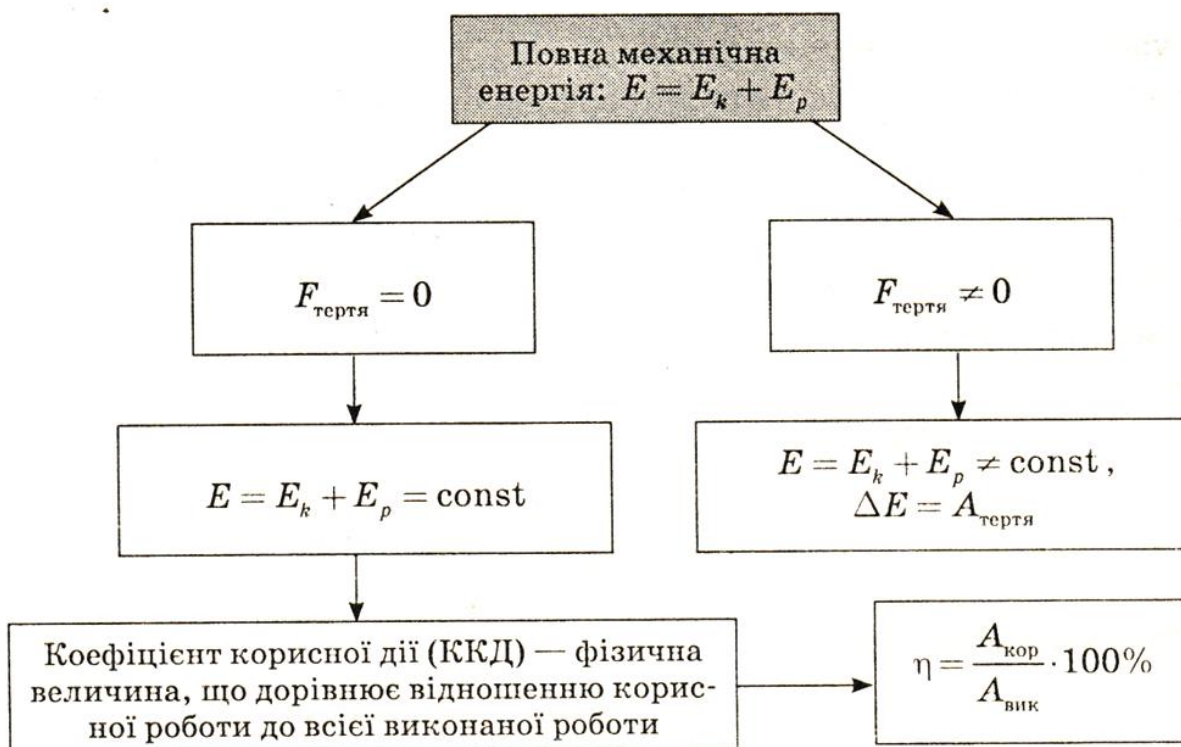
Механічна енергія. Кінетична та потенціальна енергія.



Механічна енергія

Вид	Позна-чення	Одиниця вимірю-вання	Формула	Властивості
Кінетична	E_k	Дж	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	— є мірою механічного руху тіл; — адитивна величина; — скалярна величина; — залежить від вибору системи відліку
Потенці-альна	E_p		$E_p = mgh$	— залежить від взаєм-ного розміщення тіл; — є функцією тільки координат; — фізичний смисл має не саме значення енергії, а різниця енергій; — визначена не одно-значно, а з точністю до постійної сталої
			$E_p = \frac{k\Delta l^2}{2}$	
			$E_p = -G \frac{m_1 m_2}{R}$	

Закон збереження повної механічної енергії



Рівновага та рух рідини та газу. Піднімальна сила крила

Гідростатика - найбільш простий розділ гідроаеромеханіки, який досліджує ситуації, коли рух відсутній або швидкість мала. Сила тиску p на дно посудини не залежить від його форми, а визначається тільки рівнем наливої в посудину рідини відповідно до гідростатичною формулою:

$$p = p_0 + \rho gh$$

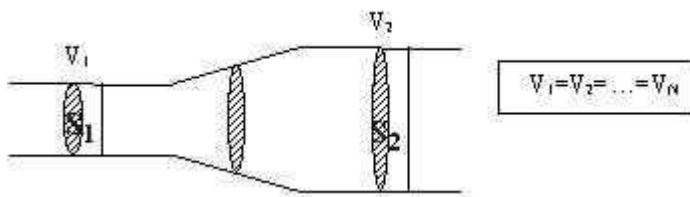
де ρ - густина рідини, g - прискорення вільного падіння, h - глибина занурення, p_0 - атмосферний тиск.

Сипучі тіла, подібно рідини і газу, можуть чинити тиск на бічну поверхню, але для такого тиску не виконується закон Паскаля, який стверджує, що тиск в будь-якому місці покоїться рідини мул газу в усіх напрямках однаково, причому тиск однаково передається по всьому об'єму рідини чи газу. У законі Паскаля вага рідини чи газу не враховується.

Закон Архімеда: на занурене в рідину або газ тіло діє виштовхувальна сила, яка дорівнює за величиною вазі витісненої рідини (або газу), спрямована проти сили тяжіння і прикладена до центру тяжіння витісненого об'єму.

Рух рідин і газів.

В механіці **рідину** вважають як **суцільне середовище**, густина якого не залежить від тиску. **Рух рідини називають течією, а саму рідину, що рухається потоком.** У випадку усталеного потоку рідини виділяють **лінію потоку**, яка є уявною кривою, дотична до якої у кожній її точці співпадає за напрямком із вектором швидкості рідини $\mathbf{V}$ в цій точці. **Трубка потоку** — це поверхня, утворена лініями потоку, які проведені через усі точки замкнутого контуру. Частина потоку, обмежена трубкою потоку, називається **струменем**. На дотичній до струменю лежить вектор швидкості рідини $\mathbf{V}$. **Ідеальна рідина** — це рідина, в якій відсутня сила опору (сила внутрішнього тертя - в'язкість) між окремими шарами рідини, що рухаються. **Закон Бернуллі**



Тиск рідини, що тече в трубі, більший у тій частині труби, де швидкість рідини менша і, навпаки, у частині труби, де швидкість рідини більша, — тиск менший.

Рівняння Д. Бернуллі виведені ним у 1738 році:

$$p = \rho gh + \rho \frac{v^2}{2} = \text{const.}$$

Фізичний зміст рівняння полягає в тому, що під час протікання ідеального об'єму рідини (чи газу) повна механічна енергія одиниці об'єму рідини (чи газу) є величиною постійною по всій довжині труби (закон збереження енергії для рухомої рідини або газу).

Першим спробував пояснити виникнення піднімальної сили крила птаха Леонардо да Вінчі (1452—1519 рр.) ще у XVI ст., вважаючи, що птах, ударяючи крилами по повітрю, ущільнює його, внаслідок чого виникає підіймальна сила.

На рис. 1 подано розріз («профіль») крила і сили, яка діють на крило літака, що летить у горизонтальному напрямі, з боку зустрічного потоку повітря.

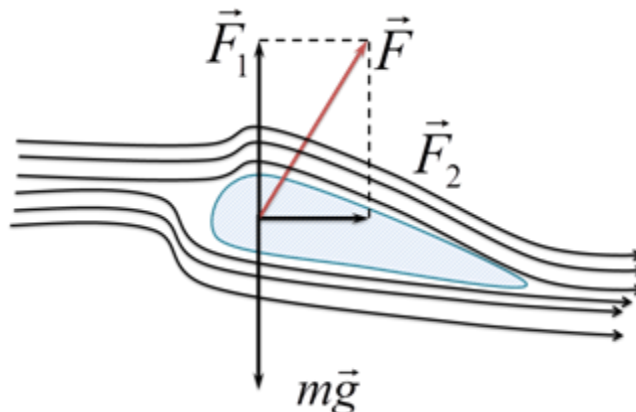
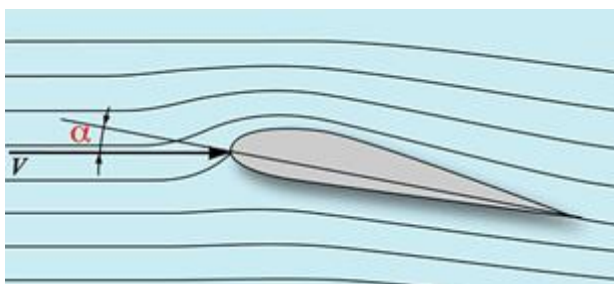


Рис. 1. Виникнення підіймальної сили $\vec{F}$, яка діє на крило літака.



Для здійснення підйому крило літака повинно бути розташовано так, що між його нижньою лінією і напрямком польоту був деякий кут α - **кут атаки**.

За таких умов швидкість потоку повітря над крилом буде більша

швидкості потоку повітря під крилом.

Різниця швидкостей відображена різною густиною ліній. Тому під час руху літака над крилом буде тиск менший ніж над крилом.

Накладаючись на основний горизонтальний потік, швидкість якого v , під крилом результуюча швидкість стане $u - v$, а над крило стане $u + v$. Але тоді тиск над крилом виявляється меншим, ніж під крилом ($P_2 < P_1$), і у вертикальному напрямку виникає підіймальна сила, що діє на крило з боку потоку. Скориставшись рівнянням Бернуллі, можна приблизно оцінити величину цієї сили:

$$f_{\pi} \approx (P_1 - P_2) \cdot S \approx 2 \cdot \rho \cdot u \cdot v \cdot S,$$

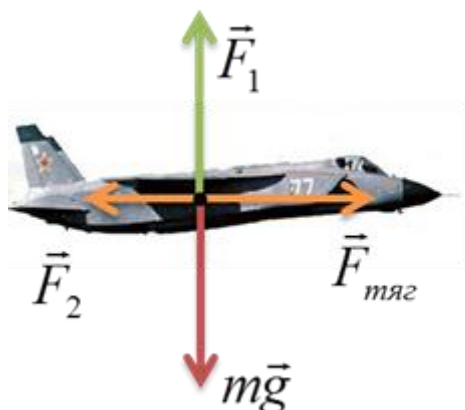
де S – площа крила;

v – швидкість горизонтального потоку повітря;

u – швидкість циркуляції повітря навколо крила.

З цієї формули видно, що **підіймальна сила зростає при великих швидкостях потоку і падає на великих висотах, де повітря сильно розріджене.**

Різниця сил тиску й зумовлює виникнення сили $\vec{F}$ (рис.1). Вертикальна складова сили $\vec{F}$ – є *підіймальною силою* $\vec{F}_1$. Горизонтальна складова $\vec{F}_2$ – *сила лобового опору*, яка переборюється силою тяги літака.



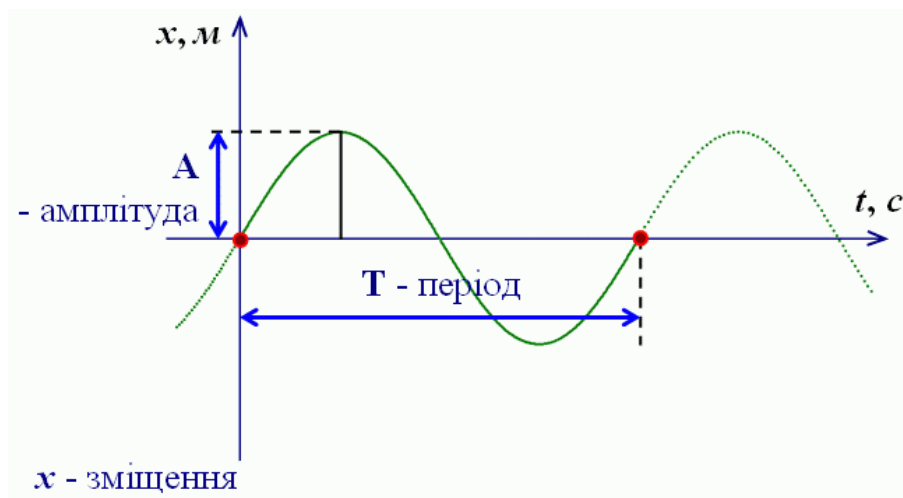
Сили, що діють на літак під час польоту.

1.4 Механічні коливання та хвилі.

Застосування законів механіки до коливального руху. Гармонічні коливання. Рівняння гармонічних коливань. Умови виникнення вільних коливань. Найпростіші коливальні системи-математичний та пружинний маятники. Енергія коливань

Коливання називаються гармонічними, якщо їх характеристики (наприклад, зміщення тіла з положення рівноваги) змінюються у часі за законом синуса або косинуса.

Вільними (власними) називаються коливання, які здійснює тіло за рахунок початкової енергії, без зовнішньої дії під час коливань.



Характеристики коливального руху:

- Амплітуда – модуль найбільшого відхилення тіла від положення рівноваги. Позначається літерою A та вимірюється в метрах.

- Період – мінімальний проміжок часу, за який відбувається одне коливання. Період позначається літерою T та вимірюється в секундах.

$$T = t / N, [T] = 1\text{с}$$

- Частота – число коливань за одиницю часу. Позначається літерою ν та вимірюється в герцах. Частота обернено пропорційна періоду, тому для того щоб знайти частоту, необхідно одиницю поділити на період.

$$\nu = N / t$$

Зв'язок між частотою і періодом: $\nu = 1 / T, [\nu] = 1\text{с}^{-1} \text{ (Гц)}$

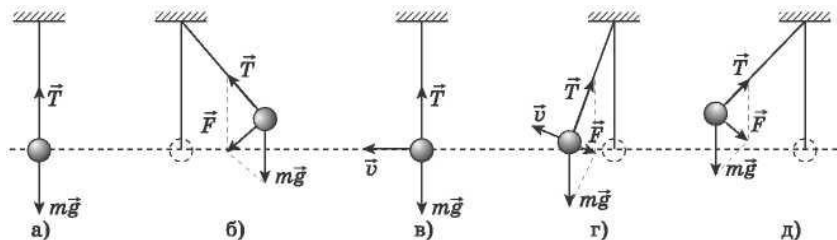
- Циклічна частота – число коливань за 2π секунд. Циклічна частота позначається літерою ω та вимірюється в секундах у мінус першій степені. Для того щоб знайти циклічну частоту, треба частоту помножити на 2π .

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi / T, [\omega] = \text{рад/с}$$

Математичним маятником називається ідеалізована коливальна система без тертя, що складається з невагомої та нерозтяжної нитки, на якій підвішена матеріальна точка.

Розглянемо коливання математичного маятника. Для цього візьмемо невелику, але досить важку, кульку й підвісимо її на довгу нерозтяжну нитку.

Розглядаючи коливання математичного маятника, ми дійдемо висновку, що причинами які зумовлюють вільні коливання, є:



1) дія на кульку сил, рівнодійна яких завжди спрямована в бік положення рівноваги;

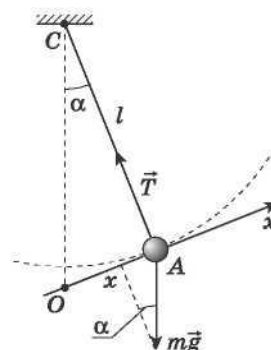
2) інертність коливної кульки, завдяки якій вона не зупиняється в положенні рівноваги.

маятника залежить лише від довжини маятника і не залежить від маси кульки.

2. Період коливань математичного маятника

Доведемо, що математичний маятник здійснює гармонічні коливання.

Запишемо рівняння другого закону Ньютона в проекції на вісь Ox (див. рис): $T_x + mg_x = ma_x$. Оскільки $T_x = 0$, то $mg_x = -mg \sin \alpha$ і ми дістаємо рівняння: $-mg \sin \alpha = ma_x$, або $-g \sin \alpha = a_x$. Значення $\sin \alpha$ можна розрахувати з трикутника OAC — воно дорівнює відношенню катета OA до гіпотенузи OC . Якщо кути малі,



$OC = l$, де l — довжина нитки, а $OA \approx x$, де x — відхилення кульки від положення рівноваги. Тому $\sin \alpha = \frac{x}{l}$. Остаточного отримуємо: $a_x = -\frac{g}{l}x$.

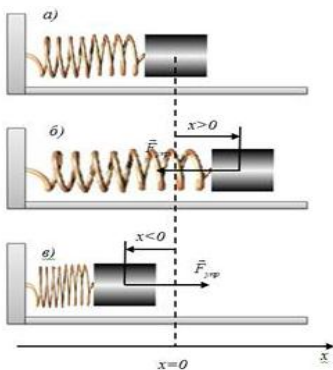
Позначивши $\omega^2 = \frac{g}{l}$, маємо рівняння для вільних коливань математичного маятника: $a_x = -\omega^2 x$. Циклічна частота коливань математичного маятника:

$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$. Скориставшись співвідношенням $T = \frac{2\pi}{\omega}$, знайдемо формулу

для періоду коливань математичного маятника:

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

Формула періоду коливань пружинного маятника



Розглянемо тіло маси m , закріплене на пружині з коефіцієнтом жорсткості k (масою пружини зневажаємо). Розтягнемо пружину на x . Тоді за законом Гука на тіло буде діяти сила пружності $F_{\text{пр}}$:

1) величина сили пропорційна величині відхилення системи від положення рівноваги

$$F_{\text{упр}} \sim x,$$

2) напрямок сила протилежний напрямку зсуву, тобто сила завжди спрямована до положення

рівноваги (при $x > 0$, $F_{\text{пр}} < 0$, при $x < 0$, $F_{\text{пр}} > 0$)

3) У положенні рівноваги $x = 0$ і $F_{\text{пр}} = 0$.

За законом Гука

$$F_{\text{пр}} = -kx.$$

Систему, що складається з матеріальної точки маси m і абсолютно пружної пружини з коефіцієнтом жорсткості k , у якій можливі вільні коливання, називають **пружинним маятником**.

Запишемо другий закон Ньютона для рис. б

$$F_{\text{упр}} = ma,$$

$$F_{\text{упр}} = -kx,$$

$$ma = -kx,$$

$$a = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -\omega_0^2 x,$$

$$-m\omega_0^2 x = -kx \Rightarrow m\omega_0^2 = k,$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

Т.Т.

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \omega_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

тоді

і

$$T = \frac{1}{\nu} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

**Перетворення енергії за відсутності тертя
під час коливань відбуваються взаємні періодичні перетворення
потенційної та кінетичної енергій.**

Швидкість і прискорення під час коливань

Які максимальні значення швидкості та прискорення під час коливань? Відповісти на це запитання також допоможе закон збереження енергії. Розглянемо коливання вантажу на пружині. Коли система проходить положення рівноваги, її потенціальна енергія

дорівнює нулю, а кінетична — максимальна й дорівнює $\frac{m g_{\max}^2}{2}$, де m — маса вантажу,

$g_{\max}$ — максимальне значення модуля швидкості.

Відповідно до закону збереження енергії, кінетична енергія під час проходження системою положення рівноваги дорівнює її потенційній енергії за максимального відхилення від положення рівноваги, тобто $\frac{m g_{\max}^2}{2} = \frac{k A_{\max}^2}{2}$. Звідси

маємо: $g_{\max} = \sqrt{\frac{k}{m}} A_{\max}$. Згадаємо, що $\sqrt{\frac{k}{m}} = \omega$, де ω — циклічна частота. Таким чином, $g_{\max} = \omega A_{\max}$.

Покажемо, що точно таке співвідношення пов'язує максимальне значення прискорення з максимальним значенням швидкості. Для гармонічних коливань справедливим є рівняння $a_x = -\omega^2 x$, звідки отримуємо: $a_x = \omega^2 A_{\max}$. З урахуванням того, що $\omega A_{\max} = g_{\max}$, маємо: $a_{\max} = \omega g_{\max}$.

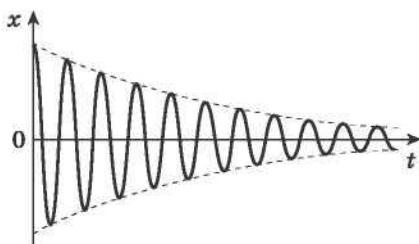
Перетворення енергії за наявності тертя

У будь-якій реальній коливальній системі наявне тертя, хоча в багатьох випадках його роль незначна. Наприклад, важкий важок, підвішений на досить довгій нитці, може здійснювати малі коливання впродовж багатьох годин.

- *Коливання, амплітуда яких з плином часу не змінюється, називають незатухаючими.*

- *Коливання, амплітуда яких з плином часу зменшується, називають затухаючими.*

Графік затухаючих коливань показано на рисунку.



Сили тертя (або опору в рідинах чи газах) можуть бути настільки значними, що коливання навіть не виникнуть. Наприклад, якщо підвішений на

нитці важок занурити в грузлу рідину, то після відхилення від положення рівноваги він плавно повернеться в це положення й зупиниться

Вимушені коливання. Резонанс.

Дія маятникового годинника як приклад автоколивань.

1.. Вимушені коливання

· Коливання, що відбуваються під дією зовнішніх сил, що періодично змінюються, називають *вимушеними*.

Частота вимушених коливань будь-якої коливальної системи завжди дорівнює частоті зовнішньої сили.

Амплітуда вимушених коливань не зменшується з часом, навіть якщо в системі наявне тертя, тому що втрати механічної енергії, зумовлені тертям, заповнюються за рахунок роботи зовнішніх сил.

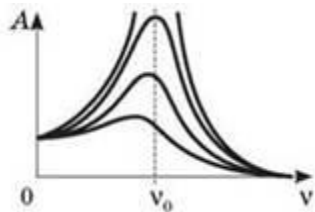
2. Резонанс

· Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань унаслідок збігу частоти зовнішньої сили з власною частотою системи називають *резонансом*.

У випадку резонансу напрямок зовнішньої сили збігається з напрямком руху, тому впродовж кожного коливання зовнішня сила виконує позитивну роботу. Саме ця «узгодженість» і зумовлює резонанс. якщо ж частота зовнішньої сили відрізняється від власної частоти системи, зовнішня сила спрямовуватиметься то в напрямку руху, то проти нього. У результаті дія зовнішньої сили буде значно менш ефективною.

Графік залежності амплітуди вимушених коливань від частоти зміни зовнішньої сили називають *резонансною кривою*.

На рисунку побудовано графік залежності амплітуди коливань A від частоти ν зовнішньої сили, що змінюється періодично, за умови різних сил тертя в коливальній системі, власна частота коливань якої дорівнює ν_0 .



Проаналізувавши графік, можна зробити два висновки:

1) найбільша амплітуда коливань під дією зовнішньої сили досягається тоді, коли частота зміни зовнішньої сили збігається з частотою вільних коливань;

2) чим більша в системі сила тертя, тим слабкіше виражений резонанс.

3. Застосування резонансу й боротьба з ним

Явище резонансу використовується в музичних інструментах для посилення звуку. Резонанс застосовується в багатьох приладах, у тому числі й вимірювальних.

Трапляється, що резонанс призводить навіть до руйнування будинків і мостів. Небезпечним є резонанс і під час роботи будь-яких машин, у яких є

частини, що обертаються або рухаються періодично (а такі частини є практично в усіх машинах).

Щоб уникнути небажаних проявів резонансу, діють двома способами:

1) «розузгоджують» частоти, збіг яких може призвести до резонансу. Для цього змінюють або частоту зовнішньої сили, або власну частоту системи;

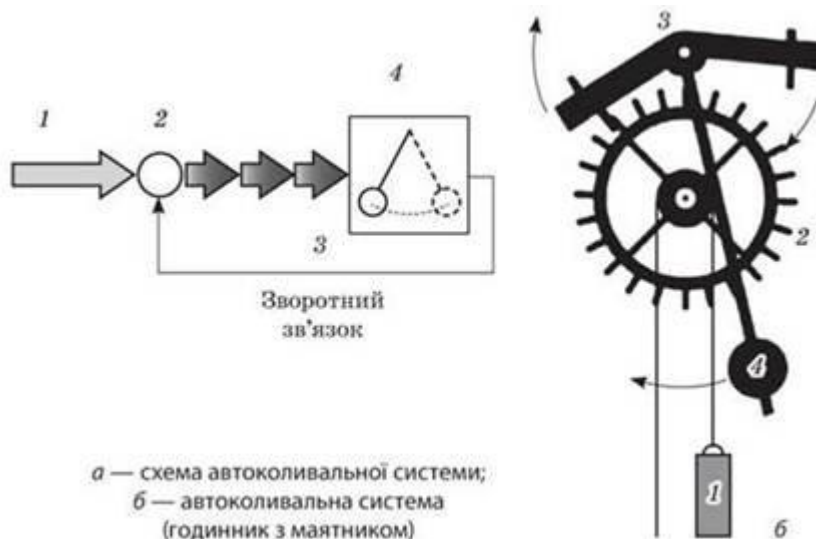
2) збільшують затухання коливань, наприклад, ставлять двигун на гумову підкладку або на пружини.

4. Автоколивання

· *Автоколивання* — незгасні коливання, спричинені сталим зовнішнім впливом на систему, котра сама регулює її частоту.

У будь-якій автоколивальній системі виокремлюють основні елементи (див. рисунок а): 1 — джерело енергії; 2 — передавальний пристрій зі зворотнім зв'язком — 3, який регулює надходження енергії від джерела у коливальну систему — 4.

Прикладом автоколивальної системи є годинник з маятником (див. рисунок б).



Джерелом енергії такої системи є тягарець 1, передавальним пристроєм — заскочне колесо 2 та анкер 3, коливальною системою — маятник 4.

Поширення механічних коливань в пружному середовищі.

Поперечні та поздовжні хвилі.

Інтерференція та дифракція хвиль. Звукові явища.

Швидкість звуку. Класифікація звуків, їхні характеристики.

Механічна хвиля

Джерелами хвиль є коливні тіла. Якщо таке тіло перебуває в якому-небудь середовищі, коливання передаються прилеглим частинкам речовини. А оскільки частинки речовини взаємодіють одна з одною, коливні частинки передають коливання своїм «сусідам». У результаті коливання починають поширюватися в просторі. Так і виникають хвилі.

- Хвилею називають процес поширення коливань з плином часу.

Механічні хвилі в середовищі зумовлені пружними деформаціями середовища. Утворення різноманітних хвиль пояснюється наявністю силових зв'язків між частинками, що беруть участь у коливаннях.

Будь-яка хвиля переносить енергію, адже хвиля — це коливання, що поширюються в просторі, а будь-які коливання, як ми знаємо, мають енергію. Механічна хвиля переносить енергію, але не переносить речовину.

Поперечні і поздовжні хвилі

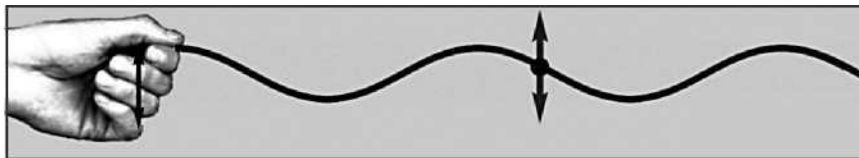
Під час поширення хвилі частинки середовища коливаються в межах певного положення рівноваги й не переміщуються вздовж шнура. Залежно від напрямку коливань частинок, відносно напрямку поширення хвилі, розрізняють хвилі поперечні й поздовжні.

- *Хвилі, у яких частинки середовища під час коливань зсуваються в напрямі, перпендикулярному напрямку поширення хвилі, називаються поперечними.*

Отже, деформації в середовищі внаслідок поширення поперечної хвилі — це деформації зсуву в напрямі, перпендикулярному напрямку поширення хвилі.

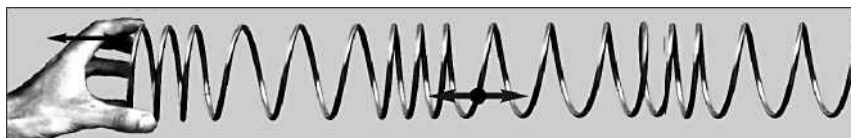
Поперечні хвилі можуть поширюватися лише у твердих тілах. Справа в тому, що такі хвилі зумовлені деформаціями зсуву, а в рідинах і газах не існує деформацій зсуву: рідини й гази не «чинять опору» зміні форми.

Для поперечних хвиль характерним є утворення горбів і западин, що переміщуються зі швидкістю поширення хвилі (див. рис).



- *Хвилі, у яких частинки середовища під час коливань зсуваються вздовж напрямку поширення хвилі, називаються поздовжніми.*

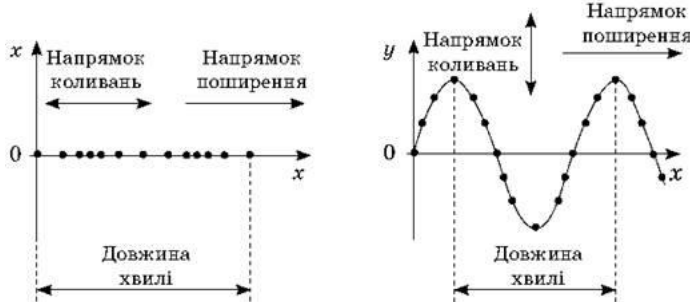
Приклад поздовжньої хвилі — хвиля, що біжить по м'якій пружині, коли один її кінець здійснює коливання під дією періодичної зовнішньої сили, спрямованої вздовж пружини.



Деформації в середовищі внаслідок поширення поздовжньої хвилі — це деформації розтягання й стискання. Такі деформації наявні в усіх середовищах (твердому, рідкому й газоподібному), тому що зміні об'єму «пручається» будь-яке середовище. Отже, поздовжні хвилі можуть поширюватися в будь-якому середовищі.

Для поздовжньої хвилі характерним є утворення згущень і розріджень, що пересуваються зі швидкістю хвилі.

Зверніть увагу, що хвилі на поверхні води не є поздовжніми або поперечними. Вони мають складний поздовжньо-поперечний характер, і при цьому частинки рідини рухаються по колу.



1. Плоскі та сферичні хвилі

Види механічних хвиль в залежності від форми хвильової

поверхні:

а) плоскі хвилі — це хвилі, для яких хвильові поверхні у формі паралельних площин.

б) сферичні хвилі — це хвилі, для яких хвильові поверхні у формі сферичних, концентричних поверхонь.

Довжина хвилі

Хвиля має характерну синусоїдальну форму. Максимум хвилі називають її гребенями.

- Частоту коливань кожної точки середовища називають **частотою хвилі** ν .

Величину, зворотну частоті, називають **періодом хвилі**: $\nu = \lambda \nu$.

- **Довжина хвилі** λ — це відстань між двома найближчими точками, що коливаються в одній фазі.

За час одного повного коливання хвиля поширюється на відстань, що дорівнює довжині хвилі, тому можна дати ще одне визначення довжини хвилі:

- відстань, на яку поширюються коливання за час одного періоду, називається **довжиною хвилі**.

Оскільки швидкість хвилі для певного середовища — величина постійна, то її можна обчислити за формулою: $\vartheta = \frac{s}{t}$. З урахуванням того, що $t = T$ і $s = \lambda$,

дістаємо: $\vartheta = \frac{\lambda}{T}$. Але $\frac{1}{T} = \nu$, тому остаточно отримуємо: $\vartheta = \lambda \nu$.

Цю формулу називають формулою хвилі.

Механічні хвилі — це процес поширення механічних коливань у пружному середовищі з часом.

Механічні хвилі переносять імпульс і енергію, але не переносять з собою речовини.

Характеристики механічних хвиль: період, частота, циклічна частота, амплітуда, фаза коливань.

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega = 2\pi\nu \quad \nu = \frac{1}{T}$$

Довжина хвилі (λ) — це відстань між найближчими точками, які коливаються в однакових фазах.

(це відстань між сусідніми гребенями хвиль).

(це відстань на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду).

Швидкість хвилі (v) – це швидкість, з якою поширюється гребінь хвилі.



$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ - швидкість хвилі (через період)}$$

$$v = \lambda \nu \text{ - швидкість хвилі (через частоту)}$$

Хвильова поверхня – це поверхня, всі точки якої коливаються в однакових фазах.

Хвильовий фронт – це геометричне місце точок, до яких дійшла хвиля в даний момент часу.

Промінь хвилі – це напрям, перпендикулярний до хвильової поверхні, вздовж якого поширюється хвиля.

Інтерференція хвиль – це процес накладання двох і більше когерентних хвиль, при якому відбувається підсилення і послаблення коливань в різних точках простору.

Когерентні хвилі – це хвилі, в яких коливання мають однакову частоту, різницю фаз і коливання відбувається в одній площині.

Умови підсилення і послаблення коливань:

а) максимум інтерференції (підсилення коливань) спостерігається в тих точках простору, для яких різниця ходу двох хвиль дорівнює цілому числу довжин хвиль.

Δd - різниця ходу

$\Delta d = k\lambda$ - умова max

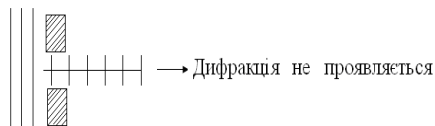
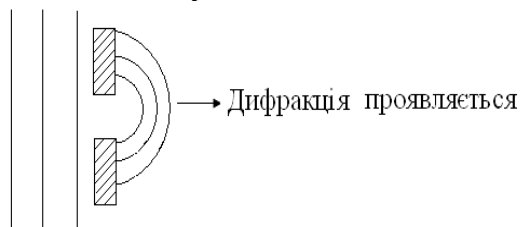
$k = 0, 1, 2, \dots$

б) мінімум інтерференції (послаблення коливань) спостерігається в тих точках простору, для яких різниця ходу двох хвиль дорівнює непарному числу довжин хвиль.

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ - умова min}$$

Дифракція хвиль – це явище огинання хвилями перешкод.

Дифракція хвиль проявляється для перешкод, розміри яких такі самі або менші за довжину хвилі.



Звукові хвилі – це механічні хвилі, що поширюються в пружному середовищі, окремі з яких може сприймати людина за допомогою органів слуху.

Звук – це механічні хвилі, які викликають звукові відчуття та сприймаються людським органом слуху.

Діапазон звукових хвиль

Досліди показують, що людське вухо, органи слуху людини сприймають коливання частотами від 16 Гц до 20000 Гц. Саме цей діапазон ми і називаємо звуковим. Звичайно, існують хвилі, частота яких менше 16 Гц (інфразвук) і більше 20000 Гц (ультразвук). Але ці діапазони людським вухом не сприймаються.



Умови, необхідні для існування звуку

Для існування звуку необхідні:

1. Джерело звуку
2. Середовище
3. Слуховий апарат
4. Частота 16-20000 Гц
5. Інтенсивність

Характеристики звуку

Висота

Тепер перейдемо до обговорення характеристик звуку. Перша – це висота звуку. **Висота звуку** – характеристика, яка визначається **частотою** коливань. Чим більше частота у тіла, яке здійснює коливання, тим звук буде вище. Давайте знову звернемося до лінійки, затиснутою в лещата. Як ми вже говорили, ми бачили коливання, але не чули звуку. Якщо тепер довжину лінійки зробити менше, то ми будемо чути звук, але побачити коливання буде набагато складніше. Дослід по отриманню звуку за допомогою лінійки. Якщо вкоротимо лінійку, ми почуємо звук певної висоти. Ми можемо зробити довжину лінійки ще коротше, тоді ми почуємо звук ще більшої висоти (частоти). Те ж саме ми можемо спостерігати і з камертонами. Якщо ми візьмемо великий камертон (він ще називається демонстраційний) і вдаримо по ніжкам такого камертона, то можемо спостерігати коливання, але звуку не почуємо. Якщо візьмемо інший камертон, то, вдаривши по ньому, почуємо певний звук. І наступний камертон, справжній настроюваний камертон, який використовується для настроювання музичних інструментів. Він видає звук, відповідний ноті ля, або, як говорять ще, 440 Гц.

Тембр

Наступна характеристика – тембр звуку. Тембром називається забарвлення звуку. Як можна ілюструвати цю характеристику? Тембр – це те, чим відрізняються два однакових звука, виконані різними музичними інструментами. Ви всі знаєте, що нот у нас всього сім. Якщо ми почуємо одну і ту ж ноту ля, взяту на скрипці і фортепіано, то ми їх можна відрізнити. Ми відразу зможемо сказати, який інструмент цей звук створив. Саме цю особливість – забарвлення звуку – і характеризує тембр. Потрібно сказати, що тембр залежить від того, які відтворюються звукові коливання, крім основного тону. Справа в тому, що довільні звукові коливання досить складні. Вони складаються з набору окремих коливань, кажуть спектру коливань. Саме

відтворення додаткових коливань (обертонів) і характеризує красу звучання того або іншого голосу або інструмента. Тембр є одним з основних і яскравих проявів звуку.

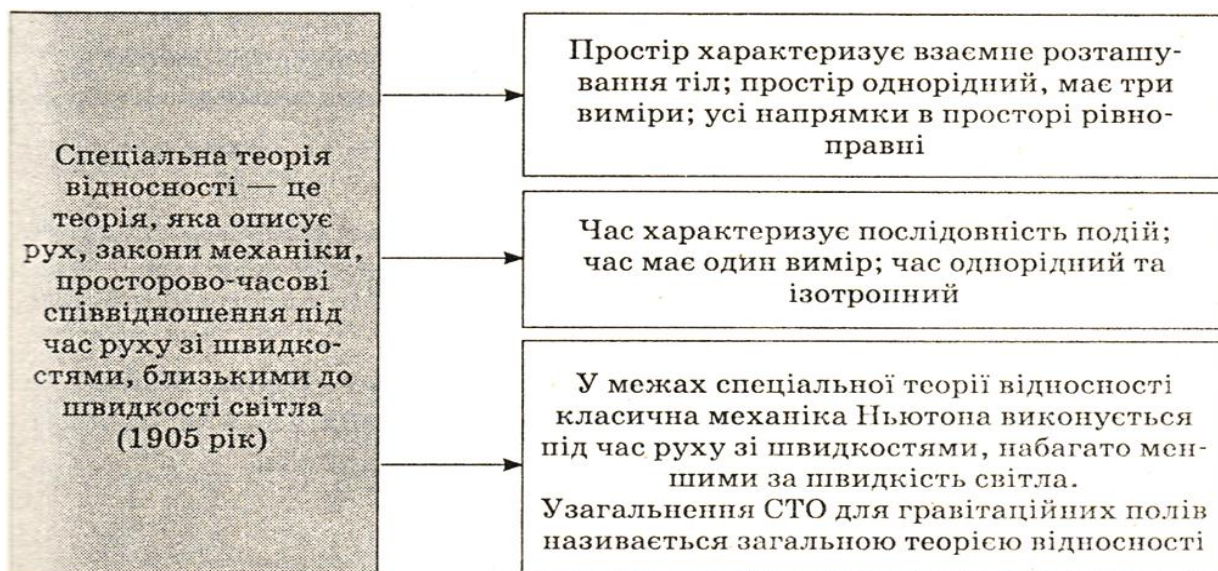
Гучність

Ще одна характеристика – гучність. **Гучність звуку** залежить від **амплітуди коливань**. Давайте подивимося і переконаємося, що гучність пов'язана з амплітудою коливань. Отже, візьмемо

2. Елементи спеціальної теорії відносності Принцип відносності Ейнштейна. Основні положення спеціальної теорії відносності. Відносність одночасності подій. Відносність проміжків часу. Релятивістський закон додавання швидкостей

Досвіди Майкельсона – Морлі

Дослід з виявлення “ефірного вітру” був поставлений у 1881 р. американськими вченими А. Майкельсоном та Е. Морлі. У цьому досліді порівнювалася швидкість світла в напрямі руху Землі й у перпендикулярному напрямі. Експерименти ставили в різний час доби й різні пори року, але завжди отримували негативний результат: рух Землі відносно ефіру виявити не вдалося. Цей дослід мав вирішальне значення для теорії відносності й образно був охарактеризований як “найзначніший з усіх негативних результатів в історії науки”.

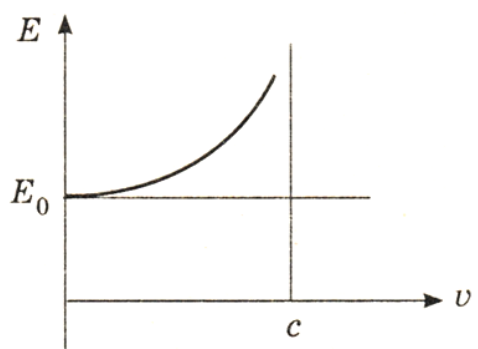


Постулати теорії відносності Ейнштейна	
В усіх інерціальних системах відліку всі фізичні процеси відбуваються однаково	Швидкість світла у вакуумі однакова в усіх системах відліку та не залежить від швидкості джерела та спостерігача

Наслідки постулатів відносності

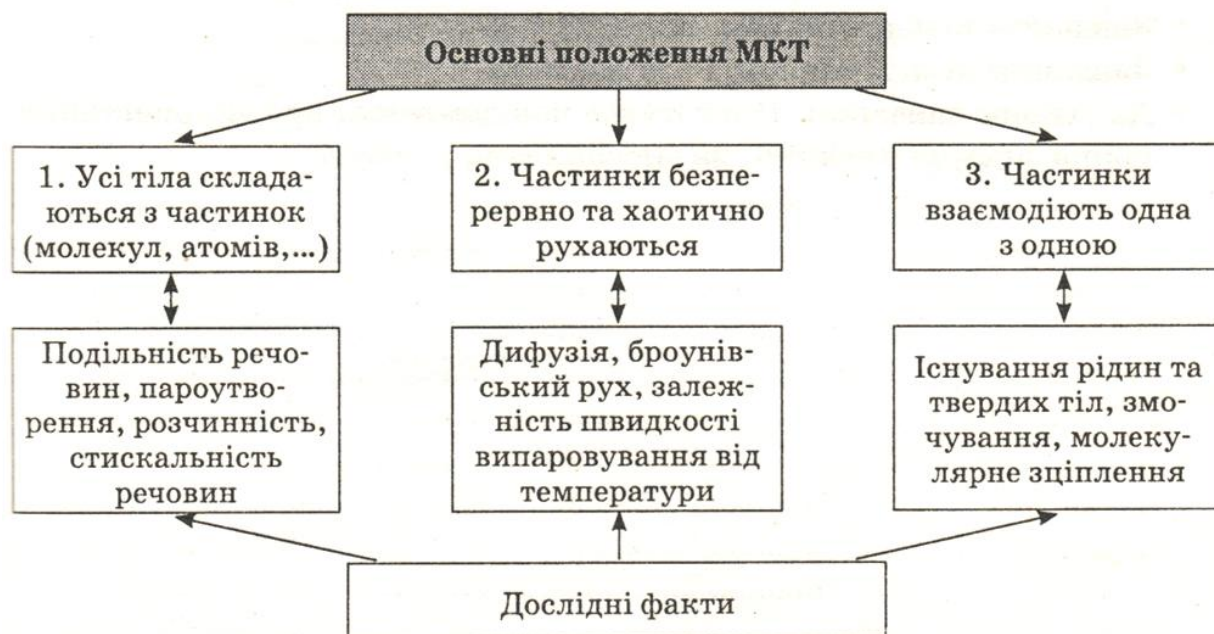
1. Дві події, розділені в просторі, відбуваються в одній системі одночасно, а в іншій — ні	Відносно двох годинників, один з яких розташований на носі, а інший — на кормі корабля, подія (спалах) відбувається неодноразово. Годинники А та Б синхронізовані та знаходяться на однаковій відстані від джерела світла, яке знаходиться на рівній відстані між годинниками. Світло поширюється з однаковою швидкістю в усіх напрямках, але годинники фіксують спалах у різні моменти часу
2. Розміри тіл зменшуються в напрямку руху	$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \text{ де}$ l_0 — довжина тіла, нерухомого відносно даної системи, l — довжина тіла, яке рухається відносно системи зі швидкістю v
3. Проміжки часу зростають, час уповільнюється	$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ де}$ τ_0 — інтервал часу, який вимірюється годинником, що знаходиться всередині системи та не рухається відносно неї, τ — інтервал часу між подіями, виміряний рухомих годинником
4. Релятивістський закон додавання швидкостей (швидкості спрямовані уздовж однієї прямої в одному напрямку)	$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}, \text{ де}$ v_1 — швидкість тіла в рухомій системі, v_2 — швидкість рухомої системи відносно нерухомої, v — швидкість тіла в нерухомій системі. Класичний закон додавання швидкостей: $v = v_1 + v_2$

Повна та кінетична енергія рухомого тіла. Енергія спокою.
Основні наслідки СТВ та їх експериментальні підтвердження

Релятивістська динаміка	
Під час руху тіла зі швидкістю, близькою до швидкості світла, його енергія зростає: $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ де}$ m — маса тіла, v — швидкість руху тіла	
Якщо v значно менше c, то $E = mc^2 + \frac{mv^2}{2}.$ Згідно з законами класичної фізики, маса тіла – величина незмінна. ІІ закон Ньютона в імпульсній формі має вигляд: $\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t, \text{ де } \Delta \vec{p} = m \Delta \vec{v}$	Якщо v близька до c, то виконується основний закон динаміки для релятивістських швидкостей: $\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$ $\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$
$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	Залежність між масою тіла та його енергією, яка за допомогою теорії відносності визначена А. Ейнштейном
$E_0 = m_0 c^2$	Енергія спокою. Будь-яке тіло має енергію спокою завдяки факту свого існування
$\Delta E = \Delta mc^2$	Під час зміни потенціальної або внутрішньої енергії тіла змінюється його маса
$E = E_0 + E_k$ $mc^2 = m_0 c^2 + E_k$	Енергія тіла складається з енергії спокою та кінетичної енергії тіла

3.1 Основи МКТ. Ідеальний газ. Газові закони. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини. Броунівський рух. Дифузія

- Основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини та її дослідні обґрунтування



Дифузія й броунівський рух — споріднені явища. Взаємопроникнення дотичних речовин одна в одну й безладний рух найдрібніших частинок, зв'язаних у рідині або газі, відбуваються внаслідок хаотичного теплового руху молекул.

Перекоонатися в існуванні молекул і оцінити їх розмір можна досить просто.

Дослід: крапелька олії на поверхні води (відео, ЦОР) Помістимо маленьку крапельку олії на поверхню води. Масляна пляма буде розтікатися по поверхні води, але площа масляної плівки не може перевищувати певного значення.

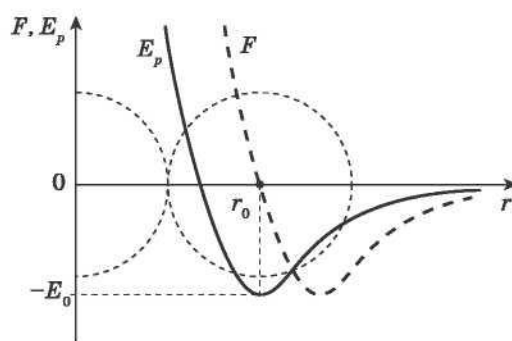
Приблизну оцінку розмірів молекул можна отримати з дослідів, проведених німецьким фізиком В. Рентгеном і англійським фізиком Д. Релея. Якщо крапнути на поверхню води крапельку олії, то крапля розпливеться, утворюючи тонку плівку товщиною всього лише в одну молекулу. Товщину цього шару неважко визначити й тим самим оцінити розміри молекули олії. Об'єм V ($0,001 \text{ см}^3$) шару олії дорівнює добутку площі його поверхні S (6000 см^2) на товщину шару d , тобто $V = Sd$. Отже, розмір молекули олії дорівнює:

$$d = \frac{0,001 \text{ см}^3}{6000 \text{ см}^2} \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ см}.$$

На даний момент існує ряд методів, що дозволяють визначити розміри молекул і атомів. Наприклад, лінійні розміри молекул кисню складають $3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, води — приблизно $2,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$. Таким чином, характерною довжиною в світі молекул є розмір 10^{-10} м . Корисно не тільки запам'ятати цей параметр (10^{-10} м),

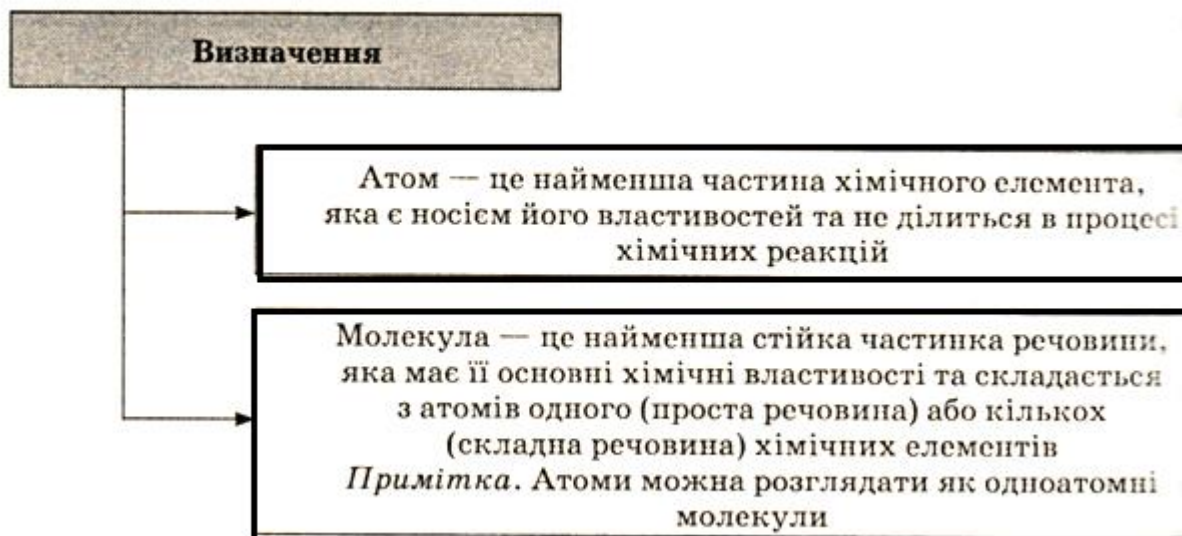
а й образно уявити його собі. Це допоможе нам увійти в світ молекул. Легко перевірити: якщо молекулу води збільшити до розмірів яблука, то саме яблуко стане розміром з земну кулю.

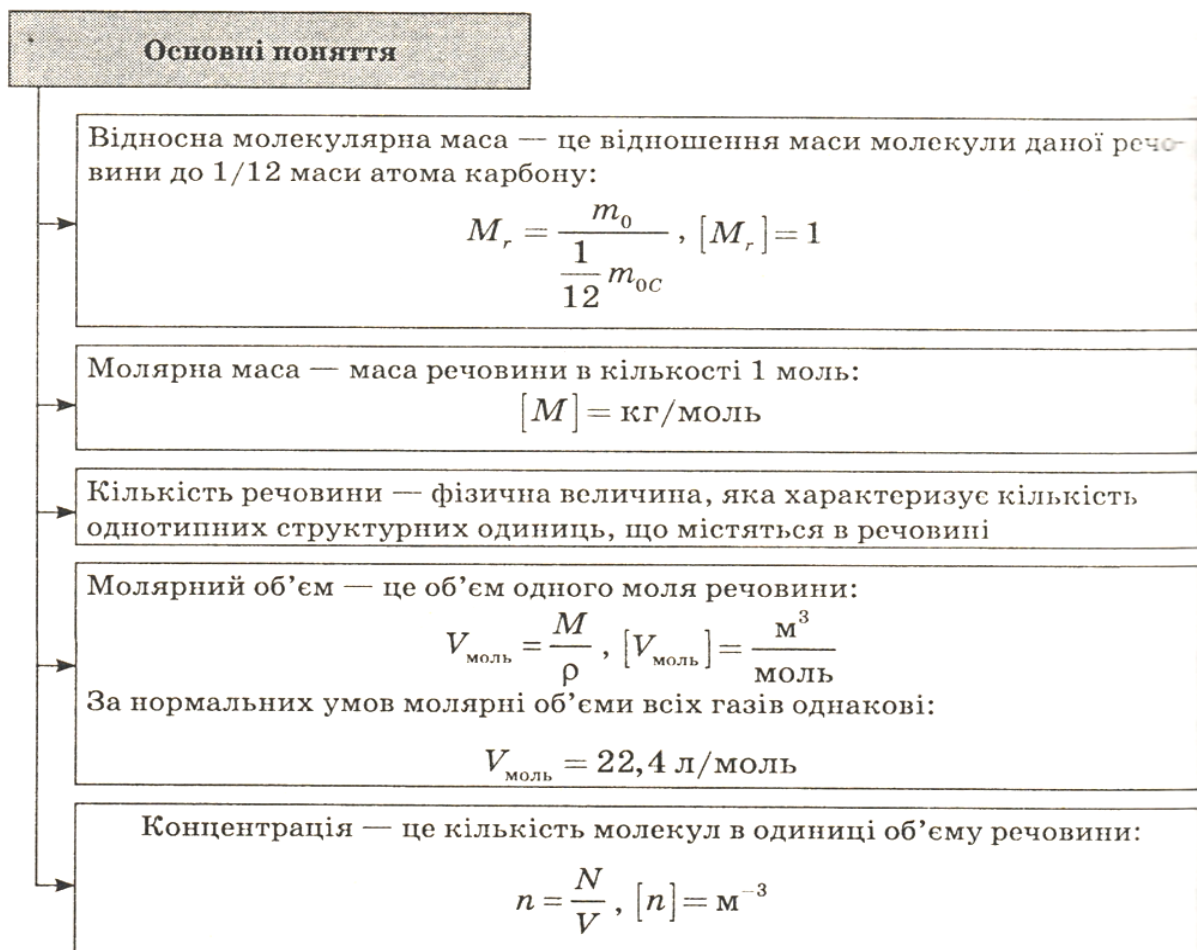
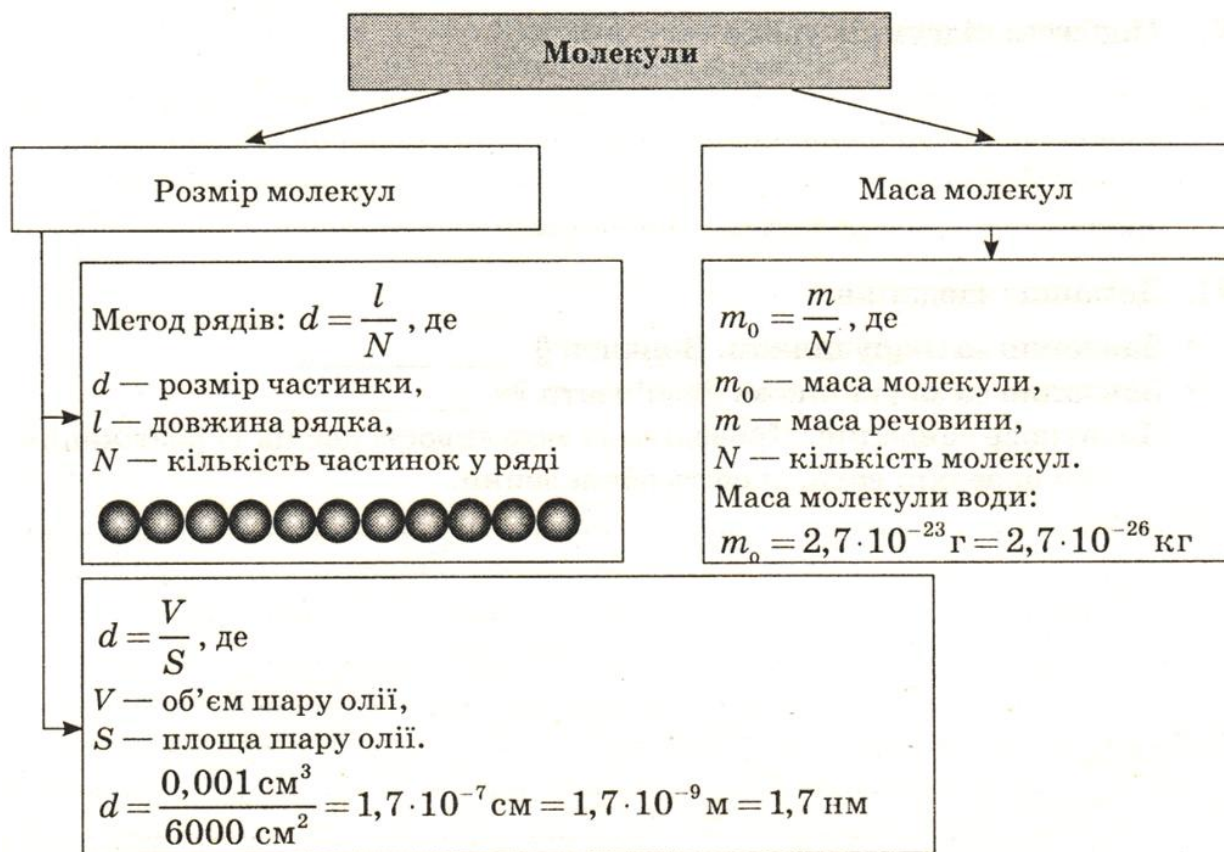
Багато дослідів свідчать про наявність сил міжмолекулярної взаємодії. Сили, що діють між двома молекулами, залежать від відстані між ними. Молекули є складними просторовими структурами, що містять як позитивні, так і негативні заряди. Якщо відстань між молекулами досить велика, то переважають сили міжмолекулярного притягнення. На малих відстанях переважають сили відштовхування. Залежності результуючої сили F і потенційної енергії взаємодії між молекулами від відстані між їх центрами якісно зображені на рисунку.



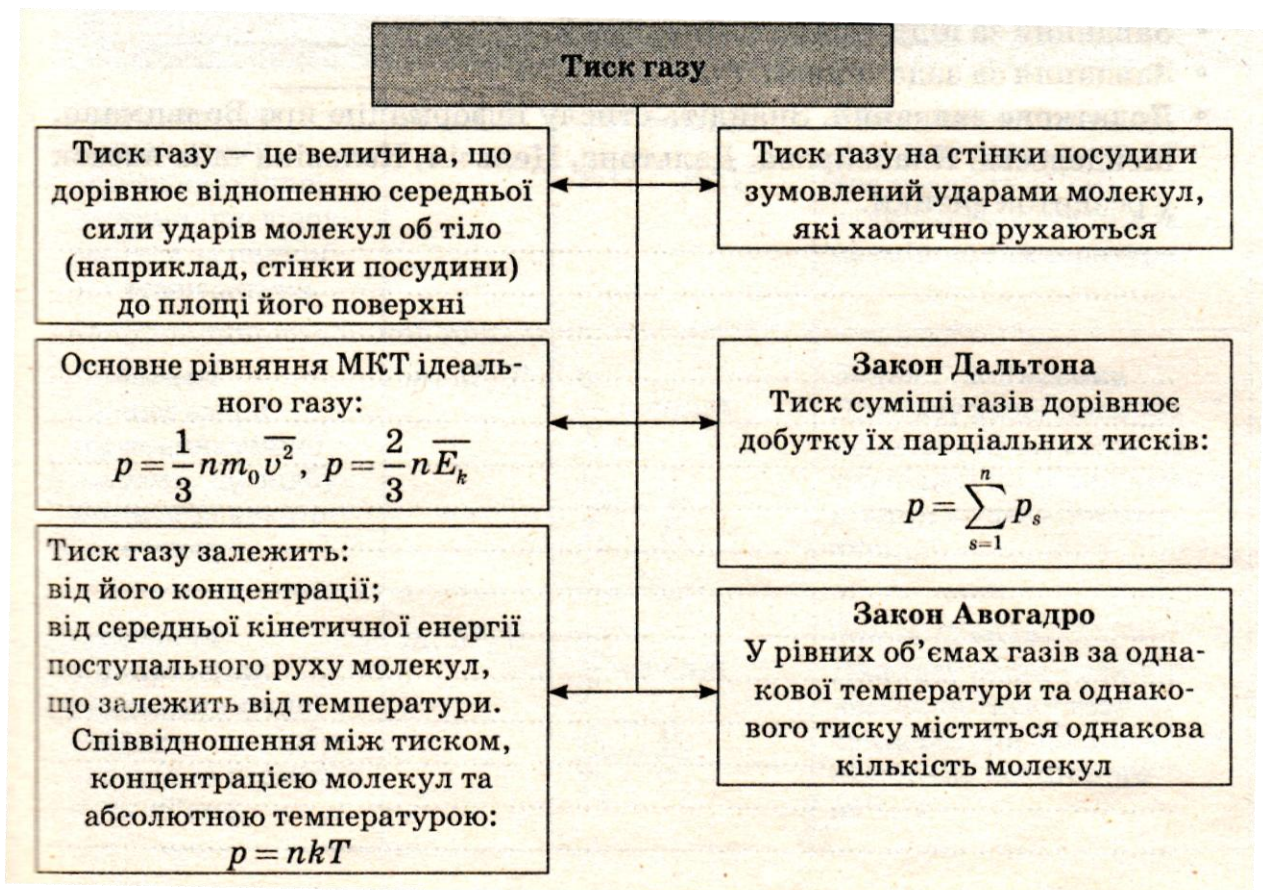
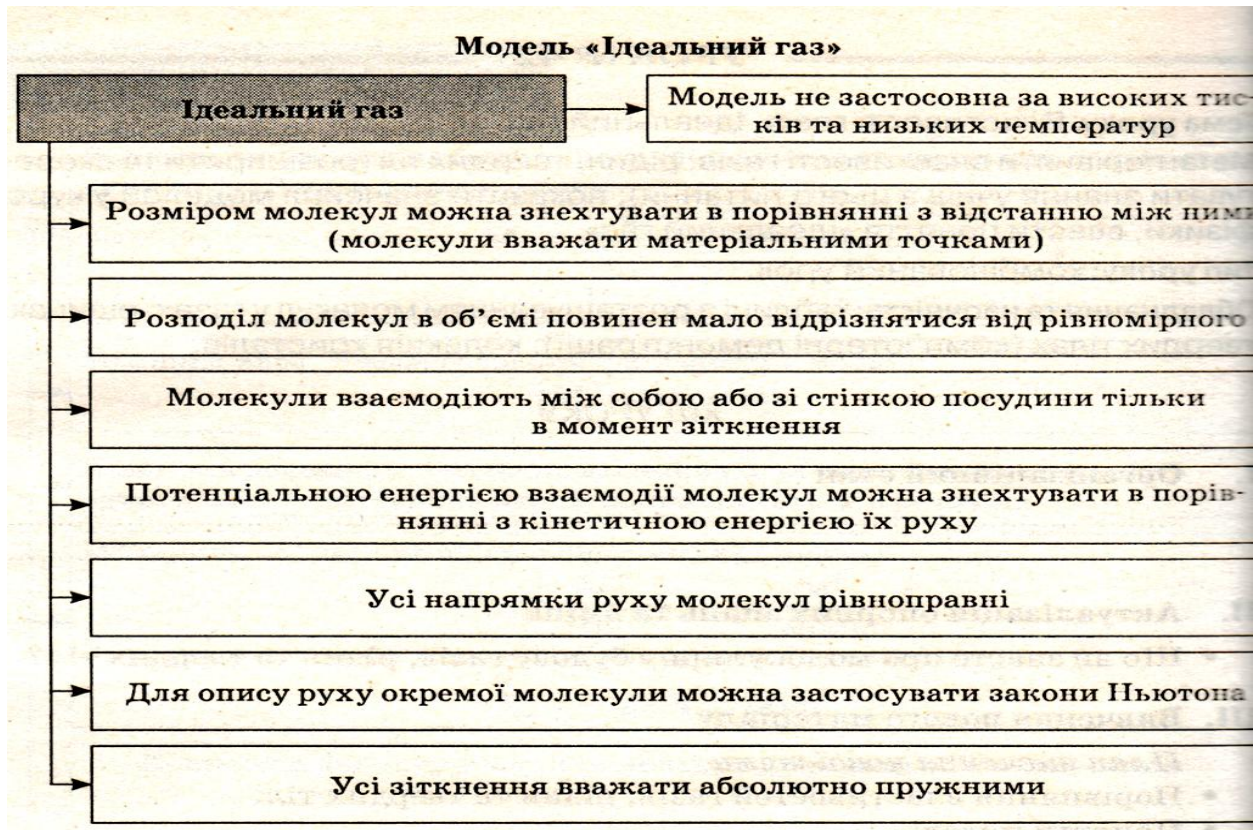
На певній відстані $r = r_0$ сила взаємодії зводиться до нуля. Цю відстань умовно можна прийняти за діаметр молекули.

Маса та розміри молекул, стала Авагадро

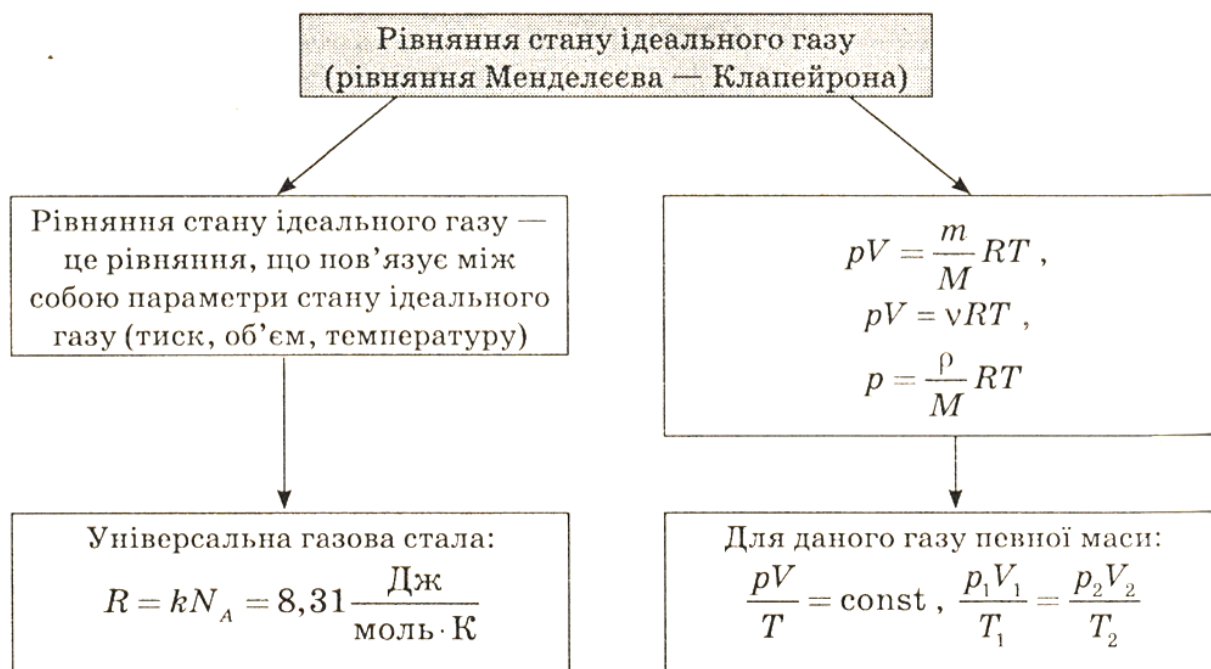




Ідеальний газ як фізична модель. Тиск газів. Основне рівняння МКТ. Температура.



Рівняння стану ідеального газу. Ізопроцеси.



Ізопроцеси — це процеси зміни термодинамічної системи, що відбуваються за незмінного одного з параметрів стану газів (m , M , T)

Процес	const	Закон	
<i>Ізотермічний</i> Процес зміни термодинамічної системи, що відбувається за незмінної температури	m, M, T	$pV = \text{const}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$	<i>Закон Бойля — Маріотта</i> Для газу даної маси добуток тиску та об'єму газу залишається сталим за незмінної температури
<i>Ізобарний</i> Процес зміни термодинамічної системи, що відбувається за незмінного тиску	m, M, T	$\frac{V}{T} = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	<i>Закон Гей-Люссака</i> Для газу даної маси відношення об'єму газу до температури залишається сталим за незмінного тиску
<i>Ізохорний</i> Процес зміни термодинамічної системи, що відбувається за незмінного об'єму	m, M, V	$\frac{p}{T} = \text{const}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	<i>Закон Шарля</i> Для газу даної маси відношення тиску газу до температури залишається сталим за незмінного об'єму

· Процес	p, V	p, T	V, T
Ізотермічний $T = \text{const}$			
Ізобарний $p = \text{const}$			
Ізохорний $V = \text{const}$			

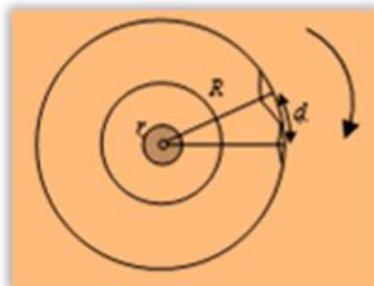
Вимірювання швидкості руху молекул газу. Дослід Штерна.

Два жорстко з'єднаних циліндра обертаються з кутовою швидкістю ω . Радіус великого циліндра R . Вдovж спільної осі яких натягнута платинова дротина, радіусом r покрита тонким шаром срібла.

При проходженні електричного струму через дріт, молекули срібла випаровуються і через отвір долітають до поверхні великого циліндра.

При обертанні циліндрів, шар срібла виявляється розмитим.

$$\bar{v} = \frac{2\pi n(R_B - R_A)R_B}{S},$$



де n — частота обертання циліндрів;

R_B — радіус більшого циліндра;

R_A — радіус меншого циліндра;

S — ширина розмитості смуги срібла.
Середня квадратична швидкість молекули газу визначається виразом:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

де R - універсальна газова постійна; T - абсолютна температура; μ - молярна маса газу.

Покажемо, що середню квадратичну швидкість молекул газу можна визначити, не знаючи його молярної маси і не вимірюючи температури T . Для цього, використовуючи рівняння Менделєєва - Клапейрона, знайдемо вираз універсальної газової постійної через параметри газу:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow R = \frac{pV\mu}{mT}$$

Підставимо отриманий вираз в формулу середньої квадратичної швидкості отримаємо:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3pV\mu T}{m\mu T}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$$

де m - маса газу, p та V - його об'єм і тиск.

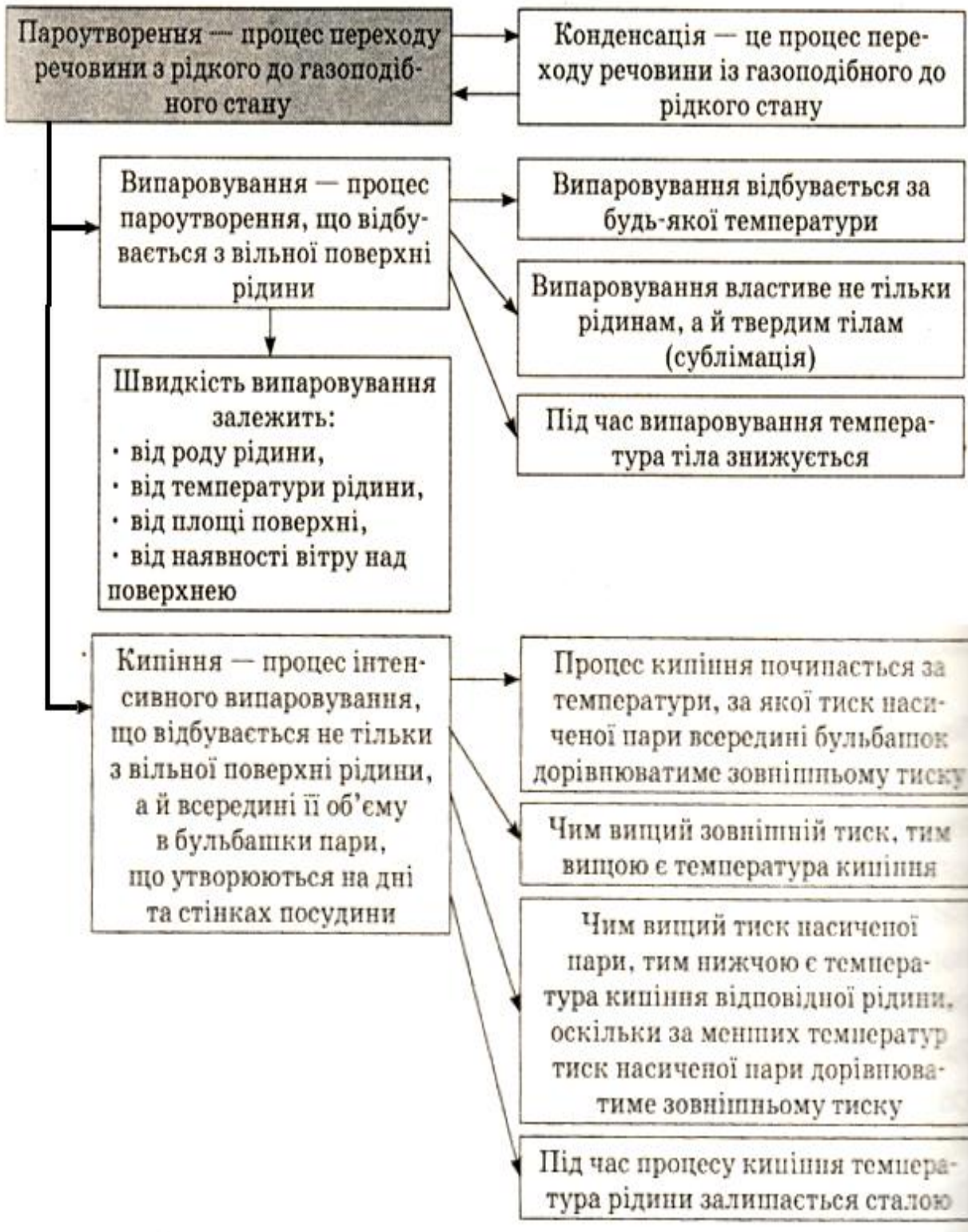
Порівняння властивостей газів, рідин та твердих тіл

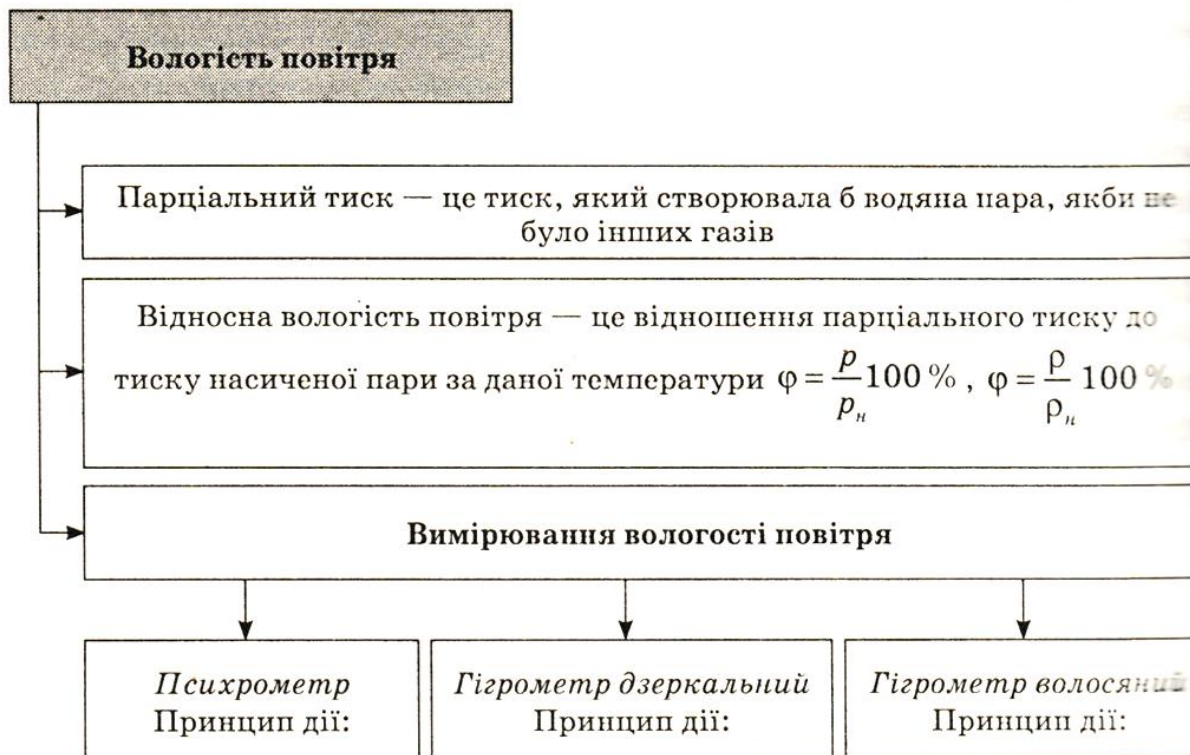
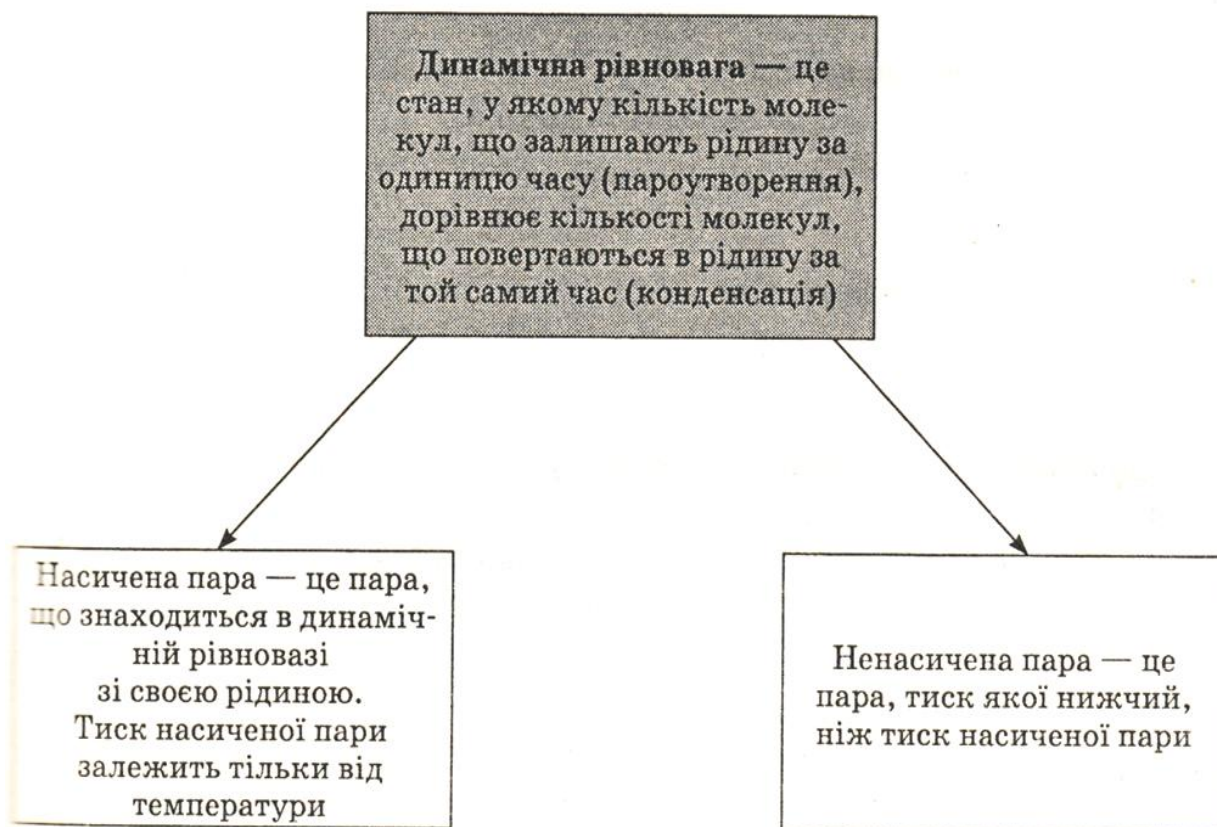
№	Газ	Рідина	Тверде тіло
1	Складається з хаотично розташованих частинок	Має ближній порядок у розташуванні частинок	Має дальній порядок у розташуванні частинок (кристалічні ґратки)
2	Частинкам властивий хаотичний рух	Частинкам властивий коливальний рух та хаотичний (прямолінійний) рух	Іонам кристалічних ґраток властивий коливальний рух
3	Властива значна текучість		Властива мала текучість
4	Не зберігає об'єм, легко стискається	Зберігає власний об'єм, погано стискається	Зберігає власний об'єм
5	Не зберігає власну форму	Не зберігає власну форму, приймає форму посудини	Зберігає форму
6	Швидкість дифузії $v_g > v_p > v_t$		
7	Сили взаємодії молекул $F_g < F_p < F_t$		
8	Виконуються закони Паскаля та Архімеда		Виконується закон Гука
9	Для даної маси за однакової температури внутрішня енергія $U_g > U_p > U_t$		

3.2 Властивості пари, рідин та твердих тіл.

Властивості насиченої та ненасиченої пари

Пароутворення й конденсація.

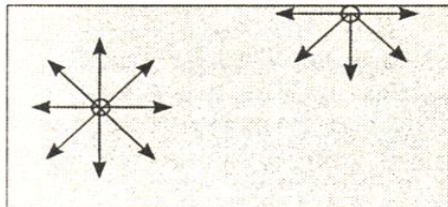




Будова рідин. Поверхневий натяг рідини. Змочування. Капілярні явища

Властивості поверхневого шару рідини

Молекули поверхневого шару рідини діють на молекули з глибини рідини з певною силою



$$F_R = 0$$

$$F_R \neq 0$$

Молекули поверхневого шару мають надлишок потенціальної енергії в порівнянні з молекулами всередині рідини. Для того щоб вивести молекулу на поверхню, потрібно здійснити роботу проти сил міжмолекулярної взаємодії.

Поверхневий натяг

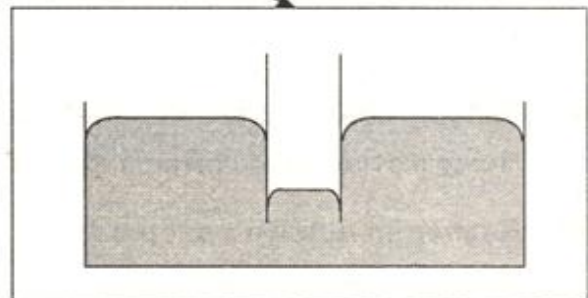
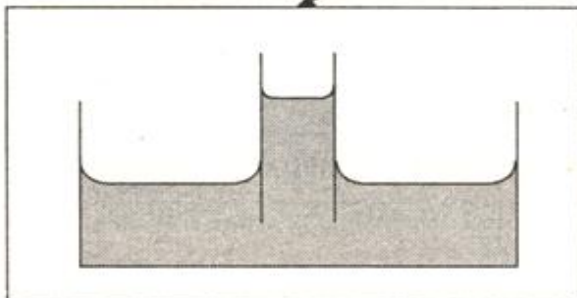
Сила поверхневого натягу — це сила, що діє вздовж поверхні рідини перпендикулярно до лінії, яка обмежує поверхню, та намагається скоротити площу поверхні до мінімуму.

Змочування

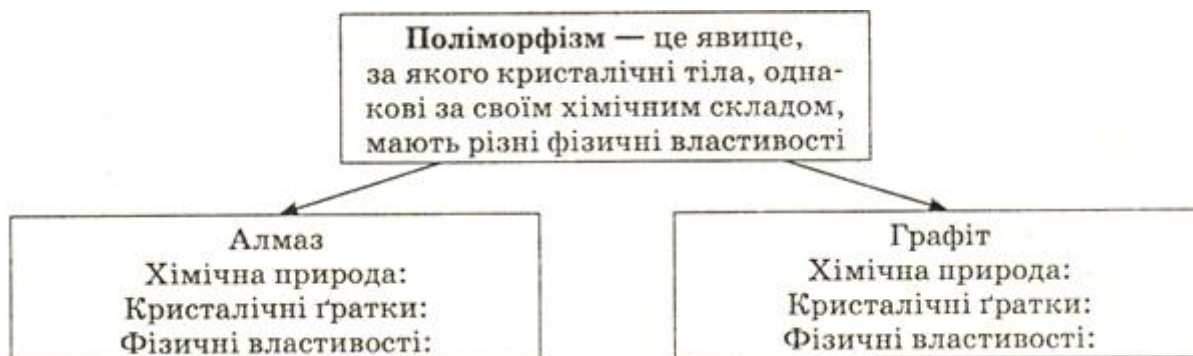
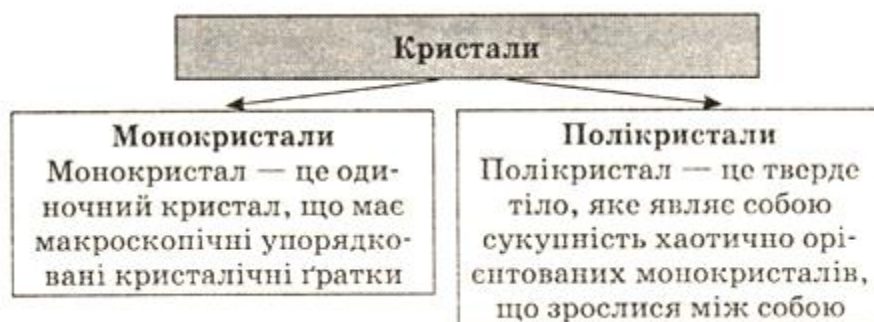
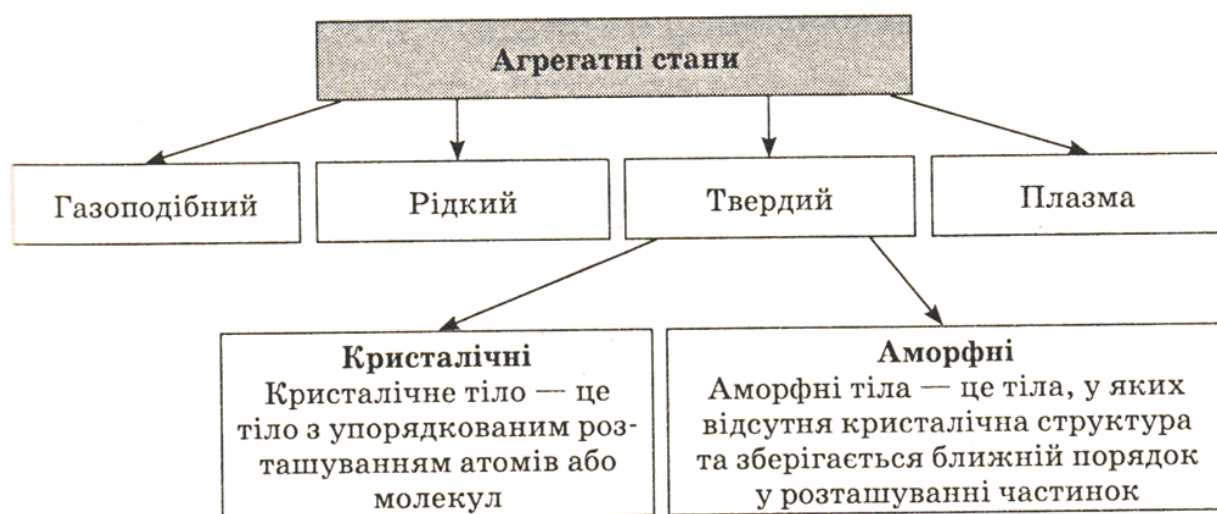
Змочування — це прояв міжмолекулярної взаємодії на границі дотику твердого тіла, рідини та газу, що приводить до розтікання рідини по поверхні твердого тіла.

Капілярність — це явище, зумовлене силами поверхневого натягу викривленої поверхні рідини. Капілярність полягає в підвищенні або зниженні рівня рідини у вузькому капілярі:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$$



Кристалічні та аморфні тіла. Рідкі кристали.



Рідкі кристали — це речовини, які мають одночасно властивості як рідин (текучість), так і кристалів (анізотропія)

Відкриті в 1888 році австрійським ботаніком Ф. Рейнітцером, який першим звернув увагу на те, що в кристалів холестерилбензоату та холестерилацетату дві температури плавлення та відповідно два різних рідких стани — мутний та прозорий.

Складаються з молекул витягнутої форми, певним чином упорядкованих в об'ємі рідини

Найбільш характерна властивість — анізотропія електропровідності, яка пов'язана з анізотропією поляризації

Деякі застосування рідких кристалів

Термографія

З рідких кристалів створюють індикатори для різних діапазонів температур. Наприклад:

рідкі кристали у вигляді плівки наносять на транзистори, інтегральні схеми, печатні плати. Несправні елементи (дуже нагріті або холодні) мають інший колір.

На тілі хворої людини за допомогою зміни забарвлення індикатора можна діагностувати приховане запалення або пухлину.

Можна виявити пари шкідливих хімічних сполук та гамма- й ультрафіолетове випромінювання

Використовуються для вимірювання тиску, у детекторах ультразвуку

Телевізори, годинники та монітори можуть мати РК екран

Полімери — це органічні сполуки, молекули яких побудовано з багаторазово повторених ланцюгів — мономерів

Поліетилен

Будова:
Застосування:

Поліпропілен

Будова:
Застосування:

Види деформацій твердих тіл. Механічні властивості твердих тіл. Закон Гука. Модуль Юнга.

Деформація твердого тіла є результатом зміни під дією зовнішніх сил взаємного розташування частинок, з яких складається тіло, і відстаней між ними.

Деформація – зміна форми і розміру твердого тіла під дією зовнішніх сил.

Деформації, які повністю зникають після припинення дії зовнішніх сил, називаються пружними.

Пластична деформація – деформація, що зберігається після припинення дії зовнішньої сили.

За зміною форми тіла деформації поділяють на п'ять видів, які зводяться до перших трьох:

1. **Розтяг** (канати, троси, ланцюги, сухожилля).

2. **Стиск** (колони, стовпи, стіни, хребти).

3. **Зсув** (заклепки, шпонки, болти, м'язи).

4. **Кручення** = розтяг + зсув (свердла, шурупи, вали, шкіра).

5. **Згин** = розтяг + стиск (мости, панелі, балки, осі, кістки). У середині зігнутого тіла є шар, який майже не зазнає зміни розмірів,— нейтральний шар. У разі його видалення:

Вид деформації	Ознаки
Розтягування	збільшується відстань між молекулярними шарами.
Стиснення	зменшується відстань між молекулярними шарами.
Кручення	поворот одних молекулярних шарів щодо інших.
Вигин	одні молекулярні шари розтягуються, а інші стискаються або розтягуються, але менше перших.
Зрушення	одні шари молекул зрушуються щодо інших.

Лінійна деформація (деформація розтягування) – деформація, при якій відбувається зміна тільки одного лінійного розміру тіла.

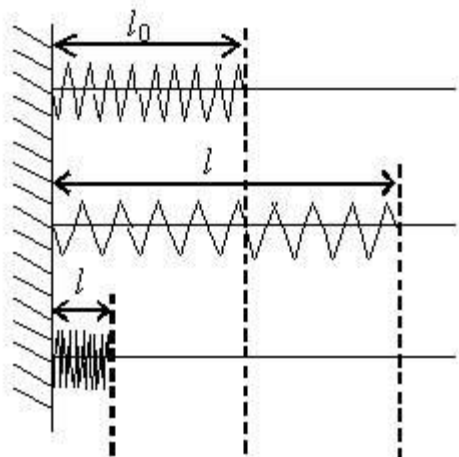
Кількісно вона характеризується *абсолютним* $\Delta \ell$ і *відносним* подовженням.

$$\Delta \ell = |\ell - \ell_0|$$

де $\Delta \ell$ – абсолютне подовження (м); ℓ і ℓ_0 – кінцева і початкова довжина тіла (м).

- Якщо тіло *розтягують*, то $\ell > \ell_0$ і $\Delta \ell = \ell - \ell_0$;

- якщо тіло *стискають*, то $\ell < \ell_0$ і $\Delta \ell = -(\ell - \ell_0) = \ell_0 - \ell$



$$\varepsilon = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}$$

де ε – відносне подовження тіла (%);
 Δl – абсолютне подовження тіла (м);
 l_0 – початкова довжина тіла (м).

Механічні властивості матеріалів – це здатність матеріалів протистояти деформуванню і руйнуванню, пружно і пластично деформуватися під дією зовнішніх механічних сил.

Стан пружно деформованого тіла характеризують величиною σ , яка називається *механічною напругою*.

Механічна напруга σ дорівнює відношенню модуля сили пружності F_{np} до площі поперечного перетину тіла S :

$$\sigma = \frac{F_{np}}{S}, [\sigma] = \frac{F_{np}}{S} = \frac{H}{m^2} = Pa$$

Вимірюється механічна напруга в Па.

Спостереження показують, що **при невеликих деформаціях механічна напруга пропорційна відносному подовженню** дорівнює:

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon|$$

Зв'язок між силою пружності і пружною деформацією тіла (при малих деформаціях) був експериментально встановлений сучасником Ньютона англійським фізиком Гуком.

Ця формула є одним з видів запису закону Гука для одностороннього розтягування (стиснення). У цій формулі відносне подовження узяті по модулю, оскільки воно може бути і позитивним, і негативним.

Коефіцієнт пропорційності E в законі Гука називається **модулем пружності (модулем Юнга)**.

$$[E] = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{Pa}{1} = Pa$$

Чим більше модуль пружності E , тим менше деформується стрижень за інших рівних умов (l_0 , S , F). **Модуль Юнга характеризує опірність матеріалу пружної деформації розтягування або стиснення.**

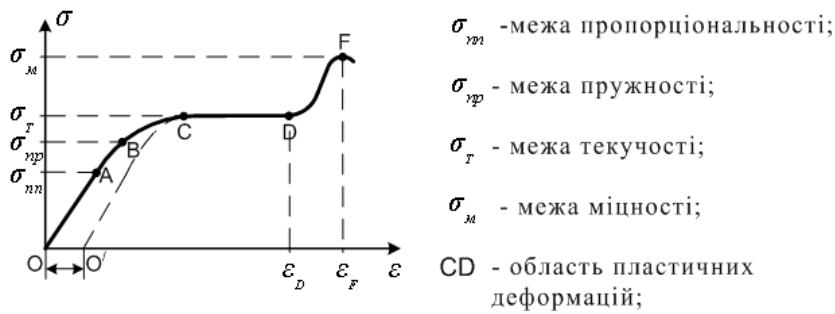
Закон Гука можна записати формулою:

$$\frac{F_{np}}{S} = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\text{або } F_{np} = \frac{ES}{l_0} |\Delta l|.$$

$$\text{Враховуючи, що } |x| = |\Delta l|, k = \frac{ES}{l_0}.$$

Розглянемо діаграму розтягу твердих тіл.



Число, що показує, у скільки разів межа міцності більше допустимої напруги, називають коефіцієнтом запасу міцності:

$$n = \frac{\sigma_{np}}{\sigma}$$

Максимальна напруга, за якої ще виконується закон Гука, називається **межею пропорційності σ_{np}** .

Максимальна напруга, за якої ще не виникла помітна залишкова деформація, називається **межею пружності $\sigma_{пруж}$** .

Максимальна напруга, яку може витримати тіло, не руйнуючись, називається **межею міцності $\sigma_{м.м}$** . $\sigma_m = \frac{F_m}{S}$

3.3 Основи термодинаміки.

Основні поняття термодинаміки. Статистичний і термодинамічний підходи до пояснення теплових явищ. Термодинамічна рівновага. Температура

Термодинаміка як самостійна наука про теплові явища і перетворення теплової енергії у механічну склалась у другій половині XIX ст. внаслідок низки технічних та наукових відкриттів і бурхливого розвитку теплових двигунів.

Термодинамічною системою називають сукупність матеріальних тіл, що знаходяться у тепловій і механічній взаємодії. У термодинамічну систему включають джерела теплоти, робочі тіла і оточуюче їх середовище. У поодинокому випадку окремо взяте тіло, що складається із молекул і атомів, так само можна розглядати як термодинамічну систему.

Гарячим джерелом (тепловіддавачем) називають тіло, що має, як правило, найбільш високу температуру і віддає свою енергію робочим тілам системи у вигляді теплоти.

Холодним джерелом (телоприймачем) називають тіло, до якого підводиться теплота від робочих тіл системи. У технічних системах холодним джерелом, як правило, служить оточуюче середовище, що складається із оточуючого нас атмосферного повітря і води у відкритих водоймах.

Робочим тілом є, як правило, газоподібна речовина, яка, змінюючи свій стан під впливом нагрівання чи охолодження, а так само здійснюючи процеси розширення чи стиснення, перетворює теплову енергію у механічну чи електричну (або навпаки).

Станом системи називають певне поєднання властивостей цієї системи, якими є будь-які спостережувані показники системи.

Параметром стану системи називають такий її показник, зміна якого обов'язково пов'язана зі зміною стану системи. Параметри стану системи дозволяють дати його кількісну оцінку. Два стани системи будуть тотожні, якщо в обох випадках всі її параметри є однаковими. Відповідні показники, що відносяться до якого-небудь тіла, називають *параметрами стану цього тіла*.

Будь-яку зміну стану тіла чи системи, пов'язану з тепловими явищами, називають *термо динамічним процесом*.

Оборотним процесом називається такий термодинамічний процес, який протікає через одні й ті ж рівноважні стани у прямому і зворотному напрямках так, що у робочому тілі та в оточуючому його середовищі (системі) не відбувається ніяких залишкових змін.

Процеси, що не задовольняють цієї умови, називаються *необоротними*. Оборотної процеси у чистому вигляді у природі та техніці не зустрічаються, оскільки реальні процеси завжди протікають з кінцевими швидкостями і з кінцевими різницями температур і у робочому тілі не встигають установлюватися рівноважні стани.

У термодинамічному процесі обов'язково змінюється хоча б один параметр стану, а також, як правило, відбувається теплообмін і здійснюється робота.

Неперервну послідовність станів, через які проходить система у процесі, що розглядається, називають *шляхом процесу*.

Сукупність послідовних термодинамічних процесів, при яких кінцевий і початковий стани робочого тіла співпадають, називають *термодинамічним циклом*, чи просто *циклом*.

У кожному циклі є процеси підводу теплоти від одного джерела і віддачі теплоти іншому джерелу, а також процеси здійснення роботи розширення і стиснення. Отже, у будь-якому термодинамічному циклі обов'язково бере участь система тіл, що складається хоча б з одного джерела теплоти, робочого тіла і оточуючого середовища.

Всі параметри стану будь-якої термодинамічної системи поділяються на інтенсивні та екстенсивні. *Інтенсивними* називають параметри, що не залежать від кількості речовини (наприклад тиск, температура), а *екстенсивними* – ті, що залежать від кількості речовини (наприклад об'єм). Всі екстенсивні параметри мають властивості *адитивності*. Адитивність (від лат. *additivus* – придатковий) – властивість величин, яка полягає у тому, що значення величини, відповідне цілому об'єкту, дорівнює сумі величин, відповідних його частинам за будь-якого розбиття об'єкту на частини. Наприклад, адитивність об'єму означає, що об'єм цілого тіла дорівнює сумі об'ємів складаючих його

частин. Параметри, що відображають внутрішню теплову енергію, називають *калоричними*.

Температура, тиск і питомий об'єм є основними параметрами стану.

Термодинаміка розглядає температуру як середньостатистичну величину, яка може характеризувати систему, що складається з величезної кількості молекул, котрі знаходяться в хаотичному (тепловому) русі. Тому до одиничних атомів і молекул поняття температури застосовувати не можна. Термодинамічним параметром стану тіл чи системи є *абсолютна температура*, відлік якої розпочинається від абсолютного нуля температури за шкалою Кельвіна.

Температура, згідно з кінетичною теорією газів, характеризує середню кінетичну енергію поступального руху елементарних частинок речовини (молекул). Між середньою кінетичною енергією молекул газу і температурою є прямий зв'язок, а саме:

$$E_k = mv^2 / 2 = 3/2 kT,$$

де m – маса молекули; v^2 – середня квадратична швидкість поступального руху молекул; k – стала Больцмана; T – абсолютна температура.

Для практичних вимірювань температури користуються міжнародною шкалою Цельсія. Співвідношення між шкалами таке:

$$T = t + 273,15 \text{ K}.$$

Градус абсолютної шкали (K) чисельно дорівнює градусу шкали Цельсія (°C), оскільки

$$\Delta T, \text{ K} = \Delta t, ^\circ \text{C}.$$

Згідно з Міжнародною системою одиниць тиск вимірюють у ньютонів на квадратний метр (H/m^2) і називають *паскалем* (Па). Тиск в $10^6 \text{ H}/\text{m}^2$ називають *мегапаскалем* (МПа), тиск в $10^5 \text{ H}/\text{m}^2$ –

Термодинамічна система — сукупність макроскопічних систем, які можуть обмінюватися енергією між собою та з зовнішніми тілами. Термодинамічну систему, яка не бере участі в теплообміні з навколишніми тілами, називають теплоізованою Температура

У повсякденному житті температура — величина, яка відрізняє «гаряче» від «холодного». І перші уявлення про температуру виникли з відчуттям тепла і холоду. Температура характеризує ступінь нагрітого тіла.

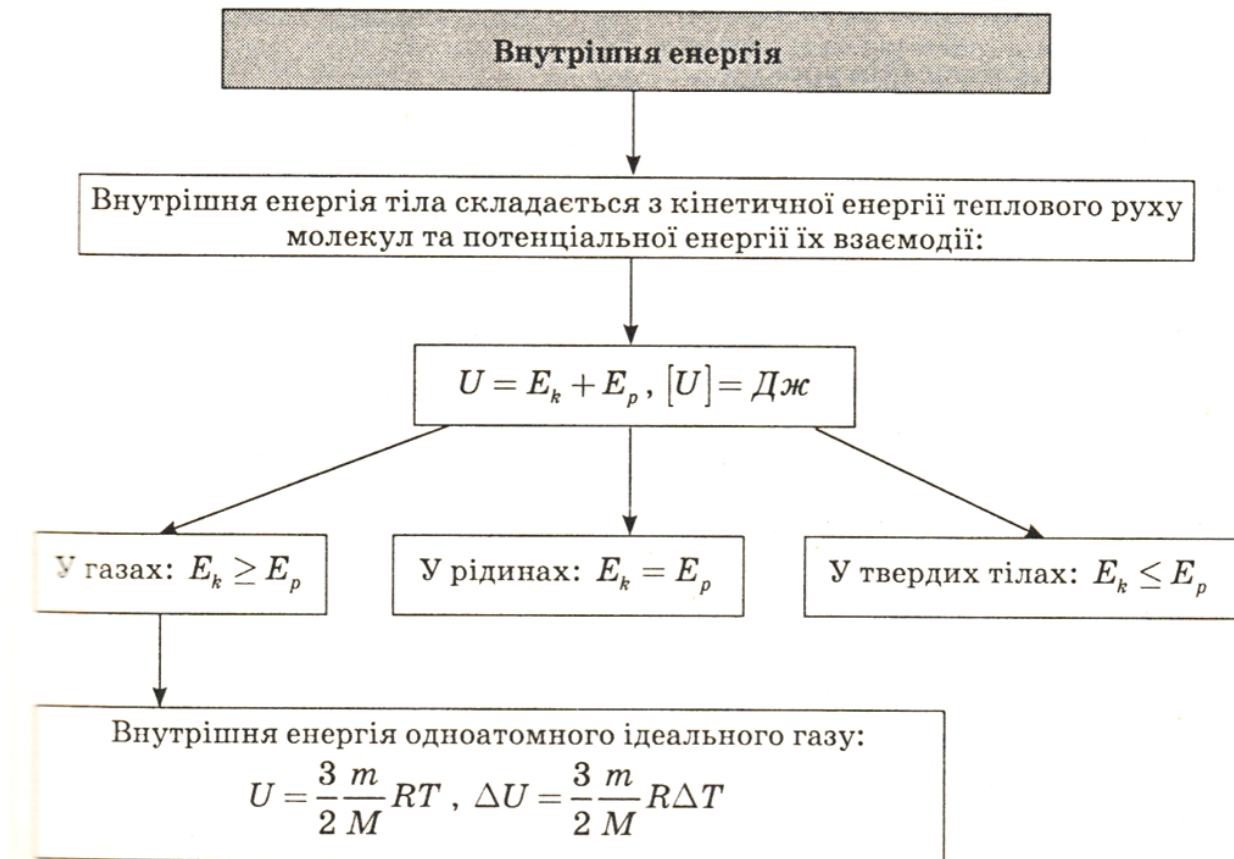
Про відмінність ступенів нагрятості тіл судять з процесу теплопередачі, що виникає під час теплового контакту тіл.

Основна властивість температури полягає в наступному: якщо привести в зіткнення два тіла — холодне і гаряче, то холодне тіло почне нагріватися, а гаряче — охолоджуватись. Температура кожного з тіл буде змінюватися з плином часу доти, поки температури тіл не стануть однаковими. Ми говоримо, що тіла прийдуть в стан теплової рівноваги.

Отже, температура характеризує стан теплової рівноваги: всі тіла, що знаходяться в тепловій рівновазі, мають однакову температуру.

Ця властивість відрізняє температуру від інших параметрів стану, наприклад об'єму або тиску. Їх значення в стані теплової рівноваги з часом також не змінюються, але не є однаковими в усіх частинах системи рівноваги.

Внутрішня енергія. Два способи зміни внутрішньої енергії. Теплоємність. Робота й кількість теплоти. І- закон термодинаміки



Внутрішня енергія ідеального газу

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу має вигляд

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{g}^2 = \frac{2}{3} \frac{n m_0 \bar{g}^2}{2} = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

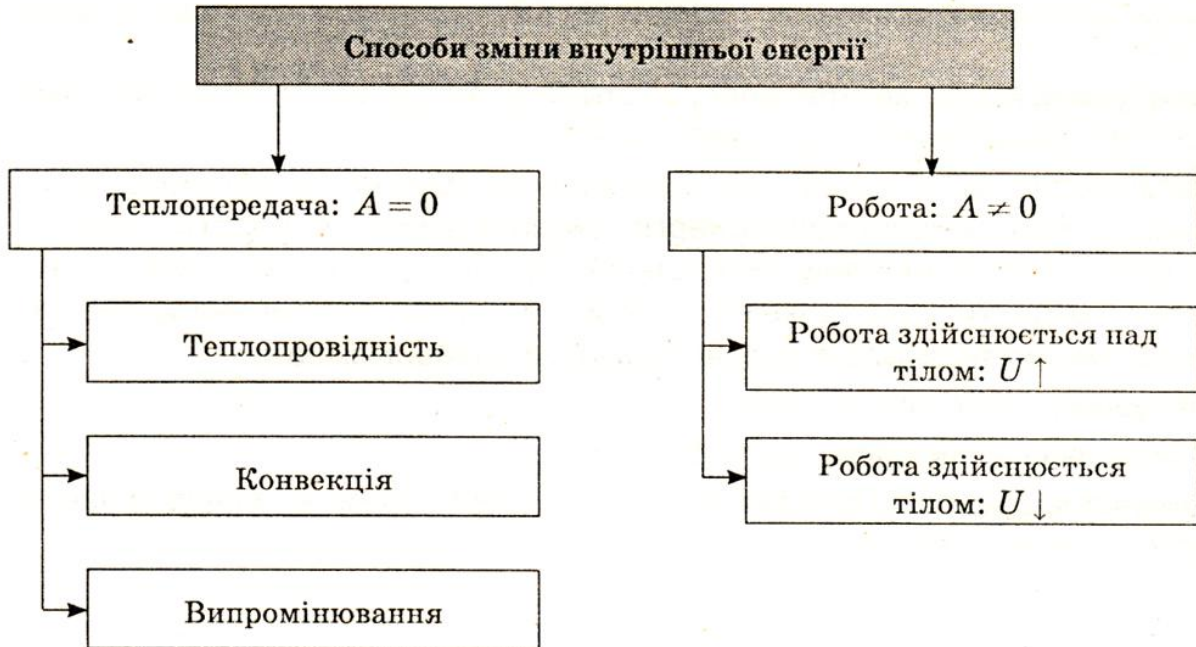
Рівняння стану ідеального газу можна записати у вигляді $p = nkT$. З цих

двох виразів можна отримати $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$. Якщо ідеальний газ складається з N молекул, то їх загальна енергія $U = N\bar{E}$. Підставляючи сюди вираз $N = \nu N_A$ та $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$, отримуємо:

$$U = \nu N_A \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \nu N_A kT = \frac{3}{2} \nu RT$$

$$U = \frac{3}{2}RT$$

Для одного моля цей вираз матиме вигляд: $U = \frac{3}{2}RT$. Якщо ідеальний газ одноатомний – то коефіцієнт для $i=3$, для двохатомного газу – замість 3 використовуємо 5.



Розрахунок кількості теплоти

Процес	Формула	Визначення сталої величини
Нагрів — охолодження	$Q = cm(t_2 - t_1)$	Питома теплоємність речовини — це
Плавлення — кристалізація	$Q = \lambda m$	Питома теплота плавлення — це
Пароутворення — конденсація	$Q = rm$	Питома теплота пароутворення — це
Згоряння	$Q = qm$	Питома теплота згоряння палива — це

Робота в термодинаміці

Обчислення роботи

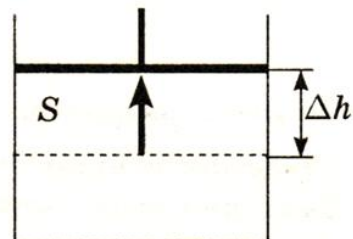
F — сила, з якою газ діє на поршень;
 F' — сила, з якою поршень діє на газ;
 A — робота газу над зовнішніми тілами;
 A' — робота зовнішніх тіл над газом

Газ розширюється

$$A = F\Delta h = p\Delta V$$

$$A > 0$$

$$A' = -A < 0 \quad F$$



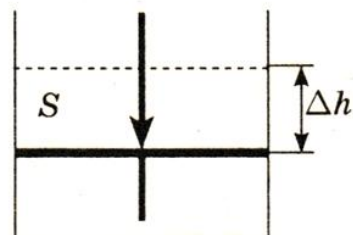
Газ віддає енергію оточуючим тілам та охолоджується

Газ стискається

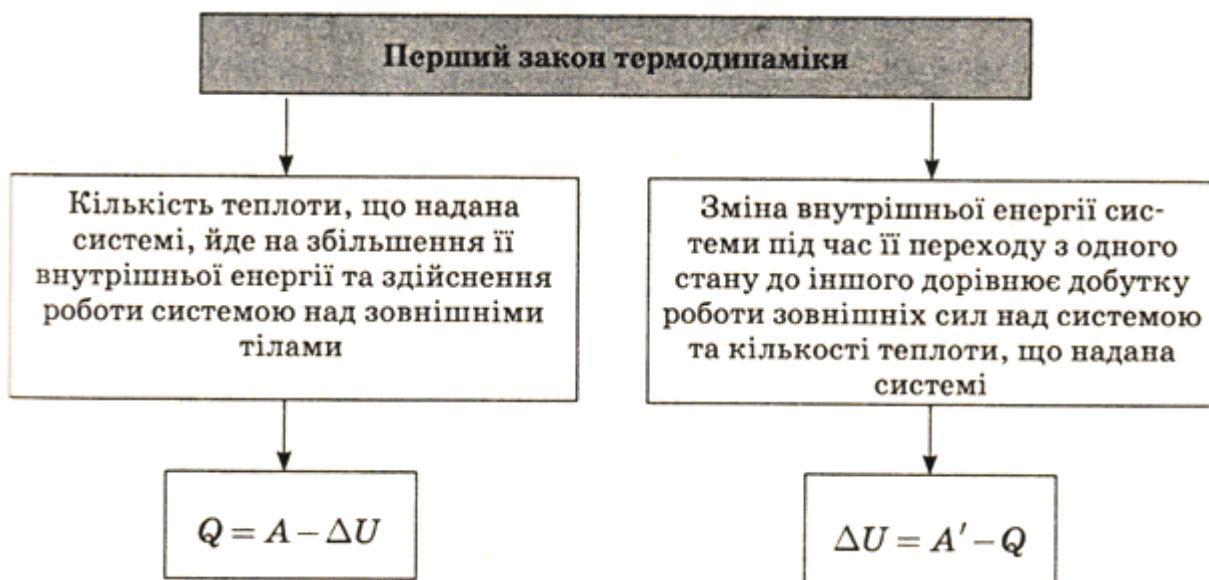
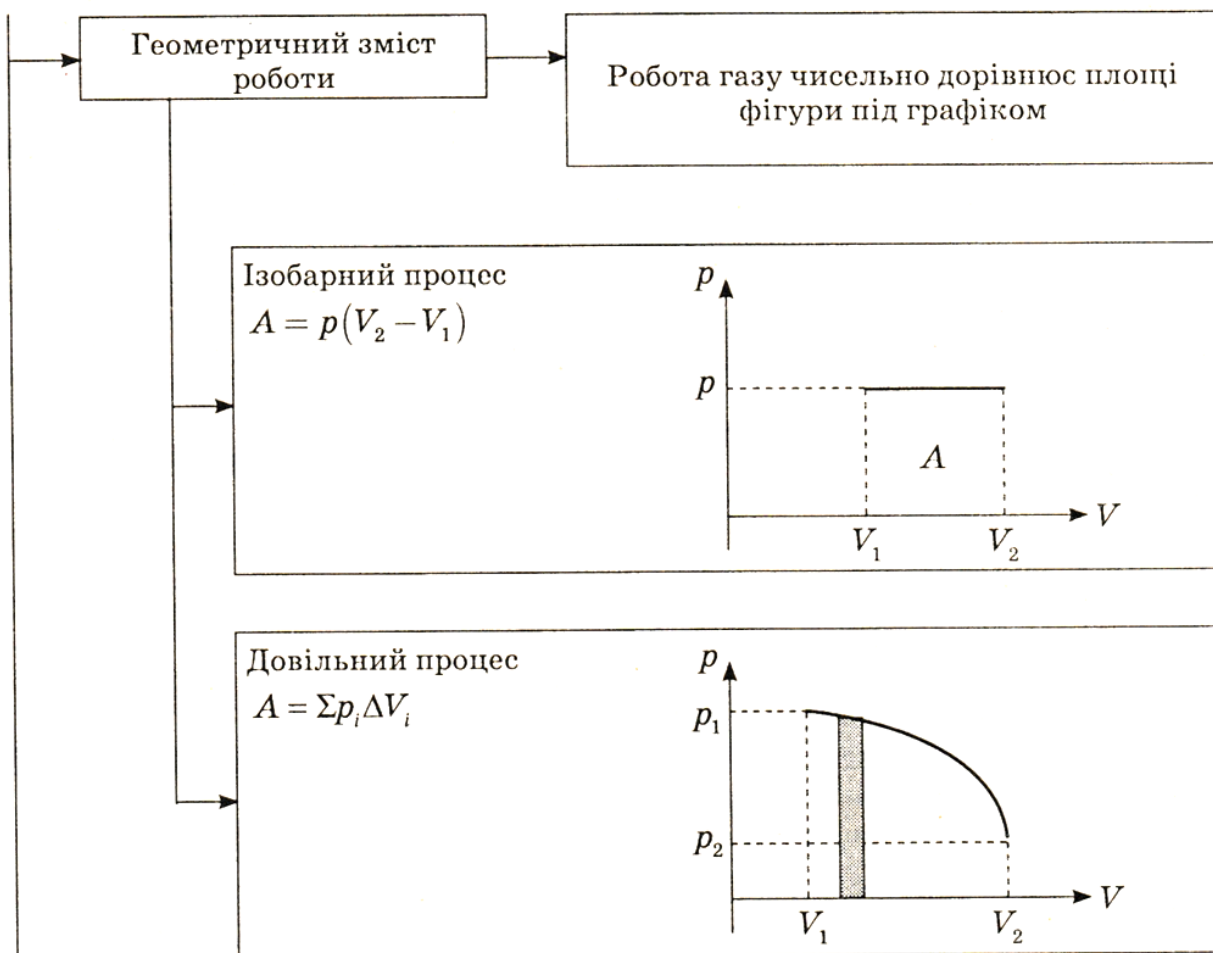
$$A < 0$$

$$A' = -A > 0$$

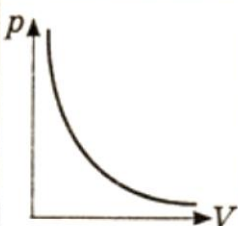
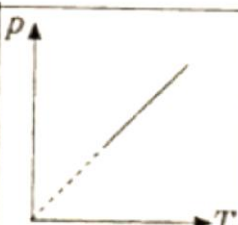
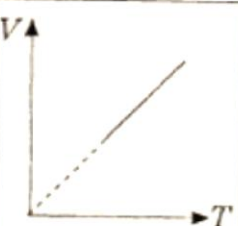
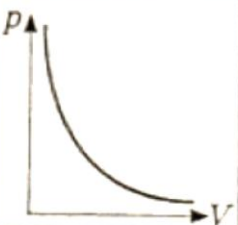
$$A = -p\Delta V$$



Газ отримує енергію від оточуючих тіл та нагрівається



Застосування I- закон термодинаміки до газових процесів. Оборотні та не оборотні процеси. II- закон термодинаміки

Застосування I закону термодинаміки до різних газових процесів						
Назва	Закон	Кількість теплоти	Робота газу	Зміна внутрішньої енергії	I закон термодинаміки	Графік
Ізотермічний	$pV = \text{const}$	>0	>0	0	$Q = A$	
		<0	<0	0		
Ізохорний	$\frac{p}{T} = \text{const}$	>0	0	>0	$Q = \Delta U$	
		<0	0	<0		
Ізобарний	$\frac{V}{T} = \text{const}$	>0	>0	>0	$Q = A + \Delta U$	
		<0	<0	<0		
Адiabатний	$pV^\gamma = \text{const}$	0	>0	<0	$A' = \Delta U$	
		0	<0	>0		

Оборотним процесом називається такий термодинамічний процес, який протікає через одні й ті ж рівноважні стани у прямому і зворотному напрямках так, що у робочому тілі та в оточуючому його середовищі (системі) не відбувається ніяких залишкових змін.

Процеси, що не задовольняють цієї умови, називаються *необоротними*. Оборотні процеси у чистому вигляді у природі та техніці не зустрічаються, оскільки реальні процеси завжди протікають з кінцевими швидкостями і з кінцевими різницями температур і у робочому тілі не встигають установлюватися рівноважні стани.

Другий закон термодинаміки

Закон, який визначає напрям процесів у часі, називається другим законом термодинаміки. Його вперше сформулював Карно. Ми наведемо формулювання цього закону, яке дав німецький фізик Клаузіус в середині 19-го століття.

У цьому формулюванні **другий закон термодинаміки** говорить, що **неможливий процес, єдиним результатом якого була б передача теплоти від холодного тіла до гарячого**.

Теплові двигуни. Цикл теплових машин. ККД теплових двигунів. Цикл Карно. Принцип дії холодильної машини.

Теплові двигуни та охорона довкілля.

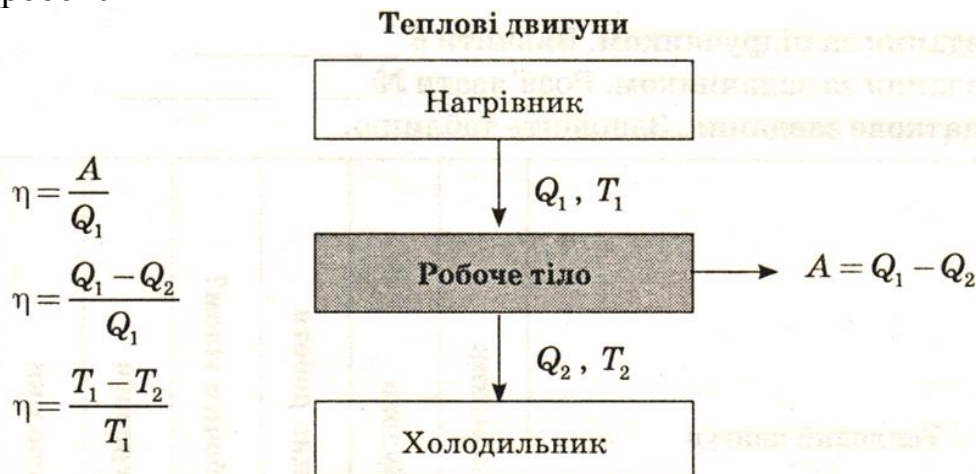
Усі теплові машини, незалежно від їхньої будови й призначення, поділяють на два види; теплові двигуни та холодильні установки.

Двигуни внутрішнього згоряння, парові двигуни та турбінні розрізняються конструктивними особливостями

У тепловому двигуні відбувається перетворення внутрішньої енергії в механічну енергію, точніше - хімічна енергія палива перетворюється на механічну енергію. Це здійснюється у два етапи:

унаслідок згоряння палива хімічна енергія (потенціальна енергія взаємодії атомів) перетворюється в кінетичну енергію хаотичного руху молекул. При цьому нагрівається певна маса газу, яку називають робочим тілом;

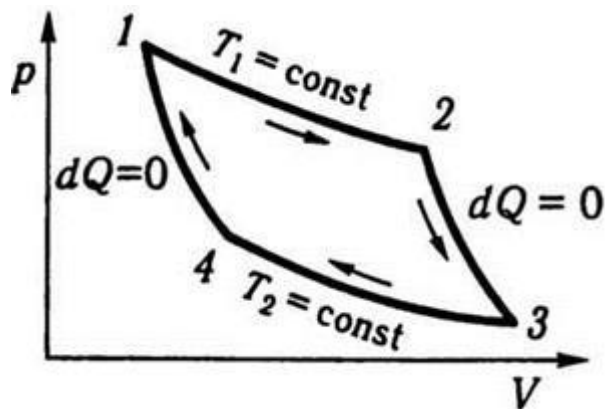
газ (робоче ті



Саді Карно, вивчаючи проблему можливого підвищення ККД теплових машин, показав, що найбільший ККД теплової машини не залежить від природи тіла і повністю визначається граничними температурами, в яких машина виконує цикл.

Знайдемо ККД машини, в якій ідеальний газ здійснює цикл, обмежений двома адіабатами і двома ізотермами (цикл Карно) Під час першої, ізотермічної стадії розширення (крива 1—2) нагрівник віддає, а ідеальний газ — робоче тіло — дістає теплоту Q_1 , що дорівнює роботі розширення газу від об'єму V_1 до об'єму V_2

В другій, адіабатичній стадії розширення (крива 2—3) робота виконується за рахунок зменшення внутрішньої енергії газу, тобто внаслідок зниження температури газу від температури нагрівника до температури холодильника. При цьому газ не дістає і не віддає теплоти.



Потім ідеальний газ стискається ізоtermічно від об'єму V_3 до об'єму V_4 . На це стиснення газу (крива 3—4) має затратитися робота, яка внаслідок ізоtermічності процесу повністю перетвориться в теплоту, що газ віддає холодильнику:

Цикл завершується адіабатичним стисненням газу до початкового об'єму V_1 ; при цьому затрачена робота йде на підвищення температури газу до початкового значення, тобто до температури нагрівника.

Отже, за повний цикл газ дістає теплоту Q_1 і віддає Q_2 .

Оскільки в кінці циклу газ повертається у свій початковий стан і, отже, внутрішня енергія, яка визначається станом системи, набуває свого початкового значення, різниця теплот $Q_1 - Q_2$ дорівнюватиме роботі A , виконаній газом за цикл.

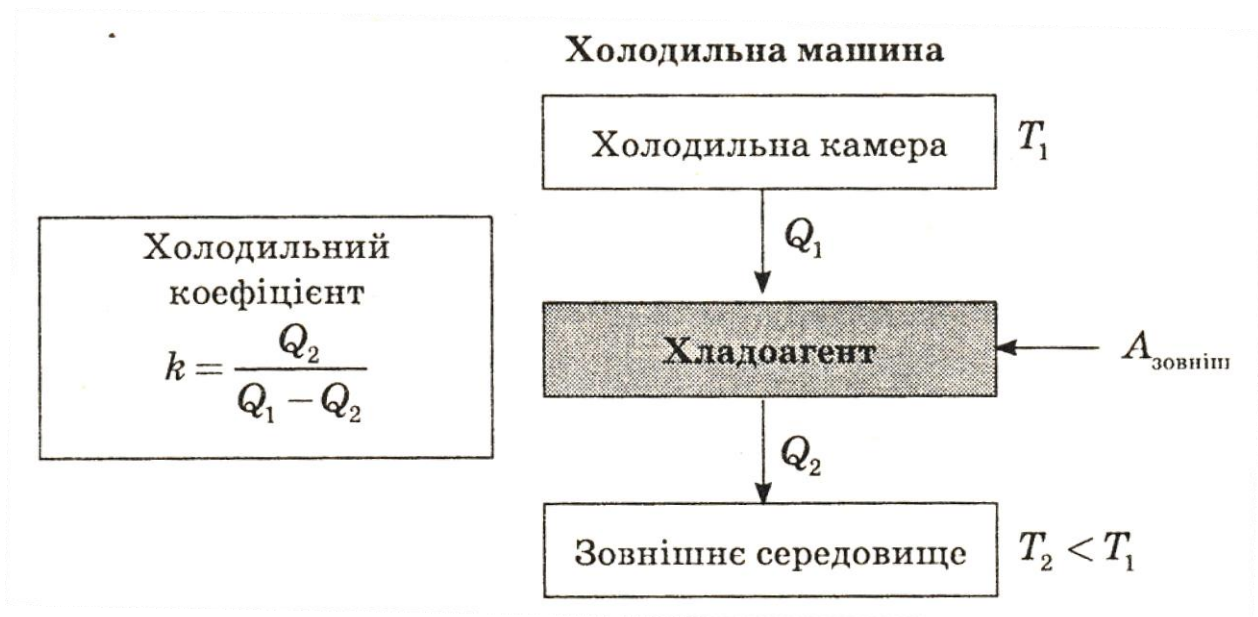
За визначенням, ККД є відношенням цієї роботи до кількості теплоти, яку дістало робоче тіло від нагрівника:

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

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Тобто ККД циклу Карно для ідеальної теплової машини дорівнює різниці температур нагрівника й холодильника до абсолютної температури нагрівника.

ККД теплових машин, що працюють за циклом Карно з одними і тими самими нагрівником і холодильником, однакові й не залежать від робочої речовини та конструкції машини, яка здійснює цикл. ККД теплових машин у разі необоротних процесів завжди менший від ККД у разі оборотних процесів.



Холодильні машини

Холодильна машина — це машина, яка підтримує в холодильній камері температуру нижчу, ніж у навколишньому середовищі.

Ознайомимось з такими видами холодильних машин, як холодильник, кондиціонер, тепловий насос.

Холодильник передає тепло від холоднішого тіла (наприклад, холодних продуктів) до теплішого тіла (повітря у приміщенні). Щоб здійснити потік тепла в зворотному напрямку (від холодного тіла до теплого), доводиться стискати газ за високої температури, а за низької температури він розширюється. Стискає газ в холодильній машині компресор, який споживає енергію з електромережі.

Холодильний коефіцієнт k становить:

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

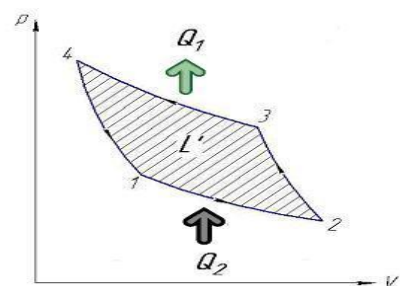
де Q_1 — кількість теплоти, яку передає робоче тіло при стисканні в оточуюче середовище; Q_2 — кількість теплоти, яку воно забирає у холодильної камери.

Термодинамічний цикл теплового насосу в p - V діаграмі

1-2 – відбір теплоти від низькотемпературного

джерела, холодоагент закипає; 2-3 – процес стиснення холодоагенту в компресорі; 3-4 – передача теплоти в систему опалення та конденсація холодоагенту в конденсаторі; 4-1 – процес дроселювання рідкого холодоагенту до початкових умов.

Холодильна машина працює по зворотньому циклу Карно. Зворотній цикл Карно – процес перенесення тепла від менш нагрітого тіла до більш нагрітого при затраті



механічної роботи. Тиск при стисканні газу є більшим за тиск при розширенні газу, тому роботу над газом виконують зовнішні сили. **Холодильний коефіцієнт** визначає кількість теплоти, що забирається у машини, за умов виконання одиничної роботи зовнішніми силами:

$$\eta = Q_{\text{хол}}/A = Q_{\text{хол}} / (Q_{\text{хол}} - Q_{\text{нагр}})$$

4. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ.

Електричне поле. Точковий заряд.

Напруженість електричного поля.

Електричне поле – це вид матерії (окремий випадок електромагнітного поля), основною особливістю якої є дія на тіла й частинки, що мають електричний заряд.

Розрізняють два основні види електричних полів: електростатичне і вихрове (індукційне).

Електростатичні поля – це електричні поля, які існують навколо нерухомих (у даній системі відліку) тіл або частинок, що мають електричний заряд.

Електричний заряд — це фізична величина, що характеризує інтенсивність електромагнітних взаємодій тіл або частинок.

Заряди різних типів називали позитивними і негативними. Електричний заряд наелектризованої скляної палички, потертої об шовк, називали позитивним, а заряд ебонітової палички, потертої об хутро, — негативним.

Тіла, що не мають електричного заряду, називають незарядженими, або електрично нейтральними. Але іноді й такі тіла мають здатність до електричних взаємодій.

Закон збереження електричного заряду

У електрично ізольованій системі тіл алгебраїчна сума зарядів всіх тіл залишається незмінною.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Силову характеристикою електричного поля є фізична величина, яка називається *напруженістю*. Поле, яке існує навколо електричних зарядів досліджують з допомогою пробного заряду. Під *пробним зарядом* розуміють малий додатний заряд, який своїм полем не може спотворювати досліджуване поле, отже це уявний заряд, власне електричне поле якого досить слабе порівняно з досліджуваним.

Напруженість електричного поля у будь-якій точці поля – це відношення

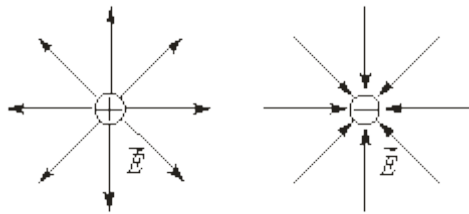
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

сили, що діє на пробний заряд до величини цього заряду: q_0 . Звідси слідує,

що коли пробний заряд q_0 внести в електричне поле напруженістю $\vec{E}$, то на нього буде діяти сила, величиною $F=q_0 \cdot E$.

Остання формула справедлива для обчислення сили, що діє з боку поля на довільний електричний заряд. При цьому вектори $\vec{E}$ та $\vec{F}$ збігаються за напрямком, коли $q>0$ та мають протилежні напрямки, якщо $q <0$.

За одиницю напруженості в СІ взято напруженість у такій точці поля, де на пробний заряд величиною в 1 Кл діє сила в 1 Н, тобто $[E] = [1 \text{ Н/Кл}]$.



Враховуючи із закону Кулона,

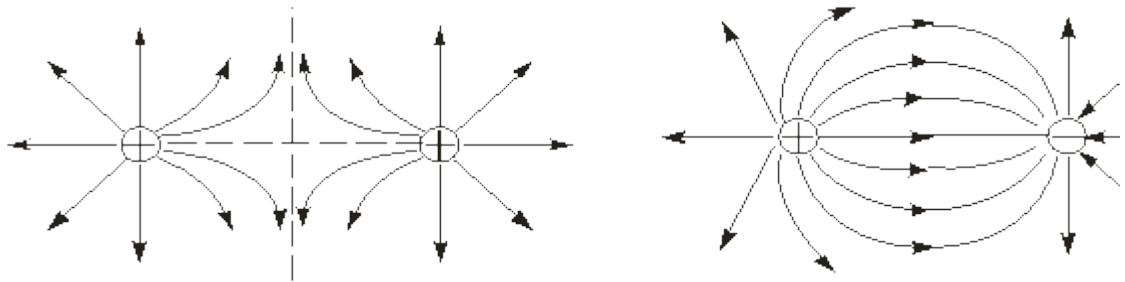
$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r},$$

що напруженість

електричного поля навколо точкового заряду q на довільній відстані r від нього можна розрахувати

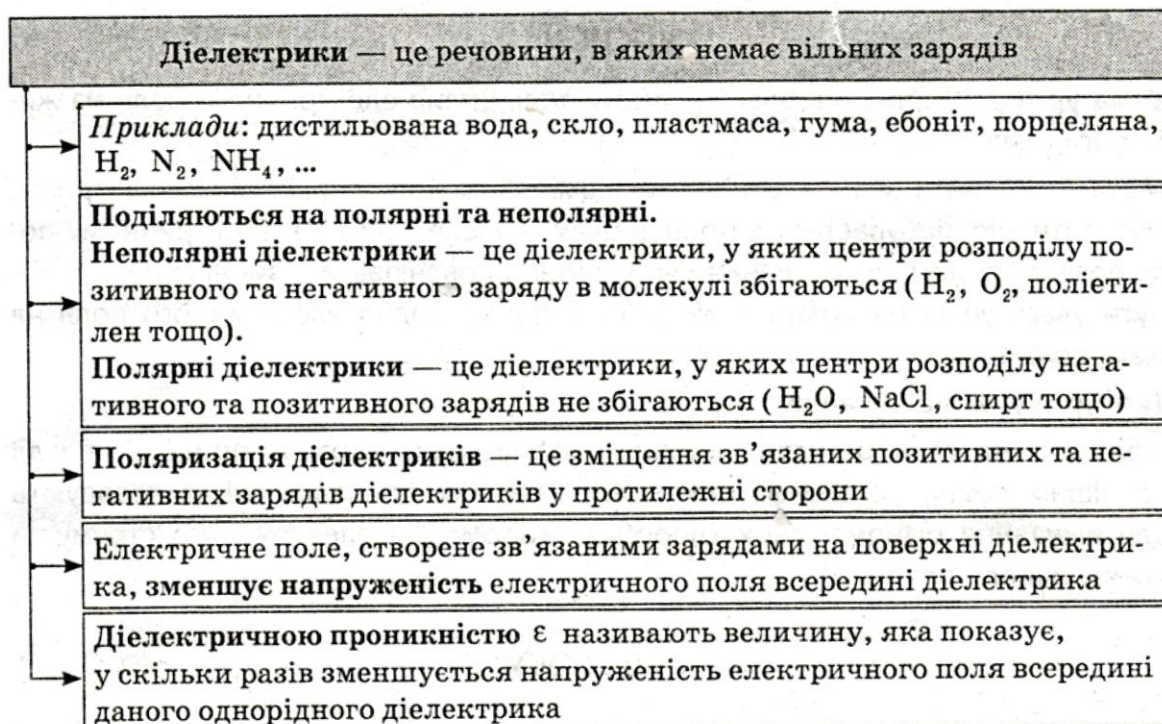
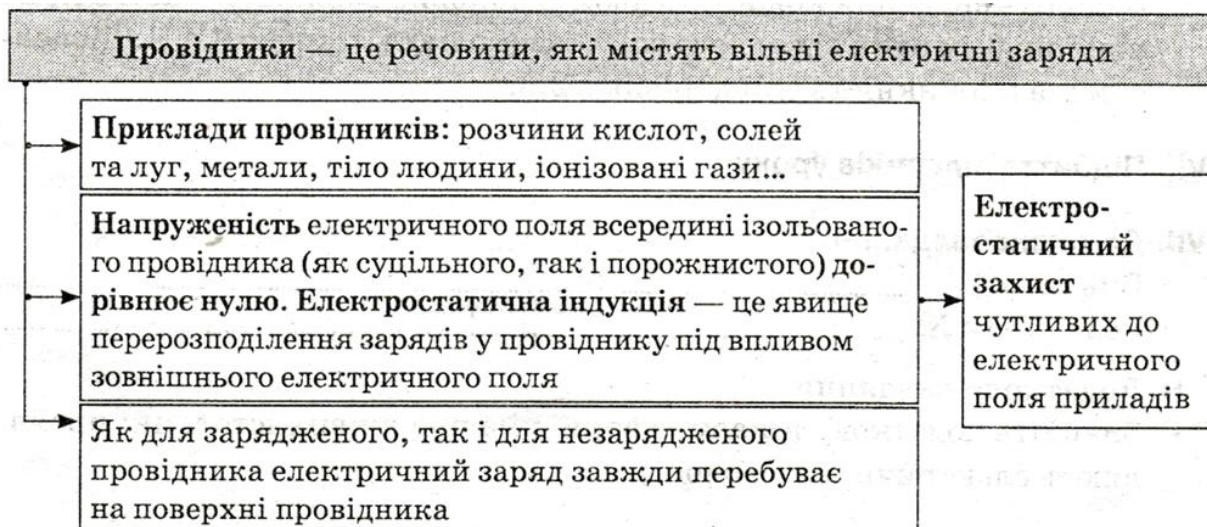
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \frac{q q_0}{\epsilon r^2 q_0} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = k \frac{q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}.$$

як:



Для графічного зображення електричних полів користуються методом ліній напруженості – це криві, проведені в електричному полі, дотичні до яких в кожній точці збігаються з напрямком вектора напруженості. Лініям напруженості приписують напрямок, що збігається з напрямком вектора напруженості $\vec{E}$. Вважають, що лінії напруженості завжди починаються на поверхні позитивного заряду і закінчуються на поверхні негативного – вони є незамкнутими лініями. Якщо $\vec{E}$ у всіх точках поля мають однакове значення і напрямок, при цьому лінії напруженості мають рівну густину та паралельні між собою, то поле називають *однорідним*.

Провідники та діелектрики в електричному полі. Робота з переміщення заряду в електростатичному полі

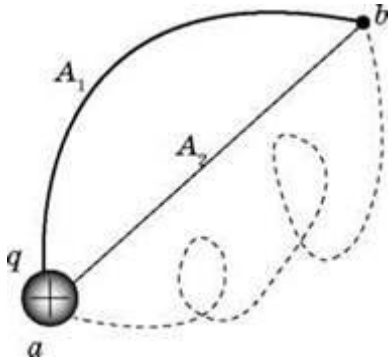


Провідники та діелектрики в електричному полі

Провідники	Діелектрики
• Переміщуються по всьому провіднику. • Відбувається явище електромагнітної індукції	• Зміщуються зв'язані електричні заряди. • Відбувається явище поляризації
• В результаті індукції на поверхні провідника з'являється електричний заряд. • Можна розділити заряди	• В результаті поляризації на поверхні діелектрика з'являється зв'язаний заряд. • Заряди не можна розділити

Робота з переміщення заряду в електростатичному полі. Потенціальний характер електростатичного поля. Потенціал. Різниця потенціалів. Еквіпотенціальні поверхні

1. Робота під час переміщення заряду в електричному полі



$$A_1 = A_2 = A_3$$

-робота в електростатичному полі не залежить від форми траєкторії, а залежить тільки від положення точок у полі, між якими переміщується заряд;

- робота для будь-якого замкнутого контуру в електростатичному полі дорівнює нулю.

Енергетична характеристика електричного поля

Відношення потенціальної енергії W_p заряду q , поміщеного в певну точку поля, до цього заряду називається потенціалом електростатичного поля в цій точці:

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

Але фізичний зміст має не власне потенціальна енергія, а тільки зміна потенціальної енергії ΔW_p : саме вона пов'язана з виконаною роботою співвідношенням $\Delta W_p = -A$.

Відповідно до цього й фізичний зміст має не власне потенціал поля, а різниця потенціалів між певними точками. Знайдемо, як вона пов'язана з роботою поля під час переміщення заряду між цими точками.

Нехай заряд q переміщується із точки 1 у точку 2. Позначимо потенціали поля в цих точках φ_1 і φ_2 . Тоді різниця потенціалів між цими точками — це $\varphi_1 - \varphi_2$. Відповідно до визначення потенціалу, потенціальна енергія заряду в цих точках $W_1 = q\varphi_1$, $W_2 = q\varphi_2$. Зміна потенціальної енергії під час переміщення заряду із точки 1 в точку 2 дорівнює $\Delta W_p = W_2 - W_1$. Тому виконана полем над зарядом робота $A = -\Delta W_p = -(W_2 - W_1) = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Виходить, що

Ø різниця потенціалів між двома точками дорівнює відношенню роботи поля під час переміщення заряду з початкової точки в кінцеву до цього заряду:

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

Різницю потенціалів називають також напругою й позначають U . У СІ роботу виражають у джоулях, а заряд — у кулонах. Тому різниця потенціалів між двома точками поля дорівнює 1 В, якщо під час переміщення заряду в 1 Кл із однієї точки в іншу електричне поле виконує роботу в 1 Дж.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}.$$

Принцип суперпозиції

Із принципу суперпозиції випливає, що потенціал електричного поля системи зарядів дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів полів, створених кожним із зарядів:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n$$

Зв'язок між різницею потенціалів і напруженістю

Нехай позитивний пробний заряд q переміщується в однорідному електростатичному полі напруженістю $\vec{E}$ в напрямку силових ліній. Тоді на заряд з боку поля діє сила $q\vec{E}$, напрямлена уздовж переміщення. Отже, під час переміщення на відстань d поле виконує роботу $A = qEd$.

Ця робота пов'язана з різницею потенціалів

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

співвідношенням Підставляючи сюди знайдений вираз для

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

роботи A , одержуємо, що тобто

Ø напруженість електричного поля дорівнює різниці потенціалів, що припадає на одиницю довжини уздовж лінії напруженості.

Це і є шукане співвідношення між різницею потенціалів і напруженістю. Його можна записати також у вигляді $E = U/d$.

Оскільки під час переміщення позитивного заряду в напрямку напруженості електростатичне поле виконує позитивну роботу, то потенціал φ_1 більший від потенціалу φ_2 . Отже,

Ø напруженість електричного поля напрямлена у бік убуття потенціалу.

Оскільки в системі СІ одиницю напруженості поля визначають,

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

користуючись формулою то одиниця напруженості називається вольт на метр (скорочено В/м). Напруженість однорідного поля дорівнює 1 В/м, якщо різниця потенціалів між двома точками, з'єднаними вектором завдовжки 1 м і напрямленим уздовж напруженості поля, дорівнює 1 В.

. Еквіпотенціальні поверхні

З курсу механіки відомо, що якщо напрямок переміщення перпендикулярний до напрямку сили, то робота цієї сили дорівнює нулю. А

якщо робота під час переміщення заряду з однієї точки в іншу дорівнює нулю, тоді дорівнює нулю й різниця потенціалів між цими точками.

Тому якщо заряд переміщується в напрямку, перпендикулярному до напрямку силових ліній, то робота поля під час переміщення заряду дорівнює нулю. А отже, дорівнює нулю й різниця потенціалів між початковою й кінцевою точками траєкторії заряду. Можна сказати, що

Ø в будь-якому електростатичному полі нулю дорівнює різниця потенціалів між точками, що лежать на поверхні, перпендикулярній в кожній точці до ліній напруженості поля.

Справді, під час переміщення пробного заряду з однієї точки в іншу уздовж цієї поверхні поле не виконує роботи. Отже, всі точки такої поверхні мають однаковий потенціал.

Поверхні рівного потенціалу називають еквіпотенціальними поверхнями.

Оскільки всі точки провідника мають однаковий потенціал, поверхня провідника є еквіпотенціальною. Звідси випливає, що

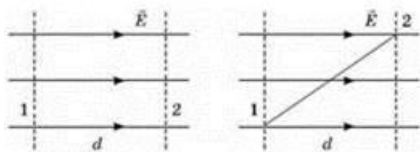
силові лінії поля поблизу поверхні провідника перпендикулярні до його поверхні.

Зв'язок напруженості однорідного електричного поля з різницею потенціалів. Вимірювання елементарного електричного заряду.

♦ Для однорідного електростатичного поля напруга U (різниця потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$) пов'язана із напруженістю E співвідношенням:

$$U = Ed, \text{ або } \varphi_1 - \varphi_2 = Ed,$$

де d проекція відстані між точками 1 і 2 на силову лінію поля.



♦ Важливо не плутати різницю потенціалів (напругу) $\varphi_1 - \varphi_2$ і зміну потенціалу $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Питання	Напруженість	Потенціал
Визначення фізичної величини	Напруженістю електричного поля в даній точці називають векторну фізичну величину, яка дорівнює відношенню сили, що діє з боку електричного поля на точковий пробний заряд, поміщений у дану точку поля, до значення цього заряду	Потенціалом електричного поля в даній точці називають скалярну фізичну величину, що дорівнює відношенню потенціальної енергії заряду, поміщеного в дану точку поля, до величини цього заряду
Формула (за визначенням)	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	$\varphi = \frac{W_p}{q}$
Одиниця	$[E] = \frac{\text{В}}{\text{м}}; \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$	$[\varphi] = \text{В}$
Величина скалярна чи векторна?	Векторна величина	Скалярна величина
Силовa чи енергетична характеристика поля?	Силовa характеристика поля	Енергетична характеристика поля
Формула для точкового заряду	$E = k \frac{q}{r^2}, E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$	$\varphi = k \frac{q}{r}, \varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$
Як зображується графічно?	За допомогою силових ліній	За допомогою еквіпотенціальних поверхонь
Як обчислити роботу з переміщення заряду в однорідному полі?	$A = qEd$	$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$
Який взаємозв'язок напруженості, напруги, різниці потенціалів?	$U = Ed$ $U = \varphi_1 - \varphi_2$	

Електроємність. Електроємність плоского конденсатора. З'єднання конденсаторів. Енергія зарядженого конденсатора

Конденсатором називають два провідники (обкладки), між якими знаходиться діелектрик, завтовшки значно менший, ніж розміри провідника

Зарядом конденсатора вважають модуль заряду однієї з пластин

Електроємністю C конденсатора називають фізичну величину, що дорівнює відношенню модуля заряду q однієї з пластин до різниці потенціалів (напруги) U між обкладками: $C = \frac{q}{U}$

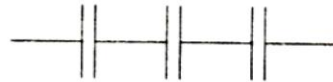
Електроємність плоского конденсатора $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$, де S — площа однієї з пластин, d — відстань між пластинами, ϵ — діелектрична проникність речовини між пластинами, ϵ_0 — електрична стала
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2$

Енергія зарядженого: $W_p = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$

З'єднання конденсаторів

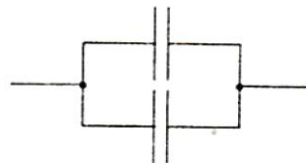
Послідовне:

$$\begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \end{matrix}$$



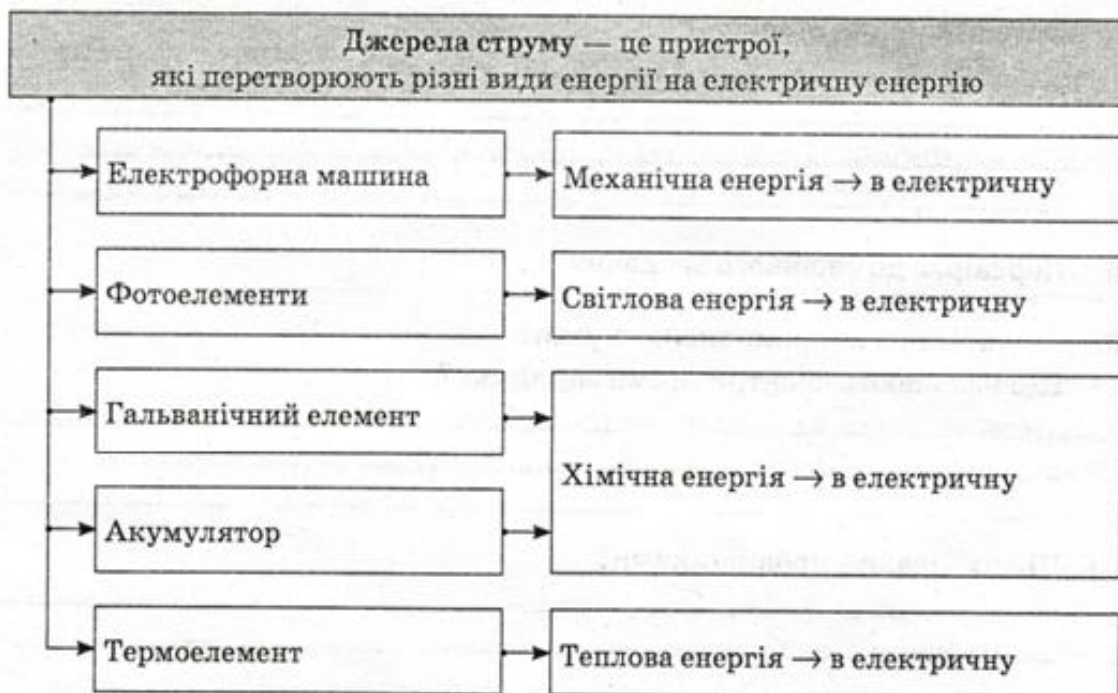
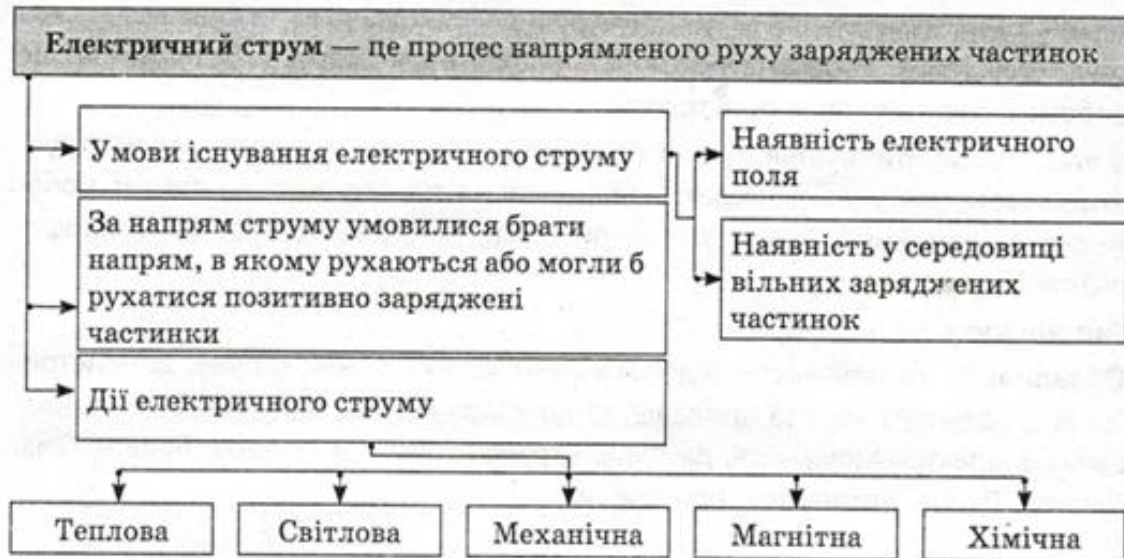
Паралельне:

$$\begin{matrix} C_1 & C_2 \\ C = C_1 + C_2 \end{matrix}$$



5. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

Електричний струм, електричне коло. Постійний струм. Джерела струму. Електрорушійна сила (ЕРС)



Залежність опору від	Умови дослідів	Результат	Висновки
Довжини провідника	Речовина однакова $S_1 = S_2$ $l_2 > l_1$	$R_2 > R_1$	Опір провідника прямо пропорційний його довжині
Площі перерізу провідника	Речовина однакова $S_1 < S_2$ $l_2 = l_1$	$R_2 < R_1$	Опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу
Матеріалу провідника	Речовина різна $S_1 = S_2$ $l_2 = l_1$	$R_2 \neq R_1$	Опір провідника залежить від його речовини (питомого опору)
Висновок: опір провідника залежить прямо пропорційно від довжини провідника, обернено пропорційно — від площі його поперечного перерізу та від речовини, з якої виготовлений: $R = \frac{\rho l}{S}$			

Електрорушійною силою ЕРС називають фізичну величину, що дорівнює відношенню роботи сторонніх сил з переміщення заряду всередині джерела струму до значення заряду: $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$, звідки $A_{\text{сп}} = \mathcal{E}q$, $A_{\text{сп}} = \mathcal{E}It$

Сторонні сили — це сили неелектростатичного походження, що діють на вільні заряди всередині джерела струму

Закон Ома для повного кола: сила струму в замкнутому електричному колі, яке містить одне джерело струму, дорівнює відношенню ЕРС джерела струму до повного опору кола: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$

За короткого замикання $R = 0$,

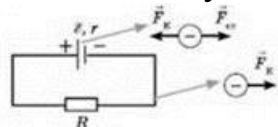
$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

Напруга між розімкненими полюсами джерела струму практично дорівнює ЕРС цього джерела: $\mathcal{E} \approx U$

Закон Ома для повного кола. Коротке замикання. Визначення електричного опору кола з послідовним і паралельним з'єднанням провідників

Зовнішня ділянка кола — споживач (або споживачі) струму й з'єднувальні проводи. Загальний опір ділянки R , а напруга U на ділянці дорівнює напрузі на полюсах джерела струму. На зовнішній ділянці діють лише кулонівські сили.

Внутрішня ділянка кола — це безпосередньо джерело струму, яке характеризується внутрішнім опором r та електрорушійною силою $\mathcal{E}$. На цій ділянці діють як кулонівські, так і сторонні сили.



Електрорушійна сила (ЕРС) $\mathcal{E}$ — це скалярна фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи сторонніх сил $A_{ст}$ з переміщення заряду q всередині джерела струму до значення цього заряду:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}.$$

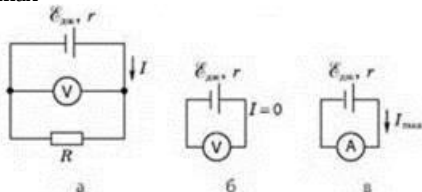
♦ Одиниця ЕРС у СІ—вольт (В).

Закон Ома для повного кола: сила струму I в повному колі дорівнює відношенню ЕРС джерела струму $\mathcal{E}$ до повного опору кола ($R + r$):

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

• Коротке замикання джерела струму, тобто $R \rightarrow 0$ (, в):

$$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}_{дж}}{r}.$$



ККД джерела струму:

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}_{дж}},$$

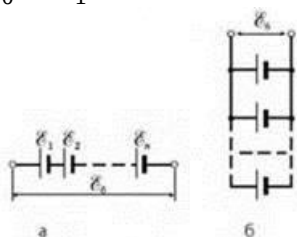
де U — напруга на зовнішній ділянці кола. З'єднання елементів у батарею

1. При послідовному з'єднанні елементів у батарею (рис. а) електрорушійна сила батареї дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС елементів:

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n,$$

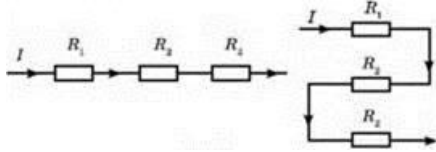
2. При паралельному з'єднанні n однакових елементів електрорушійна сила батареї дорівнює ЕРС одного елемента (рис. б):

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1$$



ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

З'єднання провідників називають послідовним, якщо ділянка кола не містить розгалужень (рис.).



Закони послідовного з'єднання провідників

♦ Сила струму в кожному із послідовно з'єднаних провідників однакова і дорівнює силі струму в ділянці кола:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n.$$

♦ Загальна напруга на ділянці дорівнює сумі напруг на окремих провідниках:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$$

♦ Загальний опір ділянки дорівнює сумі опорів провідників:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

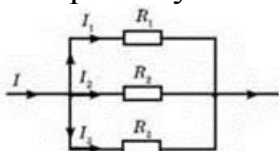
♦ Якщо маємо n однакових резисторів опором R' кожен, то $R = nR'$.

♦ У разі послідовного з'єднання двох провідників напруга на кожному провіднику прямо пропорційна його опору.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

2. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

З'єднання провідників називають паралельним, якщо для проходження струму в ділянці кола є декілька шляхів і всі ці шляхи мають дві спільні точки — вузли. Характерною ознакою кола із паралельним з'єднанням провідників є наявність розгалужень.



Закони паралельного з'єднання провідників

♦ Напруга на кожному з паралельно з'єднаних провідників однакова і дорівнює напрузі на ділянці:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$$

♦ Загальна сила струму в ділянці дорівнює сумі сил струмів в кожному із провідників:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

♦ Загальний опір ділянки обчислюється за формулою:

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

Якщо маємо n однакових резисторів опором R' кожен, то $R = \frac{R'}{n}$.

♦ У разі паралельного з'єднання двох провідників сила струму в кожному провіднику обернено пропорційна його опору:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Вимірювання в електричних колах, шунти та додаткові опори. Робота та потужність електричного струму, теплова дія струму. Безпека під час застосування електричних пристроїв

Шунт — це звичайний резистор, який під'єднують до приладу паралельно. Визначимо опір шунта, який необхідно підключити до амперметра у випадку, якщо потрібно виміряти силу струму, що в n разів перевищує силу струму, на яку розрахований прилад, тобто $n = \frac{I}{I_A}$.

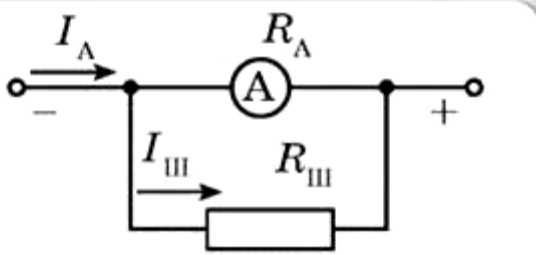


Схема під'єднання шунта

За законом Ома для ділянки кола $R_{\text{ш}} = \frac{U}{I_{\text{ш}}}$. Ураховуючи, що $I_{\text{ш}} = I - I_A$ та $U = U_A = I_A R_A$, отримаємо $R_{\text{ш}} = \frac{I_A}{I - I_A} R_A$.

Оскільки $I = n I_A$, остання формула набуде вигляду $R_0 = \frac{R_A}{n - 1}$.

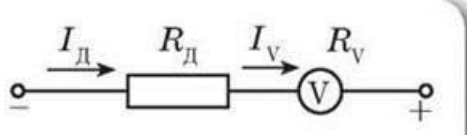


Схема під'єднання додаткового опору

А струм, який тече через шунт, дорівнюватиме: $I_{\text{ш}} = I_A \frac{I}{I_A - 1} = I_A (n - 1)$.

Розширення меж вимірювання вольтметра. На практиці часто виникає потреба підвищити межу вимірювання вольтметра. Це завдання розв'язується за допомогою підключення до приладу резистора (який називають додатковим опором).

Додатковий опір R під'єднують до вольтметра послідовно), тому сила струму в ньому та на приладі однакова: $I = I_{\text{д}} = I_v$.

Напруга, яку вимірює вольтметр U , дорівнює сумі напруг на вольтметрі U_v (U_v — максимальна напруга, яку може виміряти вольтметр) та на

додатковому опорі $U_{\text{д}}$: $U = I R_v + I R_{\text{д}}$, звідки $R_{\text{д}} = \frac{U - I R_v}{I}$, де I — максимально допустима сила струму для вольтметра, яка розраховується за

формулою $I = \frac{U_v}{R_v}$.

Якщо позначити збільшення межі вимірювання вольтметра

через $n \left(n = \frac{U}{U_v} \right)$ і підставити значення I та n у формулу додаткового опору, отримаємо:

$$R_{\text{д}} = R_v \frac{U - U_v}{U_v} = R_v (n - 1).$$

Тоді напруга на додатковому опорі дорівнює $U_d = U - U_V = U_V (n - 1)$.

Використовуючи резистори для розширення меж вимірювання вольтметра й амперметра, можна досить легко та економічно вигідно збільшити межу їх вимірювання, що дозволяє використовувати дані прилади в колах, параметри яких перевищують межу вимірювання цих пристроїв.

Робота A електричного струму на ділянці кола розраховується за формулою:

$$A = qU, \text{ або } A = UI t,$$

де U — напруга на ділянці кола, I — сила струму, t — час проходження струму, q — заряд, який проходить по ділянці за цей час.

♦ Одиниця роботи електричного струму в СІ — джоуль:

$$[A] = B \cdot A \cdot c = Дж.$$

Існує також позасистемна одиниця роботи струму — кіловат-година (кВт · год):

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

♦ Прилад для прямого вимірювання роботи струму — лічильник електричної енергії. Роботу струму також можна виміряти іспрягим методом — за допомогою амперметра, вольтметра та секундоміра.

Потужність електричного струму P — фізична величина, яка характеризує швидкість виконання струмом роботи (характеристика споживачів та джерел електричної енергії) та дорівнює відношенню роботи A струму до часу t у за який цю роботу виконано:

$$P = \frac{A}{t}, \text{ або } P = UI.$$

♦ Одиниця потужності електричного струму в СІ — ват:

$$[P] = B \cdot A = Вт.$$

♦ Прилад для прямого вимірювання потужності струму — ватметр. Потужність також можна виміряти непрямим методом — за допомогою амперметра та вольтметра.

♦ Якщо коло складається з кількох споживачів, то за будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність P струму в колі дорівнює сумі потужностей окремих споживачів:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = U_1 I_1 + U_2 I_2 + \dots + U_n I_n = UI,$$

де U — загальна напруга на споживачах, I — сила струму в колі.

Закон Джоуля — Ленца про кількість теплоти, яка виділяється при проходженні струму:

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

♦ Якщо в провіднику струм здійснює тільки тон лову дію, то $A = Q$:

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

Якщо струм в колі виконує механічну роботу (працює двигун) або відбуваються хімічні реакції, то роботу струму можна визначити лише за формулою:

$$A = UI t,$$

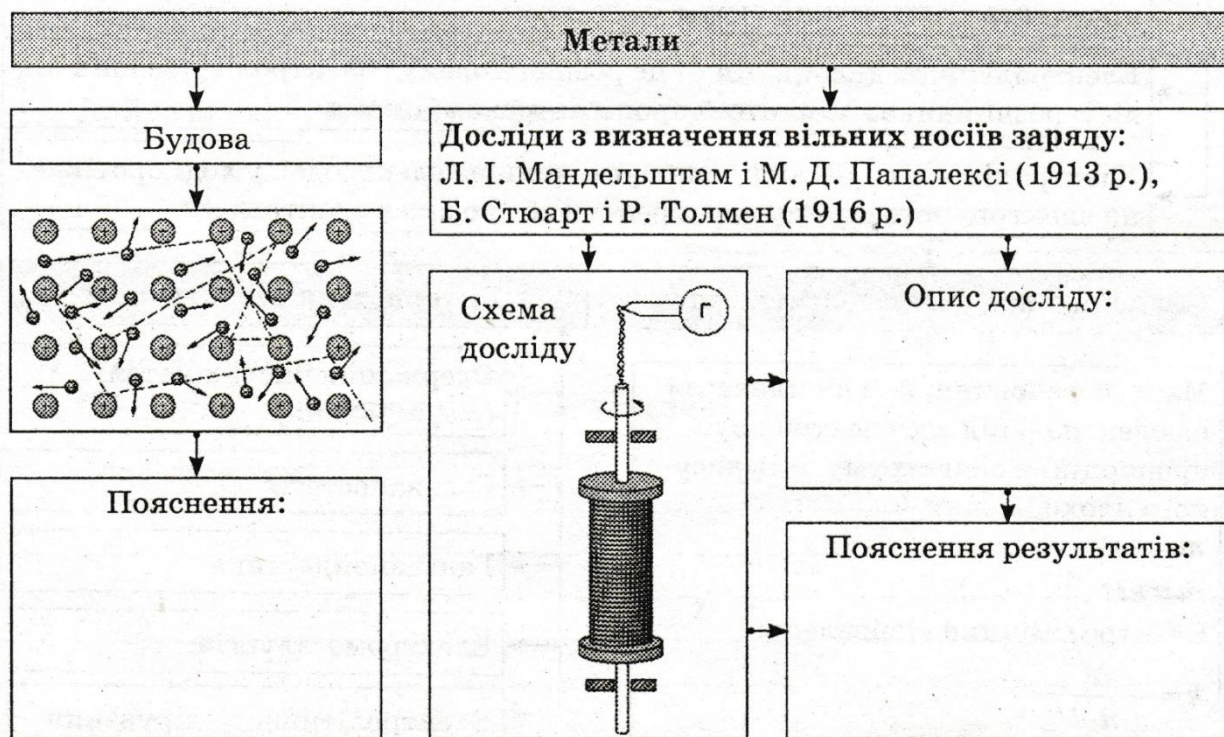
а кількість теплоти, що при цьому виділяється, є втратами енергії:

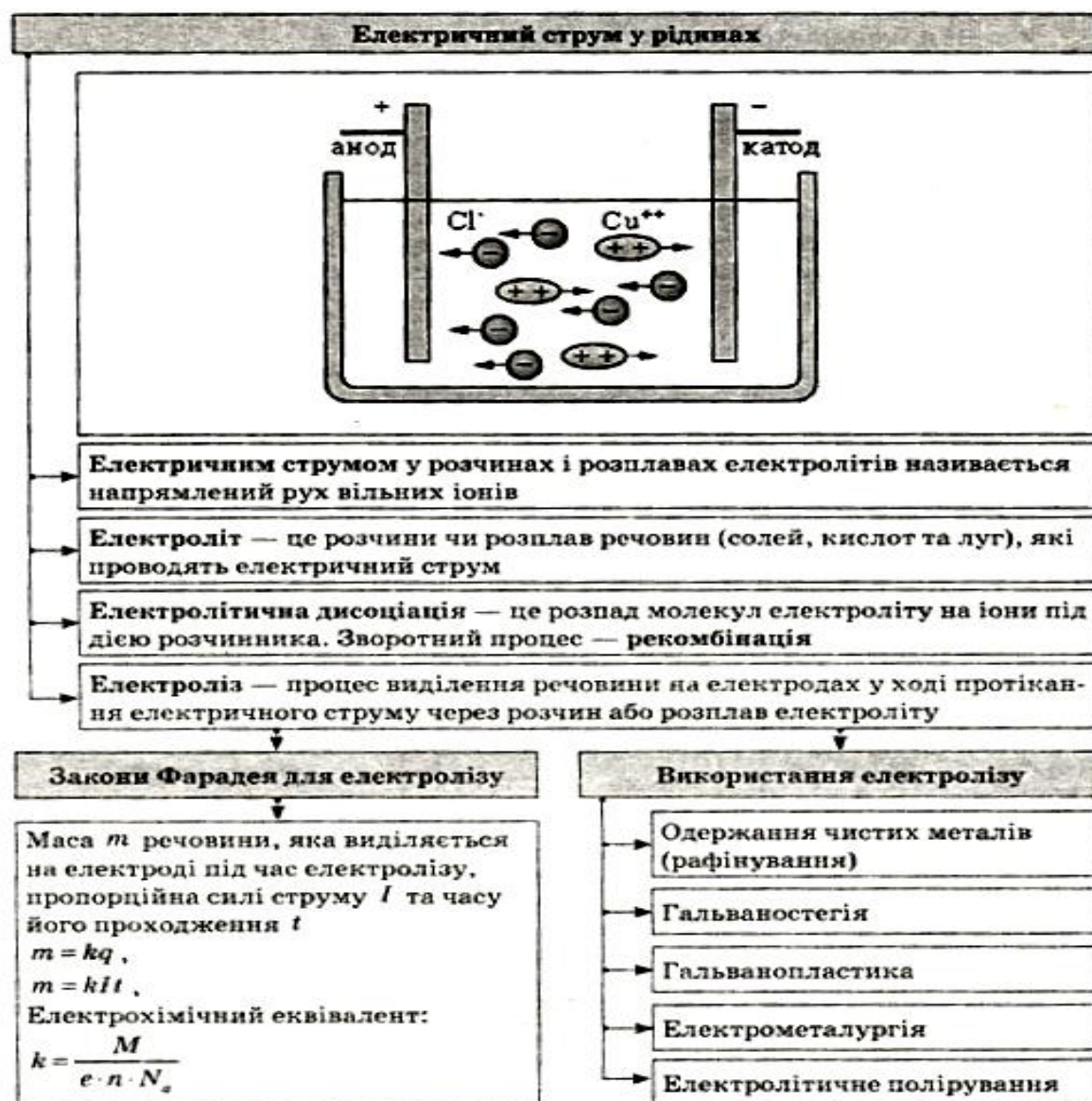
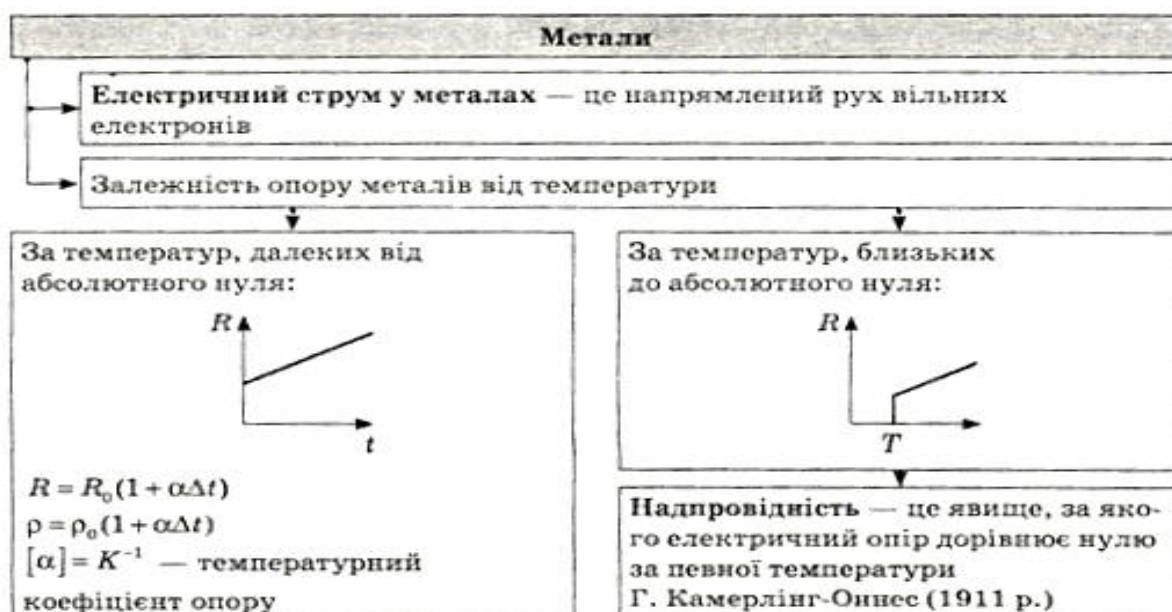
$$Q = I^2 R t.$$

♦ Якщо сила струму в колі стає надто високою (наприклад, ввімкнено одночасно декілька потужних споживачів, відбулося коротке замикання або різко зросла напруга в мережі), то відповідно до закону Джоуля — Ленца підвідні проводи сильно нагріваються. Щоб уникнути пожежі, а також щоб не зіпсувати споживачі під час небезпечного збільшення сили струму, використовують запобіжники — пристрої, які розмикають коло, коли сила струму перевищує норму

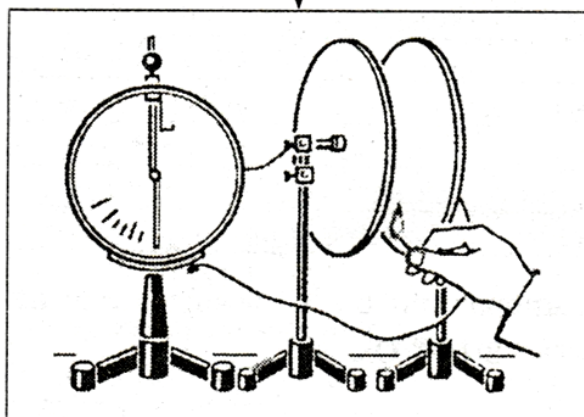
Порівняльна характеристика різних середовищ, через які може протікати електричний струм (металів, розчинів і розплавів електролітів, газів, плазми, напівпровідників): вільні носії заряду, залежність питомого опору від температури.

Надпровідність



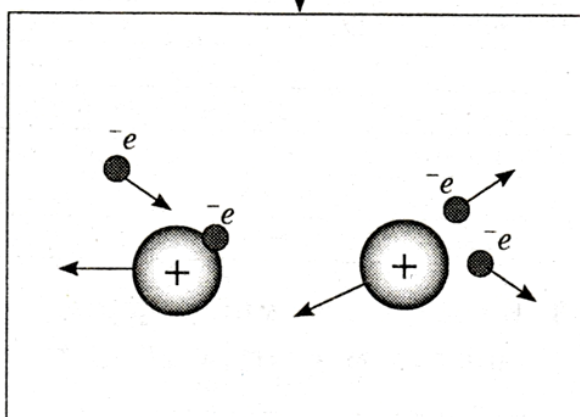


Електричним струмом у газах (газовим розрядом) називається напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних іонів



Несамостійний

Газовий розряд, який можна спостерігати тільки за умови дії якого-небудь зовнішнього іонізатора



Самостійний

Розряд у газі, що може проходити без дії стороннього іонізатора

Ударна іонізація або іонізація електронним ударом

Умови для іонізації електронним ударом:

- електричне поле має бути досить сильним;
- газ досить розріджений

Електропровідність напівпровідників

Власна провідність

Провідність напівпровідників зумовлена:

- переміщенням вільних електронів (електронна провідність);
- переміщенням зв'язаних електронів на вакантні місця (діркова провідність)

Домішкова провідність

Донорні домішки
(Si+As)

Домішки, атоми яких легко віддають електрони

Основними носіями заряду є електрони, а неосновними — дірки

Напівпровідники
n -типу

Акцепторні домішки
(Si+In)

Домішки, кожен атом яких створює одне вакантне місце — дірку

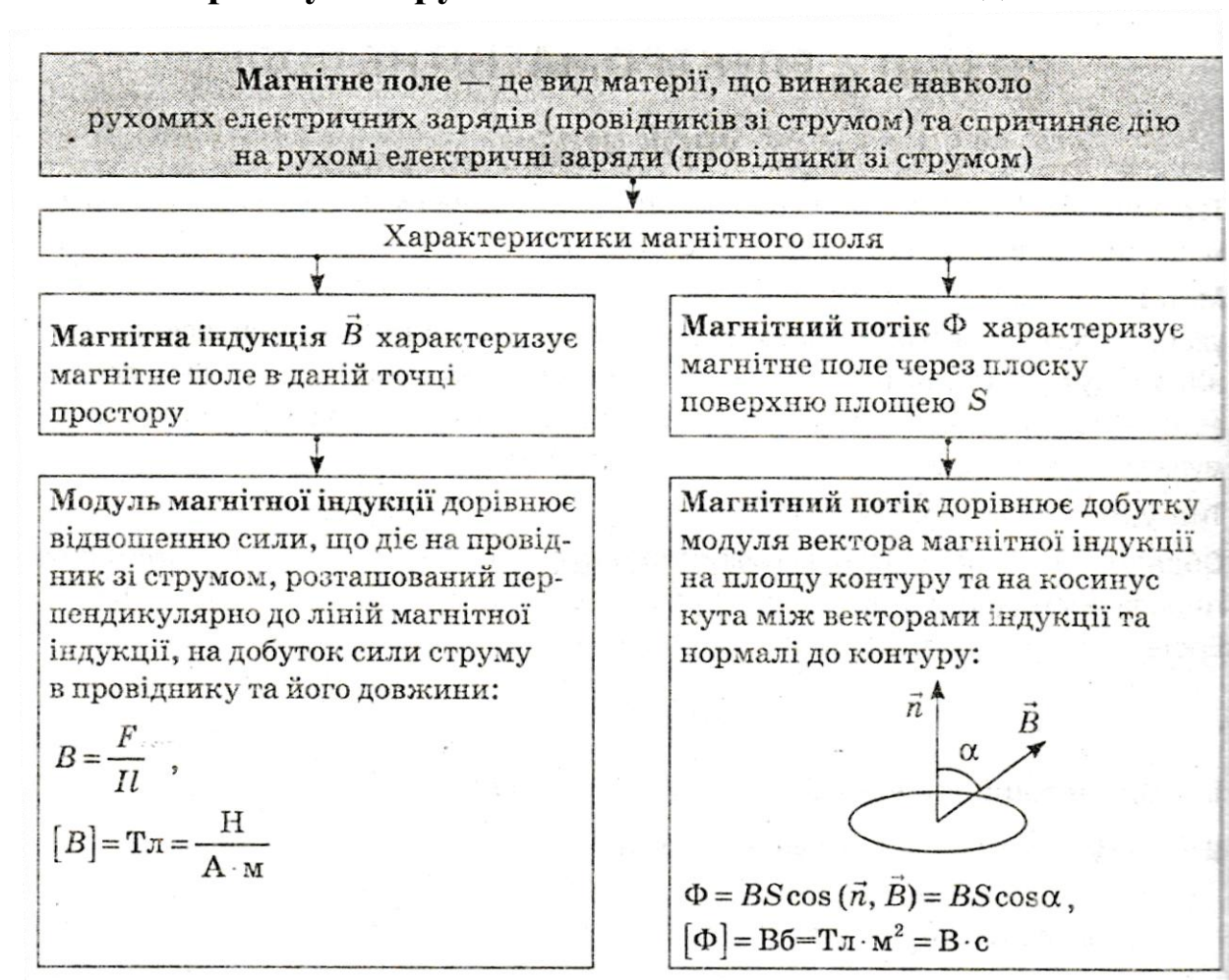
Основними носіями заряду є дірки, а неосновними — електрони

Напівпровідники
p -типу

Широке застосування напівпровідників зумовлене чинниками:

- однобічна провідність контакту двох напівпровідників — p - і n -типу;
- внаслідок зміни температури опір напівпровідників суттєво змінюється;
- напівпровідники мають властивість змінювати свій опір залежно від освітленості

Магнітна взаємодія та магнітне поле. Індукція магнітного поля. Магнітний момент рамки зі струмом. Дія магнітного поля на рамку зі струмом. Магнітне поле соленоїда.

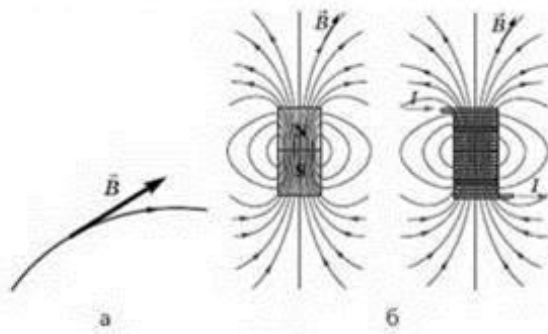


Лінії магнітної індукції — умовні лінії, у кожній точці яких дотична збігається з лінією, вздовж якої напрямлений вектор магнітної індукції (рис. 4.2, а).

♦ Лінії магнітної індукції завжди замкнені: магнітне поле — це вихрове поле.

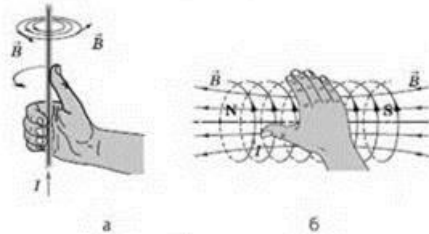
Напрямок ліній магнітної індукції

♦ Лінії магнітної індукції виходять із північного полюса котушки зі струмом або постійного магніту і входять у південний



♦ Напрямок ліній магнітної індукції провідника зі струмом визначають за допомогою правила свердлика або правила правої руки: якщо спрямувати відігнутий великий палець правої руки за напрямком струму в провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямок ліній магнітної індукції

♦ Напрямок ліній магнітної індукції котушки зі струмом також визначають за допомогою правила правої руки: якщо спрямувати чотири зігнуті пальці правої руки за напрямком струму в котушці, то відігнутий великий палець укаже напрямок ліній магнітної індукції всередині котушки



Момент M сили, який діє на плоский замкнений контур, розташований в однорідному магнітному полі, дорівнює добутку модуля магнітної індукції B поля на силу струму I в контурі, на площу S контуру і на косинус кута α між вектором магнітної індукції та площиною контуру:

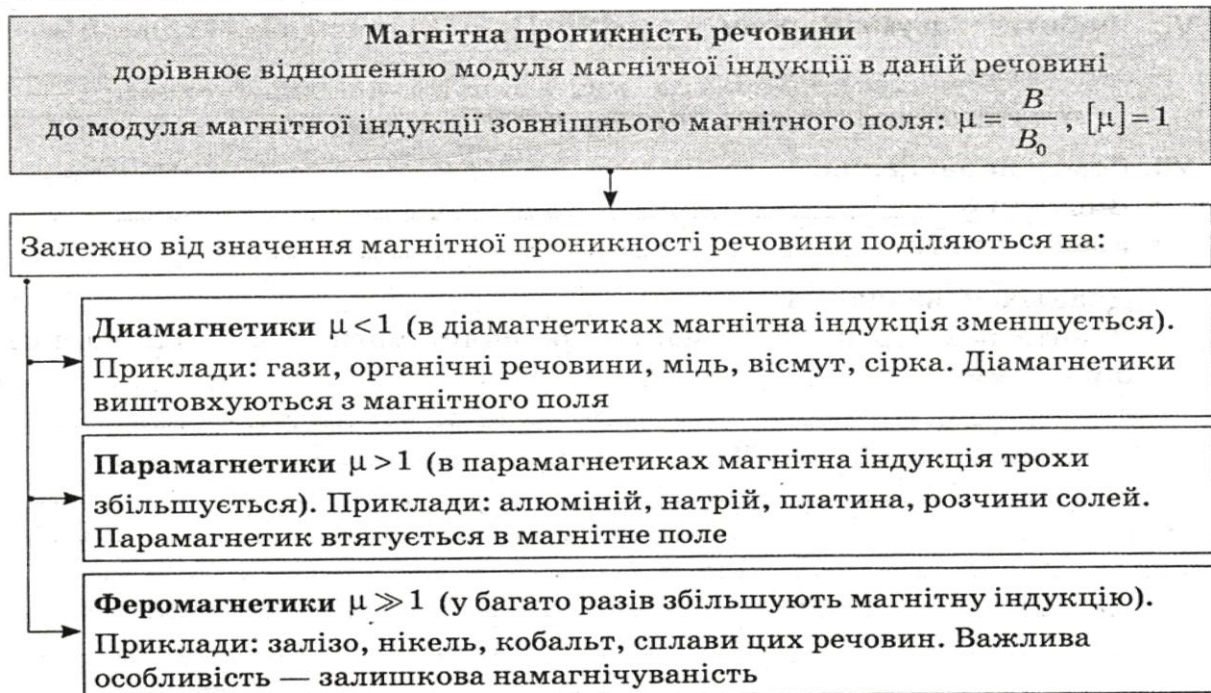
$$M = BIS \cos \alpha$$

Сила Ампера та сила Лоренца. Взаємодія струмів. Застосування дії магнітного поля на рамку зі струмом в електровимірювальних приладах та електродвигунах.

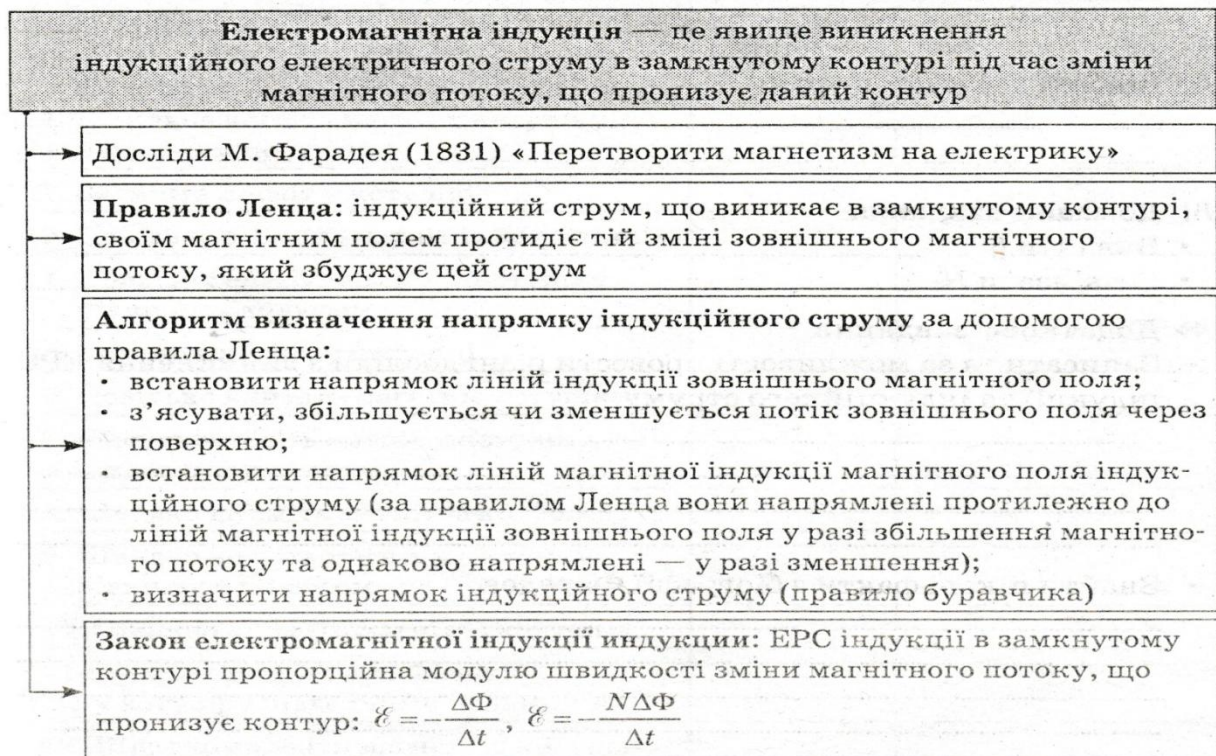
Рух зарядженої частинки в однорідному магнітному полі.



Магнітні властивості речовини. Діа-, пара- і феромагнетики. Залежність магнітних властивостей речовини від температури. Застосування магнітних матеріалів



Досліди М. Фарадея. Електромагнітна індукція. Правило Ленца. Закон електро-магнітної індукції. Самоіндукція. ЕРС самоіндукції, індуктивність



Індуктивність	
→	Магнітний потік пропорційний силі струму в контурі: $\Phi = LI$
→	Самоіндукція — це явище виникнення індукційного струму в контурі зі змінним струмом або в контурі з постійним струмом в момент замикання або розмикання електричного кола: $\mathcal{E}_{si} = - \frac{L \Delta I}{\Delta t}$
→	Індуктивність — це фізична величина, яка чисельно дорівнює ЕРС самоіндукції, що виникає в контурі за зміни сили струму на 1 А за 1 с. Індуктивність контуру дорівнює 1 Гн, якщо за зміни сили струму в контурі на 1 А за 1 с в ньому виникає ЕРС самоіндукції, що дорівнює 1 В
→	Індуктивність контуру залежить від його форми, розмірів, кількості витків та наявності осердя: $L = \frac{\mu \mu_0 N^2 S}{l}$, де S — площа перерізу котушки, l — довжина котушки, N — кількість витків
→	Енергія магнітного поля котушки зі струмом: $W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi I}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}$

Вихрове (індукційне) електричне поле. Вихрові струми. Енергія магнітного поля котушки зі струмом. Гіпотеза Д. Максвелла. Взаємозв'язок електричного та магнітного полів як прояв існування електромагнітного поля.

Електромагнітна індукція — це явище виникнення електрорушійної сили індукції у провіднику, контур якого перетинається змінним магнітним потоком:

$$\mathcal{E}_{ind} = \frac{A_{стор}}{q}.$$

Якщо провідник замкнений, то відповідно до ЕРС індукції виникає індукційний струм:

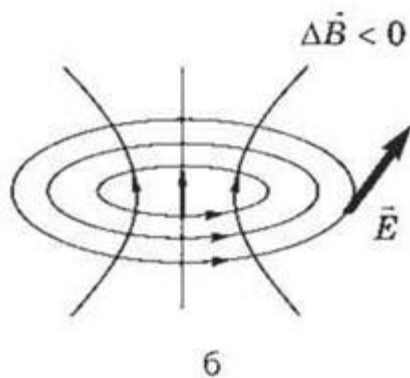
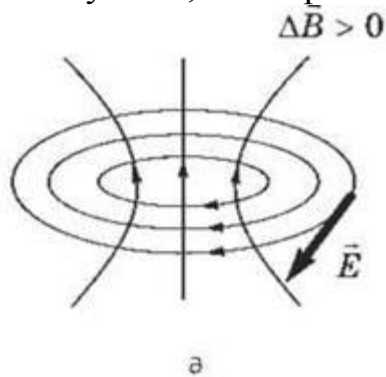
$$I_{ind} = \frac{\mathcal{E}_{ind}}{R}.$$

Якщо провідник розімкнений, то на його кінцях виникає різниця потенціалів:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \mathcal{E}_{ind}.$$

За теорією Максвелла навколо будь-якого змінного магнітного потоку виникає електричне поле, лінії напруженості якого замкнені навколо потоку і

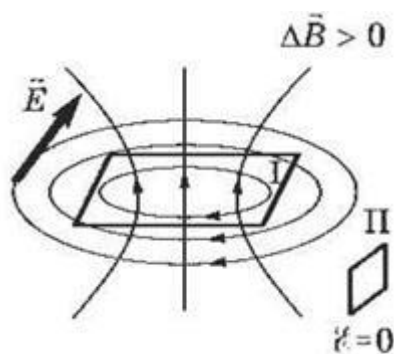
напрявлені за правилом лівого гвинта, якщо потік зростає (рис. 82, а); якщо потік зменшується,— за правилом правого гвинта (рис. 82, б).



Таке електричне поле називається вихровим електричним полем (його лінії напруженості замкнені) або індукційним. У контурі, який перетинається змінним магнітним потоком, вільні носії заряду переміщуються під дією вихрового електричного поля, здійснюють роботу, що означає виникнення ЕРС індукції:

$$\mathcal{E}_{\text{інд}} = \frac{A_{\text{вихр. ел. п}}}{q}, \quad E = \frac{\mathcal{E}_{\text{інд}}}{l}.$$

У контурі II, який магнітним потоком не перетинається, робота дорівнює нулю



Література:

- 1.Євлфхова О.М., Бондаренко М.В.Фізика. 10клас.І семестр. Рівень стандарту / О.М. Євлахова, М. В. Бондаренко.-Х. : Вид. група « Основа », 2018.-112с.
- 2.Євлфхова О.М., Бондаренко М.В.Фізика. 10клас.ІІ семестр. Рівень стандарту / О.М. Євлахова, М. В. Бондаренко.-Х. : Вид. група « Основа », 2018.-128с
- 3.Фізика. 11клас. Рівень стандарту / О.М. Євлахова, М. В. Бондаренко.- 3-є вид.-Х. : Вид. група « Основа », 2013.-160с.
- 4.Антикуз О.В. Усі уроки фізики.10 клас. Рівень стандарту. І семестр-Х.: Вид. група «Основа» 2018.-220с.
5. Антикуз О.В. Усі уроки фізики.10 клас. Рівень стандарту. ІІ семестр-Х.: Вид. група «Основа» 2018.-224с.
- 6.Фізика(рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед.освіти / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ;за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Харків : Вид-во «Ранок», 2018. —272 с. : іл.
- 7.Сиротюк В.Д.Фізика (рівень стандарту, за навч. програмою авт.колективу під керівництвом Ляшенка О.І.) : підруч.для 10-го кл. закл. заг. серед. освіти / В.Д. Сиротюк. — Київ : Генеза, 2018. — 256 с. : іл.
8. Соколович Ю.А. фізика:Довідник з прикладами розв'язування задач/Ю.А.Соколович,Г.С. Богданова.-2-ге вид.-Х.: Веста:Видавництво «Ранок»,2008.-464с.

Зміст

Вступ. Зародження і розвиток фізики як науки.....	3
Розділ 1.1 Кінематика.....	4
1. Механічний рух, траєкторія, шлях, переміщення. Основна задача механіки. Рівномірний прямолінійний рух як найпростіший вид руху.	
2. Закон додавання швидкостей. Середня швидкість.	
3. Прискорення. Рівняння рівноприскореного руху	
4. Графіки залежності кінематичних величин від часу для рівноприскореного прямолінійного руху. Графіки рівноприскореного прямолінійного руху.	
5. Вільне падіння. Прискорення вільного падіння.	
6. Рух тіла, кинутого горизонтально та під кутом до горизонту.	
7. Рівномірний рух тіла по колу.	
Розділ 1.2 Динаміка.....	18
1. Види сил у механіці. Вимірювання сил. Додавання сил. Рівнодійна.	
2. Інерціальні системи відліку. Перший закон Ньютона. Інертність та маса. Другий закон Ньютона. Третій закон Ньютона. Межі застосування.	
3. Закон Всесвітнього тяжіння. Прискорення вільного падіння. Вага. Невагомість. Перша космічна швидкість. Розвиток космонавтики, внесок українських учених у розвиток космонавтики.	
4. Сили тертя. Коефіцієнт тертя ковзання, Сили опору під час руху в рідині або газі.	
5. Рух тіла під дією кількох сил (рух тіла похилою площиною, зміна ваги тіла).	
Розділ 1.3. Елементи статички та закони збереження.....	29
1. Рівновага тіл. Момент сили, центр тяжіння тіла. Стійкість рівноваги.	
2. Консервативні (потенціальні) сили. Застосування законів збереження. Реактивний рух у природі і техніці. Пружні та не пружні зіткнення.	
3. Рівновага та рух рідини та газу. Піднімальна сила крила.	
Розділ 1.4 Механічні коливання та хвилі.....	38
1. Застосування законів механіки до коливального руху. Гармонічні коливання. Рівняння гармонічних коливань. Умови виникнення вільних коливань. Найпростіші коливальні системи-математичний та пружинний маятники. Енергія коливань.	
2. Вимушені коливання. Резонанс. Дія маятникового годинника як приклад автоколивань.	
3. Поширення механічних коливань в пружному середовищі. Поперечні та поздовжні хвилі. Інтерференція та дифракція хвиль. Звукові явища. Швидкість звуку. Класифікація звуків, їхні характеристики.	

Розділ 2. Елементи спеціальної теорії відносності.....48

1. Передумови виникнення спеціальної теорії відносності (СТВ). Дослід Майкельсона Морлі. Принцип відносності Енштейна. Основні положення спеціальної теорії відносності. Відносність одночасності подій. Відносність проміжків часу. Релятивістський закон додавання швидкостей.

2. Повна та кінетична енергія рухомого тіла. Енергія спокою. Основні наслідки СТВ та їх експериментальні підтвердження.

Розділ 3.1 Основи Молекулярно-кінетичної теорії.....51

1. Ідеальний газ. Газові закони. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини. Броунівський рух. Дифузія.

2. Маса та розміри молекул, стала Авагадро.

3. Ідеальний газ як фізична модель. Тиск газів. Основне рівняння МКТ. Температура.

4. Рівняння стану ідеального газу. Ізопроекти.

5. Вимірювання швидкості руху молекул газу. Дослід Штерна.

Розділ 3.2 Властивості пари, рідин та твердих тіл.....58

1. Властивості насиченої та ненасиченої пари.

2. Будова рідин. Поверхневий натяг рідини. Змочування. Капілярні явища.

3. Кристалічні та аморфні тіла. Рідкі кристали.

30. Види деформацій твердих тіл. Механічні властивості твердих тіл. Закон Гука. Модуль Юнга.

Розділ 3.3 Основи термодинаміки.....66

1. Основні поняття термодинаміки. Статистичний і термодинамічний підходи до пояснення теплових явищ. Термодинамічна рівновага. Температура.

2. Внутрішня енергія. Два способи зміни внутрішньої енергії. Теплоємність. Робота й кількість теплоти. I- закон термодинаміки.

3. Застосування I- закон термодинаміки до газових процесів. Обороти та не обороти процеси. II- закон термодинаміки.

4. Теплові двигуни. Цикл теплових машин. ККД теплових двигунів. Цикл Карно. Принцип дії холодильної машини. Теплові двигуни та охорона довкілля.

Розділ 4. Електричне поле.....77

1. Електричне поле. Точковий заряд. Напруженість електричного поля.

2. Провідники та діелектрики в електричному полі. Робота з переміщення заряду в електростатичному полі.

3. Робота з переміщення заряду в електростатичному полі. Потенціальний характер електростатичного поля. Потенціал. Різниця потенціалів. Еквіпотенціальні поверхні.

4. Зв'язок напруженості однорідного електричного поля з різницею потенціалів. Вимірювання елементарного електричного заряду. Дослід Йойфе-Міллікена.

5. Електроємність. Електроємність плоского конденсатора. З'єднання конденсаторів. Енергія зарядженого конденсатора.

Розділ 5. Електродинаміка.....85

1. Електричний струм, електричне коло. Постійний струм. Джерела струму. Електрорушійна сила (ЕРС). Розв'язування задач.

2. Закон Ома для повного кола. Коротке замикання. Визначення електричного опору кола з послідовним і паралельним з'єднанням провідників.

3. Вимірювання в електричних колах, шунти та додаткові опори. Робота та потужність електричного струму, теплова дія струму. Безпека під час застосування електричних пристроїв.

4. Порівняльна характеристика різних середовищ, через які може протікати електричний струм (металів, розчинів і розплавів електролітів, газів, плазми, напівпровідників): вільні носії заряду, залежність питомого опору від температури. Надпровідність.

5. Електроліз, закони електролізу. Типи самостійного розряду в газах. Застосування електричного струму в різних середовищах.

6. Термоелектронна емісія та струм у вакуумі, його застосування. Принцип дії електронно-вакуумних приладів на прикладі вакуумного діоду.

7. Власна й домішкова провідність напівпровідників, електронно-дірковий перехід і його властивості. Напівпровідниковий діод. Напівпровідникові технології та елементна база сучасної обчислювальної техніки. В.Є. Лашкарьов – перший дослідник *p-n* переходу.

8. Магнітна взаємодія та магнітне поле. Індукція магнітного поля. Магнітний момент рамки зі струмом. Дія магнітного поля на рамку зі струмом. Магнітне поле соленоїда.

9. Сила Ампера та сила Лоренца. Взаємодія струмів. Застосування дії магнітного поля на рамку зі струмом в електровимірювальних приладах та електродвигунах.

Рух зарядженої частинки в однорідному магнітному полі.

10. Магнітні властивості речовини. Діа-, пара- і феромагнетики. Залежність магнітних властивостей речовини від температури. Застосування магнітних матеріалів.

10. Досліди М. Фарадея. Електромагнітна індукція. Правило Ленца. Закон електро-магнітної індукції. Самоіндукція. ЕРС самоіндукції, індуктивність

11. Вихрове (індукційне) електричне поле. Вихрові струми. Енергія магнітного поля котушки зі струмом. Гіпотеза Д. Максвелла. Взаємозв'язок електричного та магнітного полів як прояв існування електромагнітного поля.

Фізика і астрономія [Текст]: конспекти лекцій для студентів І-го курсу усіх спеціальностей денної форми навчання / уклад. Л.І.Середа. – Луцьк:Луцький НТУ, 2019. – 104 с.

Комп'ютерний набір

Л.І. Середа

Редактор

Л.І. Середа

Підп. до друку «__» _____ 2018 р. Формат 60х84/16. Папірофс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 3,25.
Тираж 50 прим.

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ІВВ Луцького НТУ