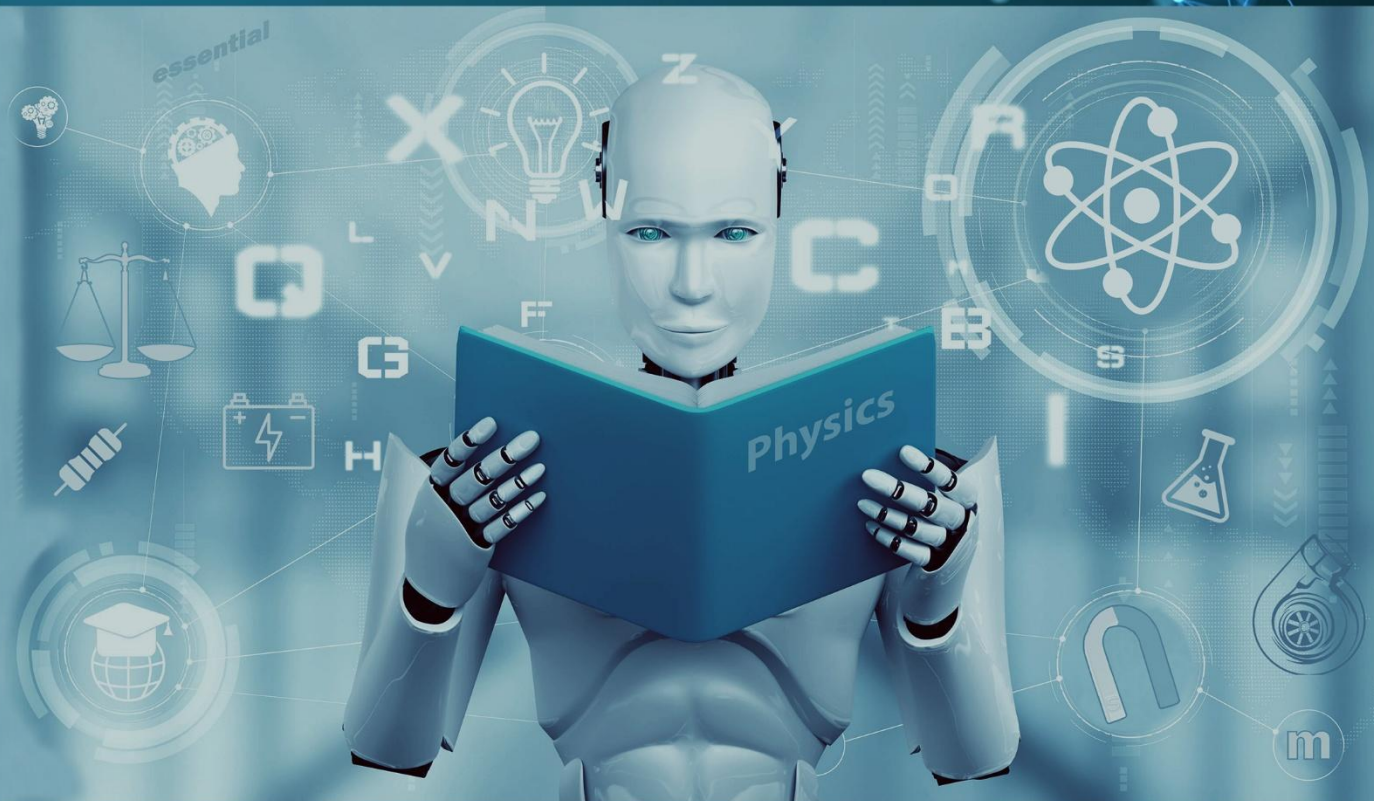


**Каленик М.В.**



# **ІСТОТНІ ОЗНАКИ КОМПОНЕНТІВ ЗМІСТУ ШКІЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ А.С. МАКАРЕНКА**

**КАЛЕНИК М.В.**

**ІСТОТНІ ОЗНАКИ КОМПОНЕНТІВ ЗМІСТУ  
ШКІЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ**

**Навчально-методичний посібник  
для студентів фізико-математичних факультетів  
педагогічних університетів**

**Суми – 2025**

УДК 53:371.32 СумДПУ імені А.С. Макаренка

К17

ISBN 978-966-698-356-8 (PDF)

*Рекомендовано до видання вченою радою Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка  
(протокол № 9 від 17.03.2025 р.)*

#### **Рецензенти:**

**Мартинюк Михайло Тадейович** – доктор педагогічних наук, професор, дійсний член (академік) НАПН України, завідувач кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

**Шкурдода Юрій Олексійович** – доктор фізико-математичних наук, професор, доцент кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету.

**Каленик М.В. Істотні ознаки компонентів змісту шкільного курсу фізики** [Електронне видання]. Суми: СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2025. – 160 с., іл.

Зміст теми або розділу шкільного курсу фізики являє собою систему його компонентів: фізичних явищ, понять (у тому числі і понять про фізичні величини), законів, фундаментальних фізичних експериментів, теорій, приладів і технічних пристроїв, способів діяльності. Зміст кожного компонента розкривається за допомогою системи тверджень про його істотні ознаки, які утворюють навчальний матеріал. Здобувачі повинні його розуміти, зберігати у довготривалій пам'яті, вміти обґрунтовувати або ілюструвати конкретними прикладами, застосовувати до різноманітних ситуацій.

У навчально-методичному посібнику описуються істотні ознаки компонентів змісту шкільного курсу фізики.

Посібник рекомендовано для використання викладачами, студентами фізико-математичних факультетів, вчителями фізики, здобувачами освіти.

УДК 53:371.32 СумДПУ імені А.С. Макаренка

ISBN 978-966-698-356-8 (PDF)

© СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2025

© Каленик М.В., 2025

## Передмова

Одиницями змісту шкільного курсу фізики є його компоненти: фізичні явища, фізичні величини, закони тощо. Компоненти змісту описуються за допомогою системи їх істотних ознак.

Інформація, що використовується під час вивчення одиниць навчального змісту, розподіляється на навчальний і дидактичний матеріал.

Навчальний матеріал складається із системи тверджень про істотні ознаки компонентів змісту шкільного курсу фізики. Здобувачі повинні його знати, розуміти, вміти обґрунтовувати, зберігати у довготривалій пам'яті.

Дидактичний матеріал – це вся інформація, за допомогою якої відбувається пізнання та засвоєння здобувачами навчального матеріалу. Дидактичний матеріал не є предметом засвоєння або заучування, адже він лише система засобів певного роду, що використовується для пояснення, ілюстрації (введення) вчителем істотних ознак. Водночас використання змісту дидактичного матеріалу здобувачами освіти під час їх відповідей дозволяє з'ясувати, наскільки вони розуміють навчальний матеріал. Крім того, формування у здобувачів умінь обґрунтовувати, пояснювати, як вони розуміють окремі твердження про істотні ознаки компонента змісту шкільного курсу фізики, спрямоване на розвиток логічного мислення, доказової мови, умінь відстоювати власну думку.

Формуванню цих умінь сприяє така організація навчального процесу, що реалізується в системах уроків різних типів, об'єднаних однією метою – засвоєння змісту одиниць навчального матеріалу і відповідних способів навчальної діяльності.

Робота з кожною частиною навчального змісту відповідає одній з таких пізнавальних структур: обґрунтування (дидактичний матеріал) – висновок (навчальний матеріал); твердження про істотну ознаку (навчальний матеріал) – пояснення або його ілюстрація (дидактичний матеріал).

Структура роботи з навчальним змістом відповідає загальній структурі роботи з текстами підручників. Здобувачі, працюючи самостійно з підручником, повинні виділити у текстах параграфів окремі частини, зрозуміти зміст обґрунтувань тих положень, які були виділені на заняттях. Цьому сприяє складання конспектів.

Формування знання про певну одиницю навчального змісту відбувається шляхом засвоєння його окремих істотних ознак, об'єднанням їх у систему, з наступним виявленням цих ознак в конкретному об'єкті і застосуванні навчального матеріалу до різноманітних ситуацій.

Зміст методичного посібника, поданий у вигляді систем істотних ознак, які розкривають зміст питань, що визначаються існуючими навчальними програмами, максимально наближений до змісту підручників з фізики.

Тексти параграфів підручників можна розділити на логічно завершені частини, в кожній з яких реалізується одна з указаних вище пізнавальних

структур, наводяться приклади застосування розглядуваного теоретичного матеріалу в сучасній техніці. Це дозволяє вчителю використати їх для висунення навчальних проблем і пояснення практичної значущості того, що вивчається.

Майбутній учитель повинен наочно побачити які істотні ознаки компонентів змісту шкільного курсу фізики засвоюють здобувачі на кожному етапі навчання фізики.

Даний методичний посібник разом з підручником фізики використовується на всіх видах занять з методики навчання фізики, що забезпечує розуміння та засвоєння здобувачами вищої освіти змісту навчального предмета.

На лекціях із загальної методики навчання фізики зміст методичного посібника може бути використаний для ілюстрації окремих теоретичних положень.

Даний методичний посібник дозволяє на лекціях із спеціальної методики фізики обмежитись науково-методичним аналізом окремих розділів, тем, головних понять, визначенням логіки введення їх змісту.

Під час лабораторних занять з методики і техніки шкільного фізичного експерименту здобувачі вводять поняття про істотну ознаку або їх систему, демонструючи досліди і залучаючи до роботи з дидактичним матеріалом. Для цього необхідно бути ознайомленими зі змістом підручників фізики, знати зміст понять, опанувати способи введення істотних ознак та їх систем, опанувати техніку демонстрування дослідів, пояснення демонстрованих явищ, з'ясування їх місця у формуванні понять, які визначені у методичному посібнику.

Семінарські заняття з загальної методики фізики, передбачають структурування окремих тем, складання й обговорення календарних планів, планів-конспектів уроків, використовуючи підручники з фізики, даний методичний посібник і шкільні програми з фізики.

Практичні заняття з методики фізики передбачають види робіт, що спрямовані на формування умінь обґрунтовувати введення головних понять певної теми, використовуючи підручники фізики і методичний посібник, виділення типів фізичних задач з даної теми й аналіз способів їх розв'язування.

# Кінематика

## *Механічний рух та його види*

1. Механічним рухом називають зміну положення тіла у просторі відносно інших тіл з часом.

2. Існують різні класифікації механічних рухів: за формою траєкторії їх поділяють на прямолінійні та криволінійні; за зміною швидкості – на рівномірні і нерівномірні. Також розрізняють поступальні, обертальні та коливальні рухи.

3. Механічний рух відносний: відносно одних тіл дане тіло рухається, водночас, відносно інших тіл може перебувати у спокої і навпаки.

4. Механічний рух безперервний. Це означає, що ні координати тіла, ні його швидкість не можуть змінюватися стрибками.

5. Основною задачею механіки є встановлення законів, за якими можна визначити положення рухомого тіла у будь-який момент часу.

## *Фізичне тіло. Матеріальна точка.*

1. У фізиці будь-який предмет, незалежно від речовини, з якої він складається, та її агрегатного стану, називають фізичним тілом.

Іноді одним і тим самим словом позначають фізичне тіло і речовину. Тому, щоб розрізнити коли мова йде про фізичне тіло, а коли про речовину, треба врахувати наступне: коли мова йде про фізичне тіло, то явно чи приховано враховують наявність у нього певної форми і розмірів.

2. При розв'язуванні багатьох фізичних задач, в яких розглядаються механічні рухи, розмірами тіла можна нехтувати.

Тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна нехтувати, називають матеріальною точкою.

3. Рухоме тіло можна вважати матеріальною точкою за умов: тіло рухається поступально; розміри тіла набагато менші за відстані, які це тіло проходить.

4. При поступальному русі всі точки тіла рухаються однаково: мають однакові швидкості, проходять рівні шляхи тощо. Тому, знаючи як рухається одна точка тіла, можна описати рух будь-якої іншої точки цього тіла, отже і всього тіла як цілого.

Ознакою поступального руху є те, що відрізок прямої, який з'єднує дві довільні точки тіла, під час руху залишається паралельним сам собі.

## *Система відліку.*

1. Для опису механічного руху матеріальної точки, визначення її положення спочатку треба вибрати тіло відліку.

Тілом відліку називають тіло, яке у даній задачі вважається нерухомим і відносно якого визначається положення інших тіл.

2. З тілом відліку пов'язують систему координат. Положення тіла, рух якого вивчається, визначається його координатами.

3. Механічний рух відбувається як у просторі, так і часі. Тому, визначаючи положення тіла, необхідно вказувати момент часу, в який тіло там перебуває. Для цього треба вибрати спосіб вимірювання часу.

4. Тіло відліку, пов'язана з ним система координат, вибраний спосіб вимірювання часу утворюють систему відліку.

5. Під час механічного руху координати тіла відносно вибраної системи відліку змінюються. Зміна координати тіла  $\Delta x = x - x_0$  або  $\Delta y = y - y_0$  завжди дорівнює різниці між кінцевою і початковою координатами.

6. Зміна координати може мати від'ємне і додатне значення. Якщо  $\Delta x < 0$ , то тіло рухається у напрямі протилежному вибраному напрямку осі ОХ. Якщо  $\Delta x > 0$ , то напрям руху тіла збігається з напрямом осі ОХ.

## *Траєкторія руху.*

1. Лінія, яку описує тіло під час свого руху, називається траєкторією.

2. Форма траєкторії руху одного й того самого тіла залежить від вибору системи відліку.

3. Безперервність механічного руху вказує на те, що траєкторія руху може бути ламаною, замкненою лінією, перетинатися сама з собою, але не може мати розривів.

## *Пройдений шлях.*

1. Довжина траєкторії, яку описує тіло за певний інтервал часу, називається пройденим шляхом.

2. Пройдений шлях – скалярна, завжди додатна фізична величина. Позначається шлях буквою  $l$  (іноді  $s$ ), вимірюється в одиницях довжини. В СІ шлях вимірюється в метрах (м).

3. Положення рухомого тіла можна визначити не тільки за допомогою його координат, а й за допомогою пройденого шляху: якщо відомі траєкторія і напрям руху, початкове положення тіла, то його нове положення визначається пройденим шляхом.

### Переміщення.

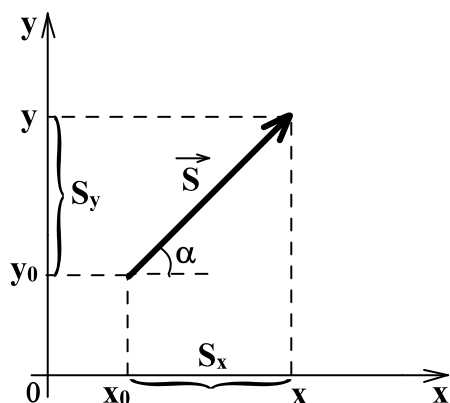
1. Положення рухомого тіла можна визначити трьома способами: за допомогою його координат, пройденого ним шляху і вектора переміщення (або просто переміщення).

2. Переміщенням називають напрямлений відрізок прямої, який з'єднує початкове положення тіла з його наступним положенням.

3. Переміщення – векторна фізична величина. Переміщення позначається  $\vec{S}$ . Додатне числове значення переміщення – модуль вектора переміщення позначається буквою  $S = |\vec{S}|$ . Вимірюється переміщення в одиницях довжини, в СІ – в метрах.

4. Модуль вектора переміщення дорівнює пройденому шляху тільки за умови прямолінійного руху тіла в одному напрямі. В інших випадках значення цих фізичних величин не збігаються. Так, якщо тіло рухається з одного положення в інше і повертається у початкове положення, то переміщення дорівнює нулю, а пройдений шлях – дорівнює всій описаній тілом довжині траєкторії.

5. Існує зв'язок між двома іншими способами визначення положення тіла – за допомогою переміщення тіла і його координатами.



Якщо з початку і кінця вектора  $\vec{S}$  опустити перпендикуляри на осі координат, то отримуємо проекції цих точок на осі  $OX$  і  $OY$ .

Координати початку вектора  $x_0, y_0$ . Координати кінця вектора  $x, y$ .

Відрізок прямої, що з'єднує проекції початку і кінця вектора на вісь координат, називається проекцією вектора на цю вісь.

Проекція вектора  $\vec{S}$  на вісь  $OX$  позначається  $S_x$ , а на вісь  $OY$  –  $S_y$ .

Проекція вектора переміщення на координатну вісь дорівнює зміні відповідної координати:

$$S_x = x - x_0, \quad S_y = y - y_0$$

Проекції вектора  $\vec{S}$  можна визначити по-іншому:

$$S_x = S \cdot \cos \alpha, \quad S_y = S \cdot \sin \alpha,$$

де  $S$  – модуль вектора  $\vec{S}$ ,  $\alpha$  – кут між напрямом вектора  $\vec{S}$  і напрямом осі  $OX$ , який відраховується за годинниковою стрілкою.

### Рівномірний прямолінійний рух.

1. Рівномірним прямолінійним рухом називається рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення.

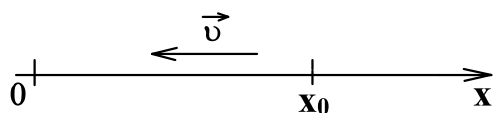
2. Під час рівномірного прямолінійного руху незмінними залишаються значення і напрям швидкості.

3. Положення матеріальної точки визначається за допомогою рівнянь руху:

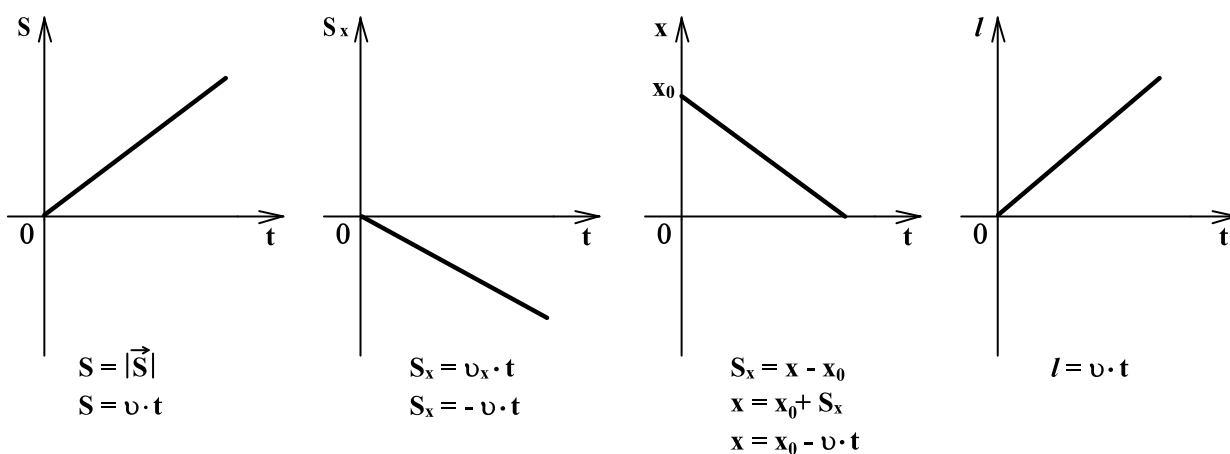
$$x = x(t), \quad \vec{S} = \vec{S}(t), \quad l = l(t)$$

$$\vec{S} = \vec{v} \cdot t, \quad S_x = v_x \cdot t, \quad x = x_0 + v_x \cdot t, \quad l = v \cdot t$$

4. Зображуючи рух на малюнку, треба на осі вказати: її напрям, початок відріку координат, початкову координату і напрям вектора швидкості. Наприклад,



Графіки рівномірного прямолінійного руху: залежність модуля переміщення від часу (а), залежність проекції переміщення від часу (б), залежність координати тіла від часу (в), залежність шляху від часу (г).



а) залежність модуля переміщення від часу    б) залежність проекції переміщення від часу    в) залежність координати тіла від часу    г) залежність шляху від часу

Будуючи графік руху, треба враховувати знаки початкової координати і проекції вектора  $\vec{S}$  на вісь координат.

Отже, графік рівномірного прямолінійного руху являє собою пряму лінію нахилenu під кутом до осі t.

## Швидкість рівномірного прямолінійного руху.

1. Під час будь-якого механічного руху змінюється положення тіла відносно інших тіл, тобто змінюються координати тіла, його переміщення і пройдений шлях. Водночас, рівномірні прямолінійні рухи відрізняються одні від одних тим, що за один і той самий інтервал часу у одних тіл положення змінюється більше або менше ніж у інших тіл.

Про це у фізиці стверджують, що рухи відрізняються швидкостями. Швидкість більша у русі того тіла, під час якого положення тіла за той самий інтервал часу змінюється більше.

2. Швидкістю рівномірного прямолінійного руху називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню переміщення тіла за будь-який інтервал часу до цього інтервалу часу:

$$\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t}$$

3. Швидкість – векторна величина. Напрямок вектора швидкості збігається з напрямком вектора переміщення (напрямком руху тіла).

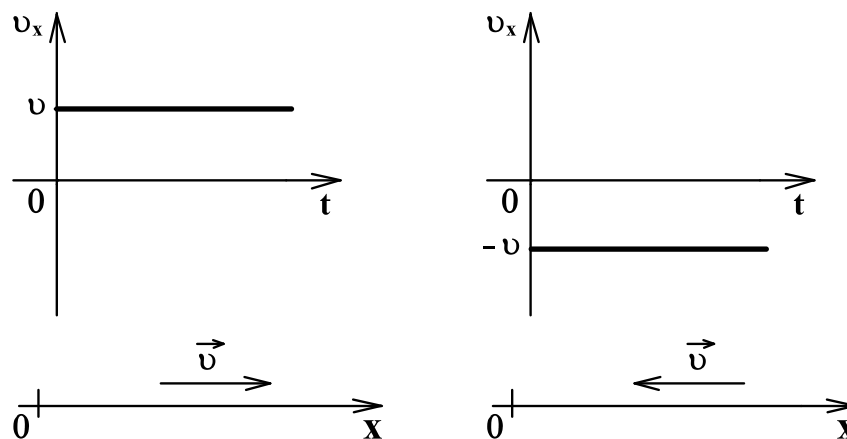
4. У СІ швидкість вимірюється в  $\frac{м}{с}$ .

5. Швидкість руху є відносною величиною. Її значення залежить від вибору системи відліку, відносно якої розглядається рух даного тіла.

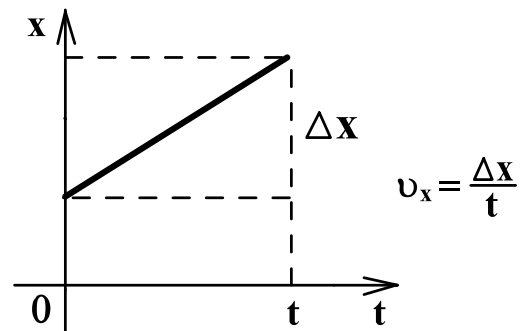
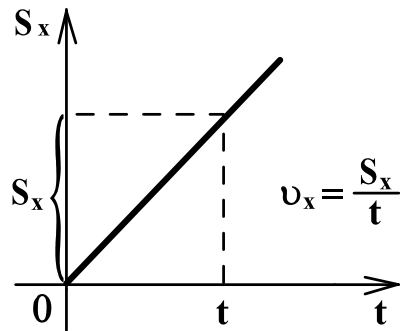
6. Проекція вектора швидкості на координатну вісь дорівнює  $v_x = \frac{S_x}{t}$ . Враховуючи, що  $S_x = x - x_0$ , можна записати  $v_x = \frac{x - x_0}{t}$ . У випадку прямолінійного рівномірного руху  $v = \frac{l}{t}$ .

7. Графік швидкості рівномірного прямолінійного руху – це пряма лінія паралельна осі часу  $t$ .

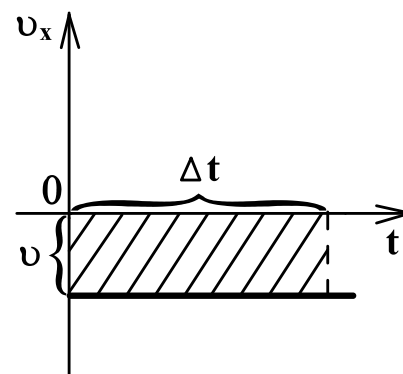
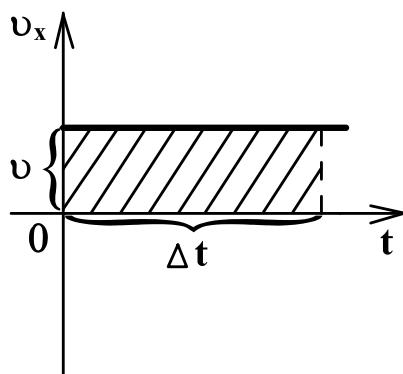
Зображуючи графік залежності проекції вектора швидкості на координатну вісь, треба враховувати знак цієї проекції.



8. Швидкість можна визначити з графіку руху:



З графіку швидкості можна визначити модуль переміщення: модуль переміщення (шляху) чисельно дорівнює площі фігури, обмеженій графіком швидкості, ординатою і абсцисою



### Відносність механічного руху.

1. Відносність механічного руху означає, що траєкторія, координати, швидкість тіла залежать від вибору системи відліку.

2. Під час розв'язування деяких задач необхідно одночасно розглядати рух тіла відносно двох систем відліку, які рухаються одна відносно одної.

У таких випадках одну систему відліку вважають нерухомою, а іншу – рухомою.

3. Переміщення  $\vec{S}$  тіла, рух якого розглядається, відносно системи відліку, що умовно вважається нерухомою, дорівнює геометричній сумі переміщення тіла відносно рухомої системи відліку  $\vec{S}_1$  і переміщення  $\vec{S}_2$  рухомої системи відліку відносно нерухомої  $\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$ .

4. Швидкість тіла  $\vec{v}_a$  відносно нерухомої системи відліку (абсолютна швидкість) дорівнює геометричній сумі швидкості тіла відносно рухомої системи відліку  $\vec{v}_b$  (відносна швидкість) і швидкості рухомої системи відліку відносно нерухомої  $\vec{v}_n$  (переносна швидкість)  $\vec{v}_a = \vec{v}_b + \vec{v}_n$ .

У цьому полягає класичний закон додавання швидкостей.

### *Середня швидкість.*

1. Під час нерівномірного руху тіла його швидкість змінюється. Для характеристики такого руху користуються поняттям середньої швидкості.

Існує два визначення середньої швидкості:

Середня швидкість – фізична величина, яка дорівнює відношенню пройденого шляху до інтервалу часу, за який тіло проходить цей шлях  $v_c = \frac{l}{t}$ .

Середня швидкість – фізична величина, яка дорівнює відношенню переміщення тіла, здійсненого за певний інтервал часу, до цього інтервалу часу  $\vec{v}_c = \frac{\vec{s}}{t}$ .

У першому визначенні  $v_c$  є скалярною величиною, у другому – векторною. Тому під час розв’язування задач зручно у більшості випадків користуватися першим визначенням середньої швидкості.

2. Середня швидкість характеризує рух на тій ділянці траєкторії, на якій вона була визначена. На різних ділянках траєкторії значення середньої швидкості відрізняються одні від одних. Тому з формули  $l = v_c \cdot t$  або  $\vec{s} = \vec{v}_c \cdot t$  не можна визначити положення тіла у будь-які моменти часу. В цих формулах під  $t$  розуміють час, за який тіло проходить відстань  $l$ , для якої визначено значення цієї середньої швидкості.

### *Миттєва швидкість.*

1. Під час рівномірного прямолінійного руху його швидкість однакова на будь-якій ділянці траєкторії, навіть настільки малій, що її можна вважати точкою. Тому, при визначенні швидкості такого руху  $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$  можна брати будь-яке переміщення і час, за який це переміщення було здійснене.

Миттєвою швидкістю називають швидкість тіла у даний момент часу або у даній точці траєкторії.

2. У випадку нерівномірного руху значення і напрям миттєвої швидкості у різних точках траєкторії відрізняються одні від одних. Тому для визначення миттєвої швидкості в таких рухах необхідно під  $\vec{s}$  розуміти настільки мале переміщення, під час якого зміною швидкості можна нехтувати, а відповідну ділянку траєкторії вважати точкою.

3. Миттєва швидкість – векторна величина. Напрямок вектора миттєвої швидкості вказує напрям руху тіла у даній точці траєкторії. У випадку прямолінійного руху вектор миттєвої швидкості спрямований вздовж траєкторії, у випадку криволінійного руху – по дотичній до траєкторії.

## Прискорення.

1. Під час нерівномірних рухів змінюється миттєва швидкість. Видом нерівномірних рухів є рівнозмінний рух.

Рухи, в яких миттєва швидкість за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково, називаються рівнозмінними.

2. Рівнозмінні рухи відрізняються одні від одних тим, що за однакові інтервали часу в одних з них миттєва швидкість змінюється більше ніж в інших і навпаки. У фізиці стверджують, що рухи відрізняються їх прискореннями.

3. Прискоренням називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню зміни швидкості до інтервалу часу, за який ця зміна сталася.

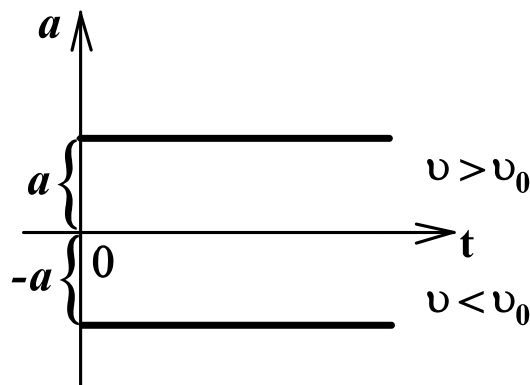
4. Прискорення позначають буквою  $\vec{a}$ . У випадку рівнозмінного руху прискорення є сталою величиною. Для його визначення необхідно знайти відношення зміни швидкості за будь-який інтервал часу до цього інтервалу часу.

Якщо  $\vec{v}_0$  – початкова швидкість,  $\vec{v}$  – швидкість тіла через інтервал часу  $\Delta t$ , то прискорення визначається формулою:  $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ . За умови, що інтервал часу відраховується від початку спостережень ( $t_0 = 0$ ), то можна записати  $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ .

5. В СІ прискорення вимірюється в  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

6. Прискорення – векторна величина. Напрямок вектора прискорення збігається з напрямком вектора зміни швидкості.

7. Якщо модуль вектора прискорення  $a = |\vec{a}|$ , а модулі початкової і кінцевої швидкостей відповідно  $v_0$  і  $v$ , то з формули  $a = \frac{v - v_0}{t}$  випливає: при збільшенні швидкості  $v > v_0$  значення прискорення додатне і такий рух називається прискореним; при зменшенні швидкості  $v < v_0$  модуль прискорення треба брати зі знаком "мінус". Такий рух називається рівносповільненим. На графіку залежність значення прискорення від часу має вигляд:

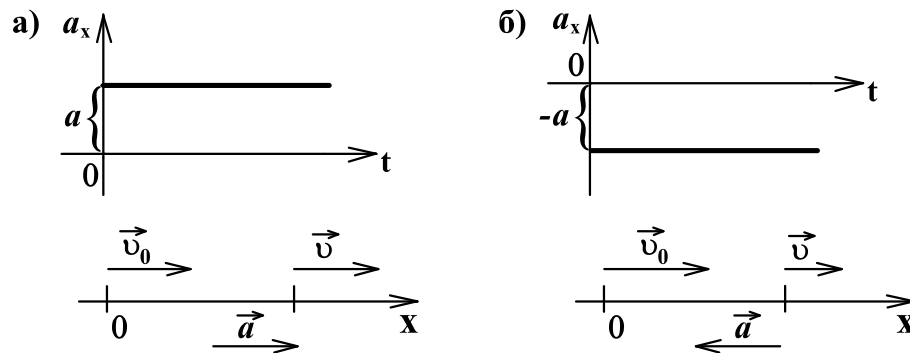


У розглянутому випадку знак "мінус" перед модулем прискорення вказує на рівносповільнений рух, а знак "плюс" – на рівноприскорений рух.

8. У випадку рівнозмінного прямолінійного руху залежність проекцій вектора прискорення на координатну вісь від часу має аналогічний вигляд, але зміст інший.

На малюнку (б) знак "-" перед символом прискорення вказує, що вектор прискорення має напрям протилежний напрямку вибраної осі X.

На малюнку (а) знак "+" перед символом прискорення вказує, що вектор прискорення має такий самий напрям як і напрям осі X.



Рух буде прискореним, тобто модуль швидкості зростатиме за умови, що напрям векторів початкової швидкості  $\vec{v}_0$  і прискорення  $\vec{a}$  збігаються.

Рух буде сповільненим, тобто модуль швидкості зменшуватиметься за умови, що напрям векторів початкової швидкості  $\vec{v}_0$  і прискорення  $\vec{a}$  протилежні.

9. Абсолютне значення прискорення не залежить від вибору системи відліку.

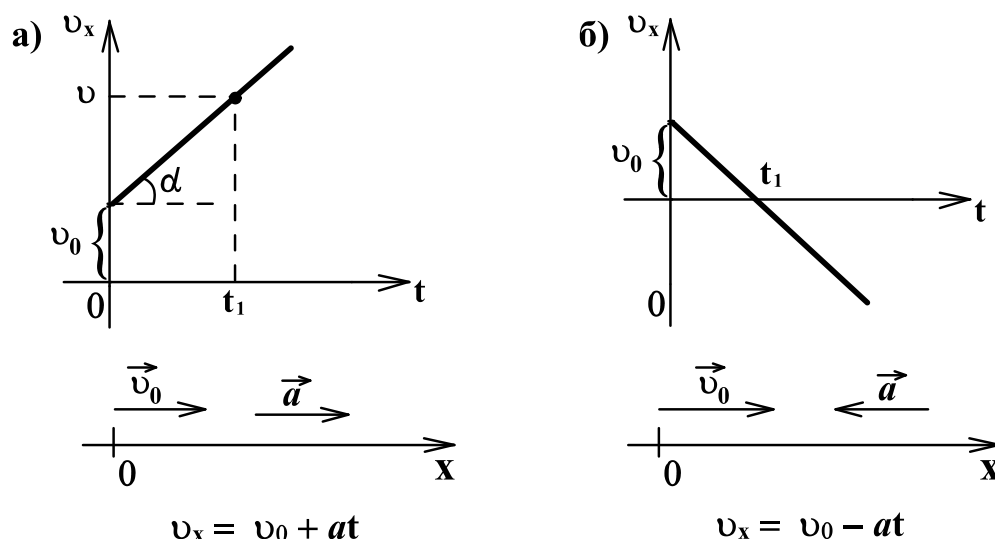
## Швидкість рівнозмінного прямолінійного руху.

1. Якщо відома початкова швидкість  $\vec{v}_0$  і прискорення  $\vec{a}$ , то у випадку рівнозмінного руху швидкість  $\vec{v}$  у будь-який момент часу визначається формулою:  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$  (рівняння швидкості).

2. Якщо тіло рухається рівнозмінно прямолінійно і вздовж траєкторії руху спрямувати координатну вісь, наприклад вісь X, то можна записати:

$$v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$$

3. Залежність швидкості від часу у рівнозмінному прямолінійному русі визначається лінійною функцією, тому графічно ця залежність зображується прямою лінією, нахиленою під певним кутом до осі t:



Залежність проекції вектора швидкості на координатну вісь від часу має вигляд:

З малюнку (б) видно, що у випадку, коли напрями векторів  $\vec{v}_0$  і  $\vec{a}$  протилежні, тіло спочатку рухається рівносповільнено, в момент  $t_1$  швидкість стає рівною нулю. В цей момент часу  $t_1 = \frac{v_0}{a}$  напрям руху змінюється на протилежний і тіло починає рухатися рівноприскорено.

4. З графіку швидкості можна визначити прискорення. Для цього треба знайти початкову швидкість  $v_0$  і швидкість у певний момент часу, наприклад  $t_1$ . Прискорення визначається з формули:  $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t_1}$ .

### Рівняння і графіки рівнозмінного прямолінійного руху.

1. Рівняння рівнозмінного прямолінійного руху:

$$\vec{S} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2},$$

або в проекціях векторів на вісь X:

$$S_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Враховуючи, що  $S_x = x - x_0$ , отримуємо:

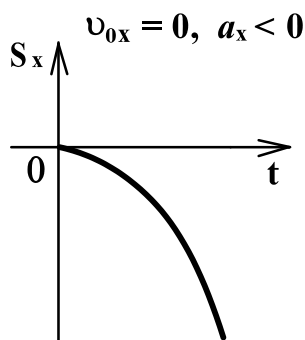
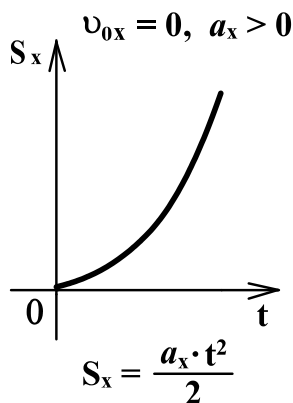
$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Об'єднуючи рівняння швидкості і руху отримуємо:

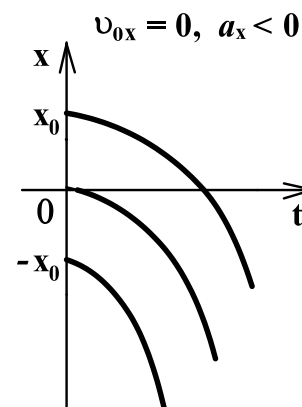
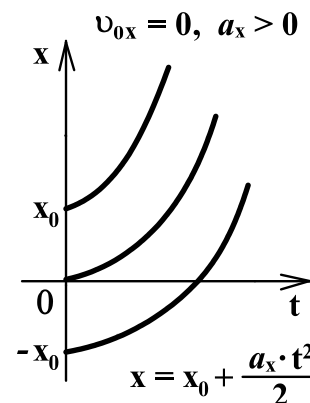
$$v_x^2 - v_{0x}^2 = 2a_x S_x$$

2. Графіки рівнозмінного прямолінійного руху (залежності  $S_x = S_x(t)$  і  $x = x(t)$ ) – параболі.

Залежність  $S_x = S_x(t)$

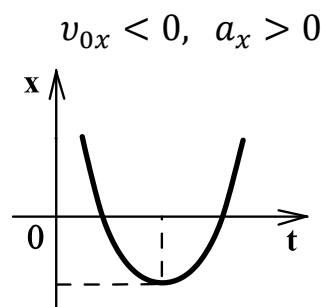
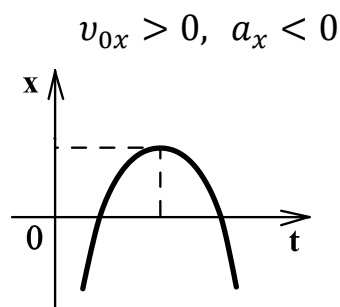


Залежність  $x = x(t)$



Якщо відомий графік  $S_x = \frac{a_x t^2}{2}$ , то для побудови графіку  $x = x_0 + \frac{a_x t^2}{2}$  треба змістити графік вздовж осі ординат так, як показано на малюнку 39.

Якщо  $v_{0x} \neq 0$  і  $x_0 \neq 0$ , то вершина параболи зміщується у точку, координати якої визначають співвідношеннями:  $x = x_0 - \frac{v_0^2}{2a}$ ,  $t = \frac{v_0}{a}$ .



Графік шляху враховує, що шлях не може зменшуватися і він дорівнює модулю переміщення тіла під час прямолінійного руху в одному напрямі.

### *Вільне падіння тіл.*

1. Рух тіла лише під впливом притягання до Землі називається вільним падінням.

2. Прискорення, якого надає всім тілам земна куля, називається прискоренням вільного падіння. Його модуль позначають буквою  $g$ . Вектор прискорення напрямлений по вертикалі вниз.

3. Прискорення вільного падіння дещо змінюється залежно від географічної широти місця на поверхні Землі. Однак, у даному місці воно є однаковим для всіх тіл. Прискорення падаючого тіла не змінюється, якщо штовхнути його вниз, надавши йому початкової швидкості  $v_0$ . Тільки зростання швидкості почнеться не від нульового значення, а від значення  $v_0$ .

4. Вільне падіння тіл є видом рівнозмінного руху. Тому формули, що описують цей рух такі самі, як і для рівноприскореного руху, враховуючи, що  $\vec{a} = \vec{g}$ . Поблизу поверхні Землі модуль прискорення вільного падіння можна вважати рівним  $9,8 \frac{m}{c^2}$ , чи, навіть  $10 \frac{m}{c^2}$ .

Якщо за початок відліку вибрати точку з якої починається падіння, а координатну вісь  $Y$  спрямувати в напрямі руху, тобто по вертикалі вниз, то напрями векторів переміщення, швидкості й прискорення збігаються, а їх проекції на вісь координат дорівнюють модулям самих векторів і можна записати:  $v = v_0 + gt$ , де  $v_0$  – швидкість тіла в момент, коли починається відлік часу; швидкість тіла у будь-якій точці траєкторії після проходження відстані  $S$  від початку відліку відстаней, визначається виразом:  $v = \sqrt{v_0^2 + 2gS}$ ; модуль переміщення  $S = v_0t + \frac{gt^2}{2}$ .

### *Рух тіла, кинутого вертикально вгору.*

1. Само собою тіло уверх не рухатиметься. Йому треба надати початкової швидкості  $\vec{v}_0$ , напрямлену вертикально вгору.

2. Кинуте вгору тіло рухається з таким самим прискоренням, як і тіло, що вільно падає. Рух тіла кинутого вгору – це також прямолінійний рівнозмінний рух, і формули, встановлені для вільного падіння тіла, придатні для опису руху тіла кинутого вгору.

Записуючи формули для цього руху, слід врахувати, що вектор прискорення  $\vec{g}$  напрямлений проти вектора початкової швидкості.

3. Максимальну висоту, на яку піднімається тіло, кинуте вертикально вгору, визначається за формулою:  $h_{max} = \frac{v_0^2}{2g}$ . Час, потрібний для піднімання на висоту  $h_{max}$ , дорівнює:  $t = \frac{v_0}{g}$ .

4. Після того, як тіло досягне висоти  $h_{max}$  воно починає падати вниз.

Швидкість тіла в момент падіння на Землю, або, взагалі, туди, звідки воно було кинуте, дорівнює за абсолютною величиною початковій швидкості, а час падіння тіла дорівнює часу його підймання.

## *Рівномірний рух матеріальної точки по колу.*

1. Рівномірним рухом називають рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу проходить однакові шляхи. Іншими словами, значення швидкості, що дорівнює відношенню шляху до часу, за який цей шлях пройдено, не змінюється.

Якщо тіло рухається по колу, то пройдений шлях дорівнює довжині дуги, яку описало тіло за відповідний інтервал часу. Швидкість, яка чисельно дорівнює відношенню цієї довжини дуги до часу, називається лінійною швидкістю.

Рух по колу вважається рівномірним, якщо модуль вектора лінійної швидкості не змінюється.

Лінійна швидкість напрямлена по дотичній до траєкторії руху.

2. Рух тіла по колу характеризується не тільки лінійною, а й кутовою швидкістю. Позначається кутова швидкість буквою  $\omega$  (омега).

Кутовою швидкістю обертання тіла називають фізичну величину, що чисельно дорівнює відношенню кута повороту радіуса  $\Delta\varphi$ , проведеного з центра кола до точки тіла, до часу  $\Delta t$ , за який цей поворот відбувся:  $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ .

У СІ кутова швидкість вимірюється в радіанах за секунду  $\left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right)$ .

3. Часто швидкість руху тіла по колу характеризується ще й кількістю повних обертів тіла навколо осі обертання за одиницю часу,  $n$ .

Число обертів за одиницю часу записують в одиницях  $\frac{\text{об}}{\text{с}}$ .

4. Періодом  $T$  обертання називають час одного повного оберту.

Величину  $\nu$ , обернену до періода, називають частотою обертання:  $\nu = \frac{1}{T}$ .

У СІ період обертання вимірюється в секундах (с), а частота обертання  $\frac{1}{\text{с}}$ .

5. Між величинами, що характеризують рівномірний рух по колу, існують зв'язки:

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

### *Доцентрове прискорення.*

1. Користуючись висловленням "рівномірний рух по колу", маємо на увазі той факт, що модуль лінійної швидкості не змінюється.

Але, напрям лінійної швидкості увесь час змінюється. Прискорення  $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$ . Тому, якщо змінюється напрям швидкості, то  $(\vec{v} - \vec{v}_0)$  не дорівнює нулю. Це означає, що відмінне від нуля і прискорення, а рух по колу завжди змінний рух.

2. Якщо матеріальна точка рухається по колу зі сталою кутовою швидкістю або не змінною по модулю лінійною швидкістю, то прискорення цього руху увесь час буде напрямлене до центру. Тому його називають доцентровим прискоренням.

3. Модуль доцентрового прискорення обчислюється за формулами:

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

4. Якщо відомі початкова швидкість тіла й абсолютне значення його доцентрового прискорення, то можна зобразити коло, по якому рухатиметься тіло, адже  $R = \frac{v^2}{a}$ . Знаючи початкове положення тіла, можна знайти його положення у будь-який момент часу, тим самим буде розв'язана основна задача механіки.

# Динаміка

## *Перший закон Ньютона.*

1. Існують такі системи відліку, відносно яких ізольовані тіла, або тіла, на які дії інших тіл компенсуються, рухаються прямолінійно і рівномірно або перебувають у стані спокою.

У цьому полягає перший закон Ньютона, який часто називають законом інерції.

Коли стверджують, що дії двох або кількох тіл компенсують одна одну, то це означає, що результат їх спільної дії такий самий ніби цих тіл зовсім не було.

2. Ті системи відліку, відносно яких тіло в разі компенсації зовнішніх дій рухається прямолінійно і рівномірно або перебуває у стані спокою, називають інерціальними системами відліку.

3. Поняття інерціальної системи відліку є абстракцією, яка реалізується на практиці наближено.

Вибір системи відліку, яку можна вважати інерціальною, визначається дослідом. У першому наближенні, під час розв'язування багатьох задач механіки, можна вважати систему відліку, пов'язану з Землею, інерціальною системою відліку.

Якщо нам відома з досліду хоча б одна інерціальна система відліку, то інерціальною є також будь-яка інша система відліку, що рухається відносно неї прямолінійно і рівномірно.

4. У всіх інерціальних системах відліку механічні процеси відбуваються однаково.

У цьому полягає принцип відносності Галілея.

## *Інерція та інертність.*

1. Явище збереження швидкості руху тіла, за відсутності зовнішніх впливів на нього з боку інших тіл, називається інерцією.

Інерція – явище природи виявляється у наступному: будь-яке матеріальне тіло з того моменту часу, в який дії на нього інших тіл компенсуються, продовжує рухатися з тією швидкістю, яку тіло мало у цей момент часу.

Не має сенсу твердження про те, що одне тіло зберігає стан свого руху краще, а інше – гірше.

Про тіло, яке продовжує рухатися після того, як зовнішній вплив на нього припиняється, кажуть, що воно рухається за інерцією.

2. Інертність – властивість матеріальних тіл, яка полягає у тому, що для зміни швидкості тіла на задану величину треба, щоб дія на нього певного іншого тіла тривала деякий час.

Тіла відрізняються одні від одних цією властивістю.

Інертність виявляється під час взаємодії тіл. Від цієї властивості залежить прискорення тіла, яке виникає внаслідок взаємодії цього тіла з іншими тілами.

## *Маса тіла.*

1. Маса тіла – міра інертності тіл. Чим більша маса тіла, тим більша його інертність.

2. Маса тіла – скалярна величина. Її позначають буквою  $m$ . В СІ маса вимірюється в кілограмах (кг).

За одиницю маси прийнята маса еталона, виготовленого у вигляді циліндру із сплаву платини й іридію. У кожній країні є копії цього еталону.

3. Маса тіла вимірюється відношенням прискорення еталона маси до прискорення тіла під час його взаємодії з еталоном:  $\frac{m_T}{m_{ет}} = \frac{a_{ет}}{a_T}$ , де  $m_T$  і  $m_{ет}$  відповідно маси тіла і еталону,  $a_{ет}$  і  $a_T$  – модулі їх прискорень.

Якщо відома маса одного тіла, то для визначення маси іншого тіла треба: привести їх у взаємодію; виміряти прискорення цих тіл, а потім визначити масу, враховуючи, що відношення абсолютних значень прискорень двох взаємодіючих тіл дорівнює оберненому відношенню їх мас  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$ .

4. Маса тіла, враховуючи його власну властивість (інертність), не залежить від того, в яких взаємодіях тіло брало участь. За умови руху тіла зі швидкістю набагато меншою швидкості світла у вакуумі маса тіла не залежить від швидкості його руху.

5. Коли два або кілька тіл з'єднуються в одне, їх маси додаються.

6. Маса водночас є кількісною характеристикою гравітаційних властивостей тіл.

Між усіма тілами існують сили взаємного притягання – гравітаційні сили. Від маси тіла залежить сила, з якою тіло притягується до інших тіл, зокрема до Землі.

Ця властивість тіл використовується і в іншому способі вимірювання маси – зважуванні на важільних терезах.

7. Масу тіла, яке складається з однієї речовини, можна визначити, знаючи густину цієї речовини  $\rho$  і об'єм тіла  $V$ :  $m = \rho \cdot V$ .

## Густина речовини.

1. Тіла, які складаються з будь-якої речовини, мають масу. Водночас, речовини відрізняються одні від одних тим, що виготовлені з них тіла однакового об'єму мають різну масу. У фізиці говорять, що речовини відрізняються їх густиною.

2. Густина речовини – фізична величина, яка вимірюється відношенням маси тіла, зробленого з цієї речовини, до його об'єму. Позначається густина речовини буквою  $\rho$  (ро).  $\rho = \frac{m}{V}$ .

3. В СІ густина речовини вимірюється в  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

## Сила.

1. Твердження "на тіло діє сила" означає, що на це тіло діє інше тіло, наслідком чого стає зміна швидкості даного тіла, або його окремих частин.

Сила – фізична величина, яка характеризує механічну дію одного тіла на інше тіло, наслідком чого стає зміна швидкості тіла або його частин.

2. Сила позначається буквою  $\vec{F}$ .

$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ , де  $m$  – маса тіла, на яке діє сила  $\vec{F}$ ,  $\vec{a}$  – прискорення, якого набуває тіло під дією цієї сили.

Записану формулу треба розуміти так: одна й та сама сила, діючи на тіла різної маси, надає цим тілам таких прискорень, що добуток маси на прискорення матиме одне й те саме значення.

3. Сила – векторна величина. Вектор сили і вектор прискорення, якого надає тілу ця сила, мають однакові напрямки.

4. Сила характеризується її значенням, напрямком і точкою прикладання. Тому, зображуючи вектор сили  $\vec{F}$ , треба врахувати всі три характеристики сили.

5. В СІ сила вимірюється в ньютонах (Н). 1Н – це сила, яка надає тілу масою 1кг прискорення  $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

6. Вимірюється сила за допомогою приладу – динамометра.

7. Якщо на тіло діють одна або кілька пар сил, у кожній парі сили мають однакові значення і напрямлені протилежно, то тіло перебуває у стані спокою або рухається рівномірно і прямолінійно.

Якщо на тіло діятиме не одна, а кілька сил одночасно, то ці сили можна додати за правилом паралелограма і знайти рівнодійну всіх прикладених сил.

Рівнодійною називається сила, яка діє так само, як кілька сил, що додаються.

Значення рівнодійної двох сил, які діють вздовж однієї прямої в одному напрямі, дорівнює сумі значень цих сил. Ця рівнодійна сила напрямлена так само, що і сили, які додаються.

Значення рівнодійної двох сил, що діють вздовж однієї прямої в протилежних напрямках, дорівнює різниці значень цих сил. Ця рівнодійна сила напрямлена у бік більшої сили.

### *Імпульс тіла.*

1. Імпульсом тіла називають фізичну величину, яка дорівнює добутку маси тіла на його швидкість.

Позначається імпульс тіла буквою  $\vec{p}$ .

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Імпульс тіла часто називають кількістю руху тіла.

2. Імпульс тіла (кількість руху) – векторна величина. Напрямок вектора імпульсу тіла збігається з напрямком вектора швидкості.

3. В СІ імпульс тіла (кількість руху) вимірюється в  $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$ .

### *Другий закон Ньютона.*

1. Одне з формулювань другого закону Ньютона: прискорення тіла прямо пропорційне діючій на тіло силі і обернено пропорційне масі тіла

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

Цей закон формулюється і так: сила, що діє на тіло, дорівнює добутку маси цього тіла на прискорення, надане цією силою

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

2. Незалежно від його формулювання сутність другого закону Ньютона полягає в наступному: знаючи силу, яка діє на тіло, масу цього тіла, можна знайти прискорення; знаючи прискорення, початкові координату і швидкість тіла, з рівнянь кінематики можна визначити положення тіла у будь-який момент часу, тобто розв'язати основну задачу механіки.

Тому другий закон Ньютона називають ще рівнянням руху.

3. У загальному випадку, коли на тіло діє не одна, а кілька сил, то у формулі, яка виражає другий закон Ньютона під  $\vec{F}$  розуміють рівнодійну цих сил.

4. Другий закон Ньютона, як і інші два закони динаміки, справджується в інерціальних системах відліку і коли тіло можна вважати матеріальною точкою.

5. З другого закону Ньютона випливає, що напрям прискорення тіла завжди збігається з напрямом рівнодійної сили, яка діє на тіло. Цього не можна стверджувати відносно швидкості, адже рівнодійна сил і швидкість тіла, на яке діє ця сила можуть мати різні напрями. Тому помилковим є твердження, "тіло рухається обов'язково в напрямку діючої на нього сили".

6. Існує ще одне формулювання цього закону, яке належить самому Ньютону: зміна імпульсу тіла пропорційна діючій силі і відбувається у напрямі тієї прямої, вздовж якої ця сила діє.

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

де  $\Delta \vec{p} = \vec{m}\vec{v} - \vec{m}\vec{v}_0$ ,  $\vec{m}\vec{v}_0$  – імпульс тіла до дії сили,  $\vec{m}\vec{v}$  – імпульс тіла після дії сили,  $\Delta t$  – час дії сили.

7. Останню формулу можна записати у вигляді

$$\vec{F}\Delta t = \vec{m}\vec{v} - \vec{m}\vec{v}_0$$

Фізична величина  $\vec{F}\Delta t$  має назву імпульсу сили, яка вимірюється в СІ в  $\text{Н} \cdot \text{с}$ .

З цієї формули випливає: величина імпульсу тіла змінюється під дією даної сили однаково у всіх тіл, якщо час дії сили однаковий.

### *Третій закон Ньютона.*

1. Третій закон Ньютона: два тіла взаємодіють між собою з силами, рівними за числовими значеннями і протилежними за напрями  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ .

2. Дві сили, які згідно третього закону Ньютона виникають одночасно під час взаємодії тіл, завжди мають одну природу.

3. Рівні за модулем і протилежні за напрямом сили дії і протидії прикладені до різних тіл. Тому вони не можуть зрівноважувати одна одну.

### *Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційна сила.*

1. Між усіма тілами у природі діють сили взаємного притягання або гравітаційні сили.

2. Ньютон установив закон, який має назву закону всесвітнього тяжіння: тіла притягуються одне до одного з силами, модуль яких пропорційний добутку мас цих тіл і обернено пропорційний квадрату відстані між ними

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

3.  $G$  – гравітаційна стала. Вона чисельно дорівнює силі притягання двох тіл масою 1 кг кожне на відстані між ними 1 м.

В СІ гравітаційна стала вимірюється в  $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ .

4. Записана формула, що виражає закон всесвітнього тяжіння, застосовується за умов: а) коли тіла можна розглядати як матеріальні точки, тобто їх розміри набагато менші за відстані між ними; б) коли тіла мають форму куль; в) коли одне тіло має форму кулі, а друге можна розглядати як матеріальну точку.

5. Сила всесвітнього тяжіння напрямлена в цих випадках уздовж прямої, що з'єднує або матеріальні точки, або центри куль, або центр кулі і матеріальну точку.

6. Для визначення сили всесвітнього тяжіння між тілами, які не задовольняють указаним умовам, треба: взаємодіючі тіла поділити на такі частини, які можна вважати матеріальними точками; знайти сили притягання між кожною парою цих частин тіла; знайти рівнодійну цих сил.

### *Сила тяжіння.*

1. Одним із проявів всесвітнього тяжіння є сила притягання тіл до планет, зокрема до Землі. Ця сила має назву сили тяжіння.

2. Якщо  $M_3$  – маса Землі,  $m$  – маса тіла,  $R$  – відстань від центру Землі до тіла, то сила тяжіння дорівнює:

$$F = G \frac{M_3 \cdot m}{R^2}$$

За другим законом Ньютона прискорення, яке надає сила тяжіння дорівнює:

$$a = \frac{F}{m} = G \frac{M_3}{R^2}$$

З цієї формули видно, що прискорення, яке надає тілу сила тяжіння, не залежить від маси тіла. Воно однакове для всіх тіл. Якщо це прискорення позначити буквою  $\vec{g}$ , то сила тяжіння дорівнює

$$\vec{F}_T = m\vec{g}$$

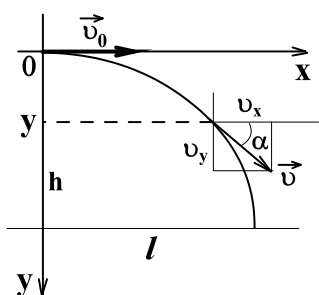
3. Прискорення вільного падіння і сила тяжіння залежать від висоти тіла над поверхнею Землі  $h$ , адже відстань від центру Землі до тіла  $R = R_3 + h$ , де  $R_3$  – радіус Землі.

### *Рух під дією сили тяжіння: тіло кинуте горизонтально.*

У початковий момент часу тіло перебуває на деякій висоті  $h$  і має швидкість  $\vec{v}_0$ , яка напрямлена горизонтально. На тіло діє тільки сила тяжіння (опором повітря руху тіла нехтуємо).

Для опису руху цього тіла треба знати: як змінюються координати тіла, яка траєкторія руху, як визначити швидкість цього тіла у будь-який момент часу.

1. Під час руху тіла змінюється значення і напрям швидкості його руху  $\vec{v}$ .



Оскільки на тіло діє тільки сила тяжіння, яка надає тілу прискорення  $\vec{g}$ , то під час руху тіла змінюватиметься тільки проекція швидкості на вісь ОУ, а проекція швидкості на вісь ОХ матиме одне й те саме значення.

$$\text{Отже, } v_x = v_0, v_y = gt \text{ або } v_y = \sqrt{2gy}.$$

Тому, значення швидкості руху тіла у будь-який момент часу дорівнює  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gy}$ .

Напрямок цієї швидкості визначається кутом, який утворює вектор  $\vec{v}$  з віссю ОХ:  $\cos\alpha = \frac{v_x}{v} = \frac{v_0}{\sqrt{v_0^2 + 2gy}}$  або  $\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{\sqrt{2gy}}{v_0}$ .

2. Координата  $x$  змінюється за законом:  $x = v_0 \cdot t$ . Координата  $y$  змінюється за законом:  $y = \frac{gt^2}{2}$ .

Якщо час руху тіла до поверхні, від якої визначається висота  $h$  дорівнює  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  ( $h = \frac{gt^2}{2}$ ), то дальність польоту  $l = v_0 \cdot t = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$ .

3. У всіх випадках, коли тіло рухається у площині, то для з'ясування яка траєкторія руху треба знати залежності  $x = x(t)$  і  $y = y(t)$ .

Виключаючи час  $t$ , встановлюється зв'язок між координатами  $y$  і  $x$ . Вид цієї залежності і вказує на форму траєкторії руху в системі відліку, в якій визначені залежності координат від часу.

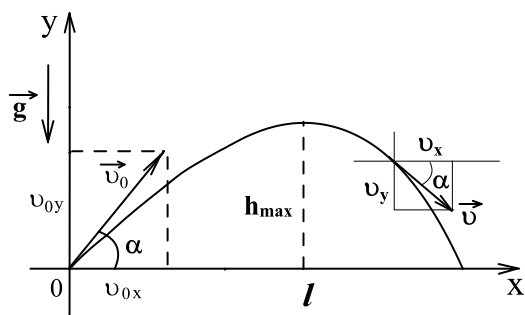
$$\begin{cases} x = v_0 \cdot t \\ y = \frac{gt^2}{2} \end{cases} \text{ звідси } y = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2 \quad (y = kx^2).$$

Таким чином, траєкторія руху тіла – парабола.

### *Рух під дією сили тяжіння: тіло кинуте під кутом до горизонту.*

Тіло кинуте під кутом  $\alpha$  до горизонту з початковою швидкістю  $v_0$ . На тіло діє тільки сила тяжіння (опором повітря руху тіла нехтуємо).

Для опису руху цього тіла треба знати: як змінюються координати тіла; яка траєкторія руху; які значення найбільшої висоти підняття тіла і дальності польоту; як визначити швидкість тіла у будь-який момент часу.



1. Початкова швидкість  $\vec{v}_0$  напрямлена під кутом  $\alpha$  до горизонту. Тому для з'ясування залежності  $x = x(t)$  і  $y = y(t)$  треба знати проєкції початкової швидкості на осі координат  $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ ,  $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ .

2. Координати тіла змінюються:

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

$$y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}.$$

Сила тяжіння надає тілу прискорення  $\vec{g}$ , яке напрямлене вздовж осі Y.

3. Час, за який тіло досягає максимальної висоти:  $t_0 = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ .

Такий самий час тіло рухається від найвищої точки траєкторії до поверхні, з якої кинули тіло. Тому увесь час руху  $t = 2t_0$ .

4. Найбільша висота підйому  $h_{max} = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ .

Дальність польоту:  $l = v_{0x}t = v_0 \cos \alpha t \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2v_0 \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g} = \frac{v_0 \sin 2\alpha}{g}$ .

5. Проєкція швидкості руху тіла  $v_y$  на вісь Y змінюється за законом:

$$v_y = v_{0y} + g_y t \text{ або } v_y = v_0 \sin \alpha - gt,$$

а на вісь X – за законом:  $v_x = v_{0x}$ ,  $v_x = v_0 \cos \alpha$ .

Значення швидкості руху у будь-які моменти часу:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Напрямок швидкості визначається кутом  $\alpha$ :

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v} \text{ або } \operatorname{tg}\alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

6. Траєкторія руху – парабола:

$$\begin{cases} x = v_0 \cos\alpha t \\ y = v_0 \sin\alpha t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

$$\text{Звідси } y = \operatorname{tg}\alpha x - \frac{g}{v_0^2 \cos^2\alpha} \cdot x^2.$$

### Штучні супутники Землі.

1. Якщо тілу, що знаходиться на висоті  $h$  над поверхнею Землі, надати в горизонтальному напрямі швидкості, яка визначається формулою

$$v = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3 + h}},$$

то воно стане штучним супутником Землі.

2. Супутником Землі може стати тіло будь-якої маси за умови надання цьому тілу в горизонтальному напрямі швидкості, яка обчислюється за вказаною формулою.

Ця швидкість має назву першої космічної швидкості.

Якщо штучний супутник Землі запускається на орбіту поблизу від її поверхні, то  $v = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}} = \sqrt{g_0 R_3}$ , адже  $g_0 = G \frac{M_3}{R_3^2}$ .

Перша космічна швидкість дорівнює  $\approx 8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  (точніше  $7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ ).

3. Для того щоб подолати притягання до Землі й вийти на орбіту навколо Сонця, тілу треба надати другої космічної швидкості  $11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

Таким чином, якщо горизонтальна швидкість більша за  $7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ , але менша за  $11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ , то космічний апарат рухається навколо Землі по криволінійній траєкторії – еліпсу. Якщо швидкість стає  $11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  або більшою, то космічний апарат покидає Землю назавжди.

4. Швидкість руху супутника з'ясовується відносно системи відліку пов'язаною з центром Землі і "нерухомими" зорями. У цій системі осі координат не обертаються разом із Землею, тобто спостерігач ніби перебуває в центрі Землі і не бере участь в її обертанні.

## Деформація тіл.

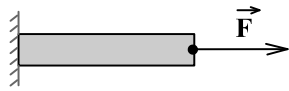
1. Деформацією називається зміна форми або об'єму тіла.
2. Деформація є результатом неоднакових переміщень окремих частин деформованого тіла.

Зовнішні тіла діють на деформоване тіло, надають окремим його частинам таких прискорень, що ці частини здійснюють різні переміщення.

3. Деформації, що повністю зникають після того, як на деформоване тіло перестають діяти зовнішні тіла (сили), називаються пружними.

Деформації, що не зникають після того, як на деформоване тіло перестають діяти інші тіла (сили), називаються пластичними.

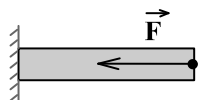
4. Існують різні види деформації твердих тіл, але їх можна звести до двох видів: розтягу (або стискання) і зсуву.



Якщо до однорідного стержня, закріпленого з одного кінця, прикласти силу  $\vec{F}$  вздовж осі стержня у напрямі від нього, то в стержні виникне деформація розтягу.

Деформація розтягу характеризується абсолютним видовженням  $\Delta l = l - l_0$  і відносним видовженням  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ , де  $l_0$  – початкова довжина, а  $l$  – кінцева довжина стержня.

При малих деформаціях ( $\Delta l \ll l_0$ ) деформації більшості тіл пружні.



Якщо на закріпленій стержень діяти силою  $\vec{F}$ , яка напрямлена вздовж його осі до стержня, то у стержні виникає деформація стиснення. У цьому випадку  $\varepsilon < 0$ .

Під час деформації розтягу відстані між частинками тіла (атомами, молекулами) збільшуються, а при стисненні – зменшуються.

## Сила пружності.

1. Під час деформації тіла виникає сила пружності, яка прагне відновити початкову форму і розміри тіла.

Причиною виникнення сили пружності є молекулярні сили притягання і відштовхування, що виникають при зміні відстаней між частинками, з яких складаються тіла. Тому сила пружності існує між частинами одного й того самого деформованого тіла. З цією силою деформовані тіла діють на інші тіла, які прагнуть змінити форму і розміри даного тіла.

2. При деформації канатів, ниток виникає сила пружності, яка має назву сили натягу. Якщо масою нитки можна нехтувати, то сила натягу в усіх її точках однакова.

Якщо тіло лежить на опорі, то внаслідок деформації тіла і опори в них виникають сили пружності, яка за третім законом Ньютона, рівні за величиною. Силу пружності, з якою опора діє на тіло, що знаходиться на ній, називають силою нормального тиску  $\vec{N}$ . Вона напрямлена перпендикулярно поверхні опори.

3. Сила пружності напрямлена у бік, протилежний напрямку зміщення частинок тіла під час деформації.

4. Значення сили пружності визначається за законом Гука.

### *Закон Гука.*

1. Досліджуючи пружні деформації різних тіл, англійський фізик Р. Гук експериментально встановив, що при деформаціях у пружних тілах їх видовження чи скорочення прямо пропорційне силі, яка їх розтягує або стискує:

$$F_{\text{прх}} = -kx,$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який називається жорсткістю,  $x$  – абсолютна деформація (лінійне видовження  $x = \Delta l$ ).

2. Жорсткість характеризує здатність тіла чи конструкції протидіяти деформації.

Жорсткість тіла залежить від форми і розмірів тіла, і від матеріалу, з якого воно виготовлено. В СІ вона виражається в  $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

3. Знак "мінус" у формулі означає, що сила пружності напрямлена в бік, протилежний деформації.

4. Закон Гука добре виконується лише для малих деформацій.

### *Механічна напруга. Модуль Юнга.*

1. У будь-якому перерізі деформованого тіла діють сили пружності.

Стан деформованого тіла характеризується особливою величиною, яка має назву напруги, або, точніше, механічної напруги.

Напруга – величина, що дорівнює відношенню модуля  $F$  сили пружності до площі поперечного перерізу  $S$  тіла:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

В СІ за одиницю напруги прийнято  $1\text{Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ .

2. Користуючись поняттям напруги закон Гука можна сформулювати так: за малих деформацій напруга  $\sigma$  прямо пропорційна відносному видовженню  $\varepsilon$ :

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

Відносне видовження у формулі взято по модулю, тому що закон Гука справджується для деформації розтягу  $\varepsilon > 0$  і деформації стискання  $\varepsilon < 0$ .

3. Коефіцієнт пропорційності  $E$ , що входить до закону Гука, має назву модуля пружності або модуля Юнга.

Модуль Юнга дорівнює нарузі, що виникає при збільшенні довжини зразка вдвічі, а це можливо при дуже малих деформаціях.

Між модулем Юнга і жорсткістю  $k$  зв'язок:

$$\frac{S \cdot E}{l_0} = k$$

Жорсткість стержня  $k$  прямо пропорційна добутку модуля Юнга на площу поперечного перерізу зразка і обернено пропорційна його довжині.

### *Вага тіла.*

1. Сила, з якою тіло, внаслідок притягання до Землі, діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс, називається вагою тіла.

2. Вага тіла прикладена до опори або підвісу і напрямлена вертикально вниз.

3. Якщо опора чи підвіс і тіло, що знаходиться на них перебувають у стані спокою, або прямолінійного рівномірного руху, то вага тіла дорівнює силі тяжіння, що діє на це тіло:

$$P = mg$$

4. Під час прискореного руху тіла і опори вага тіла відрізнятиметься від сили тяжіння і дорівнює:

$$P = m(g \pm a)$$

Якщо прискорення  $\vec{a}$  напрямлене вгору, то вага тіла збільшується. Якщо прискорення  $\vec{a}$  напрямлене вниз, то вага тіла зменшується.

5. У деяких випадках під вагою розуміють дію тіла на вертикальну опору під час обертання тіла разом з опорою у горизонтальній площині.

### *Невагомість. Перевантаження.*

1. Унаслідок притягання до Землі, тіло, яке знаходиться на опорі, взаємодіє з нею. Тіло і опора деформовані. Сила пружності, яка зумовлена деформацією опори, діє на тіло і має назву реакції опори. Водночас, сила пружності, зумовлена деформацією тіла, діє на опору і називається вагою тіла. Ці дві сили – сила реакції опори і вага тіла – за третім законом Ньютона однакової природи, рівні за величиною, мають протилежні напрями і прикладені до різних тіл.

Отже, тіло, що має вагу, деформоване і одні частини тіла чинять тиск на сусідні частини тіла. У людини це створює відчуття вагомості.

2. Якщо тіло вільно падає разом з опорою або підвісом, тобто прискорення руху  $\vec{a} = \vec{g}$ , то вага тіла дорівнює нулю. Тіло перебуває у стані невагомості, в якому деформації тіла, що виникають в результаті дії сили тяжіння і взаємодії з опорою, зникають. У людини виникає специфічне відчуття.

3. Під час прискореного руху тіла і опори з прискоренням, напрямленим вертикально вгору, вага тіла виявляється більшою за діючу на нього силу тяжіння. Збільшення ваги тіла, зумовлене прискореним рухом опори чи підвісу, називають перевантаженням.

### *Сила тертя спокою.*

1. Якщо на одне із стичних тіл, які не рухаються одне відносно одного, діє сила напрямлена сила по поверхні дотику цих тіл, то виникає сила тертя спокою.

Сила тертя спокою прикладена до поверхонь дотику стичних тіл і напрямлена протилежно напрямку сили, яка прагне зрушити одне з цих тіл.

2. Особливості сили тертя спокою:

Сила тертя спокою за модулем дорівнює прикладеній до одного із стичних тіл зовнішній силі. Тому до виникнення ковзання сила тертя спокою може мати будь-який напрям і може набувати будь-якого значення від нуля до певного максимального.

Максимальна сила тертя спокою пропорційна сили нормального тиску:

$$F_{\text{тер.мах}} = \mu \cdot N$$

де  $F_{\text{тер.мах}}$  і  $N$  – модулі відповідно максимальної сили тертя спокою і сили нормального тиску,  $\mu$  – коефіцієнт тертя спокою.

Для однієї і тієї самої сили нормального тиску  $N$  максимальна сила тертя спокою ( $a$ , отже, коефіцієнт  $\mu$ ) залежать від фізичної природи тіл, які дотикаються, й обробки їх поверхонь.

Для однієї і тієї самої сили нормального тиску  $N$  максимальна сила тертя спокою ( $a$ , отже, коефіцієнт  $\mu$ ) не залежать від площі стикання.

3. Сила тертя спокою може бути рушійною і гальмовою силою. Так, вона забезпечує можливість ходіння людини по Землі.

### *Сила тертя ковзання.*

1. Сила тертя, що виникає під час руху тіла по поверхні іншого тіла, називається силою тертя ковзання.

Сили тертя ковзання діють вздовж поверхні контакту двох тіл.

2. Сила тертя ковзання, що діє на одне із взаємодіючих тіл, має напрям протилежний швидкості руху цього тіла відносно іншого тіла і завжди приводить до зменшення модуля відносної швидкості тіл.

3. Модуль сили тертя ковзання пропорційний модулю сили нормального тиску:

$$F_{\text{тер}} = \mu \cdot N$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання.

4. Коефіцієнт тертя ковзання дорівнює коефіцієнту тертя спокою для даних двох поверхонь дотику стичних тіл.

Коефіцієнт тертя безрозмірна величина, характеризує два тіла, що труться одне об одне. Він менший одиниці. Це означає, що сила тертя менша за силу нормального тиску.

Коефіцієнт тертя ковзання залежить від матеріалу і стану стичних поверхонь тіл.

5. Тертя між стичними твердими тілами називають сухим тертям.

### *Сила опору, що виникає під час руху тіла в рідині або газі.*

1. Під час руху твердого тіла, що стикається не з твердими тілами, а з рідиною чи газом, виникає сила паралельна поверхні стикання і напрямлена протилежно відносної швидкості тіла. Цю силу називають силою опору.

2. Під час руху твердого тіла в рідині або газі сили тертя спокою не виникають. Це означає, що навіть дуже мала сила прикладена до тіла, надає йому прискорення.

3. На відміну від сили сухого тертя сила опору в рідинах або газах залежить не тільки від напрямку, а й від абсолютного значення швидкості. Для невеликих швидкостей сила опору пропорційна швидкості, а для великих швидкостей вона пропорційна квадрату швидкості.

4. Сила опору залежить від форми тіла. Геометричну форму тіла, при якій сила опору мала, називають обтічною формою.

### *Сила Архімеда*

1. На тіло, занурене в рідину, діє виштовхувальна сила.

2. Причиною виникнення виштовхувальної сили є те, що тиск рідини або газу на тіло знизу вгору більший за її тиск на верхню частину тіла.

3. Виштовхувальна сила прикладена до тіла і напрямлена вертикально вгору.

4. На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла. Це твердження називають законом Архімеда.

5. Виштовхувальну силу, яку називають силою Архімеда, що діє на занурене в рідину або газ тіло, обчислюють за формулою:

$$F_A = \rho_p g V_m$$

де  $\rho_p$  – густина рідини або газу,  $V_m$  – об'єм зануреної в рідину або газ частини тіла.

6. У невагомості, на тіла занурені в рідину, виштовхувальна сила не діє.

### *Плавання тіл*

1. Якщо сила Архімеда більша за силу тяжіння, то тіло спливає.

2. Якщо сила Архімеда менша за силу тяжіння, то тіло тоне.

3. Умови плавання тіл можна сформулювати й іншими словами:

- якщо густина тіла менша за густину рідини, то тіло спливає;
- якщо густина тіла більша за густину рідини, то тіло тоне;
- якщо густина тіла дорівнює густині рідини, то тіло не тоне і не спливає.

### *Плавання суден*

1. Ватерлінією відмічають максимально можливе занурення судна у воду.
2. Водотоннажність – це значення сили Архімеда при зануренні судна до ватерлінії.
3. Вантажопідйомність – це вага вантажу, що може перевозити судно.

### *Повітроплавання*

1. Якщо оболонку якогось балона зробити дуже легкою і наповнити газом, легшим за повітря, то можна досягти підняття не тільки самого балона, а й вантажу.
2. Різницю між вагою  $1\text{ м}^3$  повітря і вагою такого самого об'єму газу називають підйнятною силою  $1\text{ м}^3$  газу.
3. Якщо в рідині тіло спливає аж на поверхню, до межі рідини, то повітряна куля підіймається лише на певну висоту. Пояснюється це тим, що із збільшенням висоти густина повітря, отже і сила Архімеда, зменшується.

### *Прості механізми: важіль, блоки, похила площина.*

1. Тверде тіло, що може вільно обертатися навколо нерухомої осі, називають важелем.
2. Лінію, уздовж якої діє сила, називають лінією дії сили.
3. Найкоротшу відстань (перпендикуляр) від точки обертання до лінії дії сили, називають плечем сили.
4. Умова рівноваги важеля: важіль дає вииграш у силі у стільки разів, у скільки разів одне плече важеля більше (довше) другого:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

5. Добуток сили на її плече називають моментом сили, що обертає важіль:

$$M = F \cdot l$$

6. Правило моментів: момент сили, що обертає важіль за годинниковою стрілкою, дорівнює моменту сили, що обертає важіль проти годинникової стрілки:  $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ ,  $M_1 = M_2$ .

7. Блок – це колесо, яке може обертатися на осі. Поділяють блоки на нерухомі та рухомі.

Нерухомий блок не змінює положення осі обертання в просторі.

Нерухомий блок не дає виграшу в силі. Він лише змінює напрям сили.

Рухомим називають блок, у якого вісь може переміщуватись.

Рухомий блок не змінює напрямку сили, але дає вигреш у силі в два рази.

8. Похила площина дає вигреш у силі у стільки разів, у скільки довжина похилої площини  $l$  більша за її висоту  $h$ :

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{l}{h}$$

9. За допомогою будь-якого простого механізму виграти у роботі не можна  $A_1 = A_2$ .

## *Механічний тиск*

1. Фізична величина, що характеризує дію сили на фізичне тіло і чисельно дорівнює відношенню сили, яка діє перпендикулярно поверхні, до площі цієї поверхні, називається тиском.

2. Сила, яка діє перпендикулярно до поверхні, називається силою тиску.

3. Для розрахунку тиску треба силу тиску  $F$  поділити на площу поверхні  $S$ , на яку вона діє. Позначивши тиск латинською буквою  $p$ , можна записати формулу:

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

4. За одиницю тиску взято тиск, що його створює сила тиску  $1\text{Н}$ , діючи на поверхню площею  $1\text{м}^2$ . Цю одиницю названо паскалем (Па).

$$1\text{Па} = \frac{1\text{Н}}{1\text{м}^2}$$

5. На практиці застосовують кратні одиниці:

1 гектопаскаль =  $1\text{гПа} = 100\text{Па} = 10^2\text{Па}$ ;

1 кілопаскаль =  $1\text{кПа} = 1000\text{Па} = 10^3\text{Па}$ ;

1 мегапаскаль =  $1\text{МПа} = 1000000\text{Па} = 10^6\text{Па}$ .

## *Тиск газу. Закон Паскаля.*

1. Молекули газу перебувають у неперервному хаотичному русі. Частина молекул стикається зі стінками посудини, в якій знаходиться газ, змінюючи напрям свого руху. Цим пояснюється тиск газу на стінки посудини.

2. Хаотичність руху молекул газу пояснює однаковість його тиску в усіх напрямках.

3. Тиск газу залежить від його густини і температури. Чим більші густина і температура газу, тим більший тиск він чинить на стінки посудини.

4. Закон Паскаля: тиск, що чиниться на рідину або газ, передається ними в усіх напрямках однаково.

### *Тиск рідини*

1. Рідина має вагу. Тому вона чинить тиск на дно посудини.
2. Рідина чинить тиск на стінки посудини і на всю поверхню тіла, зануреного в неї.  
Пояснюється це так: верхні шари рідини діють на нижні її шари, а останні, згідно закону Паскаля, передають цей тиск у всіх напрямках.
3. Тиск рідини як наслідок дії сили тяжіння залежить тільки від її густини і висоти стовпа рідини:  $p = \rho \cdot g \cdot h$ .

### *Атмосферний тиск*

1. Планета Земля оточена газовою оболонкою – атмосферою. Молекули газів, які входять до складу атмосфери, перебувають у неперервному русі, але не розлітаються у Космосі. Біля поверхні Землі їх утримує сила тяжіння.
2. Перебуваючи у складі атмосфери молекули повітря не припиняють хаотичного руху, що і призводить до появи атмосферного тиску.
3. Атмосферний тиск вимірюється у паскалях і міліметрах ртутного стовпчика (мм.рт.ст). Для того щоб виразити атмосферний тиск у паскалях, коли він заданий у мм.рт.ст., треба скористатися формулою  $p = \rho gh$ .
4. Атмосферний тиск, який дорівнює 760 мм.рт.ст. або приблизно  $10^5$ Па, називається нормальним атмосферним тиском.
5. Атмосферний тиск зменшується при збільшенні висоти над поверхнею землі.

### *Сполучені посудини*

1. Якщо дві або більше посудин сполучаються між собою трубами або протоками, то вони утворюють сполучені посудини.
2. Рідина в сполучених посудинах встановлюється на таких рівнях, щоб тиски стовпів рідини у цих посудинах були однакові.
3. У сполучених посудинах однорідна рідина встановлюється на одному рівні незалежно від форми посудини, якщо зовнішній тиск для всіх посудин однаковий.
4. У сполучених посудинах, в яких містяться рідини різної густини, висота стовпів цих рідин обернено пропорційна їх густинам  $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$ .

### Гідравлічна машина

1. Головною частиною гідравлічних гальм, домкрата, преса є пристрій, який складається з двох циліндрів різного поперечного перерізу, з'єднаних між собою і заповнених рідиною. У циліндрах можуть вільно переміщуватися поршні.

2. Якщо площі поршнів відповідно дорівнюють  $S_1$  і  $S_2$ , а на малий поршень діяти силою  $F_1$ , то другий поршень буде діяти на тіло, що на ньому знаходиться, з силою  $F_2$ . Причому,  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ .

3. Пояснюється такий взаємозв'язок між силами і площами поршнів так: малий поршень тисне на рідину в циліндрі  $p = \frac{F_1}{S_1}$ ; за законом Паскаля такий самий тиск рідина чинить на більший поршень  $p = \frac{F_2}{S_2}$ . Тому  $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ .

### Тиск в рухомих рідинах і газах

1. Якщо рідина вважається не стискуваною, то добуток швидкості рідини на площу поперечного перерізу труби, в якій рухається рідина, є величина стала:  $v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$  (рівняння неперервності струменя).

Звідси випливає, що переходячи у звужену частину труби, рідина рухається з прискоренням. Це означає, що на рідину, яка в даний момент міститься у звуженій частині труби, діє з боку рідини в ширшій її частині, певна сила, що може виникнути тільки внаслідок різниці тисків у різних перерізах труби.

2. Д. Бернуллі вивів рівняння, яке носить його ім'я:

$$p_1 + \rho gh_1 + \rho \cdot \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \rho \cdot \frac{v_2^2}{2}.$$

Усі доданки рівняння мають розмірність тиску. Тому, в інженерній практиці тиском називають не лише величину  $p$  (так званий статичний тиск), а й величини  $\rho gh$  – вагомий тиск і  $\rho \cdot \frac{v^2}{2}$  – динамічний тиск.

3. Рівняння Бернуллі пояснює виникнення підйальної сили під час руху твердих тіл у рідинах і газах.

Так, крилу літака надано такої форми, щоб рух повітря над крилом був прискорений, а під крилом сповільнений. Внаслідок цього над крилом тиск знижується, а під крилом збільшується. В результаті дії цієї різниці тисків на крило літака діє сила, складова якої напрямлена вгору по вертикалі. Цю складову силу називають підйальною силою, яка залежить від форми профілю крила, його нахилу до горизонту, густини зустрічного потоку і швидкості руху літака.

# Статика

## *Рівновага тіла за відсутності обертання.*

1. Під рівновагою в механіці розуміють збереження тілом стану спокою в даній системі відліку.
2. Щоб тіло, яке може рухатися поступально (без обертання), перебувало в рівновазі, необхідно, щоб геометрична сума прикладених до тіла сил дорівнювала нулю:

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

3. Якщо дорівнює нулю геометрична сума сил, то нулю дорівнюватиме і сума проєкцій всіх сил на будь-який напрям. Тому умову рівноваги тіла, яке може рухатися поступально, можна сформулювати і так: щоб тіло, яке не може обертатися, перебувало в рівновазі, необхідно, щоб сума проєкцій прикладених сил на будь-яку координатну вісь дорівнювала нулю:

$$\begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0 \\ F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = 0 \\ F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} = 0 \end{cases}$$

## *Рівновага тіла, що має вісь обертання.*

1. Дія сили на тіло, яке має вісь обертання, залежить не тільки від значення самої сили, а й від відстані лінії дії цієї сили до осі обертання.

Найкоротшу відстань від осі обертання до напрямку прикладеної сили називають плечем сили. Позначається плече сили буквою  $d$ .

2. Добуток модуля сили на плече називають моментом сили відносно осі обертання. Позначається момент сили буквою  $M$ .

$$M = Fd$$

В СІ момент сили вимірюється в ньютон-метрах ( $\text{Н} \cdot \text{м}$ ).

3. Моментам сил приписують певні знаки: якщо сила обертає тіло навколо осі за годинниковою стрілкою, момент сили додатний, а якщо проти годинникової стрілки – від'ємний.

4. Тіло з нерухомою віссю обертання перебуває в рівновазі, якщо алгебраїчна сума моментів прикладених до нього сил відносно цієї осі дорівнює нулю.

### *Центр тяжіння і центр мас.*

1. На кожну точку тіла діє сила тяжіння, а на все тіло – рівнодійна цих сил. Точка прикладання цієї рівнодійної сил називається центром тяжіння тіла.

На досліді визначити центр тяжіння тіла можна, враховуючи, що у тіла, закріпленого в одній точці (підвішене або підперте) і яке перебуває у спокої, центр тяжіння і точка опори лежать на одній вертикалі. Центр тяжіння плоскої фігури лежить в точці перетину вертикалей, проведених через дві будь-які точки підвісу.

2. Розподіл мас у тілі або системі тіл характеризує центр мас. Рухається центр мас як матеріальна точка, де зосереджена вся маса системи і на яку діють усі прикладені до системи зовнішні тіла.

Положення центра мас тіла в однорідному полі тяжіння збігається з положенням центру тяжіння.

3. В однорідних тілах, що мають центр симетрії, центр тяжіння збігається з ним: центр тяжіння однорідного стержня міститься в його середині; центр тяжіння однорідного круга збігається з його центром. Центр тяжіння однорідного трикутника лежить в точці перетину його медіан.

### *Види рівноваги. Стійкість споруд.*

1. Існують три види рівноваги тіл: стійка, нестійка, байдужа.

Рівновага тіла стійка, якщо при малому відхиленні від рівноважного положення виникає сила, що повертає тіло до положення рівноваги.

Рівновага тіла нестійка, якщо при малому відхиленні тіла від положення рівноваги виникає сила, що відхиляє його від цього положення.

Якщо під час будь-якої зміни положення тіла воно залишається таким же рівноважним, то таку рівновагу називають байдужою.

2. Стійке й нестійке положення рівноваги відрізняються одне від одного ще й положенням центру тяжіння тіла.

Для стійкої рівноваги центр тяжіння тіла повинен бути у найнижчому з можливих для нього положень.

Рівновага тіла при наявності обертання стійка, якщо центр тяжіння тіла міститься нижче осі обертання.

3. Для рівноваги тіла, яке стоїть на опорі, необхідно, щоб вертикаль, проведена через центр тяжіння тіла, перетинала площу опори.

Площа опори, від якої залежить рівновага, – це не завжди площа, на якій тіло справді стикається з опорою. Так, площа опори стола – це площа всередині контуру, який дістанемо, якщо з'єднаємо прямими всі ніжки стола.

# Закони збереження

## Імпульс тіла

1. Імпульсом тіла називається фізична величина, яка дорівнює добутку маси тіла на його швидкість.

Імпульс тіла позначається буквою  $p$ .

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

2. Імпульс тіла – векторна величина. Напрямок вектора імпульсу збігається з напрямком вектора швидкості.

3. Одиницею імпульсу в СІ є кілограм-метр за секунду ( $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$ ).

4. Зміна імпульсу тіла пов'язана з інтервалом часу, необхідним для зміни швидкості тіла, або, інакше кажучи, зміна імпульсу тіла – це характеристика дії сили в часі.

5. Добуток сили на час її дії називають імпульсом сили:

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

Одна й та сама сила, діючи певний час, однаково змінює імпульс будь-якого тіла, тобто імпульс сили визначається тільки часом дії сили і не залежить від того, до якого тіла вона прикладена.

## Закон збереження імпульсу.

1. Імпульс має важливу властивість – збереження під час взаємодії.

Векторна сума імпульсів тіл, які утворюють замкнену (ізолювану) систему, залишається сталою під час будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою:  $\vec{m}_1\vec{v}_1 + \vec{m}_2\vec{v}_2 + \dots + \vec{m}_n\vec{v}_n = \vec{m}_1\vec{u}_1 + \vec{m}_2\vec{u}_2 + \dots + \vec{m}_n\vec{u}_n$ , де  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_n$  – швидкості тіл до взаємодії,  $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \dots, \vec{u}_n$  – швидкості тіл після взаємодії.

У цьому полягає закон збереження імпульсу.

2. Імпульс – векторна величина. Тому, якщо векторна сума імпульсів залишається сталою, то й сума проекцій цих імпульсів на осі координат також залишається сталою.

3. Групу тіл, які не взаємодіють з іншими тілами, що не входять до складу цієї групи, називають замкненою (ізолюваною) системою тіл.

У природі абсолютно замкнених систем тіл не існує. Проте, якщо початковий і кінцевий стани системи відділені малим інтервалом часу, то таку систему тіл можна вважати замкненою.

4. Коли у деякому напрямі дана система не зазнає впливів з боку інших тіл, то проекція повного імпульсу системи на цей напрям залишається незмінною, зберігається.

5. Взаємодія тіл розглядається в інерціальній системі відліку.

### *Реактивний рух.*

1. Під реактивним рухом розуміють рух тіл, який виникає під час відокремлення від тіла його частин з певною швидкістю відносно тіла.

2. Пояснюється реактивний рух законом збереження імпульсу: тіло набуває імпульсу в результаті того, що маса тіла постійно змінюється.

3. Головна особливість реактивного руху полягає в тому, що тіло може як прискорюватися, так і гальмуватися без будь-якої взаємодії з іншими – зовнішніми тілами.

4. Прикладом реактивного руху є рух ракети. За умови незначної зміни маси  $M$  ракети в результаті роботи її двигунів модуль швидкості ракети дорівнює:  $Mv_0 - m_{\text{r}}v_{\text{r}} = 0 \Rightarrow v_0 = \frac{m_{\text{r}}}{M}v_{\text{r}}$ , де  $m_{\text{r}}$  – маса газу, на який перетворюється паливо ракети,  $v_{\text{r}}$  – швидкість його витікання.

### *Механічна робота.*

1. Коли під дією сили тіло переміщується, то сила виконує механічну роботу.

2. Якщо сила стала, то механічна робота вимірюється добутком сили, переміщення і косинуса кута між напрямом сили і переміщення:  $A = FS\cos\alpha$ .

Сила виконує додатну роботу за умови, що тіло переміщується у напрямі дії сили. Сила виконує від'ємну роботу за умови, що тіло переміщується у напрямі протилежному напрямку дії сили.

3. Робота сили тяжіння не залежить від траєкторії руху тіла і завжди дорівнює добутку модуля сили тяжіння і різниці висот у початковому і кінцевому положеннях:  $A = mg(h_1 - h_2)$ .

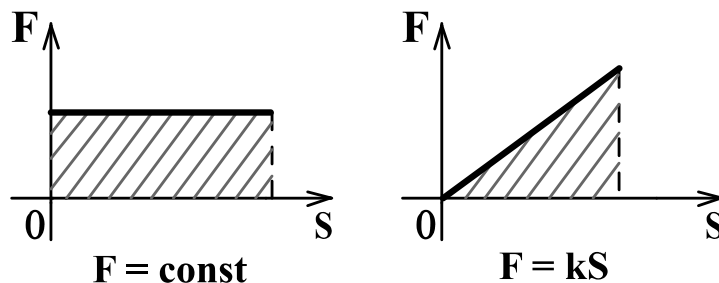
Під час переміщення тіла замкнутою траєкторією робота сили тяжіння дорівнює нулю.

4. Якщо робота виконується силою прямо пропорційною переміщенню, то вона дорівнює:  $A = \frac{1}{2}FS$ .

5. Якщо під час розтягу пружини закон Гука справджується, то сила пружності має зростати із збільшенням деформації за лінійним законом. У

цьому випадку робота сили пружності дорівнює:  $A = \frac{1}{2} k \Delta l^2$ , де  $k$  – жорсткість пружини,  $\Delta l$  – видовження пружини.

6. На графіку залежності сили від переміщення точки її прикладання робота чисельно дорівнює площі, обмеженої графіком залежності сили, віссю відліку переміщення і ординатою, що відповідає отриманому значенню сили:



7. У СІ робота вимірюється в джоулях (Дж).  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

### Потужність.

1. Для порівняння двигунів за їх здатністю виконувати більшу чи меншу роботу за одиницю часу вводять фізичну величину – потужність.

2. Потужністю двигуна називають швидкість виконання ним роботи. Позначають буквою  $P$ :

$$P = \frac{A}{t}$$

де  $A$  – робота, що виконана за час  $t$ .

9. Якщо двигун розвиває силу  $F$  і під дією цієї сили тіло рухається рівномірно зі швидкістю  $v$ , то потужність двигуна дорівнює:

$$P = Fv \cos \alpha$$

де  $F$  – модуль сили тяги (сили, яку розвиває двигун),  $v$  – модуль швидкості,  $\alpha$  – кут між напрямом сили і швидкості.

4. Якщо кут  $\alpha$  більше  $90^\circ$ , то виконувана робота і потужність від'ємні: двигун «споживає потужність».

5. Потужність двигуна під час змінного руху також обчислюється за цією формулою. Якщо під швидкістю  $v$  розуміють миттєву швидкість, то знайдена потужність має назву миттєвої потужності. Якщо під  $v$  розуміють середню швидкість, то мова йде про середню потужність.

6. В СІ потужність вимірюється у ватах (Вт):  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ .

## *Енергія.*

1. Стан фізичного об'єкта характеризується кількома фізичними величинами, які мають назву параметрів.

Так, механічний стан системи тіл можна повністю охарактеризувати, якщо для певного моменту часу задані відносні розміщення тіл та їх швидкості.

Під час механічного, теплового, електромагнітного та інших видів руху фізичний об'єкт переходить з одного стану в інший, що супроводжується зміною відповідних параметрів.

Для кількісного порівняння різних видів руху вводиться фізична величина – енергія.

Енергія є загальною, єдиною мірою різних видів руху матерії.

2. Числове значення енергії визначається через параметри стану і воно одне й те саме для даного стану фізичного об'єкта і не залежить від того, яким шляхом фізичний об'єкт перейшов у цей стан.

Так, механічна енергія, яка характеризує механічний стан системи тіл, визначається їх координатами і швидкостями.

3. Зміна механічної енергії пов'язана з механічною роботою: енергія системи тіл визначає ту роботу, яку ця система може виконати над зовнішніми тілами.

Тому в СІ енергія, як і робота, вимірюється в джоулях (Дж).

4. Робота – це характеристика процесу перетворення енергії, який відбувається у часі.

Робота вимірюється зміною енергії і способом визначення значення роботи може бути порівняння енергії тіла на початку і в кінці процесу.

5. Механічна енергія є двох видів: потенціальна і кінетична енергія.

## *Потенціальна енергія.*

1. Енергія, що залежить від положення тіл, які взаємодіють між собою, називається потенціальною енергією.

2. Для визначення значення потенціальної енергії треба вибрати стан системи, в якому її значення дорівнює нулю. Такий стан має назву нульового рівня відліку потенціальної енергії.

3. Значення потенціальної енергії залежить від вибору нульового рівня її відліку.

Зміна потенціальної енергії не залежить від вибору нульового рівня.

4. Потенціальна енергія тіла піднятого над Землею дорівнює добутку його маси, прискорення вільного падіння і висоти від нульового рівня відліку потенціальної енергії:  $E_{\text{п}} = mgh$ , де  $h$  – відстань по вертикалі від нульового рівня до центра тяжіння тіла.

5. Потенціальна енергія пружно деформованого тіла дорівнює:  $E_{\text{п}} = \frac{1}{2}k(\Delta l)^2$ , де  $k$  – коефіцієнт пружності,  $\Delta l$  – значення деформації.

### *Кінетична енергія.*

1. Енергія, яку має система тіл під час руху її частин, називається кінетичною енергією.

Кінетична енергія однозначно визначається швидкістю тіла й обчислюється за формулою:  $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ .

2. Кінетична енергія, так само як і потенціальна енергія, залежить від вибору системи відліку, відносно якої визначається швидкість тіла.

Зміна кінетичної енергії тіла не залежить від вибору системи відліку й дорівнює сумарній роботі сил, які діють на тіло:  $A = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2)$ .

Це твердження називається теоремою про кінетичну енергію.

### *Закон збереження повної механічної енергії.*

1. Сума кінетичної і потенціальної енергій тіла називається повною механічною енергією.

Закон збереження повної механічної енергії формулюється так: Сума кінетичної і потенціальної енергій тіл, які утворюють замкнену систему і взаємодіють між собою силами тяжіння та силами пружності, залишається сталою.

2. Якщо в системі діють сили тертя, то робота цих сил завжди від'ємна, тобто зменшує кінетичну енергію тіл, однак вона не веде до якої б то ні було зміни потенціальної енергії. В результаті повна механічна енергія зменшується.

3. Для замкненої системи, в якій між тілами діють сили тертя, зміна енергії дорівнює роботі сил тертя:  $\Delta(E_{\text{к}} + E_{\text{п}}) = A_{\text{тер}}$ .

4. Зменшення механічної енергії не означає, що ця енергія зникає безслідно. Вона перетворюється в інші форми енергії, зокрема внутрішню.

У найзагальнішому випадку закон збереження і перетворення енергії формулюється так: енергія ніколи не зникає й не виникає з нічого, вона

може лише перетворюватися з одного виду в інший або переходить від одного тіла чи системи тіл до іншого тіла чи системи тіл.

5. Перетворення одного виду енергії в інший пов'язане з перетворенням одного виду руху матерії в інший.

### *Коефіцієнт корисної дії (ККД).*

1. Пристрої, призначені для перетворення енергії, називаються енергетичними машинами.

2. У всіх реальних енергетичних машинах, крім перетворення енергії, для яких створюються ці машини, відбуваються перетворення енергії, які називають втратами енергії.

3. Коефіцієнтом корисної дії (ККД)  $\eta$  машини називають відношення корисно використаної енергії  $E_1$  до енергії  $E_2$ , яка підводиться до даної машини:

$$\eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{з}}}$$

4. ККД не може бути більшим за одиницю.

# Механічні коливання та хвилі

## *Механічні коливання.*

1. Коливання – це рухи, які точно або наближено повторюються через певні інтервали часу.

2. Пристрої, в яких можуть здійснюватися коливання, називають коливальними системами.

3. Будь-яка коливальна система має положення рівноваги. Нерухома система обов'язково перебуває у такому положенні. Сама собою система не може вийти з положення рівноваги, для цього необхідний вплив зовнішньої сили.

У коливальній системі, виведеній з положення рівноваги і залишеній сама по собі виникають коливання: коливне тіло послідовно переміщується від одного крайнього положення, проходячи через положення рівноваги, до іншого крайнього положення; потім такий самий рух коливного тіла відбувається в протилежному напрямі і так далі. Отже, тіло, яке здійснює коливання, через рівні інтервали часу відхиляється від положення рівноваги у протилежних напрямках.

За одне повне коливання тіло проходить усі точки траєкторії (крім крайніх) двічі – спочатку в одному напрямі, а потім у протилежному.

4. Тіло здійснює коливання в результаті взаємодії з іншими тілами.

Сили, які діють на коливне тіло, з боку тіл, які належать коливальній системі, називаються внутрішніми силами.

Сили, які діють на коливне тіло, з боку тіл, які не належать до коливальної системи, називаються зовнішніми силами.

5. Коливання поділяють на вільні й вимушені, в залежності від того, які сили – внутрішні чи зовнішні визначають рух коливного тіла.

6. Характеристиками коливань є амплітуда, період, частота, циклічна частота.

## *Фізичні величини, що характеризують коливання.*

1. Важлива особливість коливальних рухів – їх періодичність, тобто точна або наближена повторюваність руху тіл через рівні інтервали часу.

Мінімальний інтервал часу, через який відбуваються повторення руху тіла, називають періодом коливань  $T$ .

2. Кількість коливань, здійснених за одиницю часу, називають частотою коливань  $\nu$ .

У СІ частота коливань вимірюється в герцах (Гц).

Один герц – це частота таких коливань, під час яких коливне тіло здійснює одне повне коливання за одну секунду.

Якщо за час  $t$  тіло здійснює  $N$  повних коливань, то період коливань дорівнює  $T = \frac{t}{N}$ , а частота  $\nu = \frac{N}{t}$ , отже  $\nu = \frac{1}{T}$ .

3. Колова (циклічна) частота показує, яка кількість повних коливань відбувається за  $2\pi$  секунд.

Циклічна частота пов'язана з частотою і періодом:  $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ .

В СІ вимірюється в  $\text{с}^{-1}$ .

4. Під час коливань коливне тіло зміщується на певні відстані від положення рівноваги.

Модуль найбільшого зміщення тіла від положення рівноваги, називається амплітудою коливань.

## Вільні коливання.

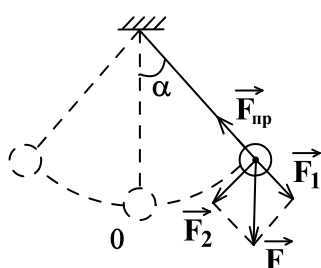
1. Коливання, які виникають у системах під дією внутрішніх сил після виведення системи з положення рівноваги за відсутності зовнішніх періодичних сил, називають вільними коливаннями.

2. Умови існування вільних механічних коливань:

Сили, які діють на тіло, або хоча б одна з них мають залежати від координат; в одному певному положенні тіла у просторі, яке називають положенням рівноваги, рівнодійна всіх сил, що діють на тіло, має дорівнювати нулю; якщо вивести тіло з положення рівноваги, рівнодійна всіх сил не повинна дорівнювати нулю і бути напрямленою до положення рівноваги (її називають повертаючою силою).

Сили тертя в коливальній системі мають бути мізерно малими.

3.

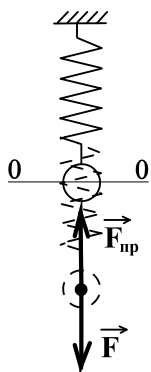


Кулька, підвішена на нитці, здійснює вільні коливання.

Роль повертаючої сили відіграє складова сили тяжіння  $F_2 = F \sin \alpha$ . Вона надає кульці тангенціальне прискорення, яке визначає лінійну швидкість її руху.

Із зменшенням кута  $\alpha$  сила  $F_2$  зменшується і в положенні рівноваги дорівнює нулю. Коливальну систему утворюють: кулька, нитка, Земля.

4.



Кулька, підвішена на пружині, здійснює вільні коливання.

Роль повертаючої сили відіграє рівнодійна сили тяжіння  $F$ , що діє на кульку, і сили пружності, яка виникає внаслідок деформації пружини.

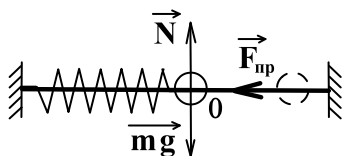
За будь-якої зміни положення кульки сила пружності змінюється так, що рівнодійна вказаних сил напрямлена до положення рівноваги 00.

У положенні рівноваги рівнодійна сил дорівнює нулю. Коливальну систему утворюють: кулька, пружина, Земля.

Кулька з отвором може вільно ковзати по горизонтальному стержню.

Кулька прикріплена до вільного кінця пружини.

Кулька здійснює вільні коливання.



Роль повертаючої сили відіграє сила пружності, що виникає під час деформації пружини.

В положенні рівноваги рівнодійна всіх сил дорівнює нулю.

Коливальну систему утворюють кулька і пружина.

Для всіх указаних коливальних систем є спільне:

- 1) під час проходження положення рівноваги коливне тіло рухається за інерцією;
- 2) між крайніми положеннями і положенням рівноваги коливне тіло рухається під дією змінної повертаючої сили;
- 3) зміщення кульок змінюється з часом за одним і тим самим законом: прискорення прямо пропорційне зміщенню кульки від положення рівноваги і напрямлене до положення рівноваги.

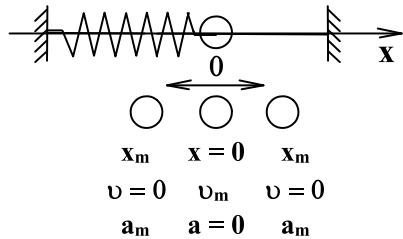
## Гармонічні коливання.

1. Періодичні зміни фізичної величини залежно від часу, які відбуваються за законом синуса або косинуса, називають гармонічними коливаннями.

2. Якщо повертаюча сил змінюється так само, як і сила пружності – пропорційно зміщенню коливного тіла і напрямлена протилежно зміщенню,

то таке тіло здійснює гармонічні коливання – координати тіла, швидкість і прискорення цього тіла змінюються за законами синуса або косинуса.

3. Якщо час відлічувати від моменту проходження тілом положення рівноваги, то залежності координати, швидкості, прискорення кульки від часу такі:



$$x = x_m \sin \omega_0 t;$$

$$v_x = v_m \cos \omega_0 t, \text{ де } v_m = \omega_0 x_m;$$

$$a_x = -a_m \sin \omega_0 t, \text{ де } a_m = \omega_0^2 x_m.$$

$x_m$  – амплітуда коливань,  $v_m$  і  $a_m$  – відповідно максимальні значення швидкості і

прискорення коливного тіла.

4. Якщо час відлічувати від моменту перебування коливного тіла в крайньому положенні, то:

$$x = x_m \cos \omega_0 t;$$

$$v_x = v_m \sin \omega_0 t;$$

$$a_x = a_m \cos \omega_0 t.$$

5. Коливання кульок, підвішених на нитці і на пружині, за умови відсутності опору їх руху, є гармонічними.

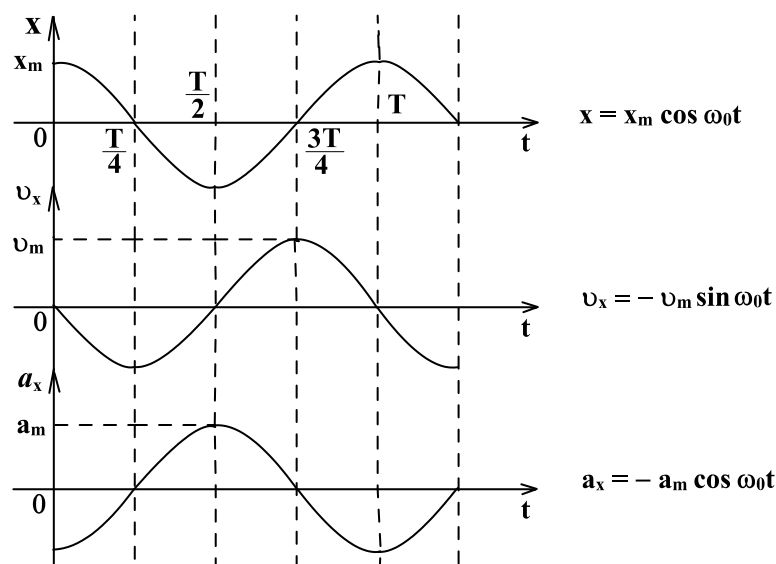
У цих коливальних системах амплітуда коливань  $x_m$  залежить від початкових умов: від того, наскільки зміщено тіло від положення рівноваги у початковий момент часу, і від того, яку швидкість надають при цьому тілу.

Отже, для даної коливальної системи амплітуда вільних коливань може мати різні значення.

У формули. в яких відображена залежність координати, швидкості, прискорення коливного тіла від часу, за умови, що тіло здійснює вільні коливання без тертя, входить циклічна частота з індексом "0" –  $\omega_0$ . Це власна циклічна частота даної коливальної системи, яка залежить тільки від параметрів цієї системи: для коливань кульки на нитці  $\omega_0$  залежить від довжини нитки і прискорення вільного падіння; для коливань кульки вздовж горизонтального стержня, прикріпленої до вільного кінця пружини,  $\omega_0$  залежить від маси кульки і жорсткості пружини.

6. Залежності координати, швидкості, прискорення коливного тіла у випадку гармонічних коливань можна зобразити графічно.

На осі ординат будемо відкладати значення відповідно  $x$ ,  $v_x$ ,  $a_x$ , а на осі абсцис – час у долях періоду коливань.



### Фаза коливань.

1. Для заданої амплітуди гармонічних коливань координата, швидкість, прискорення коливного тіла в будь-який момент часу однозначно визначається аргументом синуса або косинуса  $\varphi = \omega t$ .

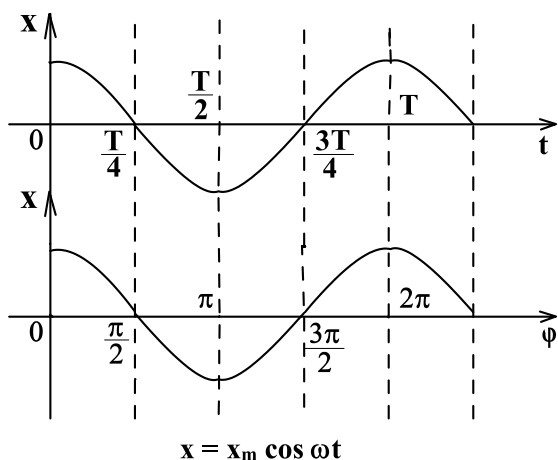
Аргумент, що стоїть під знаком синуса або косинуса, називають фазою коливань, які описуються цими формулами.

Фаза коливань визначає для заданої амплітуди стан коливальної системи у будь-який момент часу.

Вимірюється фаза в радіанах (рад).

2.  $\varphi = \omega t = 2\pi \frac{t}{T}$ . Відношення  $\frac{t}{T}$  показує, яка частина періоду минула з моменту початку коливань.

Будь-якому значенню часу, вираженому в частинах періоду, відповідає значення фази:



$$t = 0, \varphi = 0; \quad t = \frac{1}{4}T, \varphi = \frac{1}{2}\pi; \quad t = \frac{1}{2}T, \varphi = \pi; \quad t = \frac{3}{4}T, \varphi = \frac{3}{2}\pi; \quad t = T, \varphi = 2\pi.$$

Тому можна зобразити графік коливання, відкладаючи на осі абсцис час або фазу. Вид графіку від цього не змінюється.

Наприклад, графік  $x(t)$  або  $x(\varphi)$ .

3. Якщо відлік часу довільний, то у загальному вигляді можна записати:

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

де  $(\omega t + \varphi_0) = \varphi$  – фаза коливань,  $\varphi_0$  – початкова фаза коливань.

Якщо відлік часу розпочинається з моменту проходження коливним тілом положення рівноваги:  $x = x_m \sin \omega t = x_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ , де  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ .

Якщо відлік часу розпочинається з моменту перебування тіла у крайньому положенні:  $x = x_m \cos \omega t$ , де  $\varphi_0 = 0$ .

4. Якщо записати залежності  $x$ ,  $v$ ,  $a$  від часу через одну функцію, наприклад, косинус, то отримаємо:

$$x = x_m \cos \omega_0 t;$$

$$v_x = v_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right) = \omega_0 x_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$a_x = a_m \cos(\omega_0 t + \pi) = \omega_0^2 x_m \cos(\omega_0 t + \pi).$$

Як видно, коливання цих величини відрізняються фазами, тобто існує різниця, або, як часто говорять, зсув фаз.

Коливання швидкості випереджають по фазі коливання координати на  $\frac{\pi}{2}$ , тобто коли координата дорівнює нулю, модуль швидкості максимальний.

Коливання прискорення випереджають по фазі коливання координати на  $\pi$ , тобто прискорення і координата стають максимальними по модулю одночасно, але мають протилежні знаки. У таких випадках говорять, що коливання відбуваються у протифазі.

### *Енергія коливального руху.*

1. Для того щоб коливальна система здійснювала коливання, їй слід надати певної енергії.

2. У крайніх положеннях коливальна система має максимальну потенціальну енергію, а її кінетична енергія дорівнює нулю. Під час проходження положення рівноваги максимальне значення має кінетична енергія, а потенціальна енергія дорівнює нулю.

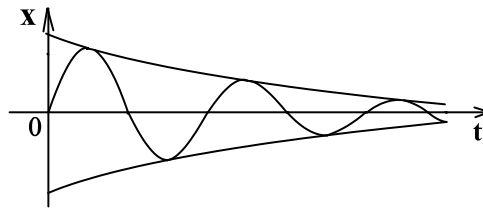
3. Під час гармонічних коливань в коливальній системі відсутні сили тертя та інші сили опору, які б могли призвести до розсіювання енергії системи. Тому, в цій системі повна механічна енергія залишається незмінною.

4. Повна механічна енергія в коливальній системі прямо пропорційна квадрату амплітуди коливань.

5. Реальні вільні коливання внаслідок дії сил тертя здійснюються зі зменшенням повної механічної енергії, яка перетворюється на внутрішню

енергію. Тому, в реальних вільних коливаннях їх амплітуда з часом зменшується – коливання затухають.

Графік затухаючих коливань:



## *Математичний маятник.*

1. Математичним маятником називають модель реального нитяного маятника, яка являє собою матеріальну точку підвішену на довгій, нерозтяжній, невагомій нитці.

2. Період коливань математичного маятника прямо пропорційний кореню квадратному з довжини маятника й обернено пропорційний кореню квадратному з прискорення вільного падіння:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ .

3. Період коливань математичного маятника не залежить від амплітуди коливань і від маси підвішеного тягарця (матеріальної точки).

4. Ця формула має назву формули Гюйгенса. Використання її передбачає, що кут відхилення маятника від вертикалі має бути малим.

## *Пружинний маятник.*

1. Коливання пружинного маятника виникають під дією сили пружності.

2. Період і частота такого маятника не залежать від прискорення сили тяжіння, а лише від його маси і жорсткості пружини:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ .

3. Даний маятник здійснює коливання з однаковим періодом і частотою в будь-якій точці земної поверхні, на іншій планеті або в міжпланетному кораблі.

## *Вимушені коливання.*

1. Для того щоб коливання були незатухаючими при наявності сил тертя, слід втрати механічної енергії поповнювати від зовнішнього джерела.

2. Один з видів таких незатухаючих коливань є вимушені коливання, що здійснюються під дією зовнішньої сили, яка періодично змінюється з часом.

3. Якщо на систему здатну здійснювати вільні коливання діє зовнішня сила  $F = F_0 \sin \omega t$ , то через незначний час рух системи стане гармонічним коливанням з частотою, що дорівнює частоті змушуючої сили

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Коливання в системі дещо відстають від коливань змушуючої сили через інертність тіла, що здійснює вимушені коливання. Тому в рівнянні  $x(t)$  указана початкова фаза  $\varphi_0$ .

4. Амплітуда  $x_m$  вимушених коливань залежить від частоти змушуючої сили і її максимального значення  $F_0$ , а фазовий зсув  $\varphi_0$  від частоти змушуючої сили  $\omega$ .

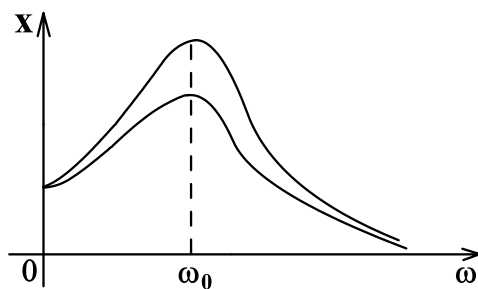
## Резонанс.

1. Якщо коливальну систему вивести з положення рівноваги і залишити саму по собі, то за відсутності сил опору і дії зовнішніх сил вона здійснюватиме коливання з власною частотою  $\omega_0$ , яка залежить тільки від властивостей самої коливальної системи.

2. Максимальна амплітуда вимушених коливань буде при частоті, яка збігається з власною частотою коливальної системи.

Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань у випадку, коли частота зміни зовнішньої сили, яка діє на систему, збігається з частотою вільних коливань, називається резонансом.

3. Під час резонансу зовнішня сила збігається за фазою із швидкістю



коливань, випереджаючи зміщення на  $\frac{\pi}{2}$  або на чверть періоду. Внаслідок цього зовнішня сила виконує лише додатну роботу. Отже, у цьому випадку надходження енергії до системи буде максимальним і амплітуда коливань набуде найбільшого можливого для неї за даних умов значення.

4. Якщо частота зміни зовнішньої сили не дорівнює частоті власних коливань, то коливальна система поповнюється енергією за період в меншій кількості і, відповідно, невеликою буде амплітуда коливань, які встановлюються в системі.

5. Амплітуда вимушених коливань під час резонансу залежить не лише від значення зовнішньої змушуючої сили, а й від тертя в коливальній системі. Чим менше тертя в коливальній системі, тим більшою буде амплітуда вимушених коливань для однієї і тієї самої зовнішньої сили.

6. Амплітуда вимушених коливань при резонансі визначається так:  $x_m = \frac{F_m}{\mu\omega_0}$ , де  $F_m$  – амплітуда зовнішньої сили,  $\mu$  – коефіцієнт тертя,  $\omega_0$  – власна частота коливань системи.

### *Автоколивання.*

1. Якщо всередині коливальної системи, здатної здійснювати коливання, є джерело енергії і система сама може регулювати надходження енергії до коливного тіла, то в такій системі можуть виникнути незатухаючі коливання. Таку систему називають автоколивальною, а коливання, що в ній відбуваються, автоколиваннями.

2. Будь-яка автоколивальна система складається з трьох основних частин: власно коливальної системи, джерела енергії і клапана, який керує надходження енергії з джерела.

3. До особливостей автоколивальних систем відносяться: наявність зворотного зв'язку; надходження енергії через клапан після встановлення автоколивань точно дорівнює її втраті; якщо під впливом деякого випадкового поштовху система хоча б дуже мало відхиляється від положення рівноваги – відбувається так зване самозбудження коливань.

4. Автоколивання відбуваються майже так само, як власні коливання. Вони близькі за формою до гармонічних, а частота їх майже збігається з власною частотою коливальної системи.

Водночас, автоколивання відрізняються від власних коливань тим, що, по-перше, вони не затухають з часом, і, по-друге, їх амплітуда не залежить від значення початкового короткочасного впливу, яке збуджує коливання.

### *Механічні хвилі.*

1. Суцільне середовище являє собою частину простору заповнену речовиною, яка може перебувати у будь-якому агрегатному стані – твердому, рідкому, газоподібному.

Важливою властивістю суцільних середовищ є їх здатність передавати механічний рух коливного тіла, періодично зміщує частинки середовища, що містяться в безпосередньо біля нього. Збудження коливань частинок середовища в одному місці викликає коливання частинок середовища сусідніх, ті, у свою чергу, збуджують коливання наступних і так далі.

Процес поширення коливань у просторі з часом називають хвилею.

2. Механічні хвилі, які являють собою процес поширення механічних коливань в речовині, існують за умови наявності сил пружності, що з'являються при зміні положення частинок середовища.

Під час поширення хвилі відбувається переміщення певного стану середовища, а не переміщення речовини.

Поширення коливань супроводжується передаванням енергії коливань від одних точок середовища іншим.

3. Хвилі, в яких частинки середовища коливаються в напрямі, перпендикулярному до руху самої хвилі, називають поперечними.

Поперечні хвилі спостерігаються в твердих тілах і на поверхні рідини.

Хвилі, в яких частинки середовища коливаються в напрямі поширення хвилі, називаються повздовжніми.

Повздовжні хвилі спостерігаються у твердих тілах, рідинах і газах.

4. Під час поширення хвилі в середовищі його частинки здійснюють коливання з певними фазами.

Поверхня, яка сполучає у даний момент точки хвилі, що коливаються в одній фазі, називають хвилевою поверхнею.

У залежності від форми хвилевої поверхні хвилі поділяють на плоскі, сферичні тощо.

Для хвиль, утворених коливанням пластинки, хвильова поверхня є площиною. Такі хвилі називаються плоскими.

Якщо середовище, в якому поширюється хвиля, не обмежене і пружні властивості середовища у всіх напрямках однакові, то коливання поширюються у всі боки з однаковою швидкістю. За таких умов хвильова поверхня являє собою сферу, центр якої розміщений у точці виникнення коливань. Такі хвилі називаються сферичними.

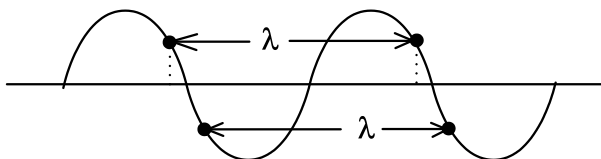
Прямі, проведені від джерела хвиль у напрямі їх поширення, перпендикулярно до хвильової поверхні, називають променями.

Уздовж променів відбувається перенесення енергії хвилями.

## *Довжина і швидкість хвилі.*

1. Якщо джерело хвилі здійснює гармонічні коливання, то й хвиля у пружному середовищі матиме форму синусоїди як у просторі, так і часі.

Так, якщо зробити миттєву фотографію хвилі на поверхні води або у довгому гумовому шнурі в деякий момент часу, то хвиля матиме вигляд графіка функції синуса чи косинуса.



Вищі точки хвильового руху називають пучностями або гребнями, а нижні – западинами.

Амплітуда – це максимальна висота пучності чи глибина западини, виміряна від нульового рівня. Повний розмах коливань від пучності до западини дорівнює подвійній амплітуді.

Синусоїдальні хвилі характеризуються довжиною і частотою хвилі.

2. Відстані між найближчими точками хвилі, які коливаються з однаковою фазою, називають довжиною хвилі  $\lambda$ .

Частота хвилі дорівнює кількості гребнів хвилі, які проходять через дану точку за одиницю часу. Вона дорівнює частоті коливань частинок середовища.

3. Швидкістю хвилі називають швидкість, з якою переміщується гребінь хвилі.

За період, протягом якого частина середовища, що була на гребні, опуститься з гребня в западину і знову підніметься на гребінь, під цією частинкою хвиля просунеться на відстань  $\lambda$  і швидкість дорівнює:  $v = \frac{\lambda}{T}$  або  $v = \lambda\nu$ .

4. Під час виникнення хвилі їх частота визначається частотою коливань джерела хвилі, а швидкість залежить від властивостей середовища, в якому ця хвиля поширюється. Тому хвилі однієї і тієї самої частоти мають різну довжину в різних середовищах.

Оскільки довжина хвилі  $\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$ , то вона більша в середовищі, в якому більша швидкість поширення коливань, причому в стільки разів, у скільки більша швидкість.

### *Рівняння біжучої хвилі.*

1. Якщо спостерігати за хвилею на поверхні води або у довгому гумовому шнурі, то поширення хвилі сприймається як явище поширення її гребнів. Це зумовлене тим, що кожна наступна частинка середовища, яка приймає участь в утворенні хвилі, досягає максимального зміщення від положення її рівноваги, в той момент часу, коли попередня частинка вже зміщується в напрямі до положення рівноваги.

У випадку поширення повздовжньої хвилі в середовищі утворюються згущення й розрідження, які поширюються так само, як і гребені та западини.

2. Зміщення будь-якої точки середовища  $x$ , яка приймає участь в утворенні й поширенні хвилі, визначається рівнянням хвилі:

$$x = x_m \sin 2\pi\nu \left( t - \frac{l}{v} \right),$$

де  $l$  – відстань частинки середовища, що здійснює коливання, від джерела хвилі,  $v$  – швидкість хвилі,  $\nu$  – частота коливань.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu. \text{ Тому, } x = x_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right).$$

3. Для різних точок хвилі  $x_m$  буде однаковим лише у випадку плоскої хвилі.

У випадку сферичної хвилі зі збільшенням відстані від джерела хвилі амплітуда хвилі зменшується, навіть за умови, що механічна енергія не перетворюється на внутрішню за рахунок дії в середовищі сил тертя. Це пояснюється тим, що енергія, яку несуть з собою хвилі від джерела, з часом розподіляється по все більшій і більшій області простору. Тому енергія, що переноситься через одиницю поверхні за одну секунду, зменшується з віддаленням від джерела. Отже, зменшується й амплітуда коливань з віддаленням від джерела, адже енергія коливного тіла пропорційна квадрату амплітуди.

## *Звукові хвилі.*

1. Видом механічних хвиль є звукові хвилі, які створюються тілом, частота коливань якого лежить в межах від 16 до 20000Гц.

Ці хвилі сприймаються органами слуху людини.

Обов'язковою умовою для виникнення й поширення звукових хвиль є наявність пружного середовища.

2. Звукові хвилі з частотою, нижчою за 16Гц, називають інфразвуковими.

Звукові хвилі з частотою, що перевищує 20000Гц, називають ультразвуковими.

3. Звукові хвилі поширюються із скінченною швидкістю, яка різна в різних середовищах і для різних умов.

4. Звукові хвилі, що відбуваються за гармонічним законом, сприймаються людиною, як певні музикальні тони. Коливання високої частоти сприймаються як звуки високого тону, а низької частоти – як звуки низького тону.

5. Голосність звуку залежить від його інтенсивності, тобто визначається амплітудою коливань у звуковій хвилі.

6. Музикальні звуки з одним і тим самим основним тоном відрізняються тембром, який визначається наявністю обертонів – їх частотою і амплітудою.

7. Якщо частота вільних коливань тіла збігається з частотою звукової хвилі, то умови для передавання енергії від звукової хвилі до тіла виявляються найкращими – тіло стає акустичним резонатором. Амплітуда коливань при цьому досягає максимального значення – спостерігається акустичний резонанс.

# Молекулярно-кінетична теорія

## *Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) будови речовини та їх дослідне обґрунтування.*

1. Будь-яка речовина складається з найдрібніших частинок – молекул і атомів, які перебувають у безперервному хаотичному (тепловому) русі.

Між молекулами (атомами) діють сили притягання і відштовхування.

2. До найбільш переконливих дослідів, які підтверджують основні положення МКТ належать досліди з дослідження дифузії та броунівського руху.

3. Дифузією називають явище, в якому речовини самі по собі змішуються одна з одною.

У рідинах дифузія відбувається повільніше ніж у газах, а у твердих тілах – ще повільніше.

Швидкість дифузії тим більша, чим вище температура.

Важливий різновид дифузії – взаємне проникнення речовини через пористі перегородки – дістав назву осмос.

4. Безперервний, безладний рух завислих в рідинах або газах частинок, називається броунівським рухом.

Пояснюється броунівський рух тим, що дрібні частинки речовини, завислі у рідинах або газах, зазнають поштовхів їх молекул з усіх боків. Але випадково в даний момент може виникнути тимчасова перевага ударів з якогось одного боку, тоді частинка переміщується у протилежному напрямі.

Броунівський рух є "відображенням" руху молекул рідини або газу – спостерігаються не молекули, а результати їх безперервного хаотичного руху.

Інтенсивність броунівського руху тим більша, чим вища температура рідини або газу.

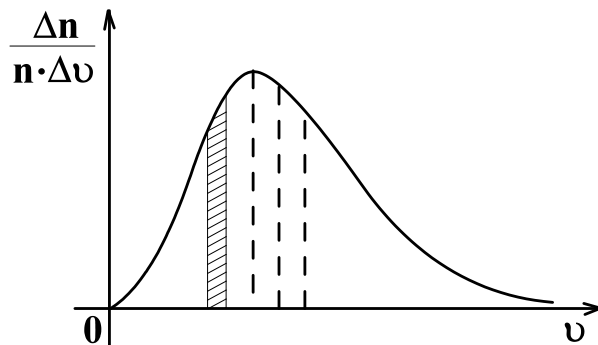
5. Молекулярно-кінетична теорія має на меті пояснення властивостей тіл, які безпосередньо перевіряються дослідом, розглядаючи їх як сумарний результат дії великої кількості молекул.

## *Розподіл Максвелла.*

1. Невпорядкований рух молекул, їх зіткнення між собою зумовлюють безмежно різноманітні зміни напрямів й модулів їх швидкостей. Передбачити напрям і модуль швидкості кожної молекули газу, як це можна було зробити у випадку механічного руху, під час теплового руху молекул і атомів неможливо. Водночас, хаотичність молекулярних рухів величезної кількості молекул, за умови теплової рівноваги в газі, встановлюється цілком певний

розподіл молекул за швидкостями – кількість молекул зі швидкостями в інтервалі від  $v$  до  $v + \Delta v$  залишається приблизно сталою.

2. Англійський вчений К. Максвелл теоретично засобами теорії ймовірності встановив розподіл молекул за швидкостями.



3. Закон розподілу молекул за швидкостями Максвелла визначає кількість молекул, швидкість яких лежить у певному інтервалі значень швидкостей.

4. Формула закону зображена на малюнку. Вздовж осі абсцис відкладено можливі швидкості руху молекул деякого газу при певній температурі. На осі ординат відкладена відносна кількість молекул, швидкість яких лежить в інтервалі від  $v$  до  $v + \Delta v$   $\left(\frac{\Delta n}{n \cdot \Delta v}\right)$ .

5. Із графіку видно:

Крива розподілу швидкостей молекул газу проходить через початок координат. Отже, немає молекул, які б не рухалися.

Крива має максимум, після якого асимптотично наближається до осі абсцис. Отже, дуже великі швидкості мало ймовірні.

Крива розподілу швидкостей не симетрична – в один бік спад кривої крутіший, ніж у другий.

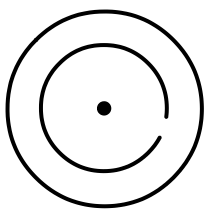
Максимум кривої вказує на те, що існує певна швидкість руху молекул, така, що поблизу неї на даний інтервал швидкостей  $\Delta v$  припадає більша кількість молекул.

На розподіл молекулярних швидкостей дуже сильно впливає температура – з підвищенням температури максимум на кривій розподілу зміщується вздовж осі абсцис вправо.

Криві розподілу молекул за швидкостями для різних газів мають однаковий вигляд, хоча їх координати і положення максимумів різні.

## Дослід Штерна.

1. Перше дослідне визначення швидкостей молекул здійснив німецький фізик О. Штерн.



2. Дослідна установка складалася з двох жорстко з'єднаних між собою циліндрів; уздовж їх спільної осі натягувалася платинова дротина покрита тонким шаром срібла; внутрішній циліндр мав вузьку щілину, розміщену вздовж його твірної; повітря з циліндрів викачувалося до високого вакууму.

### 3. Проведення досліду.

Під час пропускання електричного струму по дротині срібло випаровувалося і його атоми, проходячи через щілину у внутрішньому циліндрі, потрапляли на внутрішню поверхню зовнішнього циліндра й утворювали смужку.

Спочатку циліндри були нерухомі, потім оберталися рівномірно з кутовою швидкістю  $\omega$ .

Швидкість атомів срібла обчислювалася за формулою:  $v = \frac{\omega R(R-r)}{\Delta S}$ , де  $R$  і  $r$  – радіуси відповідно зовнішнього та внутрішнього циліндрів;  $\omega$  – кутова швидкість їх обертання,  $\Delta S$  – зміщення смужки під час обертання циліндрів.

### 4. Результати досліду.

Коли циліндри були нерухомими, пучок атомів срібла осідав вузькою смужкою, утворюючи ніби зображення щілини.

Коли циліндри оберталися, спостерігалось не тільки зміщення зображення щілини, а й її розпливання.

### 5. Висновки з дослідів.

Визначивши кількість атомів уздовж "зображення" щілини були отримані результати, які підтверджували розподіл молекул по швидкостям, встановленим Максвеллом.

## *Маса та розміри молекул і атомів. Кількість речовини.*

1. Розміри молекул кожної речовини приблизно однакові і для більшості речовин мають порядок  $10^{-10}$  м. Проте молекули деяких органічних речовин, які складаються з тисяч атомів, мають розміри, що значно перевищують розміри двох і трьохатомних молекул.

2. Маса молекул і атомів виражаються в кілограмах дуже малими числами. Тому за одиницю маси атомів і молекул прийнята атомна одиниця маси (а.о.м.), яка дорівнює  $\frac{1}{12}$  маси атома вуглецю  $m_C$ :  $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_C}$ .

3. Якщо речовина складається не з атомів, а з молекул, то її відносна молекулярна маса  $M_r$  дорівнює сумі відносних атомних мас атомів, які утворюють молекулу.

4. Розміри і маси молекул дуже малі, тому кількість їх в будь-якому макроскопічному тілі величезна. Зручніше вказувати не абсолютну кількість атомів чи молекул в тілі, а відносну, яка має назву кількості речовини.

Кількістю речовини  $\nu$  називають відношення числа молекул  $N$  у даному тілі до числа  $N_A$  атомів у 0,012кг вуглецю (числа Авогадро):  $\nu = \frac{N}{N_A}$ .

У СІ кількість речовини вимірюють в молях.

Моль – кількість речовини, яка містить стільки ж молекул, скільки атомів міститься в 0,012кг вуглецю.

5. Масу 1 моля речовини називають молярною масою  $M$ .

Одиницею молярної маси служить  $1 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

Числове значення молярної маси речовини, вираженої в кілограмах, у  $10^3$  разів менше відносної молекулярної маси цієї речовини:  $M = 10^3 \cdot M_r$ .

6. Масу молекули будь-якої речовини можна визначити за формулами:

$$m_0 = 1,66 \cdot 10^{-27} M_r, \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

Кількість речовини можна обчислити за формулою:  $\nu = \frac{m}{M}$ .

### *Сили взаємодії між молекулами.*

1. Сили притягання і відштовхування між молекулами існують одночасно, але залежать від відстані між частинками по-різному.

2. На відстані  $r_0$ , що становить приблизно суму радіусів молекул, сила притягання дорівнює силі відштовхування. Ця відстань відповідає положенню стійкої рівноваги молекул і називається рівноважною.

3. У міру зближення молекул, що знаходилися одна від одної на відстані, на якій молекули не взаємодіяли, спочатку швидше зростає сила відштовхування. На відстані між молекулами  $r > r_0$  переважають сили взаємного притягання, на  $r < r_0$  – переважають сили відштовхування.

4. Якби теплового руху не було, то всі молекули речовини розташувалися б одна біля одної на рівноважній відстані. У газі тепловий рух розкидає молекули далеко одну від одної. Частинки рідини розміщені компактніше, ніж частинки газу. Тепловий рух збільшує проміжки між ними, однак при цьому сили притягання ще великі. У твердому тілі теплового руху не достатньо, щоб відірвати одну молекулу від другої. Але і в цьому випадку частинки здійснюють тепловий рух – коливання навколо рівноважних положень.

### *Будова твердого тіла, рідини і газу з точки зору МКТ.*

1. Атоми твердих тіл надто сильно пов'язані між собою. Тому тіла зберігають надану їм форму.

Тверді тіла, в яких частинки розміщені впорядковано і цей порядок повторюється на значних відстанях, значно більших за відстані до сусідніх атомів, називають кристалічними.

Тверді тіла, що зберігають просторовий порядок розміщення частинок лише для найближчих сусідів, називають аморфними.

Атоми і молекули твердого тіла, утворюючи кристалічну або аморфну структуру, хаотично коливаються відносно своїх стабільних положень.

Частинки твердого тіла зрідка покидають свої місця і переходять на інші. Ось ці "мікрорухи" молекул чи атомів обумовлюють дифузію в твердих тілах.

2. Молекули рідини певний час утримуються одна біля одної також внаслідок існування притягання між ними. Тому рідини зберігають свій об'єм. Проте в рідинах притягання між молекулами значно слабше, ніж у твердих тіл.

Молекули рідини певний час здійснюють коливання в оточенні одних сусідів, а потім стрибками переходять в оточення інших сусідів.

3. У газах відстань між атомами і молекулами набагато більша за їх розміри. Тому між ними не існує притягання і відштовхування і газ займає весь наданий йому об'єм.

Молекули газу хаотично рухаються між короткочасними взаємними зіткненнями, внаслідок чого змінюється напрямок їх руху.

### *Ідеальний газ.*

1. Для пояснення основних властивостей газів і встановлення деяких важливих закономірностей їх поведінки у молекулярно-кінетичній теорії користуються моделлю реальних газів – ідеальним газом.

2. Ідеальним вважають газ, що складається з сукупності пружних молекул – кульок мізерно малих розмірів, які вільно і неупорядковано рухаються і взаємодіють між собою лише при співударах.

3. У природі ідеального газу не існує. Молекули реальних газів мають скінченні розміри і взаємодіють між собою з силами, які швидко змінюються зі збільшенням відстаней між ними. В міру зменшення густини газу власний об'єм молекул газу стає все менше, порівняно з об'ємом, що його займає газ, а середні відстані між частинками стають такими великими, що силами взаємодії молекул можна знехтувати. Властивості такого газу близькі до властивостей ідеального газу.

4. Введення моделі – ідеальний газ дає можливість сформулювати закони, спільні для всіх газів.

## Температура і її вимірювання.

1. Під час контакту двох по-різному нагрітих тіл (тепловому контакті) вони обмінюються енергією внаслідок теплопередачі. Перше тіло передає енергію другому тілу, при цьому вважають, що перше тіло має вищу температуру, ніж друге.

Якщо ж під час контакту тіла не обмінюються енергією шляхом теплопередачі, то їм приписують однакову температуру. В цьому випадку кажуть, що тіла перебувають у тепловій рівновазі.

2. Температуру вимірюють термометром – тіло, що перебуває у тепловому контакті з іншим тілом, температуру якого вимірюють після встановлення між ними теплової рівноваги, виміряна температура дорівнює температурі термометра.

3. Існують різні температурні шкали.

У шкалі Цельсія за  $0^{\circ}\text{C}$  приймають температуру танення льоду, а за  $100^{\circ}\text{C}$  – температуру киплячої води за нормального атмосферного тиску. В цій шкалі за градус приймають  $\frac{1}{100}$  різниці між температурами кипіння і замерзання чистої води за нормального атмосферного тиску.

У фізиці поширеною є абсолютна шкала (шкала Кельвіна), в якій температура замерзання води прийнята рівною  $273,15$ , а кипіння –  $373,15$  градусів. Розмір градуса цієї шкали такий самий, як і за шкалою Цельсія.

Температуру, відраховану за абсолютною температурною шкалою, називають абсолютною і позначають літерою  $T$ , а градус цієї шкали (градус Кельвіна) позначають літерою  $K$ .

$$T = t^{\circ} + 273.$$

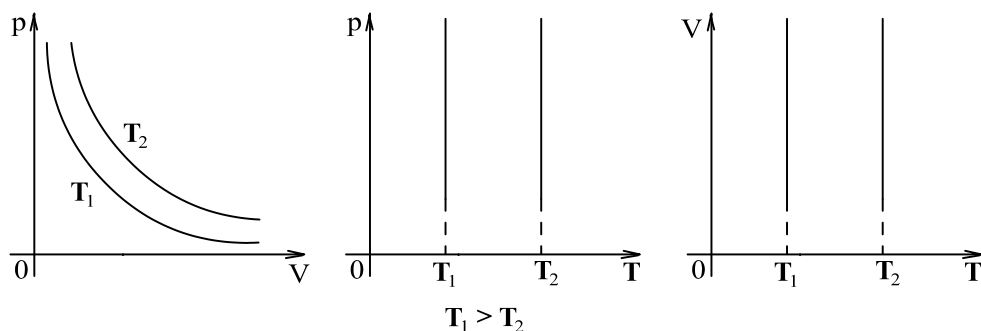
## Газові закони для ізопроцесів.

1. Перехід газу з одного стану в інший при сталій температурі називають ізотермічним процесом.

Для ізотермічного процесу справджується закон Бойля-Маріотта: добуток тиску даної маси газу на його об'єм сталий, якщо температура не змінюється:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \text{ або } pV = \text{const.}$$

На графіках ізотермічний процес зображується лінією – ізотермою.



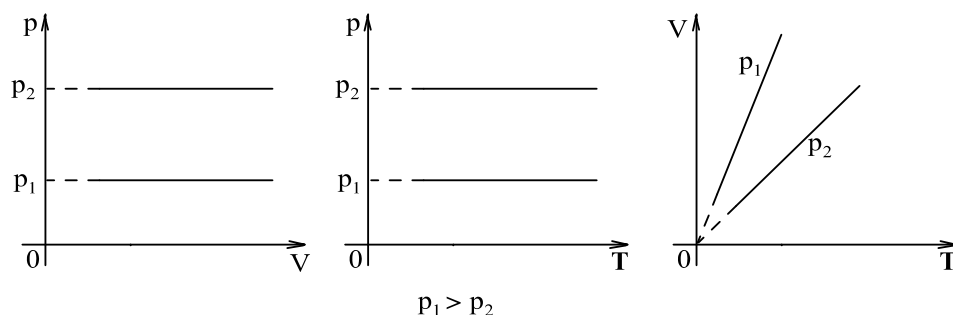
2. Перехід газу з одного стану в інший при сталому тиску називається ізобарним процесом.

Для ізобарного процесу справджується закон Гей-Люссака: при незмінній масі газу і сталому тиску об'єм газу пропорційний абсолютній температурі:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \text{ або } V = V_0 \frac{T}{273} \text{ або } \frac{V}{T} = \text{const.}$$

При незмінній масі газу і сталому тиску його об'єм з підвищенням температури на один градус збільшується на  $\frac{1}{273}$  частину того об'єму, який газ займав при 273К (0°C).

На графіках ізобарний процес зображується лінією – ізобарою.

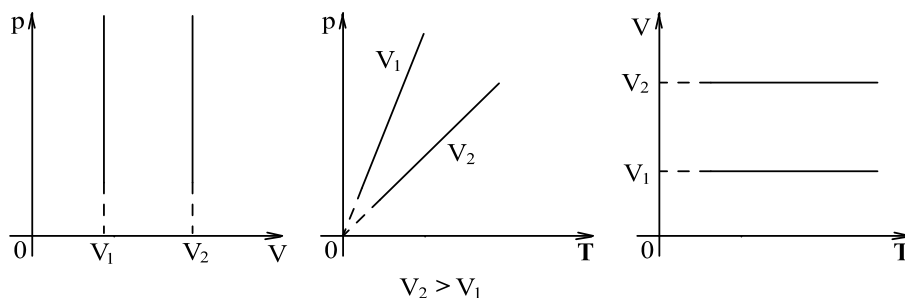


3. Перехід газу з одного стану в інший при сталому об'ємі називається ізохорним процесом.

Для ізохорного процесу справджується закон Шарля: при незмінній масі газу і сталому об'ємі тиск газу прямо пропорційний його абсолютній температурі:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ або } \frac{p}{T} = \text{const.}$$

На графіках ізохорний процес зображується лінією – ізохорою.



### *Тиск газу.*

1. Тиск газу на стінки посудини обумовлений ударами молекул.

Під час удару об стінку молекула передає їй імпульс, який дорівнює зміні власного імпульсу.

2. Тиск газу є ефектом співударів із стінкою великої кількості молекул, які хаотично рухаються. Наслідками цього є: тиск газу на всі стінки посудини однаковий; рівнодійна всіх сил ударів молекул, які діють на стінки посудини або на будь-яку поверхню всередині газу, перпендикулярні до поверхні; при великій кількості молекул тиск газу в середньому сталий, хоча в окремі моменти часу відбуваються невеликі відхилення (флуктуації) у той чи інший бік.

### *Основне рівняння МКТ ідеального газу.*

1. Тиск газу обумовлений ударами його молекул. Основне рівняння МКТ ідеального газу встановлює зв'язок між тиском газу і величинами, які визначають рух його молекул.

2. Існують такі формулювання цього закону:

Тиск газу прямо пропорційний масі молекули  $m$ , кількості частинок в одиниці об'єму, середньому квадрату швидкості їх поступального руху:  $p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$ .

$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}$ , де  $v_1, v_2, \dots, v_N$  – модулі швидкостей окремих молекул,  $N$  – число молекул в газі.

Число молекул в одиниці об'єму  $n = \frac{N}{V}$ , де  $V$  – об'єм газу.

$\overline{E_k} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2}$  – середня кінетична енергія поступального руху молекул.

Добуток тиску газу на його об'єм дорівнює двом третинам середньої кінетичної енергії поступального руху всіх молекул газу:

$$pV = \frac{2}{3} N \overline{E_k}, \quad p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}.$$

$n \cdot m = \rho$ , тобто густина газу дорівнює добутку маси молекул на число молекул в одиниці об'єму.

Тиск ідеального газу пропорційний добутку густини газу і середнього квадрату швидкості поступального руху молекул:  $p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$ .

### Молекулярно-кінетичне тлумачення температури.

1. Досліди і розрахунки показують, що середня кінетична енергія молекул  $\overline{E_k}$  пропорційна абсолютній температурі газу  $T$ .

$$\text{У випадку ідеального газу } \overline{E_k} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT.$$

2. Коефіцієнт  $k$  називають сталою Больцмана. Він показує на скільки зміниться кінетична енергія однієї молекули при зміні температури на один градус. Числове значення сталої Больцмана можна знайти лише експериментально:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ .

3. З точки зору молекулярних уявлень температура – це міра середньої кінетичної енергії руху молекул.

Це справедливо не тільки для ідеального газу, а й для речовини у будь-якому стані.

4. З цієї точки зору абсолютним нулем є температура, при якій середня кінетична енергія поступального руху молекул дорівнює нулю.

При абсолютному нулі молекулярний рух не припиняється – молекули здійснюють коливальні рухи.

5. Температура характеризує стан величезної кількості молекул. Не можна говорити про "температуру" однієї чи кількох молекул, про "гарячі" та "холодні" молекули.

### Рівняння стану ідеального газу.

1. Рівняння, що пов'язує тиск газу, його об'єм і температуру, називають рівнянням стану ідеального газу:  $pV = \frac{m}{M} RT$ , де  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$  – універсальна газова стала.

Записане рівняння називається рівнянням Менделєєва-Клапейрона.

2. Для даної маси газу, як би не змінювалися його тиск, об'єм і температура, добуток тиску на об'єм, поділений на абсолютну температуру, є величина стала:

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R = \text{const.}$$

Часто це рівняння записують у вигляді (рівняння Клапейрона):

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ або } \frac{pV}{T} = \text{const.}$$

### Рівняння стану реального газу.

1. Закони ідеального газу, виведені з молекулярно-кінетичних уявлень, є наближеними для реальних газів. Вони добре підтверджуються на досліді тоді, коли тиск газу малий і температура його не занадто низька. При підвищенні тиску чи зниженні температури поведінка реальних газів відрізняється від поведінки ідеального газу.

2. Рівняння стану реального газу можна отримати увівши поправки у рівняння Менделєєва-Клапейрона.

Перша поправка  $b$  визначає сумарний об'єм молекул, які складають один моль даного реального газу:  $V = \nu \frac{RT}{p} + b$ .

Константа  $b$  визначає ту частину об'єму, яка недоступна для руху молекул внаслідок їх скінченних розмірів.

При навіть дуже великому тиску об'єм реального газу, на відміну від ідеального газу, не дорівнюватиме нулю.

Друга поправка полягає в наступному: сили притягання заважають молекулам розлетітися і приводять до зменшення тиску, порівняно з тим, з яким газ діяв би на стінки посудини за відсутності сил молекулярної взаємодії. Зменшення тиску  $\Delta p$  наближено обернено пропорційне до об'єму посудини:  $\Delta p = \frac{a}{V^2}$ , де  $a$  – сталий для даного газу коефіцієнт.

Враховуючи ці поправки, рівняння стану реального газу набуває вигляду:

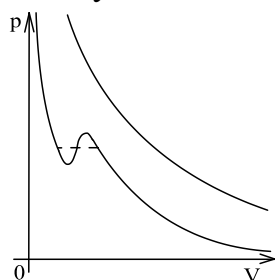
$$\left(p + a \frac{\nu^2}{V^2}\right)(V - \nu b) = \nu RT.$$

Для одного моля газу рівняння має вигляд:  $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$ .

Це рівняння було запропоновано голландським фізиком Ван-дер-Ваальсом.

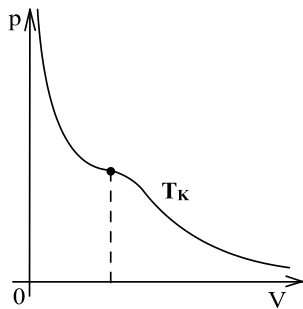
2. У теорії Ван-дер-Ваальса кожен газ характеризується своїми параметрами  $a$  і  $b$ , які можна визначити експериментально.

Знаючи константи  $a$  і  $b$ , можна за рівнянням Ван-дер-Ваальса побудувати для певної речовини ізотерми – графіки залежності тиску газу від об'єму, який він займає.



За високих температур ізотерма Ван-дер-Ваальса мало відрізняється від ізотерми Бойля-Маріотта. З пониженням температури на графіку утворюється "петля Ван-дер-Ваальса", виникнення якої означає, що рівняння стану реального газу перестав описувати дійсну ситуацію – при збільшенні тиску зростає і об'єм.

Якщо цю ізотерму будувати за експериментальними даними, то замість "петлі" з'являється прямолінійна ділянка графіку, яка відповідає перетворенню газу на рідину.



3. Газ можна перетворити на рідину лише при температурі, нижчій за критичну температуру, при якій "петля" виникає вперше:  $T_K = \frac{1}{R} \cdot \frac{8a}{27b}$ .

За критичної температури зникають відмінності у фізичних властивостях між рідиною і її насиченим паром.

За критичної температури густина і тиск насиченої пари стають максимальними, а густина рідини, що перебуває у рівновазі з паром – мінімальною.

## *Зріджені гази.*

1. З рівняння Ван-дер-Ваальса випливає, що гази можна переводити у рідинний стан, причому цей перехід можливий лише за температур, нижчих за критичні температури даного газу.

Один із основних методів зрідження газів полягає в їх стисканні. При цьому відбувається зближення молекул і зростання сил зчеплення між ними.

## *Пароутворення і конденсація.*

1. Процес перетворення речовини на пару називається пароутворенням.

Випаровування – це пароутворення, що відбувається лише з поверхні рідини.

2. Випаровування відбувається за будь-якої температури.

3. Пояснюється випаровування тим, що молекули рідини мають різні швидкості. Деякі з них мають достатню кінетичну енергію для того щоб відірватися від поверхні і вийти за сфери дії молекулярних сил. Тому над рідиною завжди є її вільні молекули, які утворюють пару.

4. У результаті хаотичного руху над поверхнею рідини молекули пари можуть повертатися в неї. Цей процес називається конденсацією.

5. Під час випаровування рідина охолоджується.

6. Швидкість випаровування тим більша, чим вище температура рідини, чим більше її поверхня, чим швидше віддаляється пара, що утворилася над поверхнею, і чим менший зовнішній тиск. Швидкість випаровування залежить також від природи речовини, що випаровується.

7. Під час конденсації пари виділяється стільки енергії, скільки її було витрачено на її утворення.

### *Насичена і ненасичена пара.*

1. Якщо випаровування відбувається в закритій посудині і рідина займає лише частину її об'єму, то настає такий момент, коли кількість молекул, які вилітають з рідини за одиницю часу, виявляється такою самою як кількість молекул, що повертаються до неї у той самий час. Такий стан називають динамічною рівновагою пари і рідини.

2. Пару, що перебуває в динамічній рівновазі зі своєю рідиною, називають насиченою.

Пару, що не перебуває в динамічній рівновазі зі своєю, рідиною називають ненасиченою.

3. Насичена пара має за даної температури найбільшу кількість молекул в одиниці об'єму (максимальну густину) і чинить найбільший тиск.

4. Концентрація молекул насиченої пари у закритому об'ємі з рідиною завжди встановлюється за даної температури одна й та сама, незалежно від об'єму, що займає пара. Сталим залишається і тиск пари, але він залежить від речовини.

5. Властивості ненасиченої пари можна описувати газовими законами для ідеального газу: Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля, Менделєєва-Клапейрона.

Властивості пари тим точніше відповідають цим законам, чим менш насиченою є пара, тобто чим менша її густина.

Для насиченої пари можна застосувати лише рівняння Менделєєва-Клапейрона.

### *Кипіння.*

1. Кипіння – це внутрішнє випаровування рідини, внаслідок якого всередині її об'єму утворюються бульбашки пари, що спливають і викидають її зовні.

2. Кипіння відбувається за такої температури, коли тиск насиченої пари рідини дорівнює атмосферному тиску (або трохи його перевищує).

3. При зменшенні тиску на рідину температура її кипіння знижується, а при збільшенні тиску – підвищується.

4. Здатність різних речовин до випаровування характеризується питомою теплотою пароутворення  $r$ .

Кількість теплоти, необхідну для випаровування маси  $m$  рідини, можна обчислити за формулою:  $Q = mr$ .

5. Внутрішня енергія певної маси пари перевищує внутрішню енергію такої самої маси рідини при тій самій температурі.

6. У результаті конденсації пари виділяється кількість теплоти, яку називають теплотою конденсації, яка дорівнює теплоті пароутворення.

Питома теплота пароутворення дорівнює питомій теплоті конденсації.

## *Вологість повітря.*

1. Величину, що вимірюється кількістю водяної пари (у грамах), яка міститься в  $1\text{ м}^3$  повітря, називають абсолютною вологістю повітря.

В метеорології прийнято називати абсолютною вологістю повітря тиск водяної пари, яка міститься в ньому за даної температури, виміряній у міліметрах ртутного стовпчика.

2. Відносною вологістю повітря називають величину, яка вимірюється відношенням абсолютної вологості до кількості пари, необхідної для насичення  $1\text{ м}^3$  повітря за тієї самої температури. Її вимірюють у відсотках:  
$$\varphi = \frac{p_A}{p_n} \cdot 100\%.$$

В метеорології відносною вологістю повітря називають величину, що вимірюється відношенням тиску водяної пари, яка міститься у повітрі, до тиску водяної пари, що насичує повітря за тієї самої температури:  $\varphi = \frac{p_A}{p_n} \cdot 100\%$ .

3. Знижуючи температуру, можна довести відносну вологість повітря до 100% не змінюючи кількості пари, яка є в ньому.

Температуру, за якої відносна вологість повітря становить 100%, називають точкою роси.

4. Абсолютну вологість вимірюють за допомогою приладів – гігрометрів, а відносну вологість – психрометрами.

Відносна вологість за даних умов визначається через відношення тиску (густини) наявної пари до тиску (густини) насиченої пари за даної температури:  $\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100\%$ .

Виходячи з цієї формули і таблиці значень тисків і густин насиченої водяної пари за різних температур, можна виконати такі дії:

Відомі температура і відносна вологість повітря. Щоб знайти тиск (густину) наявної пари, з таблиці визначають тиск (густину) насиченої пари за даної температури, а потім використовують формули:  $p = p_n \varphi$ ,  $\rho = \rho_n \varphi$ . Якщо  $\varphi$  указано у відсотках, то треба брати не  $\varphi$ , а  $\frac{\varphi}{100\%}$ .

Відомі відносна вологість і тиск (густина) наявної пари. Щоб знайти точку роси – температуру, за якої дана пара стає насиченою, визначають

значення тиску (густини) за формулою  $p_n = \frac{p}{\varphi} \cdot 100\%$  (або  $\rho_n = \frac{\rho}{\varphi} \cdot 100\%$ ). Знаючи це значення, у таблиці знаходять відповідну температуру. Це допоможе з'ясувати можливість появи інею, роси, туману.

Відомі точка роси і тиск (густина) наявної пари. Щоб визначити відносну вологість, спочатку з таблиці знаходять значення тиску (густини) насиченої пари, а потім обчислюють шукану величину.

Іноді треба розглядати "вологе" повітря – суміш водяної пари і "сухого" повітря. У такому випадку тиск вологого повітря  $p = p_1 + p_2$ , де  $p_1$  – тиск пари,  $p_2$  – тиск "сухого" повітря.

Густина вологого повітря  $\rho = \frac{m_1+m_2}{V} = \rho_1 + \rho_2$ , де  $m_1$  і  $\rho_1$  – маса і густина пари,  $m_2$  і  $\rho_2$  – маса і густина "сухого" повітря.

### *Властивості рідини.*

1. Рідини займають проміжне положення між газами і кристалами. У розміщенні частинок рідини є певний порядок, але цей порядок обмежується областю, що містить невелике число частинок навколо даної (існує так званий ближній порядок).

2. Кожна молекула рідини протягом досить тривалого часу коливається навколо певного положення рівноваги. Іноді вона змінює це положення, переміщуючись на відстань свого розміру.

Час, протягом якого молекула коливається навколо положення рівноваги, називають часом її осілого життя.

3. Під час навіть незначного зсовуючого зусилля рідина починає текти. Але, якщо час дії сили менший або того самого періоду, що й час осілого життя молекул, то рідина виявляє пружність.

### *Поверхневий натяг.*

1. Внаслідок взаємодії молекул виникає поверхневий натяг рідини. Його характеризують силою поверхневого натягу – силою, прикладеною до контуру, що обмежує поверхню рідини. Вона спрямована перпендикулярно до будь-якого елемента лінії, проведеної на поверхневій плівці вздовж дотичної до поверхні рідини.

2. Кількісною характеристикою рідини є поверхневий натяг, який дорівнює відношенню сили поверхневого натягу до довжини межі поверхневого шару:  $\sigma = \frac{F}{l}$ .

3.  $\sigma$  не залежить від  $l$ . В СІ  $\sigma$  вимірюється в  $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

4. З підвищенням температури рідини поверхневий натяг зменшується і в критичній точці, коли густина рідини і пари однакові, поверхневий натяг дорівнює нулю.

5. Поверхневий натяг істотно залежить від домішок до рідини. Речовини, які послаблюють поверхневий натяг рідин, називаються поверхнево-активними.

З молекулярної точки зору вплив поверхнево-активних речовин пояснюється тим, що сили притягання між молекулами рідини більші за сили притягання між молекулами рідини і домішок, тому молекули рідини у поверхневому шарі з більшою силою втягуються всередину рідини, ніж молекули домішок.

### *Змочування.*

1. Змочування рідиною твердого тіла пояснюється тим, що зчеплення між молекулами рідини і твердого тіла сильніше, ніж притягання між частинками рідини.

2. У тому випадку, коли рідина не змочує твердого тіла, взаємне притягання її молекул між собою більше, ніж притягання їх до молекул твердого тіла.

3. Змочування чи незмочування рідиною стінок посудини впливає на форму вільної поверхні рідини у посудині. Рідина, що змочує стінки, біля країв посудини підіймається, а та, що не змочує – опускається.

### *Капілярність.*

1. На молекули поверхневого шару діють сили, спрямовані всередину рідини, внаслідок чого цей шар діє на рідину з силою, спрямованою нормально до її поверхні. Створений цією силою тиск називається внутрішнім, або молекулярним. Він не діє ні на стінки посудини, в яку налито рідину, ні на занурені в неї тіла.

2. Тиск під увігнутою поверхнею менший, а під опуклою – більший, ніж під плоскою.

Цей додатковий тиск залежить від поверхневого натягу і від форми поверхні (радіусу кривизни  $R$ ):  $p = \frac{2\sigma}{R}$  – формула Лапласа.

3. Поверхневий натяг рідини є причиною явища капілярності – підняття або опускання рідини в трубках малого перерізу.

Висота підняття або опускання рідини в капілярній трубці прямо пропорційна поверхневому натягу і обернено пропорційна радіусу трубки і густині рідини  $h = \frac{2\sigma}{r\rho g}$ .

## *Кристалічні тіла.*

1. У фізиці кристалічними тілами називають тверді тіла, що складаються з кристалів.

2. Зовнішньою ознакою будь-якого кристалу в природних умовах є правильна геометрична форма. Кристали зберігають сталими не лише об'єм, а й форму.

Кристали тієї самої речовини можуть мати різну форму, яка залежить від умов їх утворення. Вони можуть відрізнятися і кольором.

Основна властивість монокристалів – анізотропія їх властивостей, тобто неоднаковість фізичних властивостей у різних напрямках.

3. Частинки, з яких складається кристал, при тепловому русі коливаються навколо положень рівноваги, які називають вузлами. Якщо їх мислено сполучити прямими лініями, то отримаємо зображення кристалу, яке називають кристалічною просторовою решіткою.

Вузол – це положення рівноваги частинки, яка входить до складу кристалу, тобто точка. Кристалічна решітка не відображає ні взаємних відстаней між частинками, ні їх відносних розмірів, а дає можливість уявити взаємне розміщення центрів частинок у просторі. Насправді ж атоми і молекули розміщені у кристалах щільно: вони дотикаються, навіть перекривають одна одну.

4. Кристали можуть утворюватися атомами, молекулами або іонами.

5. Ідеально правильна структура монокристалів існує тільки у порівняно невеликих об'ємах. Структура ж реальних кристалів спотворена різного роду дефектами геометричної правильності просторової решітки, наявністю в ній атомів інших речовин тощо. Багато властивостей кристалів дуже чутливі до наявності у кристалічній решітки дефектів.

6. Існують різні способи штучного вирощування кристалів. Їх отримують з розчинів, з розплавів, з газів.

## *Полікристали.*

1. Тіло, яке складається з безлічі невпорядковано розміщених дрібних кристалів, називають полікристалічним або полікристалом.

2. Полікристалічні тіла ізотропні, тобто їх властивості в усіх напрямках однакові.

### *Аморфні тіла.*

1. Поряд з кристалами існують тіла, які в побуті називають твердими тілами, що не мають кристалічної будови. Ці тіла складаються з аморфних решіток.
2. Аморфні тіла повністю ізотропні. Вони не мають певної температури плавлення.
3. Характерною особливістю їх є пластичність, тобто відсутність границі пружності.
4. Залежно від характеру впливу (часу, за який діє сила) аморфні речовини поведуться то як крихкі тверді тіла, то як дуже в'язкі рідини.
5. За внутрішньою будовою аморфні тіла близькі до рідин, відрізняються від них лише меншими середніми відстанями між молекулами і у зв'язку з цим більшими силами молекулярного притягання. Тому аморфні тіла можна вважати переохолодженими рідинами.
6. Аморфний стан нестійкий: через певний час аморфна речовина переходить у кристалічну.

### *Рідкі кристали.*

1. Речовини, що поєднують властивості рідин і кристалів, називаються рідкими кристалами.
2. Рідкі кристали текучі й утворюють краплі, які можуть мати не сферичну, а видовжену форму.
3. Якщо в твердих кристалах спостерігається далекий порядок у розміщенні частинок у будь-яких трьох взаємно перпендикулярних напрямках, то в рідких – в одному напрямі.
4. Маючи упорядковану орієнтацію молекул в одному з напрямів, рідкі кристали характеризуються і анізотропією фізичних властивостей.
5. Існують рідкі кристали в певному інтервалі температур, різному для різних речовин. При нагріванні вони перетворюються на звичайну рідину, а при охолодженні – стають твердими кристалами.
6. Властивості багатьох рідких кристалів змінюються при порівняно незначній зміні зовнішніх умов.

# Основи термодинаміки

## *Теплові явища та способи їх пояснення.*

1. Явища, що пов'язані з нагріванням або охолодженням тіл, зі зміною температури, називають тепловими.

Закони, що описують теплові явища, стосуються особливого руху матерії – теплового руху, притаманного всім макроскопічним тілам незалежно від того, переміщуються вони у просторі чи ні.

2. Тепловий рух – це хаотичний рух величезної кількості молекул чи атомів.

Закономірності явищ, в яких бере участь величезна кількість молекул, називають статистичними. В таких явищах не можна дістати відповіді на запитання про точну поведінку конкретної молекули. Правомірним є лише запитання про ймовірність тієї чи іншої поведінки молекули.

Якщо для  $N$  дослідів певна подія відбувається  $n$  разів, то ймовірність цієї події  $w = \frac{n}{N}$ . Величина  $w$  зазнає лише незначних коливань навколо певного числового значення для будь-яких великих значень кількості дослідів  $N$ .

3. Метод вивчення властивостей макроскопічних тіл без урахування особливостей їх внутрішньої будови називається термодинамічним або феноменологічним. Особливість термодинаміки в тому, що вона описує перебіг процесів у природі з точки зору перетворення енергії.

## *Термодинамічний стан системи.*

1. Тіло або групу тіл, які взаємодіють з навколишнім середовищем обмінюючись енергією внаслідок виконання роботи чи теплопередачі, називають термодинамічною системою.

Середовищем вважають усі тіла, які оточують термодинамічну систему, але не входять до її складу.

2. Під термодинамічним процесом розуміють явища, які перебігають у термодинамічній системі й пов'язані зі зміною її станів.

Термодинамічний стан системи визначається термодинамічними параметрами, найважливішими з яких є об'єм, тиск і температура.

3. Якщо стан термодинамічної системи не змінюється з часом за однакової температури у всіх її частинах, то кажуть, що система перебуває в рівноважному стані або в термодинамічній рівновазі. За умови рівноважного стану в системі відсутні будь-які переміщення маси й енергії.

4. Процес, який складається з безперервної послідовності рівноважних станів, називається рівноважним.

Характерною особливістю рівноважних процесів є їх оборотність: змінюючи відповідним чином параметри стану, можна змусити рівноважний процес відбуватися в зворотному напрямі так, що система повернеться до початкового стану, причому в навколишніх тілах не відбудеться жодних змін.

5. Нерівноважний процес необоротний. Це не означає, що систему, стан якої змінився внаслідок необоротного процесу, не можна повернути до початкового стану. Проте таке повернення призведе до певних змін у навколишніх тілах.

### *Температура в термодинаміці.*

1. З точки зору термодинаміки температура є фізичною величиною, що характеризує стан термодинамічної рівноваги макроскопічної системи і напрям теплообміну:

- якщо два тіла перебувають у тепловій рівновазі з одним і тим самим третім тілом, то вони перебувають у тепловій рівновазі одне з одним;
- існує така фізична величина, значення якої в усіх точках рівноважної системи однакове; цю величину, що характеризує теплову рівновагу, називають температурою;
- при тепловій рівновазі можливий один єдиний розподіл енергії системи по її частинам; при збільшенні енергії системи збільшується енергія частинок; теплообмін завжди відбувається таким чином, що енергія у формі тепла передається тілом від нагрітих тіл до холодних.

Отже, якщо ізольована система перебуває у тепловій рівновазі, то з часом перехід енергії (теплопередача) від більш нагрітих частин системи до менш нагрітих приведе до вирівнювання температури всієї системи.

### *Теплове розширення тіл*

1. Під час нагрівання різні рідини змінюють свій об'єм по різному.

Об'єм рідини при даній температурі можна обчислити за формулою  $V = V_0(1 + \beta \Delta t)$ , де  $V_0$  - об'єм рідини при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення. Коефіцієнт об'ємного розширення показує, на яку частину зміниться об'єм рідини відносно початкового об'єму  $V_0$  внаслідок зміни температури тіла на 1К. В СІ вимірюється в  $\frac{1}{\text{K}}$  або  $\text{K}^{-1}$ .

2. Під час нагрівання тіл змінюються їх лінійні розміри.

Довжину тіла при даній температурі можна обчислити за формулою  $l = l_0(1 + \alpha\Delta t)$ , де  $l_0$  – довжина тіла при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення.

Коефіцієнт лінійного розширення показує, на яку частину зміниться довжина тіла відносно його початкової довжини  $l_0$  внаслідок зміни температури на 1К. В СІ вимірюється в  $\frac{1}{\text{K}}$  або  $\text{K}^{-1}$ .

## *Внутрішня енергія.*

1. Частинки, з яких складаються тіла, не тільки перебувають у безперервному хаотичному русі, а й взаємодіють між собою. Це означає, що частинки тіла мають кінетичну й потенціальну енергії.

Суму кінетичної й потенціальної енергії всіх молекул тіла називають його внутрішньою енергією.

2. У газах середня кінетична енергія молекул значно перевищує потенціальну енергію взаємодії.

Внутрішня енергія ідеального газу, оскільки в ньому відсутня молекулярна взаємодія, є кінетичною енергією руху його молекул і залежить від температури, та не залежить від його об'єму. Для одноатомного ідеального газу:

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

Зміна цієї енергії:  $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$ .

Внутрішня енергія реального газу є функцією двох параметрів: температури і об'єму.

За відсутності обміну енергією між газом і зовнішнім середовищем зміна одного виду енергії компенсується протилежною зміною іншого виду:  $\Delta E_{\text{к}} = -\Delta E_{\text{п}}$ .

3. У рідинах кінетична енергія теплового руху молекул і атомів та потенціальна енергія їх взаємодії приблизно однакові.

У твердих тілах потенціальна енергія взаємодії частинок перевищує їх кінетичну енергію.

4. Внутрішню енергію можна змінити шляхом виконання роботи і шляхом теплопередачі.

5. Теплопередача (теплообмін) відбувається через різницю температур між тілами: більш нагріті тіла віддають частину внутрішньої енергії менш нагрітим, і ніколи самочинно не може статися навпаки.

### *Види теплопередачі (теплообміну).*

1. Передавання внутрішньої енергії від більш нагрітих тіл до менш нагрітих при їх контакті, яке веде до вирівнювання температур без перенесення речовини, називають теплопровідністю.

Теплопровідність пояснюється взаємодією частинок, з яких складаються тіла. Молекули або атоми більш нагрітого тіла взаємодіють з молекулами або атомами менш нагрітого тіла і передають їм частину своєї енергії.

Речовини відрізняються одні від одних їх теплопровідністю. Найвищу теплопровідність мають метали, найменшу – гази. Погану теплопровідність мають рідини, дерево, пластмаса.

2. Теплообмін у наслідок перенесення речовини у газах і рідинах називається конвекцією.

Конвекція пояснюється дією сили Архімеда. Густина теплих шарів рідини або газу менша за густина холодних їх шарів. Тому теплі шари спливають на поверхню в менш нагрітих шарах рідини або газу.

У стані невагомості та в твердих тілах конвекція не відбувається.

3. Енергія від більш нагрітих тіл до менш нагрітих тіл може передаватися при відсутності контакту між ними і без перенесення речовини шляхом теплового випромінювання.

Теплове випромінювання подібне до світлового. Частина внутрішньої енергії перетворюється в енергію випромінювання, що поширюється у просторі і поглинається іншими тілами. Внаслідок поглинання тілом енергії випромінювання відбувається зворотне перетворення у внутрішню енергію.

Випромінюють енергію всі тіла. Чим вища температура тіла, тим більшу енергію воно випромінює.

Темні поверхні тіл поглинають і випромінюють енергію краще ніж світлі поверхні.

### *Кількість теплоти.*

1. Кількість енергії, яка передається від більш нагрітого тіла менш нагрітому в процесі теплопередачі, називають кількістю теплоти.

2. Кількість теплоти в СІ вимірюється в джоулях (Дж).

3. Коли стверджують, що тіло віддало кількість теплоти, то цим визначають наскільки зменшилась внутрішня енергія тіла внаслідок теплопередачі. Стверджуючи, що тіло отримало кількість теплоти, визначають наскільки збільшилась внутрішня енергія внаслідок теплопередачі.

4. Сума кількості теплоти, яку отримали тіла, дорівнює сумі кількості теплоти, що віддали тіла внаслідок теплообміну:  $Q_{\text{від}} = Q_{\text{отр}}$  – це рівняння теплового балансу.

### *Теплоємність. Питома теплоємність речовини.*

1. Речовини відрізняються одні від одних тим, що для зміни їх температури на одну й ту саму величину, при умові, що вони мають однакову масу, потрібні різні кількості теплоти. Іншими словами, речовини відрізняються питомими теплоємностями.

2. Питома теплоємність – це фізична величина, що дорівнює відношенню кількості теплоти, яка йде на нагрівання тіла, виготовленого з даної речовини, до добутку його маси на зміну температури тіла. Позначається питома теплоємність буквою  $c$ :  $c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$ .

3. Питома теплоємність вимірюється в  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ .

4. Питома теплоємність не залежить від маси тіла і зміни його температури. Для даної речовини вона має одне й те саме значення.

5. Кількість теплоти, що йде на нагрівання тіла, або кількість теплоти, яку віддає тіло під час охолодження, дорівнює:  $Q = cm(t_2 - t_1)$ .

6. Величина, що дорівнює добутку маси тіла на питому теплоємність речовини, з якої виготовлено тіло, має назву теплоємності:  $C = mc$ .

Теплоємність характеризує тіло і вимірюється в  $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ .

### *Теплота згоряння палива.*

1. Види палива відрізняються одні від одних тим, що під час повного згоряння, за умови однакових їх мас, виділяється різна кількість теплоти. Іншими словами, палива відрізняються їх питомою теплотою згоряння.

2. Питома теплота згоряння – це фізична величина, що дорівнює відношенню кількості теплоти, яка виділяється при повному згорянні палива, до його маси.

Позначають питому теплоту згоряння палива літерою  $q$ .  $q = \frac{Q}{m}$ .

3. Вимірюється питома теплота згоряння палива в  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ .

4. Питома теплота згоряння палива не залежить від маси палива, що згоряє.

5. Кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні палива масою  $m$ , визначається за формулою:  $Q = qm$ .

### *Плавлення і кристалізація твердих тіл.*

1. Перехід речовини з твердого стану в рідкий називають плавленням.

Перехід речовини з рідкого стану в твердий називають твердненням.

У випадку кристалічних тіл цей процес називають кристалізацією.

2. Під час нагрівання кристалічних тіл їх температура спочатку підвищується і при деякій температурі, яка має назву температури плавлення, вони починають плавитися.

У процесі плавлення кристалічних тіл температура не змінюється.

3. Плавлення відбувається обов'язково з поглинанням кількості теплоти. Це пояснюється тим, що потрібна енергія для руйнування впорядкованого розміщення частинок тіла.

4. Кристалізація відбувається з виділенням кількості теплоти, що пішла на плавлення тіла.

Температура плавлення і кристалізації однакові.

### *Питома теплота плавлення.*

1. Кристалічні тіла, виготовлені з різних речовин, відрізняються одні від одних тим, що для їх плавлення, за умови однакових їх мас, потрібна різна кількість теплоти. Іншими словами, ці речовини відрізняються їх питомою теплотою плавлення.

2. Питома теплота плавлення – це фізична величина, яка дорівнює відношенню кількості теплоти, що потрібна для плавлення кристалічного тіла, виготовленого з даної речовини, до його маси.

Позначається питома теплота плавлення літерою  $L$ .  $L = \frac{Q}{m}$ .

3. В СІ вимірюється в  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ .

4. Кількість теплоти, яка потрібна для плавлення кристалічного тіла, визначається за формулою:  $Q = Lm$ .

5. Питома теплота плавлення для даної речовини дорівнює питомій теплоті кристалізації.

### *Питома теплота пароутворення.*

1. Рідини відрізняються одні від одних тим, що для випаровування їх однакової маси при температурах кипіння потрібна різна кількість теплоти. Іншими словами, рідини відрізняються одні від одних їх питомою теплотою пароутворення.

2. Питома теплота пароутворення – фізична величина, що дорівнює відношенню кількості теплоти, потрібної для випаровування даної рідини при сталій температурі, до маси цієї рідини.

Позначається питома теплота пароутворення літерою  $r$ .  $r = \frac{Q}{m}$ .

3. В СІ вимірюється в  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ .

4. Щоб визначити кількість теплоти, необхідну для випаровування певної маси рідини, користуються формулою:  $Q_{\text{п}} = rm$ .

5. Конденсація супроводжується виділенням теплоти, яка кількісно визначається за тією самою формулою:  $Q_{\text{к}} = rm$ .

### *Зміни внутрішньої енергії при виконанні роботи.*

1. Внутрішня енергія тіла може змінюватися в результаті виконання роботи:  $\Delta U = A$ , де  $A = FS\cos\alpha = F_{\text{т}}vt = \Delta E$ .

2. Робота, виконана газом при ізобарному розширенні проти зовнішніх сил, дорівнює добутку тиску газу на приріст його об'єму:  $A = p(V_2 - V_1)$ .

3. Якщо газ ізобарно стискується, то в цьому випадку роботу виконують над ним зовнішні сили, збільшуючи його потенціальну енергію.

4. При будь-якому процесі виконана газом робота чисельно дорівнює площі, обмеженій графіком цього процесу в системі координат  $p, V$ , віссю абсцис і двома ординатами.

### *Перший закон термодинаміки.*

1. Відповідно до закону збереження і перетворення енергії зміна внутрішньої енергії системи  $\Delta U$  дорівнює сумі наданої їй кількості теплоти  $Q$  і роботи  $A'$ , виконаної над системою зовнішніми силами:  $\Delta U = Q + A'$ .

Це твердження називають першим законом (або началом) термодинаміки.

2. Перший закон термодинаміки можна записати так:  $Q = \Delta U + A$ .

Кількість теплоти частково йде на збільшення внутрішньої енергії і частково на виконання системою роботи над зовнішніми тілами.

3. Перший закон термодинаміки стверджує неможливість побудови "вічного" двигуна першого роду, який би нескінченно довго виконував роботу без надходження теплоти зовні: неможливо нескінченно довго виконувати роботу за рахунок скінченного значення внутрішньої енергії деякої системи (машини).

## *Застосування першого закону термодинаміки до ізопроесів в ідеальному газі.*

1. При ізохорній зміні стану газу вся кількість підведеної до нього кількості теплоти йде на зміну внутрішньої енергії  $Q = \Delta U$ .

При ізотермічному процесі вся підведена до газу кількість теплоти йде на виконання газом роботи  $Q = A$ .

При ізобарному розширенні кількість підведеної до газу теплоти більша за виконану ним роботу на величину, яка дорівнює зростанню його внутрішньої енергії  $Q = \Delta U + A$ .

2. Процес зміни стану газу, який відбувається без теплообміну з навколишніми тілами, називають адіабатним.

При стисканні газу без теплообміну з навколишнім середовищем його внутрішня енергія збільшується, а при розширенні – зменшується  $\Delta U = A$ .

3. Для однорідного тіла користуються поняттям теплоємності одного моля речовини: Молярною теплоємністю  $C$  називають кількість теплоти, отриману одним молем речовини при нагріванні його на один градус:

$$C = \frac{Q}{\nu(T_2 - T_1)} = \frac{Q_M}{m(T_1 - T_2)}.$$

Питома теплоємність речовини дорівнює:  $c = \frac{C}{M}$ .

Знаючи теплоємність речовини у даному термодинамічному процесі, можна знайти одержану тілом кількість теплоти:

$$Q = cm(T_2 - T_1) = \frac{m}{M} C(T_2 - T_1) = \nu C(T_2 - T_1).$$

4. Теплоємність визначається не лише властивостями речовини, а й видом термодинамічного процесу.

У випадку твердих і рідких тіл зміною об'єму при нагріванні нехтують і вважають, що теплоємність цих тіл не залежить від умов їх нагрівання.

Для газів треба враховувати, за яких умов газові передається певна кількість теплоти.

Молярна теплоємність газу при сталому тиску  $C_p$  більша за молярну теплоємність газу при сталому об'ємі  $C_V$ :  $C_p > C_V$ .

Для ідеального газу:  $C_p = C_V + R$ , для одноатомного газу  $C_p = \frac{5}{2}R$ , де  $R$  – універсальна газова стала.

## *Необоротність теплових процесів. Другий закон термодинаміки.*

1. Процес називають оборотним, якщо він допускає можливість повернення системи до початкового стану без будь-яких змін у навколишньому середовищі.

Якщо таке повернення здійснити не можна, тобто після закінчення процесу в навколишніх тілах чи у даній системі залишилися зміни, то процес є необоротним.

2. Перший закон термодинаміки встановлює кількісне співвідношення між кількістю теплоти, роботою і зміною внутрішньої енергії тіл, однак він не визначає напрямку розвитку процесів. Напрямок процесів у природі визначає другий закон термодинаміки.

3. Існують різні формулювання другого закону термодинаміки:

а) неможливий процес, при якому теплота переходила б самовільно від холодних тіл до нагрітих;

б) такий періодичний процес, єдиним результатом якого було б перетворення теплоти в роботу, неможливий;

в) неможливо побудувати теплову машину, яка б виконувала роботу за рахунок внутрішньої енергії найбільш холодного тіла.

4. Якщо перший закон термодинаміки виконується однаково строго як у випадку застосування його до тіл макроскопічних розмірів, які складаються з величезної кількості молекул, так і тіл, які містять всього лише кілька молекул, то другий закон термодинаміки застосовується лише до тіл, які містять скінченну, але дуже велику кількість молекул.

## *Принцип дії теплової машини.*

1. В основу дії теплової машини покладено перетворення внутрішньої енергії палива на механічну енергію.

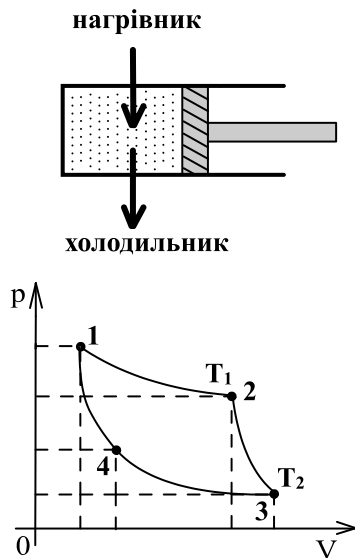
2. Теплова машина має нагрівник, робоче тіло, яке внаслідок нагрівання виконує роботу, і холодильник.

Робочим тілом є газ (пара).

Під час нагрівання газу в циліндрі з рухомим поршнем виконується робота і внутрішня енергія газу частково перетворюється на механічну енергію поршня. Після завершення ходу поршня в циліндрі, який має скінченні розміри, його треба повернути у попереднє положення, а газ знову нагріти, адже під час виконання роботи він охолоджується. Таку сукупність змін стану газу називають круговим процесом або циклом.

3. Основні процеси, які лежать в основі дії теплових машин, були з'ясовані французьким вченим Саді Карно на їх моделі – ідеальній тепловій машині з ідеальним газом в якості робочого тіла.

Карно показав, що найбільш вигідним є цикл з двох процесів – ізотермічного й адіабатного:



Робочому тілу надається певна кількість теплоти. Газ ізотермічно розширюється при температурі  $T_1$  (1 – 2).

Циліндр теплоізолюється. Газ продовжує розширюватися адіабатно – робота виконується за рахунок внутрішньої енергії газу – температура знижується до  $T_2$  (2 – 3).

Циліндр з'єднують з холодильником. Газ стискається, а його температура не змінюється. Холодильнику віддається кількість теплоти (3 – 4).

Циліндр знову теплоізолюють і адіабатним стисненням газ повертають у початковий стан (4 – 1).

Цей цикл роботи ідеальної теплової машини, який складається з двох ізотермічних і двох адіабатних процесів, дістав назву циклу Карно.

4. Для характеристики ефективності циклу перетворення внутрішньої енергії в механічну, а значить і теплової машини, вводиться коефіцієнт корисної дії циклу, або машини:  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ ,

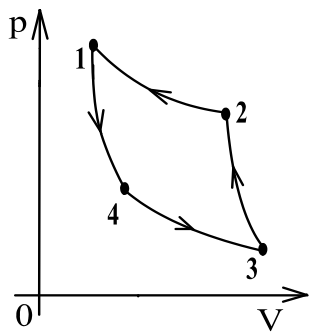
$Q_1$  – кількість теплоти, яку одержує робоче тіло від нагрівника;

$Q_2$  – кількість теплоти, яку віддає робоче тіло холодильнику.

5. За умови ідеального проходження процесу перетворення внутрішньої енергії в механічну, за відсутності теплових втрат, найвищий коефіцієнт корисної дії дорівнював би:  $\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ , де  $T_1$  – максимальна температура робочого тіла,  $T_2$  – температура холодильника.  $T_2$  не може бути рівною 0К, тому  $\eta$  не може дорівнювати 1.

5. Для збільшення ККД теплових машин необхідно прагнути до підвищення температури нагрівника  $T_1$  і до зниження температури холодильника  $T_2$ , до зниження втрат енергії на подолання тертя в деталях машини, зменшення тепловіддачі навколишньому середовищу тощо.

### Холодильна машина.



1. Холодильна машина призначена для підтримання в холодильній камері температури, нижчої за температуру навколишнього середовища.

2. Це можливо, якщо робоче тіло теплової машини провели за циклом, аналогічним оберненому циклу Карно: газ, розширюючись по ізотермі (4 – 3) відбирає від холодильника з температурою  $T_0$  кількість теплоти; при ізотермічному стисканні (2 – 1) газ віддає кількість теплоти тілу з температурою  $T > T_0$ .

3. Ефективність холодильної машини оцінюється за холодильним коефіцієнтом:  $k = \frac{Q_0}{A}$ , де  $Q_0$  – кількість теплоти, відібраної за цикл від холодильної камери,  $A$  – робота зовнішніх сил над газом.

Для холодильної машини, яка працює за оберненим циклом Карно, холодильний коефіцієнт дорівнює:  $k = \frac{T_0}{T - T_0}$ .

4. Під час роботи холодильна машина передає навколишньому середовищу більшу кількість теплоти, ніж відбирає від холодильної камери. Це означає, що холодильну машину можна використати для обігріву приміщення у холодну пору року.

Так, якщо опалювати приміщення за допомогою звичайних електронагрівників, то кількість теплоти, що виділяється в нагрівних елементах, точно дорівнює втраті енергії.

Коли ж електроенергію використати для приведення в дію холодильної машини, в якій нагрівником служить опалюване приміщення, а холодильною камерою – зовнішня атмосфера, то опалюване приміщення дістане більшу кількість теплоти, ніж її виділилося б при безпосередньому перетворенні електроенергії на внутрішню звичайним електронагрівником – в опалюване приміщення отримуємо енергію, яка дорівнює сумі робіт, виконаних за рахунок електроенергії, і енергії, відібраної від зовнішньої атмосфери.

Холодильна машина такого типу називається тепловим насосом.

# Електростатика

## *Електричний заряд.*

1. Усі тіла складаються з частинок, які не подільні на більш прості й тому мають назву елементарних.

Елементарні частинки мають масу і тому притягуються одні до одних силами всесвітнього тяжіння, які обернено пропорційні квадрату відстані між ними.

Водночас, є елементарні частинки, які взаємодіють між собою силами обернено пропорційними квадрату відстані між ними, але набагато більшими ніж сили всесвітнього тяжіння. Про такі частинки говорять, що вони мають електричний заряд.

Отже, електричний заряд – властивість певних елементарних частинок, тому бувають частинки без заряду, проте не існує заряду без частинки.

2. У природі є частинки двох видів, які позначаються знаками "плюс" (мають позитивний заряд) і "мінус" (мають негативний заряд).

Одноіменно заряджені частинки відштовхуються одні від одних, різноіменно заряджені – притягуються.

3. Електричний заряд елементарних частинок є мінімальним і має назву елементарного.

Заряд елементарних частинок електронів є негативним, а протонів – позитивним.

4. Якщо у макроскопічному тілі є надлишок електронів або протонів, то воно також має електричний заряд. При надлишку електронів, порівняно з протонами, тіло має негативний електричний заряд. При надлишку протонів тіло має позитивний заряд.

5. Властивість – електричний заряд макроскопічних тіл може виявлятися з різною інтенсивністю. Тому, для кількісної характеристики цієї властивості частинок і макроскопічних тіл вводять фізичну величину, що має таку саму назву – електричний заряд.

6. Електричний заряд – фізична величина позначається літерою  $q$  і в СІ вимірюється в кулонах (Кл).

7. Електричний заряд подільний. Це означає, що електричний заряд макроскопічного тіла можна зменшувати на ціле число електричних зарядів.

8. Електричний заряд не залежить від вибору системи відліку, в якій перебуває заряджене тіло.

9. Для ізольованої системи тіл справджується закон збереження електричного заряду.

10. Навколо електрично зарядженого тіла завжди існує його власне електричне поле.

## *Електризація тіл.*

У макроскопічному тілі завжди є електрони і протони. За умови рівності числа електронів і протонів тіло електрично нейтральне (не заряджене).

Одним із способів отримання електрично зарядженого тіла, тобто його електризації, є електризація дотиком. Під час контакту двох тіл, виготовлених з різних речовин, частина електронів з одного тіла переходить до другого тіла. Те тіло, в якому є надлишок електронів, стає зарядженим негативно, а інше, що перебувало в контакті з першим, стає позитивно зарядженим.

Отже, електризуються обидва тіла.

Для збільшення поверхні дотику цих тіл, використовується їх тертя одне об одне, наслідком чого стає збільшення отриманих ними електричних зарядів.

## *Закон збереження електричного заряду.*

1. Алгебраїчна сума зарядів, які виникають внаслідок будь-якого електричного процесу на всіх тілах, які беруть участь в процесі, завжди дорівнює нулеві.

У цьому полягає закон збереження електричних зарядів.

2. Закон збереження електричного заряду справджується лише для випадку електрично ізольованих систем, тобто для систем, які не обмінюються електричними зарядами з тілами чи частинками, що не входять у цю систему.

## *Закон Кулона.*

1. Точковим зарядом називається заряджене тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна нехтувати.

2. Два нерухомих точкових заряди у вакуумі взаємодіють із силами, модулі яких прямо пропорційні добутку цих зарядів і обернено пропорційні квадрату відстані між ними.

Сили взаємодії двох заряджених тіл за числовими значеннями однакові і спрямовані вздовж прямої, що з'єднує заряди:  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ .

Цей закон експериментально відкрив французький вчений Ш. Кулон.

3.  $k$  – коефіцієнт пропорційності.  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ . В СІ  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , де  $\epsilon_0$  – електрична стала.

4. У середовищі  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}$ , де  $\epsilon$  – діелектрична проникність середовища, що дорівнює відношенню сили взаємодії зарядів у вакуумі  $F_0$  і в речовині  $F$ :  $\epsilon = \frac{F_0}{F}$ .

## Електричне поле.

1. Взаємодія тіл, які мають електричні заряди, здійснюється за допомогою електричного поля.
2. Основна властивість електричного поля, завдяки якій воно виявляє своє існування – це здатність діяти на електричні заряди з певною силою.
3. Електричне поле має енергію.
4. Електричне поле є одним з видів матерії.

## Напруженість електричного поля.

1. Напруженістю електричного поля в даній його точці називають фізичну величину, що чисельно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на точковий заряд, уміщений в цю точку, до цього заряду:

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

2. Напруженість електричного поля – векторна величина. Напрямок вектора напруженості збігається з напрямком сили, з якою поле діє на позитивний заряд, уміщений в дану точку поля.

3. В СІ одиницею напруженості електричного поля є

$$\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

4. З боку електричного поля на заряд  $q_0$  діє сила:  $\vec{F} = \vec{E}q_0$ . Вектор  $\vec{F}$  збігається за напрямом з вектором  $\vec{E}$ , якщо заряд  $q_0 > 0$  і спрямований у протилежний бік, якщо  $q_0 < 0$ .

## Принцип суперпозиції.

1. Важливим завданням у дослідженні електричних полів є знаходження за заданим розподілом у просторі електричних зарядів напруженості поля  $\vec{E}$  в кожній точці поля.

2. Якщо електричне поле створено точковим зарядом  $q$ , то напруженість поля точкового заряду на відстані  $R$  від нього дорівнює  $E = \frac{F}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$  – для вакууму, і  $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R^2}$  – для середовища з діелектричною проникністю  $\epsilon$ .

3. Якщо електричне поле створене кількома зарядами, то напруженість результуючого електричного поля дорівнює векторній сумі напруженостей полів, створюваних окремими зарядами:  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$ , де  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$  – напруженості полів, створювані окремими зарядами в даній точці.

У цьому полягає принцип суперпозиції (накладання) електричних полів.

### *Лінії напруженості електричного поля.*

1. Електричне поле можна графічно зобразити за допомогою ліній напруженості.

Лінії напруженості проводять в електричному полі так, щоб у кожній її точці вектор напруженості був спрямований по дотичній.

2. Лінії напруженості ніде не перетинаються. Вони завжди починаються на поверхні позитивно зарядженого тіла і закінчуються на поверхні негативно зарядженого і є незамкнутими лініями.

3. За напрям ліній напруженості взято такий, який збігається з напрямом векторів напруженості в кожній точці цих ліній.

4. Коли вектори напруженості у всіх точках поля мають однакове значення і напрям, лінії напруженості є прямими лініями, паралельними вектору напруженості, і густина ліній напруженості на всіх ділянках цього поля стала. Таке поле називається однорідним.

### *Потік напруженості. Теорема Гауса.*

1. Поток вектора напруженості електричного поля  $\Phi$  через певну невелику ділянку називають добуток:  $\Phi = EScos\alpha$ , де  $E$  – напруженість поля в місці знаходження обраної ділянки,  $S$  – площа ділянки,  $\alpha$  – кут між вектором  $\vec{E}$  і вектором  $\vec{n}$  нормалі до ділянки.

Домовилися вектор  $\vec{n}$  всюди спрямовувати назовні від поверхні.

2. Теорема Гауса формулюється так: потік вектора напруженості електричного поля через довільну замкнуту поверхню дорівнює повному заряду, який міститься всередині цієї поверхні, поділеному на електричну сталу:

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon_0}(q_1 + q_2 + \dots + q_n),$$

де  $\Phi$  – повний потік вектора напруженості  $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_n$ , де  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$  – потоки векторів напруженості від відповідних зарядів  $q_1, q_2, \dots, q_n$ .

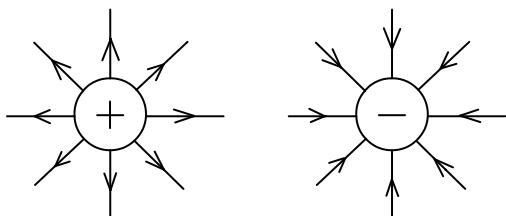
У записаній рівності ліворуч і праворуч указані алгебраїчні суми потоків і зарядів, враховуючи, що знак потоку визначається знаком заряду.

3. Сутність теореми Гауса можна пояснити так. Розглянемо довільну замкнену поверхню. Якщо всередині поверхні зарядів немає, то кількість ліній напруженості, які виходять з цієї поверхні, точно дорівнює кількості ліній, які входять у поверхню. Лінії, що входять, враховують разом з тими, які виходять з цієї поверхні, але приписують їм знак "мінус". Тоді повна кількість ліній напруженості, які виходять з "порожньої" поверхні, дорівнює нулю. Якщо ж всередині поверхні є деякий заряд, то повна кількість ліній напруженості, які виходять з поверхні, пропорційна значенню цього заряду.

### Електричне поле заряджених поверхонь.

Використовуючи теорему Гауса можна визначити напруженості полів заряджених поверхонь.

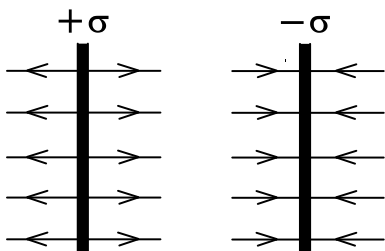
1. Електричне поле рівномірно зарядженої сферичної поверхні.



Напруженість поля поза такою поверхнею збігається з напруженістю поля точкового заряду, вміщеного в її центр.

Напруженість поля всередині такої поверхні дорівнює нулю.

2. Електричне поле рівномірно зарядженої нескінченної площини.



Якщо абстрагуватися від дискретності заряду і розглядати його безперервно розподілений у певному об'ємі, на поверхні, на лінії, то розподіл заряду характеризують значенням його густини  $\sigma$ .

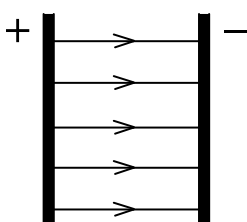
Об'ємна густина заряду  $\sigma_V = \frac{q}{V}$ , де  $q$  – заряд, що міститься в об'ємі  $V$ .

Поверхнева густина  $\sigma_S = \frac{q}{S}$ , де  $q$  – заряд поверхні площею  $S$ .

Лінійна густина  $\sigma_l = \frac{q}{l}$ , де  $q$  – заряд на відрітку довжиною  $l$ .

Напруженість поля такої пластини визначається лише поверхневою густиною зарядів:  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ .

Це електричне поле однорідне.



3. Електричне поле паралельних нескінченних рівномірно заряджених площин.

У всіх точках простору між площинами вектор напруженості має однакове значення і напрям:  $E = \frac{q}{\epsilon_0}$ .

Поза площинами напруженість поля дорівнює нулю.

### *Провідники в електричному полі.*

1. У провідниках завжди є вільні заряджені частинки, які можуть переміщуватися вздовж провідника під дією електричного поля.

Якщо провідник внести в електричне поле, вільні електрони в провіднику під дією сил цього поля змістатимуться в напрямі, протилежному напруженості поля. Внаслідок цього зміщення на одній частині провідника виникає надлишок негативного заряду, на другій частині – надлишок позитивного заряду.

У цьому полягає явище електростатичної індукції або електризації через вплив.

2. Упорядковане переміщення електронів повністю припиняється, коли напруженості зовнішнього і внутрішнього полів виявляються однаковими за значенням.

Електричного поля немає всередині як зарядженого, так і незарядженого провідника.

3. Заряди розміщуються на зовнішній поверхні провідника. Найбільша кількість зарядів знаходиться на випуклостях і особливо на вістрях провідника.

4. За наявності гострих виступів на зарядженому провіднику напруженість поля поблизу них може виявитися настільки значною, що в навколишньому повітрі починається іонізація молекул і з'являються позитивні і негативні іони. Іони з тим самим значенням заряду, що й у вістря, рухаються від вістря, захоплюючи під час свого руху й нейтральні молекули. Виникає спрямована течія повітря від вістря, або електричний вітер.

### *Діелектрики та їх будова.*

1. В ідеальних діелектриках немає вільних електронів. Різноміненні заряди, що входять до складу молекул діелектрика, компенсують один одного, і в цілому молекула електрично нейтральна.

Молекули деяких діелектриків складаються з іонів. Центри позитивних і негативних електричних зарядів таких молекул зміщені один відносно одного, утворюючи полярну молекулу, або так званій диполь. Навколо молекули-диполя утворюється електричне поле, хоча вона і має рівну кількість позитивних і негативних зарядів. Діелектрики, які складаються з молекул-диполів, називаються полярними діелектриками.

2. У нормальному стані поза діелектриком поле не виявляється. У полярних діелектриків молекули-диполі, внаслідок їх теплового руху, розміщені хаотично і їх поля взаємно послаблюють одне одного. У неполярних діелектриків їх молекули не мають власних електричних полів.

### *Поляризація діелектриків.*

1. При внесенні діелектрика у зовнішнє електричне поле, на його кінцях з'являються не скомпенсовані заряди – один кінець діелектрика заряджається позитивно, а протилежний – негативно. Заряди, які з'являються на кінцях діелектрика називаються поляризаційними зарядами, а процес їх утворення – поляризацією діелектрика.

2. При вміщенні полярного діелектрика у зовнішнє електричне поле з боку цього поля на кожний диполь діють сили, які намагаються повернути його так, щоб його вісь була спрямована вздовж силових ліній. При цьому позитивні заряди зміщуються в напрямі електричного поля, а від'ємні – у протилежний бік.

У середині діелектрика позитивні і негативні заряди диполів компенсують одні одних і середній зв'язаний електричний заряд дорівнює нулю. На поверхнях діелектрика в напрямі ліній напруженості зовнішнього електричного поля є зв'язані, але не скомпенсовані заряди протилежних знаків.

Тепловий рух перешкоджає впорядкованій орієнтації усіх диполів; тільки за температури рівній абсолютному нулю, усі диполі розмістилися б вздовж силових ліній. Отже, під впливом поля відбувається лише часткова орієнтація електричних диполів.

3. При вміщенні неполярного діелектрика у зовнішнє електричне поле під дією цього поля позитивні і негативні заряди молекули зміщуються у протилежні сторони, і такі деформовані молекули можна розглядати як електричні диполі. На поверхнях діелектрика з'являються зв'язані заряди, як і під час поляризації полярних діелектриків.

4. У діелектриках, як і в провідниках, спостерігається індукція електричних зарядів. Але, якщо в присутності зовнішнього електричного поля провідник можна розділити на дві частини, заряджені протилежними аз знаком зарядами, то цього з діелектриком зробити не можна. Якщо за таких умов діелектрик розділити на дві частини, то ми не дістанемо двох шматків, заряджених різнойменно – на протилежних поверхнях цих шматків будуть заряди протилежних знаків.

### *Діелектрична проникність.*

1. Діелектрик, уміщений в електричне поле, поляризується. Електричне поле, поляризується. Електричне поле поляризаційних зарядів завжди спрямоване назустріч зовнішньому полю, тому зовнішнє електричне поле всередині діелектрика послаблюється, але не компенсується повністю як в провідниках, а навколо діелектрика поле спотворюється.

2. Ступінь послаблення поля залежить від властивостей діелектрика.

Для характеристики діелектричних властивостей діелектриків вводиться особлива фізична величина – діелектрична проникність.

Діелектрична проникність середовища – це фізична величина, яка показує у скільки разів модуль напруженості електричного поля  $\vec{E}$  всередині однорідного діелектрика менше модуля напруженості поля  $\vec{E}_0$  у вакуумі:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

3. Діелектрична проникність – безрозмірна величина, для діелектриків завжди більша одиниці, залежить від природи діелектрика та його стану.

### *Сегнетоелектрики і електрети.*

1. Деякі діелектрики за певних температур набувають великих значень діелектричної проникності. Ця властивість вперше була виявлена у кристалів сегнетової солі, і тому всі діелектрики цього роду дістали назву сегнетоелектриків.

2. Діелектрична проникність сегнетової солі може перевищувати проникність вакууму в кілька тисяч разів. Вона помітно змінюється зі зміною напруженості зовнішнього електричного поля.

3. Сегнетоелектричні властивості сильно залежать від температури. При певній температурі, різній для різних речовин, сегнетоелектричні властивості зникають і сегнетоелектрик перетворюється на звичайний діелектрик.

4. Велика діелектрична проникність сегнетоелектриків пояснюється наявністю в цих речовинах у певному інтервалі температур ділянок самовільної поляризації.

5. Електрети – речовини, які можуть тривалий час зберігати наелектризований стан і за відсутності зовнішнього електричного поля. До електретів налужить певна група твердих діелектриків.

### *П'єзоелектричний ефект.*

1. У деяких кристалів поляризація може виникнути і без зовнішнього поля, якщо кристал піддати механічним деформаціям. Це явище дістало назву п'єзоелектричного ефекту.

2. Так у кристалі кварцу існує вісь, яка має назву "оптичної осі". При стисканні або розтягуванні кристалу перпендикулярно до цієї осі, в кристалі виникає поляризація і на його поверхнях виникають поляризаційні заряди. При стисканні вздовж оптичної осі поляризація не відбувається.

3. При зміні знаку деформації, тобто переходу від стискання до розтягу, змінюється знак поляризаційних зарядів.

4. Чим більша сила стискання або розтягу кристалу, тим більший заряд виникає на його поверхнях.

5. Поряд з п'єзоелектричним ефектом існує і обернене явище: в п'єзоелектричних кристалах виникнення поляризації в електричному полі супроводжується механічними деформаціями..

Зміна напрямку напруженості електричного поля викликає зміну характеру деформації.

### *Потенціал і різниця потенціалів.*

1. Робота електричного поля при переміщенні заряду з однієї точки у другу не залежить від форми шляху, а залежить від положення цих точок. Отже, робота сил електричного поля з переміщення заряду замкненим контуром дорівнює нулю.

2. Ця робота при переміщенні заряду між будь-якими точками 1 і 2 пропорційна цьому заряду. Однак відношення роботи до переміщеного заряду вже не залежить від нього і є характеристикою положення початкової і кінцевої точок переміщення:  $\frac{A}{q} = \frac{\Pi_1}{q} - \frac{\Pi_2}{q}$ , де  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  – потенціальні енергії заряду  $q$  в точках 1 і 2 електричного поля.

3. Величина, що дорівнює відношенню роботи поля під час переміщення заряду з однієї точки в іншу, до значення заряду, називається різницею потенціалів між цими точками або напругою:  $U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = \frac{\Pi_1}{q} - \frac{\Pi_2}{q}$ .

4. Робота, виконана силами електричного поля при переміщенні заряду  $q$  з точки 1 поля в точку 2, дорівнює добутку заряду на різницю потенціалів між цими точками:  $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ .

5. Відношення потенціальної енергії заряду, вміщеного у дану точку поля, до значення заряду, визначає потенціал поля в даній точці:  $\varphi = \frac{\Pi}{q}$ .

6. У фізиці приймають рівним нулю потенціал точок поля заряду, які містяться від нього на нескінченно великій відстані. У цьому випадку потенціал даної точки поля чисельно дорівнює роботі, виконаній силами поля при переміщенні одиничного додатного заряду з даної точки поля в нескінченно віддалену, потенціал якої дорівнює нулю.

В електротехніці вважають нульовим потенціал земної поверхні і відраховують відносно нього потенціали всіх інших точок.

7. Потенціал є енергетичною характеристикою електричного поля.

8. Одиницею потенціалу в СІ є вольт (В):  $1\text{В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$ .

9. Потенціал – скалярна величина.

### *Зв'язок між силовою і енергетичною характеристиками електричного поля.*

1. Роботу електричного поля по переміщенню заряду можна обчислити двома способами.

Якщо заряд переміщується вздовж лінії напруженості однорідного електричного поля  $\vec{E}$  із точки 1 в точку 2, відстань між якими  $\Delta d$ , то:

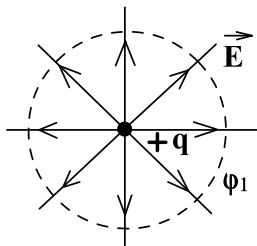
$$A = F \cdot \Delta d = qE\Delta d.$$

Якщо напруга між точками 1 і 2 дорівнює  $U$ , то  $A = qU = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ .

Тому, можна виразити модуль вектора напруженості поля так:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta d} = \frac{U}{\Delta d}.$$

2. Додатний заряд поле переміщує в бік зменшення потенціалу, а від'ємний – у бік зростання потенціалу.



3. Електричне поле графічно зображується еквіпотенціальними поверхнями, які перпендикулярні до ліній напруженості. Еквіпотенціальні поверхні – поверхні рівного потенціалу.

Для поля точкового заряду еквіпотенціальна поверхня є сферою.

4. Потенціали точок поля, створеного точковим зарядом  $q$ , розміщених на відстані  $r$  від нього, дорівнює:

$$\varphi = k \frac{q}{r} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ – для вакууму,}$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \text{ – для середовища з діелектричною проникністю } \epsilon.$$

### *Дослід Міллікена.*

1. Р. Міллікен довів дискретний характер електричного заряду та існування в природі найменшого (елементарного) електричного заряду.

2. Принципова схема досліду: між двома строго горизонтальними пластинами створювалося електричне поле, напруженість якого можна змінювати; у просторі між пластинами знаходились краплинки нелеткої рідини, які заряджалися під впливом радіоактивного, або рентгенівського випромінювання.

3. Проведення досліду: заряд краплинки змінювався і кожний раз, змінюючи напруженість електричного поля, встановлювалася рівновага краплинки; визначали заряд краплинки.

4. Результати дослідів можна записати так:

$$mg = q_0 E_0 = q_1 E_1 = \dots = q_n E_n,$$

$$\text{звідси } q_0 : q_1 : q_2 : \dots = \frac{1}{E_0} : \frac{1}{E_1} : \frac{1}{E_2} : \dots$$

Значення заряду краплинки виявилися цілими кратними деякого елементарного заряду  $e$ , тобто  $q_i = \pm n_i e$ .  $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

### Електроємність.

1. Електроємністю називають величину, яка вимірюється відношенням заряду провідника  $q$  до його потенціалу  $\varphi$ :  $C = \frac{q}{\varphi}$ .

2. Ємність провідника залежить від його розмірів і форми, не залежить від матеріалу, агрегатного стану, форми і розмірів порожнин усередині нього. Ємність не залежить також не від заряду провідника, не від потенціалу і для даного провідника відношення заряду до потенціалу має конкретне значення.

3. У СІ електроємність вимірюється у фарад (Ф):  $1\text{Ф} = 1 \frac{\text{В}}{\text{Кл}}$ .

### Конденсатор.

1. Конденсатор складається з двох провідників (обкладок), розділених ізолятором (діелектриком), товщина якого мала порівняно з розмірами провідників.

2. Під зарядом конденсатора розуміють абсолютне значення заряду однієї з обкладок.

3. Під ємністю конденсатора розуміють фізичну величину, що дорівнює відношенню нагромадженого в конденсаторі заряду  $Q$ , до різниці потенціалів  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  між його обкладками:

$$C = \frac{Q}{(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

4. Ємність конденсатора не залежить не від вибору нульового рівня потенціалу, не від наявності навколишніх тіл.

5. Залежно від форми обкладок конденсатори поділяють на плоскі, циліндричні, сферичні.

6. Конденсатори – це пристрої, які здатні при малих розмірах і невеликих, відносно навколишніх тіл, потенціалах нагромаджувати великі заряди.

7. Конденсатори можна з'єднувати у батареї.

При паралельному з'єднанні конденсаторів електроємність цієї батареї визначається з виразу:

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

Ємність збільшується, але на конденсатор можна подати напругу не більше тієї мінімальної, на яку розрахований один з конденсаторів батареї.

При послідовному з'єднанні конденсаторів електроємність цієї батареї визначається з виразу:

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

На цю батарею можна подавати напругу не більше напруги, що дорівнює сумі напруг, на які розраховані конденсатори батареї.

### *Плоский конденсатор.*

1. Плоский конденсатор складається з двох металевих пластин, розділених діелектриком.

2. Ємність плоского конденсатора прямо пропорційна робочій площі пластин, відносній діелектричній проникності діелектрика і обернено пропорційна відстані між пластинами:  $C = k \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$ , де  $S$  – площа однієї з двох рівних пластин,  $d$  – відстань між пластинами,  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який в СІ дорівнює одиниці.

Робоча площа конденсатора – це площа пластин, які містяться одна напроти одної.

3. Із зменшенням товщини діелектрика між пластинами збільшується ємність конденсатора. Однак, із зменшенням товщини діелектрика, якщо різниця потенціалів незмінна, зростає напруженість поля конденсатора і за певної напруженості може відбутися пробій діелектрика – розряд, який руйнує ізоляцію конденсатора. Тому кожний конденсатор поряд з ємністю характеризується ще й максимальною робочою напругою.

### *Енергія конденсатора й електричного поля.*

1. Енергія електричного поля зарядженого конденсатора дорівнює роботі, яку треба виконати для його зарядки:

$$W = \frac{1}{2} C U^2$$

2. Для випадку однорідного поля енергія одиниці об'єму (або об'ємна густина енергії електричного поля) дорівнює:

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}$$

# Електродинаміка

## *Електричний струм.*

1. Електричним струмом називають упорядкований (направлений) рух заряджених частинок.
2. За напрям електричного струму приймається напрям, в якому рухаються позитивно заряджені частинки, або напрям, протилежний напрямку руху негативно заряджених частинок.
3. Виявити наявність електричного струму в провіднику можна за його діями: тепловою, магнітною, хімічною.
4. Умови існування електричного струму в речовині: наявність вільних заряджених частинок і електричне поле всередині провідника.

## *Джерело струму. Електричне поле.*

1. Для того щоб у провіднику існував тривалий час електричний струм, необхідно існування в середині провідника протягом цього часу електричного поля.
2. Електричне поле всередині провідника підтримується джерелами електричного струму.  
Джерело струму – це пристрій, до складу якого входять два заряджених тіла (електроди), між якими підтримується стала напруга, а значить у провіднику діє постійне електричне поле.  
Заряди електродів (на полюсах джерела струму) мають протилежні знаки і є результатом процесів, що відбуваються в джерелі струму.
3. Для практичного використання електричного струму необхідні: джерело струму, системи з'єднувальних провідників і керуючих пристроїв, споживачі електричної енергії. Всі ці складові частини з'єднуються в електричні кола.

## *Сила струму.*

1. Електричні струми відрізняються одні від одних тим, що за однаковий час через поперечний переріз провідника переноситься різний електричний заряд. Іншими словами, електричні струми відрізняються силою струму.
2. Силою струму називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню заряду, перенесеного через поперечний переріз провідника за певний час, до цього часу.

Сила струму позначається буквою  $I$ .

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

3. В СІ сила струму вимірюється в амперах (А).

4. Прилад для вимірювання сили струму – амперметр.

## *Електрична напруга.*

1. При проходженні електричного струму по провіднику електричне поле виконує роботу.

2. Напруга визначає роботу, яку виконує електричне поле при перенесенні заряду 1Кл на даній ділянці кола.

Напруга позначається буквою  $U$ .

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

3. В СІ напруга вимірюється в вольтах (В).

$$1\text{В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$$

4. Приладом для вимірювання напруги є вольтметр.

## *Електричний опір.*

1. Провідники відрізняються одні від одних тим, що вони по-різному обмежують силу струму при умові однакової напруги на їх кінцях. Іншими словами, провідники відрізняються одні від одних їх електричним опором.

2. Електричним опором називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню напруги на кінцях провідника до сили струму в ньому.

Позначається електричний опір буквою  $R$ .

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

3. Електричний опір характеризує провідник і не залежить від сили струму в провіднику.

4. В СІ опір вимірюється в омах (Ом):

$$1\text{Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

4. Опір однорідного металевого провідника довжиною  $l$  і з площею поперечного перерізу  $S$ , можна знайти за формулою:

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

6.  $\rho$  – питомий опір речовини, з якої виготовлений провідник. У СІ  $\rho$  вимірюється в Ом · м, а у позасистемних одиницях  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ .

### *Закон Ома для ділянки кола.*

1. Ділянка кола, в якій відсутнє джерело струму, називається однорідною.

2. Сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки і обернено пропорційна її опорі:  $I = \frac{U}{R}$ .

### *Послідовне з'єднання провідників.*

1. Послідовним вважають таке з'єднання провідників, споживачів електричної енергії, джерел струму тощо, при якому кінець конкретного провідника з'єднується з початком наступного провідника.

2. Закони послідовного з'єднання провідників:

сила струму в усіх точках однакова:

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

загальний опір кола дорівнює сумі опорів окремих провідників:

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

загальна напруга на кінцях послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:

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

### *Паралельне з'єднання провідників.*

1. Паралельним називається таке з'єднання провідників, джерел, споживачів тощо, при якому початки усіх провідників приєднуються до однієї точки, а кінці – до іншої точки.

2. Закони паралельного з'єднання провідників:

напруга на кінцях усього розгалуження є такою самою, що й напруга на кінцях окремих гілок даного розгалуження:

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

сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів на окремих гілках розгалуження:

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

загальний опір при паралельному з'єднанні провідників дорівнює:

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

де  $R$  – загальний опір ділянки кола,  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – опори паралельних гілок, які входять до даного розгалуження.

### *Стаціонарне електричне поле.*

1. На поверхні провідника з постійним електричним струмом є електричні заряди, які є джерелами електричного поля, що існує в провіднику й забезпечує наявність у провіднику електричного струму. Ці заряди, при встановленні в ньому постійного струму, безперервно обмінюються в процесі проходження струму. Поле створене в провіднику при наявності в ньому постійного електричного струму має назву стаціонарного електричного поля.

2. Властивості стаціонарного електричного поля:

1) напруженість, отже і лінії напруженості цього поля нахилені в бік струму на певний кут;

2) поле потенціальне, тому на даній ділянці провідника зі струмом його можна характеризувати різницею потенціалів між кінцями цієї ділянки або між клемми джерела, підключеного до ділянки;

3) якщо електростатичне поле – поле нерухомих зарядів, то джерелами стаціонарного електричного поля є рухомі заряди, причому загальна кількість зарядів і картина їх розподілу в даному місці простору з часом не змінюється;

4) напруженість електростатичного поля всередині об'єму провідника завжди дорівнює нулю, а в кожній точці зовнішньої поверхні провідника спрямоване перпендикулярно до цієї поверхні; напруженість стаціонарного електричного поля всередині провідника не дорівнює нулю, на поверхні і в середині нього є складові напруженості, не перпендикулярні до поверхні провідника;

5) електростатичні поля в даній системі відліку не супроводжуються магнітним полем, а стаціонарні електричні поля супроводжуються.

### *Електрорушійна сила.*

1. Принцип дії всіх джерел струму полягає в тому, що в них за рахунок енергії не електричного походження відбувається розділення позитивних і негативних зарядів, і переміщення позитивних електричних зарядів до позитивного полюса джерела струму, а негативних – до негативного, і між полюсами джерела створюється електричне поле з певною різницею потенціалів.

2. У результаті розділення всередині джерела негативних і позитивних зарядів джерело набуває запасу потенціальної енергії, яка витрачається на виконання роботи по переміщенню зарядів по всьому колу.

3. Електрорушійною силою (ЕРС) називають фізичну величину, яка вимірюється роботою, затрачуваною джерелом струму на переміщення одиничного позитивного заряду у замкненому колі:

4. В СІ ЕРС вимірюється в вольтах (В).

5. ЕРС джерела можна розглядати як найбільшу енергію, яку воно може в результаті будь-яких процесів передати кожному з розділених зарядів.

6. ЕРС дорівнює різниці потенціалів на полюсах розімкнутого джерела струму.

### *Закон Ома для повного кола.*

1. Повне або замкнуте електричне коло складається з двох частин: так званої внутрішньої, або джерела ЕРС, і зовнішньої, яка з'єднує полюси джерела поза ним.

Опір джерела називають внутрішнім  $r$  на відміну від зовнішнього  $R$ .

2. Сила струму в замкнутому колі прямо пропорційна ЕРС джерела й обернено пропорційна сумі зовнішнього і внутрішнього опорів:

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

10. Сила струму під час короткого замикання визначається не тільки ЕРС, а й його внутрішнім опором:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

4. При послідовному з'єднанні джерел струму батарея діє як одне джерело струму, в якого ЕРС  $\mathcal{E}$  і внутрішній опір  $r$  мають значення:  $\mathcal{E} = n\mathcal{E}_1$ ,  $r = nr_1$ . Його застосовують тоді, коли треба дістати велику ЕРС і коли опір зовнішнього кола дуже великий, порівняно з внутрішнім опором джерела.

5. При паралельному з'єднанні всі додатні полюси окремих джерел і всі від'ємні полюси з'єднуються між собою й утворюють два полюси батареї.

Така батарея діє як одне джерело, для якого  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_i$ ,  $r = \frac{r_1}{n}$ .

Паралельне з'єднання джерел струму є вигідним тоді, коли опір зовнішнього кола малий, порівняно з внутрішнім опором одного джерела.

### *Правила Кірхгофа.*

1. Для розрахунку складних електричних кіл зручно застосовувати правила Кірхгофа.

Перше правило: алгебраїчна сума сил струмів, які входять і виходять із вузла, дорівнює нулю.

Струми, які підходять до вузла вважають позитивними, а струми, які виходять з нього – негативними.

Друге правило: алгебраїчна сума спадів напруг у замкнутому контурі дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, які діють у даному контурі.

### *Робота і потужність постійного електричного струму.*

1. У всіх випадках, коли енергія з одного виду перетворюється в інший, виконується робота.

В електричному колі мірою перетворення енергії електричного поля на інші види енергії є робота електричного струму.

2. Робота струму на ділянці кола дорівнює добутку сили струму на напругу й на час, протягом якого виконується робота:

$$A = IUt$$

3. Знаючи роботу, що виконується струмом за певний інтервал часу, можна обчислити й потужність струму:

$$P = \frac{A}{t} = IU$$

4. Одиниці роботи і потужності в СІ:  $1\text{Дж} = 1\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$ ,  $1\text{Вт} = 1\text{В} \cdot \text{А}$ .

В електротехніці роботу звичайно визначають у ват-годинах ( $\text{Вт} \cdot \text{год}$ ), або в кіловат-годинах ( $\text{кВт} \cdot \text{год}$ ):

$$1\text{Вт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^3 \text{Дж};$$

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

### *Закон Джоуля-Ленца.*

1. Під час проходження струму провідники нагріваються.
2. Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику під час проходження в ньому струму, пропорційна квадрату сили струму, опору провідника, та часу проходження струму:  $Q = I^2 R t$ . У цьому полягає закон Джоуля-Ленца.
3. Формулою  $Q = I^2 R t$  зручно користуватися у випадку послідовного з'єднання споживачів, оскільки сила струму в них однакова.

При паралельному з'єднанні споживачів зручною є формула  $Q = \frac{U^2}{R} t$ .

### *Електричний струм у металах.*

1. Під час утворення кристалічної решітки металу валентні електрони відриваються від атомів і хаотично рухаються в проміжках між іонами, а самі іони здійснюють коливання у вузлах кристалічної решітки. Електрони, що відірвалися від атомів, є вільними носіями заряду в металах, їх називають електронами провідності.

2. В електричному полі, створеному всередині металу, електрони провідності рухаються хаотично, одночасно зміщуються в одному напрямі – протилежному до напрямку вектора напруженості поля.

Упорядковане переміщення електронів провідності і є електричним струмом в металах.

3. У процесі руху під дією електричного поля електрони провідності співударяються з іонами кристалічної решітки. Серед цих зіткнень бувають і такі, коли електрони всю набуту внаслідок розгону в електричному полі енергію, передають решітці. Саме такі зіткнення відповідальні за електричний опір металу.

4. Електрони провідності в провіднику переміщуються під дією поля з дуже малою швидкістю. Коли йдеться про величину швидкості поширення струму в провідниках, то мають на увазі, що з такою швидкістю поширюється дія електричного поля на заряди у провіднику.

### *Залежність опору металевих провідників від температури.*

1. Опір однорідного металевого провідника довжиною  $l$  і перерізом  $S$  обчислюється за формулою:  $R = \rho \frac{l}{S}$ , де  $\rho$  – питомий опір речовини, з якої виготовлено провідник. У СІ  $\rho$  вимірюється Ом · м. На практиці користуються й іншою одиницею питомого опору  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ .

2. З підвищенням температури провідника зростає середня швидкість теплового руху електронів і збільшується амплітуда коливань іонів у вузлах

кристалічної решітки. Це веде до збільшення кількості зіткнень електронів з іонами, отже і збільшується опір металів.

3. Для характеристики залежності опору провідника від температури вводять температурний коефіцієнт опору  $\alpha$  – величину, яка показує наскільки змінюється кожна одиниця питомого опору речовини внаслідок зміни температури на один кельвін:

$$\alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 \Delta T}$$

У СІ температурний коефіцієнт опору вимірюється в  $K^{-1}$ .

4. При сталому  $\alpha$   $\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T)$ ;  $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$ , де  $\rho_0$  і  $R_0$  – значення опору провідника і питомого опору при  $T_0 = +273K$  ( $t = 0^\circ C$ ),  $\rho$  і  $R$  при температурі  $T$ .

5. Як правило, з підвищенням температури температурний коефіцієнт опору металів зростає.

### *Надпровідність.*

1. Зі зниженням температури опір металевих провідників зменшується. При температурах, близьких до абсолютного нуля, багато металів і сплавів стають надпровідниками – їх опір при наближенні до абсолютного нуля різко спадає до нуля.

2. Якщо в кільцевому провіднику, що перебуває в надпровідному стані, створити струм, а потім вимкнути джерело, сила цього струму не змінюється як завгодно довго.

3. Зовнішнє магнітне поле не проникає всередину надпровідника.

4. Магнітне поле руйнує стан надпровідності.

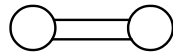
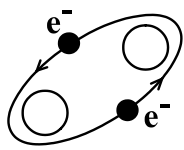
### *Напівпровідники.*

1. Напівпровідниками вважають речовини, питомий опір яких має проміжне значення між питомим опором металів і діелектриків.

До властивостей напівпровідників належать: сильна залежність їх питомого опору від стану речовини – температури, освітлення, наявності домішок тощо; наявність у них нового типу провідності, порівняно з металами.

2. Якщо у металів практично всі валентні електрони знаходяться у вільному стані, у діелектриків, за звичайних умов, вільних електронів немає, то у напівпровідниках вільні електрони знаходяться у зв'язаному стані, проте енергія їх зв'язку невелика. За рахунок теплових коливань іонів решітки частина електронів із зв'язаного стану може переходити у вільний.

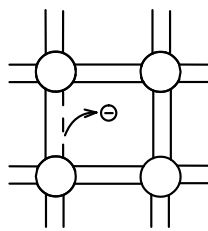
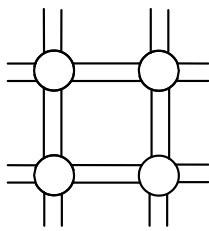
3. Прикладом напівпровідника є Германій. Його чотири вільні електрони кожного атома вступають у ковалентні зв'язки з електронами сусідніх атомів.



Це можна умовно зобразити так: навколо двох сусідніх атомів рухаються два валентні електрони – по одному від кожного атома, що забезпечує зв'язок між ними. Схематично цей зв'язок можна зобразити відрізками прямих, що з'єднують сусідні атоми.

### *Власна електропровідність напівпровідників.*

1. За дуже низьких температур у напівпровідниках вільних електронів немає, всі зв'язки заповнені.



При підвищенні температури кристалу внаслідок теплових коливань решітки відбувається розривання деяких валентних зв'язків, наслідком чого стає поява електронів провідності і вакантних місць – дірок.

2. За наявності всередині напівпровідника електричного поля електрони провідності переміщуються проти поля й утворюють електричний струм, який називається електронним. Дірки поводять себе як позитивно заряджені частинки і за наявності електричного поля переміщуються в напрямі поля, утворюючи електричний струм, який називається дірковим.

3. Переміщення дірок здійснюється так: зв'язаний електрон від сусіднього атома заповнює наявне вакантне місце, а на його місці утворюється нове вакантне місце.

За наявності електричного поля ці процеси заміщення наявних вакантних місць з одночасним утворенням нових відбуваються впорядковано – зв'язані електрони переходять у вакантні місця проти напрямку поля, а нові вакантні місця рухаються в напрямі поля.

4. Концентрація вільних електронів і дірок за даних умов однакова. Така електропровідність напівпровідників має назву власної.

### *Домішкова електропровідність напівпровідників.*

1. У хімічно чистих напівпровідниках електропровідність обумовлена однаковою кількістю електронів провідності й дірок.

2. Домішки можуть збільшувати концентрацію електронів провідності і створювати у напівпровіднику електронну домішкову провідність – провідність n-типу. Такі домішки називаються донорними.

Так, якщо у чотирьох валентний кремній додати атоми п'ятивалентної домішки, то чотири валентні електрони домішки утворять з атомами кремнію

зв'язки, а п'ятий участі в утворенні цих зв'язків не приймає і легко відділяється від свого атома – стає електроном провідності.

У провідності n-типу основними носіями струму є електрони, а дірки – неосновними.

3. Домішки, які захоплюють електрони від сусідніх атомів і викликають появу дірок, називаються акцепторними. У даному випадку провідність називають провідністю р-типу.

У провідності р-типу основними носіями струму є дірки, а не основними – електрони.

Так, якщо у чотирьох валентній германій додати атоми трьох валентної домішки, то три валентні електрони атомів домішки утворюють зв'язки, а для четвертого електрона зв'язку немає – утворюється дірка.

4. Уводячи в напівпровідники різні домішки, можна в широких межах змінювати як значення електропровідності, так і робити їх з переважною електронною чи дірковою провідністю.

### *Електронно-дірковий перехід.*

1. Поблизу межі розділу напівпровідників n-типу і р-типу виникає шар підвищеного опору, який називається електронно-дірковим, або р-n переходом.

Особливістю р-n переходу є те, що його опір залежить від значення і напрямку напруженості зовнішнього електричного поля, прикладеного до цього переходу.

2. Якщо n-напівпровідник приєднати до негативного полюса джерела напруги, а напівпровідник р-типу до позитивного полюса, то концентрація носіїв струму в області підвищеного опору збільшується, що веде до зменшення опору р-n переходу.

Зі збільшенням напруги опір р-n переходу зменшується. Цей напрям зовнішнього електричного поля прийнято називати пропусковим.

3. Якщо змінити полярність прикладеної до напівпровідників напруги, то розмір подвійного шару, збідненого на носії струму – електрони і дірки, збільшуватиметься і його опір зростає. При досить великій нарузі цього напрямку подвійний шар є практично ізолятором. Цей напрям зовнішнього електричного поля називають заперним.

5. Контакт напівпровідників р- і n-типу має односторонню провідність – він добре пропускає струм в одному напрямі і практично не пропускає струм у протилежному напрямі.

## *Струм у вакуумі.*

1. Електричний струм у вакуумі можна створити за рахунок введення в нього вільних носіїв заряду.

Для цього використовують електронну емісію, тобто вихід вільних електронів з металу.

2. Для вилітання електрону з металу у вакуум він повинен виконати певну роботу проти сил електростатичного притягання з боку надлишку позитивного заряду, який виникає в металі внаслідок вилітання електронів, а також сил відштовхування з боку електронів, які вилетіли раніше і утворили поблизу поверхні металу електронну "хмару".

Цю роботу називають роботою виходу електронів з металу.

3. Для того щоб існувала емісія електронів, необхідно надати електронам провідності металу кінетичної енергії, достатньої для виконання роботи виходу.

4. Залежно від способу надання електронам необхідної кінетичної енергії розрізняють різні типи електронної емісії. Якщо енергія надається за рахунок бомбардування металу зовні деякими іншими частинками (електронами, іонами), то має місце вторинна електронна емісія. Емісія може відбуватися при опромінюванні металу світлом. У цьому випадку спостерігається фотоемісія або фотоелектричний ефект. Можливе також виривання електронів з металу сильним електричним полем – автоелектронна емісія. Електрони можуть набувати кінетичної енергії за рахунок нагрівання тіла – термоелектронна емісія.

## *Термоелектронна емісія.*

1. За звичайних умов дуже мізерна кількість електронів може мати кінетичну енергію порівняну з роботою виходу електронів з металу. При підвищенні температури кількість таких електронів зростає.

2. Електрони, що вилетіли з металу, не віддаляються від його поверхні, оскільки метал при цьому заряджається позитивно і притягує електрони. Нагрітий метал виявляється оточеним "хмарою" електронів. Частина електронів з цієї "хмари" повертається назад у метал, і одночасно з металу вилітають нові електрони. При цьому між електронним "газом" у металі і електронною "хмарою" встановлюється динамічна рівновага, тобто кількість електронів, що вилітають за певний час з металу, дорівнює кількості електронів, що за той самий час повертаються з "хмари" в метал.

3. У багатьох твердих речовин термоелектронна емісія розпочинається при температурах, за яких випаровування самої речовини ще не відбувається. Такі речовини використовуються для виготовлення катодів.

### *Електронні пучки.*

1. Якщо в електронній лампі, яка складається з балону, двох електродів (катод і анод), і у балоні лампи створено вакуум, нагріти катод і створити між катодом і анодом електричне поле, то спостерігатиметься електричний струм. Природа цього струму – рух вільних електронів. Катод заряджений негативно, а анод – позитивно.

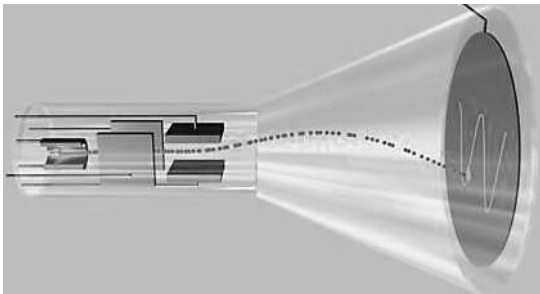
2. Якщо в аноді електронної лампи зробити отвір, то частина електронів, прискорених електричним полем, пролітатимуть в отвір, утворюючи за анодом електронний пучок.

3. Кількістю електронів у пучку можна управляти, розмістивши між катодом і анодом додатковий електрод, змінюючи його потенціал.

4. Властивості електронних пучків: електронний пучок падаючи на тіла, викликає їх нагрівання; при гальмуванні швидких електронів, які попадають на речовину, виникає рентгенівське випромінювання; деякі речовини, які бомбардуються електронами, світяться; електронні пучки відхиляються електричним полем; електронні пучки відхиляються у магнітному полі.

### *Електронно-променева трубка.*

1. Можливість управління електронним пучком за допомогою електричного або магнітного полів і свічення покритого люмінофором екрану під дією пучка застосовують у електронно-променевої трубки.



2. У електронно-променевої трубки створюється і виділяється тонкий електронний пучок – електронний промінь.

Електронний промінь проходить через два конденсори, пластини яких розміщені у взаємно перпендикулярних площинах.

За відсутності напруг на цих конденсорах, електронний пучок попадає на екран, створюючи світну точку. При наданні різниці потенціалів вертикально розміщеним пластинам, пучок зміщується в горизонтальному напрямі, а при наданні різниці потенціалів горизонтальним пластинам, він зміщується у вертикальному напрямі.

При одночасному використанні двох пар пластин світна точка переміщується по екрану у будь-якому напрямі.

Такі електронно-променеві трубки використовують в осцилографах.

В електронно-променевої трубки, яка застосовується в телевізорі (так званому кінескопі), управління пучком здійснюється за допомогою магнітного поля, створеного котушками індуктивності.

### *Електричний струм у газах*

1. Гази у звичайних умовах складаються з нейтральних молекул і не проводять електричний струм.

2. Внаслідок зовнішніх впливів відбувається іонізація газів і в них з'являються вільні носії заряду – електрони та іони обох знаків.

Поряд з іонізацією в газах може відбуватися і зворотний процес – рекомбінація (молізація) іонів у нейтральні атоми чи молекули.

3. Проходження електричного струму через газ називається газовим розрядом.

Якщо електропровідність в газі виникає під дією іонізаторів, а з віддаленням останніх припиняється, то має місце несамотійний розряд, а провідність називається несамотійною.

4. При невеликих напругах залежність сили струму лінійна. Це означає, що тут справджується закон Ома.

Зі збільшенням напруги сила струму зростає повільніше, ніж напруга.

Починаючи з деякої напруги сила струму зберігає сталі значення, яке називають струмом насичення.

Нарешті, при ще більшому значенні напруги сила струму, знову різко зростає внаслідок ударної іонізації.

5. Ударна іонізація – це іонізація газу, що виникає внаслідок зіткнень електронів з нейтральними атомами і молекулами. Внаслідок ударної іонізації число носіїв струму в газі наростає лавиноподібно.

### *Самостійний електричний розряд*

1. Самостійним називають розряд у газах, який зберігається й після припинення дії зовнішнього іонізатора.

2. Щоб розряд був самостійним, потрібна не тільки іонізація газу електронними ударами, а й вибивання позитивними іонами вільних електронів з молекул або з катода.

3. Залежно від стану газу (температури і тиску), від напруги, форм і розмірів електродів самостійні газові розряди відрізняються одні від одного як за зовнішнім виглядом, так і за характером фізичних процесів, які обумовлюють їх виникнення й проходження.

4. До самостійних розрядів у газах відносяться: тліючий розряд; іскровий розряд; коронний розряд; дуговий розряд.

### *Поняття про плазму*

1. Сильно іонізований газ дістав назву плазми – четвертого стану речовини. У плазмі концентрація електронів та іонів однакова, сумарний об'ємний заряд дорівнює нулю.

2. Плазма має дуже велику електропровідність. Вона є своєрідним пружним середовищем, в якому можуть легко збуджуватися і поширюватися різноманітні коливання і хвилі. Зовнішні електричне і магнітне поля діють на частинки плазми з великими силами.

3. Газорозрядна плазма, тобто плазма, яку отримують за допомогою газового розряду, стійка лише за наявності електричного поля. Її називають низькотемпературною.

4. У високотемпературній плазмі можливі реакції термоядерного синтезу, при якій виділяється значна енергія.

### *Електричний струм у розчинах електролітів*

1. Електропровідність електролітів обумовлена переміщенням іонів, які виникають лише у процесі взаємодії молекул розчиненої речовини з молекулами води.

2. Процес розпаду молекул розчиненої речовини на іони під впливом розчинника називається електролітичною дисоціацією.

3. Одночасно з дисоціацією існує процес рекомбінації, або молізації. У даному стані електроліту встановлюється динамічна рівновага, при якій число іонів, які утворюються внаслідок дисоціації, дорівнює числу іонів, які рекомбінують за той самий час.

4. Для кількісної характеристики ступені дисоціації вводиться коефіцієнт, або ступінь дисоціації, який показує, яка частина молекул розчиненої речовини розпалася на іони.

5. Коли зовнішнє електричне поле відсутнє, іони в електроліті здійснюють хаотичний тепловий рух.

Якщо створити в електроліті електричне поле, то на хаотичний тепловий рух накладається напрямлене зміщення іонів, тобто виникає електричний струм.

6. Електропровідність електролітів з підвищенням температури зростає. Це пояснюється тим, що під час нагрівання електроліту зростає ступінь дисоціації, тобто концентрація іонів, і зростає їх рухливість, що веде до зменшення опору.

## Закони електролізу

1. Електроліз полягає у виділенні на електродах нових речовин, яких не було в розчині.

2. Маса речовини, яка виділяється на одному електроді, пропорційна кількості електрики, яка проходить через електроліт:

$$m = k \cdot q.$$

У цьому полягає перший закон електролізу Фарадея.

3. Коефіцієнт пропорційності  $k$  називається електрохімічним еквівалентом речовини. Він залежить від хімічної природи речовини і чисельно дорівнює масі, яка виділяється на електроді при проходженні одиниці заряду.

В СІ електрохімічний еквівалент вимірюється в  $\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ .

4. Добуток числа Авогадро  $N_A$  на елементарний електричний заряд  $e$  є сталою величиною, яка називається числом Фарадея:

$$F = N_A \cdot e.$$

5. Електрохімічні еквіваленти речовин прямо пропорційні масам їх молів і обернено пропорційні їх валентностям:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}.$$

У цьому полягає другий закон Фарадея для електролізу.

6. Часто обидва закони електролізу об'єднують в одному виразі:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot q \quad \text{або} \quad m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot I \cdot t.$$

# Електромагнетизм

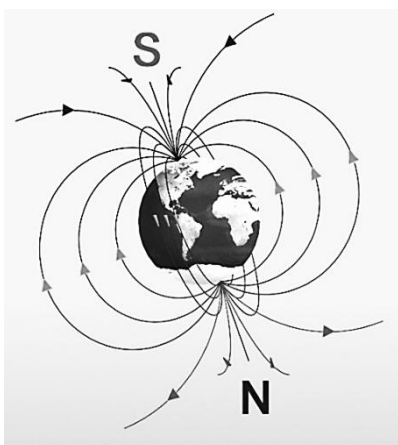
## Постійні магніти. Магнітне поле

1. Тіла, які тривалий час зберігають свої магнітні властивості, називають постійними магнітами.

2. Основні властивості постійних магнітів:

- магнітна дія магніту найсильніше виявляється поблизу його полюсів;
- однойменні полюси магнітів відштовхуються, а різнойменні – притягуються;
- неможливо одержати магніт тільки з одним полюсом;
- у разі нагрівання постійного магніту до певної температури (точка Кюрі) його магнітні властивості зникають.

3. Магнітна взаємодія здійснюється через магнітне поле. Магнітне



поле – це форма матерії, яка існує навколо намагнічених тіл, провідників зі струмом, рухомих заряджених тіл і частинок та діє на розташовані в цьому полі намагнічені тіла, провідники зі струмом, рухомі заряджені тіла й частинки.

4. Планета Земля має магнітне поле. Поблизу північного географічного полюса Землі розташований її південний магнітний полюс, поблизу південного географічного полюса – північний магнітний полюс.

## Магнітне поле струму

1. Навколо будь-якого провідника зі струмом, навколо будь-якої рухомої зарядженої частинки або тіла існує магнітне поле.

2. Лінії, вздовж яких у магнітному полі розташовуються осі маленьких магнітних стрілок (або залізні ошурки), називають силовими лініями магнітного поля.

3. Силові лінії магнітного поля є замкненими кривими.

4. За напрям силових ліній магнітного поля взятий напрям, що показує північний полюс магнітної стрілки у кожній точці поля.

5. Магнітні силові лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом являють собою концентричні кола, центри яких знаходяться на провіднику, й розміщені в площині, перпендикулярній до провідника.

6. Напрямок магнітних силових ліній магнітного поля, що існує навколо

прямого провідника зі струмом, можна визначити за правилом свердлика.

7. У випадку однакового напрямку струмів провідники притягуються, якщо ж струми протилежного напрямку – провідники відштовхуються.

Взаємодія провідників із струмами пояснюється тим, що навколо них існують магнітні поля і на кожен провідник із струмом діє магнітне поле іншого провідника.

8. Магнітне поле – це вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія електричних струмів, коли вони знаходяться на відстані.

9. Магнітне поле створюється лише рухомими зарядами і діє лише на рухомі заряджені тіла та не чинить жодного впливу на нерухомі заряджені частинки.

10. Лінії, вздовж яких у магнітному полі розташовуються осі маленьких магнітних стрілок, називають силовими лініями магнітного поля. Силу лінію проводять так, що дотична до неї у будь-якій її точці вказує на напрям сили, яка діє в цій точці на північний полюс магнітної стрілки.

11. Магнітні силові лінії завжди замкнуті. Це свідчить про те, що в природі не існує «магнітних зарядів».

### *Електромагніт*

1. Котушка зі струмом, як і постійний магніт, має два полюси – північний і південний.

2. Магнітне поле котушки зі струмом діє тим сильніше, чим більша сила струму у витках і чим більша кількість витків припадає на одиницю довжини котушки.

3. Дія магнітного поля котушки зі струмом різко збільшується у разі внесення в неї залізного стержня.

Котушку з уміщеним у неї залізним осердям називають електромагнітом.

### *Магнітна індукція*

1. Для кожної точки магнітного поля відношення сили Ампера до добутку сили струму на довжину провідника є величина стала, не залежить від властивостей провідника, внесеного в поле. Ця величина є силовою характеристикою магнітного поля і називається магнітною індукцією:  $B = \frac{F}{I \cdot l}$ .

2. Магнітна індукція в даній точці поля вимірюється силою, яка діє на одиницю довжини провідника, вміщеного в цю точку перпендикулярно до

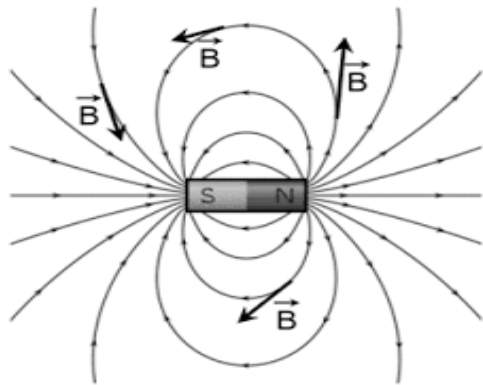
силових ліній, якщо сила струму в провіднику дорівнює одиниці.

3. Магнітна індукція – векторна величина. Напрямок вектора магнітної індукції збігається з дотичною до силових ліній поля.

4. В СІ магнітна індукція вимірюється в тесла (Тл):

$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А}\cdot\text{м}}.$$

5. Магнітна індукція  $B$  – це векторна фізична величина, яка характеризує силову дію магнітного поля. Напрямок вектора магнітної індукції збігається з напрямком, у якому вказує північний полюс магнітної стрілки. Одиниця магнітної індукції в СІ – тесла (Тл).



6. Умовні напрямлені лінії, дотичні до яких у кожній точці збігаються з лінією, уздовж якої напрямлений вектор магнітної індукції, називають лініями магнітної індукції або магнітними лініями.

7. Лінії магнітної індукції завжди замкнені, поза магнітом вони виходять із північного полюса магніту та входять у південний, щільніше розташовані в тих областях магнітного поля, де модуль магнітної індукції більше.

8. Силові лінії магнітного поля (лінії індукції) проводяться з такою густиною, щоб кількість ліній, які перетинають одиницю поверхні, перпендикулярну до них, була пропорційною значенню магнітної індукції в даній частині поля.

9. Магнітне поле, в якому магнітна індукція в усіх його точках однакова, називається однорідним.

Лінії індукції однорідного магнітного поля є паралельними прямими, розташованими на однакових відстанях одна від одної.

## *Сила Ампера. Дія магнітного поля на провідник із струмом.*

1. Якщо помістити провідник із струмом у магнітне поле, то на нього діятиме сила, яку називають силою Ампера.

2. Напрямок сили Ампера можна визначити за правилом лівої руки.

3. Сила Ампера тим більша, чим сильніше поле магніту і чим більша сила струму в провіднику. Вона також залежить від розміщення провідника в магнітному полі.

4. Сила  $F$ , яка діє в магнітному полі на провідник із струмом, прямо пропорційна силі струму  $I$ , довжині провідника  $l$ , синусу кута  $\alpha$  між напрямками струму і силових ліній і залежить від магнітного поля.

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

5. Множник  $B$  у цій формулі виражає залежність сили від того магнітного поля, в якому знаходиться провідник із струмом.

6. Якщо провідник розміщений перпендикулярно до силових ліній поля ( $\alpha = 90^\circ$ ), формула набуває вигляду:

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

Ця формула була виведена А. Ампером і називається вона законом Ампера, а силу  $F$ , яка діє на провідник зі струмом у магнітному полі, називають силою Ампера.

### Магнітний потік

1. Магнітним потоком  $\Phi$  через площадку  $S$ , розташовану перпендикулярно до ліній індукції, називають величину, що дорівнює добутку магнітної індукції  $B$  на її площу  $S$ :

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

2. Якщо магнітна індукція  $\vec{B}$  не перпендикулярна до площадки  $S$ , то магнітний потік дорівнює:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут між вектором  $\vec{B}$  і перпендикуляром, встановленим до площадки  $S$ .

3. В СІ магнітний потік вимірюється у веберах (Вб):

$$1\text{Вб} = 1\text{Тл} \cdot \text{м}^2.$$

4. Робота магнітних сил дорівнює добуткові сили струму на зміну магнітного потоку через контур, обмежений провідником:

$$A = I \cdot (\Phi_2 - \Phi_1) = I \cdot \Delta\Phi.$$

### Сила Лоренца

1. Сила, що діє на заряджену частинку, яка рухається в магнітному полі, пропорційна зарядові частинки, швидкості її переміщення та індукції магнітного поля:

$$F_L = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут між векторами магнітної індукції і швидкості руху частинки.

Ця сила називається силою Лоренца.

2. Якщо заряджена частинка влітає в однорідне магнітне поле так, що її

швидкість руху перпендикулярна до силових ліній, то вона описуватиме коло.

3. Напрямок сили Лоренца можна визначити, скориставшись правилом лівої руки (треба лише завжди враховувати знак заряду частинки).

### *Магнітні властивості речовини*

1. Усі речовини в магнітному полі намагнічуються, тобто стають джерелами магнітного поля.

2. У кожному атомі чи молекулі рухаються замкнутими орбітами електрони і цей рух електронів еквівалентний за своїми магнітними властивостями замкнутому струмові звичайного провідника. Тому атоми і молекули мають магнітні властивості.

3. Якщо речовина не намагнічена, то електронні струми розташовані в ній хаотично і сумарна їх магнітна дія дорівнює нулеві.

Намагнічену речовину можна розглядати як систему мікроскопічних орієнтованих струмів.

4. Результуюче магнітне поле в середовищі є сумою полів, створюваних струмом і намагніченим середовищем, і тому не дорівнює полю у вакуумі.

5. Величину, що показує, у скільки разів магнітна індукція в речовині більша за магнітну індукцію, створювану цим самим струмом у вакуумі, називають відносною магнітною проникністю деякої речовини:

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

6. Залежно від значення відносної магнітної проникності всі речовини можна розділити на дві групи:

- 1) парамагнетики ( $\mu > 1$ );
- 2) діамагнетики ( $\mu < 1$ ).

7. Діамагнетики, вміщені в магнітне поле послаблюють його. Це послаблення можна пояснити виникненням у діамагнетику внутрішнього магнітного поля, напрямленого проти зовнішнього магнітного поля.

До діамагнетиків належить більшість газів, вода, вісмут, цинк, свинець, мідь, срібло, золото, сірка, віск, алмаз, багато органічних сполук.

8. Парамагнетики підсилюють зовнішнє магнітне поле. Намагніченість парамагнетиків залежить від температури, і відносна магнітна проникність їх спадає із збільшенням температури.

До парамагнетиків належать кисень, марганець, хром, платина, алюміній, вольфрам, усі лужні й лужноземельні метали.

## Феромагнетики

1. Є речовини, в яких при звичайних температурах  $\mu$  набагато більша за одиницю, вони дістали назву феромагнетиків.

2. У феромагнетиках внутрішнє магнітне поле може в сотні й тисячі разів перевищувати зовнішнє магнітне поле.

3. Характерною ознакою феромагнетиків є складна залежність індукції внутрішнього поля намагніченого феромагнетика від індукції зовнішнього поля намагнічуючих струмів.

4. Є така температура, яка має назву точки Кюрі, вище якої феромагнітні властивості речовини зникають.

5. До феромагнетиків належать залізо, нікель, кобальт, гадоліній та деякі сплави і хімічні сполуки. Феромагнітні властивості мають тільки кристалічні тіла. У рідкому, або газоподібному стані феромагнетики стають парамагнітними.

6. Феромагнетики поділяють на магнітом'які та магнітожорсткі.

Магнітом'які легко намагнічуються і розмагнічуються. Їх використовують для виготовлення антен; осердь, магнітопроводів та інших частин трансформаторів.

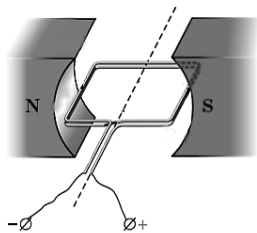
Магнітожорсткі матеріали (вуглецева сталь, хромиста сталь і спеціальні сплави) використовують здебільшого для виготовлення постійних магнітів.

7. Ферити – штучні феромагнітні матеріали, що не проводять електричний струм. До них належать речовини, що є хімічними сполуками оксиду заліза з оксидами інших металів.

Ферити використовують для виготовлення феритових постійних магнітів, осердь котушок і трансформаторів, внутрішніх антен приймачів.

8. Для феромагнетиків характерна властивість, яку називають гістерезисом. Суть її полягає в тому, що процеси намагнічування і розмагнічування проходять неоднаково. Феромагнетик, який перебував у магнітному полі, зберігає певну намагніченість навіть у разі відсутності поля.

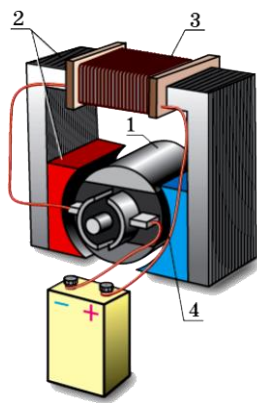
## Електричний двигун



1. Електричний двигун – це пристрій, у якому електрична енергія перетворюється на механічну.

2. Принцип дії електродвигуна заснований на обертанні рамки зі струмом у магнітному полі.

В момент проходження рамкою положення рівноваги напрямок струму в рамці змінюється на протилежний.



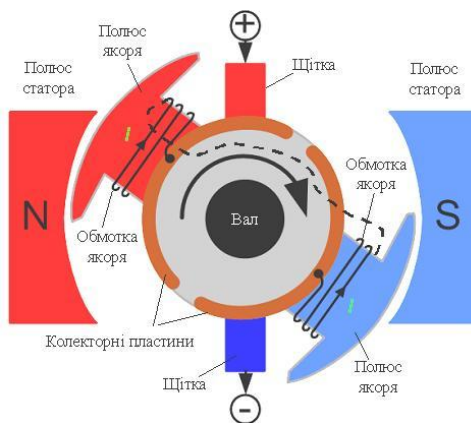
3. Будова електродвигуна: 1 – ротор, 2 – статор, 3 – обмотка статора, 4 – колектор.

Пристрій, який автоматично змінює напрямок струму в рамці, називають колектором.

Ротор – рухома частина двигуна, складається з осердя з обмоткою разом із півкільцями колектора.

Статор – нерухома частина двигуна, складається з електромагніту, що є одним цілим з корпусом електродвигуна.

4. Сили Ампера, які забезпечують обертання рамки, прямо пропорційні довжині провідника. Тому для збільшення потужності електродвигуна його обмотку виготовляють із великої кількості витків дроту. Витки вкладають у спеціальні пази на бічній поверхні осердя – циліндра, виготовленого з листів магнітом'якої сталі (ротор).

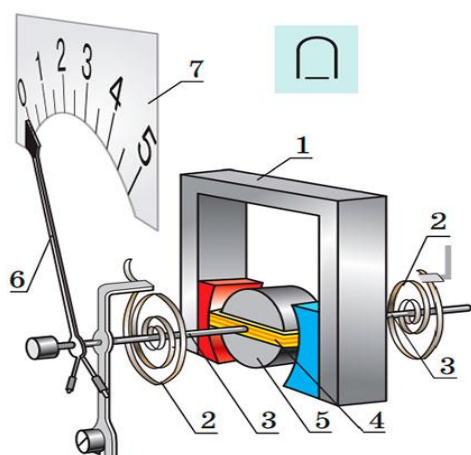


5. Обмотка статора підключена до того самого джерела струму, що й обмотка ротора. Коли в обмотках ротора й статора йде струм, ротор обертається в магнітному полі статора і двигун працює.

## Електровимірювальні прилади

1. Електровимірювальний прилад – спеціальний пристрій, який використовується для вимірювання електричних величин, перетворюючи електричні сигнали на форму, яку можна бачити або фіксувати.

2. Електровимірювальні прилади загалом складаються з таких основних елементів:



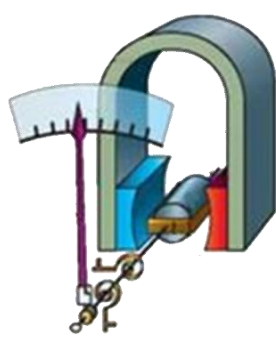
- 1 – постійний нерухомий магніт
- 2 – спіральні пружини
- 3 – вісь
- 4 – рамка, закріплена на осі
- 5 – нерухоме осердя
- 6 – стрілка
- 7 – шкала

3. Принцип роботи різних електровимірювальних приладів може відрізнятися. Виділяють три основні системи:

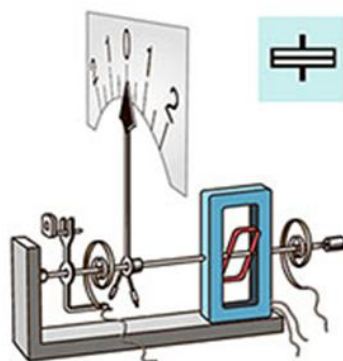
Магнітоелектрична система: дія ґрунтується на поворотанні рамки зі струмом у магнітному полі постійного магніту (Рис. а).

Електродинамічна система: замість постійного магніту використовують електромагніт (Рис. б).

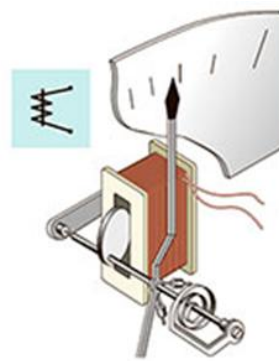
Електромагнітна система: робота базується на явищі втягування феромагнітного диска в проміжок нерухомої котушки зі струмом (Рис.в).



а



б



в

### *Явище електромагнітної індукції*

1. Явища в змінних у часі магнітних і електричних полях дістали назву явищ електромагнітної індукції.

2. У провіднику, з'єднаному з гальванометром, що рухається в магнітному полі і перетинає лінії магнітної індукції, виникає електричний струм, який називається індукційним

3. Індукційний електричний струм виникає при зміні магнітного потоку через площу, обмежену будь-яким провідним контуром.

## Індукційне електричне поле

1. Змінне магнітне поле супроводжується виникненням у навколишньому просторі індукційного електричного поля.

Це поле ніяк не пов'язане з наявністю в даній частині простору провідника. Наявність провідника лише дає змогу виявити це поле за збудженим ним електричним струмом.

2. Індукційне електричне поле створює ЕРС у замкнутому контурі, отже, його робота по переміщенню зарядів замкнутим шляхом не дорівнює нулю.

3. Лінії напруженості індукційного електричного струму є замкнутими лініями – вони ніби охоплюють магнітне поле. Це поле називають вихровим електричним полем.

4. Індукційне (вихрове) електричне поле характеризується його напруженістю і роботою, яку виконує поле (точніше, сила, яка діє збоку поля на заряд) при переміщенні в ньому електричного заряду.

## Закон електромагнітної індукції

1. Основний закон електромагнітної індукції формулюється так: ЕРС індукції прямо пропорційна швидкості зміни магнітного потоку через площу контуру замкнутого провідника

$$\xi_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|.$$

2. Під час збудження ЕРС індукції сторонні сили діють у всіх точках контуру, площа якого пронизується змінним магнітним потоком.

3. Якщо у змінне поле внести котушку з  $n$  витків, то ЕРС індукції буде в  $n$  раз більша

$$\xi_i = n \cdot \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

4. ЕРС індукції створює в замкнутому контурі опором  $R$  індукційний електричний струм. Він, як і будь-який електричний струм, підкоряється закону Ома:

$$I = \frac{\xi}{R} = \frac{1}{R} \cdot \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

5. Загальне правило визначення напрямку індукційного струму називається правилом Ленца: індукційний струм у замкнутому контурі має такий напрям, що створений ним магнітний потік через площу, обмежену контуром, прагне компенсувати ту зміну магнітного потоку, яка викликає даний струм.

### *Рух провідника у незмінному магнітному полі*

1. Під час руху провідника у магнітному полі, що не змінюється з часом, швидкість якого напрямлена під кутом до вектора магнітної індукції, виникає ЕРС індукції.

2. Роль сторонніх сил відіграє сила Лоренца, яка діє на вільні заряджені частинки, що рухаються разом з провідником у магнітному полі.

3. ЕРС, яка виникає в провіднику під час його руху в магнітному полі, прямо пропорційна його довжині, швидкості руху, магнітній індукції і синусу кута між векторами швидкості і магнітної індукції:

$$\xi_i = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha.$$

4. Напрямок індукційного струму в прямолінійному провіднику під час руху в магнітному полі можна визначити за правилом правої руки: якщо праву руку розмістити вздовж провідника так, що лінії магнітної індукції входили у долоню, а відігнутий великий палець показував напрям руху провідника, то витягнуті чотири пальці вказують на напрям струму у провіднику.

### *Самоіндукція. Індуктивність*

1. Виникнення ЕРС у провіднику при зміні сили струму в ньому самому називається самоіндукцією.

2. Явище самоіндукції пояснюється тим, що провідник зі струмом міститься у власному магнітному полі і, якщо це поле змінюється, то в провіднику має збуджуватись ЕРС індукції.

3. Магнітний потік через площу, обмежену контуром струму, пропорційний силі струму:

$$\Phi = L \cdot I$$

коефіцієнт  $L$  називається індуктивністю провідника або його коефіцієнтом самоіндукції.

4. ЕРС самоіндукції в полі пропорційна швидкості зміни сили струму в цьому полі:

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

5. Індуктивність – це фізична величина, що чисельно дорівнює ЕРС самоіндукції, яка виникає в колі при зміні сили струму на 1А за 1с.

В СІ індуктивність вимірюється в генрі (Гн):

$$1\text{Гн} = 1 \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{А}}.$$

Індуктивність контуру можна розглядати як міру його інертності відносно зміни сили струму в ньому.

### *Енергія магнітного поля*

1. Явище електромагнітної індукції ґрунтується на взаємних перетвореннях енергії електричного струму і магнітного поля.

2. Магнітне поле котушки зі струмом має енергію:

$$W_M = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2.$$

# Електромагнітні коливання

## *Вільні електромагнітні коливання в контурі*

1. Одночасні періодичні зміни пов'язаних між собою електричного і магнітного полів мають назву електромагнітних коливань.

2. Найпростіше коло для утворення електромагнітних коливань має складатися з конденсатора та котушки. Таке коло називають коливальним контуром.

3. Якщо конденсатору коливального контуру надати заряд і тим вивести систему зі стану рівноваги, то в коливальному контурі виникнуть вільні коливання.

4. Частоту вільних коливань називають власною частотою коливального контуру.

5. Вільні коливання є затухаючими: амплітуда їх з часом зменшується. Причиною затухання є те, що енергія струму перетворюється у внутрішню енергію проводів і йде на випромінювання електромагнітних хвиль.

6. Під час електромагнітних коливань у коливальному контурі відбувається перетворення енергії електричного поля в енергію магнітного поля і навпаки.

Якщо зарядити конденсатор до різниці потенціалів  $U_m$ , то, при відсутності струму в колі, енергія електричного поля, що зосереджене між обкладками конденсатора, дорівнює

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_m^2.$$

Під час розрядки конденсатора в колі виникає струм і енергія електричного поля поступово перетворюється в енергію магнітного поля котушки.

В момент, коли заряд конденсатора стає рівним нулю, струм у колі максимальний і енергія магнітного поля котушки стає рівною

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_m^2.$$

Після цього, внаслідок явища самоіндукції, струм продовжує йти у тому самому напрямі, конденсатор перезаряджається. Енергія магнітного поля поступово перетворюється в енергію електричного поля конденсатора.

В момент, коли струм у колі припиняється, енергія електричного поля стає знову рівною

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_m^2.$$

Після цього процес відбувається в зворотному напрямі.

### *Рівняння гармонічних коливань у контурі*

1. В коливальному контурі, опір якого дорівнює нулю, відбуваються гармонічні електромагнітні коливання.

2. Під час гармонічних електромагнітних коливань заряд конденсатора змінюється за законом:

$$Q = Q_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi),$$

де  $Q_m$  – амплітуда коливань заряду конденсатора з циклічною частотою, що визначається за формулою:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}.$$

3. Усі величини і закономірності, встановлені для гармонічних коливань у механіці, зберігають свій зміст і в електромагнітних коливаннях. Зокрема, період коливань пов'язаний з циклічною частотою залежністю:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}.$$

Ця формула для періоду вільних електромагнітних коливань в ідеальному коливальному контурі названа формулою Томсона.

4. Аргумент косинуса в формулі, що відображає закон зміни заряду конденсатора, називається фазою.

Знання фази дає можливість обчислювати миттєве значення заряду конденсатора і визначає стан коливального процесу.

5. Під час гармонічних електромагнітних коливань в коливальному контурі сила струму та напруга на конденсаторі змінюються за законами:

$$i = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi + \frac{1}{2}\pi), \text{ де } I_m = \omega \cdot Q_m;$$

$$u = U_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi), \text{ де } U_m = \frac{Q_m}{C}.$$

Коливання сили струму випереджають за фазою коливання заряду і напруги на  $\frac{1}{2}\pi$ , тобто коли сила струму досягає максимального значення  $I_m$ , заряд  $Q$  і напруга  $U$  перетворюються на нуль і навпаки.

### *Автоколивання*

1. Електромагнітні автоколивання – незатухаючі коливання, які підтримуються в коливальній системі не за рахунок періодичного зовнішнього впливу, а в результаті здатності коливальної системи самій регулювати надходження енергії від постійного зовнішнього джерела.

2. Автоколивання виникають самодовільно під дією випадкових малих впливів, які виводять систему з рівноваги. Частота, амплітуда тощо автоколивань визначаються властивостями самої системи і не залежать від початкових умов.

3. Електрична автоколивальна система містить коливальний контур, підсилювач коливань і джерело електричної енергії. Між коливальним контуром і підсилювачем має існувати зворотний зв'язок – коливання з контуру надходять у підсилювач, підсилюються за рахунок джерела енергії і повертаються назад у коливальний контур. Дуже важливо, щоб коливання, які надходять від підсилювача в контур, збігалися за фазою з коливаннями у самому контурі.

### *Вимушені електромагнітні коливання. Змінний струм*

1. Коливання, що виникають під дією зовнішньої ЕРС, яка періодично змінюється, називаються вимушеними електромагнітними коливаннями.

2. Під час вимушених коливань енергія підводиться до контуру безперервно, внаслідок чого ці коливання будуть незатухаючими. Вимушені коливання відбуваються з частотою, що дорівнює частоті зміни ЕРС джерела.

3. Прикладом вимушених електромагнітних коливань є змінний струм. Змінний струм – це по суті вимушені коливання електричних зарядів у провіднику під дією прикладеної змінної ЕРС.

4. Коли в однорідному магнітному полі рівномірно обертається провідний контур, то в ньому збуджується ЕРС, яка змінюється за законом:

$$\xi = \xi_m \cdot \sin \omega \cdot t.$$

Під час замикання цього контуру на зовнішнє коло, в колі йтиме синусоїдальний змінний струм:

$$i = \frac{\xi}{R} = \frac{\xi_m}{R} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi).$$

5. Змінний струм є гармонічним коливанням. Тому його характеристики мають назви:  $\xi_m$  – амплітуда електрорушійної сили;  $I_m$  – амплітуда сили струму;  $\omega$  – циклічна частота;  $\omega t$  – фаза струму.

Змінний струм характеризується також періодом  $T$  і частотою  $\nu$ , причому  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ .

### *Діючі значення напруги і сили струму*

1. В колі змінного синусоїдального струму напруга і сила струму весь час змінюються. Характеристиками такого струму є діючі значення сили струму і напруги.

2. Середня за період потужність змінного струму дорівнює відношенню сумарної енергії, яка надійшла в коло за період, до тривалості періоду.

Середня потужність за період дорівнює:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot I_m \cdot U_m.$$

3. Змінний струм характеризується не амплітудними значеннями, а значеннями в  $\sqrt{2}$  раз меншими, тобто:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{і} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad \text{то} \quad \bar{P} = I \cdot U.$$

Значення  $I$  і  $U$  дістали назву діючих значень сили струму і напруги відповідно.

4. Шкали вимірювальних приладів змінного струму (амперметри і вольтметри) градуйовані саме в цих значеннях.

### *Електричний резонанс*

1. Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань сили струму в коливальному контурі з малим активним опором, якщо збігається частота зовнішньої змінної напруги з власною частотою коливального контуру, називається електричним резонансом.

2. Резонансні явища в електричних колах виражені тим чіткіше й сильніше, чим менший активний опір кола.

3. В електричному колі настає резонанс, якщо виконується умова – індуктивний опір стає рівним ємнісному опором кола:

$$\omega_0 \cdot L = \frac{1}{\omega_0 \cdot C}.$$

Звідси для резонансної частоти дістанемо:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}.$$

4. При резонансі зсув фаз між струмом і напругою стає рівним нулю.

### *Трансформатор*

1. Перетворення змінного струму певної частоти, при якому напруга підвищується або зменшується в кілька разів практично без втрат потужності, здійснюється за допомогою трансформаторів.

2. У найпростішому випадку трансформатор складається з двох котушок (обмоток), надітих на замкнуте залізне осердя.

Одна з обмоток – первинна – вмикається до джерела змінної напруги.

3. Принцип дії трансформатора: під час проходження первинною обмоткою змінного струму в осерді виникає змінний магнітний потік; оскільки магнітний потік існує практично лише всередині осердя й однаковий у всіх

перерізах, то в кожному витку вторинної обмотки виникає ЕРС індукції.

4. Якщо первинна обмотка має  $n_1$  витків, а вторинна  $n_2$ , то ЕРС індукції в обмотках прямо пропорційна кількості витків в них:

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

5. Коефіцієнтом трансформації  $k$  трансформатора називається відношення напруги на затискачах первинної обмотки до напруги на затискачах його вторинної обмотки при холостому ході (при розімкнутому колі вторинної обмотки).

6. У підвищувальному трансформаторі  $k < 1$ , у знижувальному –  $k > 1$ .

7. При постійному навантаженні вторинної обмотки

$$\frac{I_2}{I_1} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{n_1}{n_2} = k.$$

# Електромагнітні хвилі

## *Електромагнітне поле*

1. Електричне і магнітне поля не існують поодиночі, незалежно одне від одного. Не може існувати змінне магнітне поле без того, щоб одночасно у просторі не виникло змінне електричне поле. І навпаки, змінне електричне поле не може існувати без магнітного. Існує лише їх єдність – електромагнітне поле.

2. Залежно від того в якій системі відліку вивчаються електромагнітні процеси, виявляються ті чи інші сторони єдиного електромагнітного поля.

Електричне і магнітне поля є окремими випадками електромагнітного поля, а не його складовими частинами.

## *Електромагнітні хвилі*

1. Поширення у просторі електромагнітного поля, в якому напруженість електричного та індукція магнітного полів змінюються періодично, називається електромагнітною хвилею.

2. Вектори напруженості  $\vec{E}$  і магнітної індукції  $\vec{B}$  в електромагнітній хвилі в будь-якій точці простору завжди взаємно перпендикулярні. Крім того, вони перпендикулярні й до напрямку поширення хвиль. Електромагнітні хвилі поперечні.

3. Вектори  $\vec{E}$  і  $\vec{B}$  коливаються в однаковій фазі.

4. Швидкість поширення електромагнітних хвиль дорівнює швидкості поширення світла у вакуумі.

## *Утворення електромагнітних хвиль і їх властивості*

1. Необхідною умовою утворення інтенсивних електромагнітних хвиль є висока частота електромагнітних коливань у провіднику.

2. Для збільшення інтенсивності випромінювання енергії коливальним контуром у простір слід зробити цей контур відкритим, забезпечивши його антеною і заземленням.

3. Щоб дістати інтенсивні електромагнітні хвилі, необхідно мати генератор незатухаючих коливань і випромінювач хвиль. Випромінювач має бути якимось чином зв'язаний з генератором, щоб електричні коливання від генератора передавалися до нього.

4. Приймання електромагнітних хвиль здійснюється за допомогою таких самих відкритих коливальних контурів, подібних до випромінювального контуру.

Для доброго приймання необхідно, щоб приймальний коливальний контур був настроєний у резонанс з передавальним контуром.

5. До властивостей електромагнітних хвиль відносяться: хвилі відбиваються провідником; кут відбивання електромагнітних хвиль дорівнює куту падіння; хвилі зазнають заломлення на межі діелектрика; хвилі поперечні.

### *Енергія електромагнітної хвилі*

1. Енергія електромагнітної хвилі складається з енергії електричного і енергії магнітного полів.

2. Густина енергії електромагнітної хвилі, тобто енергія яка припадає на одиницю об'єму, складається з густини енергії електричного поля і густини енергії магнітного поля:

$$w = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 + \frac{1}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} \cdot B^2.$$

3. Густиною потоку випромінювання називають добуток густини енергії електромагнітної хвилі на швидкість її поширення:

$$J = v \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 + \frac{1}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} \cdot B^2 \right).$$

### *Принципи радіотелефонного зв'язку*

1. Для здійснення радіотелефонної передачі на передавальній станції високочастотні коливання модулюють коливаннями низької частоти, а на приймальній станції з цих складних коливань виділяють коливання низької частоти.

2. При амплітудній модуляції амплітуду коливань електромагнітної хвилі змінюють за законом того звукового процесу, який передається разом з електромагнітною хвилею.

3. У місці приймання сигналів під впливом електромагнітної хвилі передавача в антені приймача збуджуються модульовані струми високої частоти, тотожні струмам в антені передавача, але слабші.

4. Для виділення з модульованих коливань низькочастотних звукових коливань їх пропускають через демодулятор.

5. Найпростіший демодулятор складається з діода й увімкненого до

нього паралельного з'єднання конденсатора й телефону. За допомогою діода модульовані коливання випрямляються. Струми високої частоти проходять переважно через конденсатор, а низької – через телефон.

6. Найпростіший детекторний радіоприймач є демодулятором коливань з під'єднаним до нього паралельно коливальним контуром.

Електромагнітні хвилі створюють у коливальному контурі високочастотні модульовані коливання, які за допомогою телефону, зашунтованого конденсатором, розділяються на коливання низької і високої частоти.

# ОПТИКА

## *Джерела світла. Поширення світла*

1. Світло – це випромінювання, яке сприймається оком.
2. Світлове випромінювання створюється джерелами світла, які поділяються на природні та штучні.
3. Джерела світла ми бачимо тому, що випромінювання, яке створюється ними, попадає до нас в око.
4. Світло в однорідному прозорому середовищі поширюється прямолінійно.  
Лінія, вздовж якої поширюється світло, називається світловим променем.
5. Прямолінійне поширення світла підтверджується утворенням тіні та напівтіні, сонячним і місячним затемненнями.

## *Відбивання світла*

1. Людина бачить предмети тому, що випромінювання, досягнув їх поверхні, відбивається, змінює свій напрям і попадає в око.
2. Для відбивання світла виконуються закони:
  - падаючий і відбитий промені, а також перпендикуляр до відбиваючої поверхні, поставлений у точку падіння променя, лежать в одній площині;
  - кут відбивання дорівнює куту падіння.
3. Кут падіння – кут між падаючим променем і перпендикуляром, поставленим у точку падіння променя до відбиваючої поверхні.  
Кут відбивання – кут між відбитим променем і перпендикуляром, поставленим у точку падіння променя до відбиваючої поверхні.

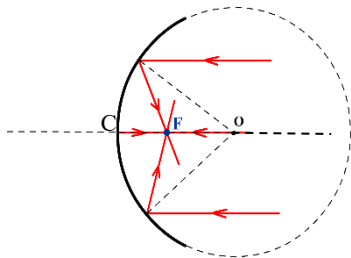
## *Плоске дзеркало*

1. Дзеркало, поверхня якого являє собою площину, називається плоским дзеркалом.
2. Зображення предмета в плоскому дзеркалі має такі особливості: це зображення уявне, пряме, рівне за розміром предмету, знаходиться воно на тій самій відстані за дзеркалом, на якій предмет розміщений перед дзеркалом.
3. Правий бік предмета у дзеркалі здається лівим і навпаки.

## Сферичні дзеркальні поверхні

1. Сферичне дзеркало – це дзеркало, яке має форму частини сферичної поверхні. Воно може бути увігнутим (внутрішня сторона сфери відбиває світло), або опуклим (зовнішня сторона сфери відбиває світло).

2. Основні елементи сферичного дзеркала:



Центр кривизни (O): центр сфери, до якої належить дзеркало.

Вершина дзеркала (C): точка, в якій дзеркало перетинає оптичну вісь.

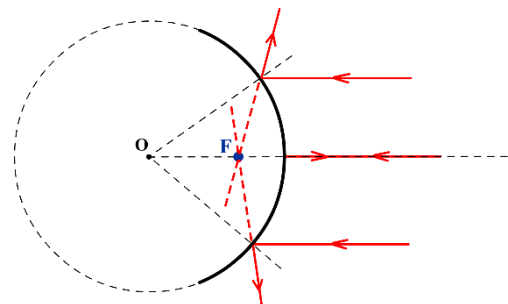
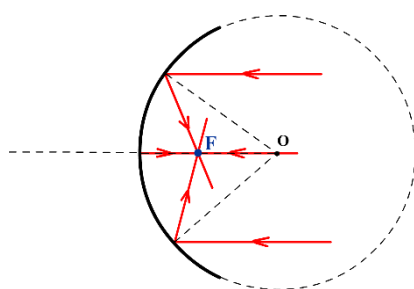
Фокус (F): точка, в якій збираються або від якої розходяться промені після відбивання.

Фокусна відстань (f): відстань між фокусом і вершиною дзеркала.

Оптична вісь: пряма лінія, яка проходить через центр кривизни та вершину дзеркала.

3. Під час побудови зображень треба враховувати:

- Кут падіння дорівнює куту відбивання.
- Промінь світла, що падає на дзеркало, відбивається симетрично щодо нормалі до поверхні.
- Промінь, який йде паралельно оптичній осі, після відбивання проходить через фокус.
- Промінь, який проходить через фокус, після відбивання йде паралельно осі.
- Промінь, який проходить через центр кривизни, повертається назад.
- Увігнуте дзеркало збирає світло та використовується для створення зображень (збільшених або зменшених).
- Опукле дзеркало розсіює світло, завжди утворює зменшене і пряме зображення.
- Реальне зображення утворюється в результаті перетину променів (може бути перевернутим).
- Уявне зображення утворюється в результаті перетину продовжень променів (завжди пряме).



4. Формула сферичного дзеркала пов'язує відстань до об'єкта ( $d$ ), відстань до зображення ( $f$ ) і фокусну відстань ( $F$ ):

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} \quad \text{– у випадку опуклого дзеркала}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} \quad \text{– у випадку увігнутого дзеркала}$$

## Заломлення світла

1. Зміна напрямку поширення світла під час його проходження через межу поділу двох прозорих середовищ називається заломленням світла.

2. Кут між заломленим променем і перпендикуляром, поставленим у точку падіння променя, називається кутом заломлення.

3. Для заломлення світла виконуються закони:

– падаючий і заломлений промені, а також перпендикуляр до поверхні розділу середовищ, опущений у точку падіння променя, лежать в одній площині;

– відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох даних середовищ є величиною сталою, що залежить лише від оптичних властивостей середовищ:

$$n_{2,1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}.$$

4.  $n_{2,1}$  – відносний показник заломлення другого середовища відносно першого. Він може бути як більшим, так і меншим за одиницю.

5. Якщо першим середовищем є вакуум (або повітря), то  $n_{2,1}=n$ . Цей показник називають абсолютним показником заломлення для другого середовища:

$$n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{c}{v_2}.$$

6.  $n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$ , де  $n_2$  і  $n_1$  – абсолютні показники заломлення другого і першого середовища.

7. Якщо промінь світла спрямувати у напрямку, протилежному до напрямку відбитого чи заломленого променя, то такий промінь йде у напрямку, протилежному до напрямку падаючого променя.

### *Явище повного відбивання світла*

1. Якщо абсолютний показник заломлення першого середовища більший від абсолютного показника заломлення другого середовища, то перше середовище має більшу оптичну густину, ніж друге.

2. Під час проходження світла із середовища з більшою оптичною густиною в середовище з меншою оптичною густиною кут падіння менший за кут заломлення. Тому при деякому куті падіння промінь буде повністю відбиватися у те саме середовище, звідки поширювалося світло. Це явище дістало назву повного відбивання.

3. Граничний кут падіння визначається з рівняння:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n},$$

де  $n$  – абсолютний показник заломлення першого середовища.

### *Лінзи*

1. Лінза – це прозоре тіло, обмежене сферичними поверхнями чи сферичною поверхнею і площиною.

2. Центр лінзи називається її оптичним центром.

Будь-яка пряма, що проходить через центр лінзи, називається оптичною віссю лінзи. Та оптична вісь, яка проходить через геометричні центри сферичних поверхонь, що утворюють лінзу, називається головною, інші – побічними.

3. Точка, що лежить на головній оптичній осі, в якій збираються промені, паралельні до цієї осі, після проходження через лінзу, називається головним фокусом лінзи.

Відстань від оптичного центра лінзи до головного фокуса називають головною фокусною відстанню лінзи.

Площина, що перпендикулярна до головної оптичної осі і проходить через головний фокус, називається фокальною площиною.

4. Оптичною силою лінзи називають величину, обернену до її головної фокусної відстані:

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

Вимірюється оптична сила лінзи в діоптріях (дптр):  $1 \text{ дптр} = \frac{1}{\text{м}}$ .

5. Формула лінзи:

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

де  $d$  – відстань від предмета до лінзи,  $f$  – відстань від лінзи до зображення предмета.

### Швидкість світла

1. Світлові хвилі – це електромагнітні хвилі, до яких (крім видимого неозброєним оком) належить також інфрачервоне і ультрафіолетове проміння.
2. Світлові хвилі всіх частот поширюються у вакуумі з однаковою швидкістю. Швидкість світла є граничною швидкістю поширення сигналів. Жодне тіло у світі не може мати швидкості, яка б перевищувала швидкість світла у вакуумі.
3. Різниця в швидкостях поширення світла в різних середовищах обумовлює заломлення світла на межі розділу цих середовищ. Показник заломлення дорівнює відношенню швидкостей світла в середовищах, на межі яких відбувається заломлення.
4. Вперше виміряв швидкість світла О. Ремер, спостерігаючи за затемненнями одного із супутників Юпітера.

### Інтерференція світла

1. Явище підсилення коливань в одних точках простору, де поширюються хвилі, і послаблення в інших, яке є результатом накладання одна на одну хвиль однакової довжини, а, отже, однакової частоти, називається інтерференцією хвиль.

Картина чергувань максимумів і мінімумів коливань називається інтерференційною картиною.

2. Для спостереження інтерференційної картини необхідно, щоб хвилі мали однакову частоту (період або довжину) і незмінну різницю фаз в кожній точці простору, де вони накладаються одна на одну. Такі хвилі називають когерентними.

3. Для одержання когерентних джерел світла розділяють пучок світла від одного джерела на два чи кілька пучків, які йдуть у різних напрямках, а потім знову зводять і накладають один на одного.

4. Амплітуда коливань в даній точці простору максимальна, якщо різниця ходу двох хвиль, які збуджують коливання в цій точці, дорівнює цілому числу довжин хвиль:

$$\Delta d = k \cdot \lambda, \text{ де } k = 1, 2, 3 \dots$$

Амплітуда коливань в даній точці простору мінімальна, якщо різниця ходу двох хвиль, які збуджують коливання в цій точці, дорівнює непарному числу довжин півхвиль:

$$\Delta d = (2 \cdot k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ де } k = 1, 2, 3 \dots$$

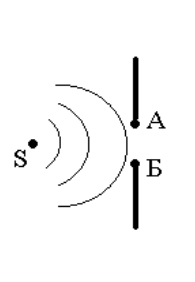
5. Явище інтерференції світла використовується для прояснення оптики, для точних вимірювань лінійних розмірів тіл, контролю якості шліфування тощо.

## Дифракція світла

1. Явище огинання хвилями країв перешкод і відхилення хвиль від прямолінійного поширення називається дифракцією хвиль.

2. Для спостереження дифракції розміри перешкод повинні бути порівняні з довжиною хвиль.

3. Дифракція світла пояснюється так. Кожну ділянку фронту світлової хвилі, яка заповнює отвір АБ можна розглядати як вторинне джерело світла.



Ці джерела світла когерентні, тому хвилі, які виходять від різних точок отвору, інтерферують між собою. Залежно від різниці ходу променів на екрані виникатимуть максимуми і мінімуми освітленості, створюючи дифракційну картину.

## Дифракційна ґратка

1. Дифракційна ґратка є сукупністю багатьох дуже вузьких щілин, розділених непрозорими проміжками.

2. Величину  $d = a + b$  прийнято називати сталою (періодом) дифракційної ґратки, де  $b$  – ширина непрозорої для світла ділянки між двома щілинами;  $a$  – ширина щілини.

3. Умова спостереження дифракційного максимуму на екрані:  $d \cdot \sin \phi = k \cdot \lambda$ .

Умова спостереження дифракційного мінімуму:

$$d \cdot \sin \phi = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2},$$

де  $k$  – ціле число,  $\lambda$  – довжина світлової хвилі, що проходить крізь решітку,  $\phi$  – кут, під яким поширюються хвилі в напрямі до деякої точки екрану, після проходження крізь ґратку.

4. Оскільки положення максимумів і мінімумів залежить від довжини хвилі, то дифракційна ґратка розкладає біле світло в спектр.

## Поляризація світла

1. Площину, в якій здійснюються коливання вектора  $\vec{E}$  електромагнітної (світлової) хвилі, називають площиною коливань.

2. Будь-якому променю, випущеному природним джерелом світла, відповідає безліч різноманітно орієнтованих площин коливань. Такий промінь (світло) називається природним променем (світлом).

Промінь, у якого амплітудні значення вектора  $\vec{E}$  виявляються неоднаковими для різних площин коливання, називається частково поляризованим променем.

3. Кристали турмаліну здатні поляризувати світлову хвилю, тобто вирізані з кристалу турмаліну певним чином плоскопаралельні пластини здатні пропускати світлові коливання лише певного напрямку.

4. Якщо на шляху поширення поляризованої світлової хвилі поставити ще одну пластину з турмаліну і обертати її, то інтенсивність світла, яке пройшло крізь цю пластину буде змінюватись від максимального значення до нуля. Це вказує на те, що світлові хвилі є хвилями поперечними.

## Дисперсія світла

1. Залежність показника заломлення ( $n$ , отже, і швидкості світла) від частоти коливань (або довжини хвиль) називають дисперсією світла.

2. Дисперсія світла дозволяє експериментально довести, що біле світло складається із світла різних кольорів (частот або довжин хвиль).

3. Складна структура білого світла пояснює походження різноманітних барв у природі, кольори різних тіл.

Колір непрозорого тіла визначається сумішшю променів тих кольорів, які воно відбиває.

Колір прозорого тіла визначається складом того світла, яке проходить крізь нього.

## Спектри

1. Існують такі спектри випромінювання: неперервні (суцільні); лінійчаті; смугасті.

2. Неперервний спектр випромінюють розжарені тверді тіла, а також гази великої густини. Їх існування обумовлено не тільки властивостями окремих випромінюючих атомів, а дуже сильно залежить від взаємодії атомів між собою.

3. Лінійчаті спектри випромінюють всі речовини в газоподібному стані, причому кожен хімічний елемент дає свій лінійчатий спектр, який не збігається зі спектрами інших елементів.

4. Смугастих спектр випромінює речовина, що перебуває в газоподібному стані, але складається не з атомів, а з молекул. Він містить ряд світлих смуг, розділених темними проміжками.

5. Пара чи гази поглинають проміння лише тих довжин хвиль, які вони самі можуть випромінювати. Цим обумовлено існування спектрів поглинання.

6. За лінійчатим спектром речовини можна визначити, які хімічні елементи входять до її складу. Такий метод визначення хімічного складу речовини називається спектральним аналізом.

### *Інфрачервоне, ультрафіолетове проміння*

1. Джерело білого світла, крім електромагнітних хвиль видимої частини спектра, випромінює також невидимі інфрачервоні й ультрафіолетові промені.

2. Інфрачервоні промені випромінює будь-яке нагріте тіло навіть тоді, коли воно не світиться. Інфрачервоні промені викликають помітне нагрівання навколишніх тіл. Тому ці промені часто називають тепловими. Вони містяться в спектрі за червоними променями.

3. Ультрафіолетові промені мають довжину хвилі меншу, ніж фіолетовий промінь. Ці промені відзначаються сильною хімічною і фізіологічною дією.

### *Рентгенівські промені*

1. Електромагнітні хвилі, коротші за ультрафіолетові, називаються рентгенівськими променями.

2. Рентгенівські промені дістають за допомогою спеціальних двохелектродних ламп. Випромінювані розжареним катодом рентгенівської трубки електрони прискорюються електричним полем і з великою швидкістю ударяються в анод. При швидкому гальмуванні електрона він випромінює короткі електромагнітні хвилі – рентгенівські промені.

3. Рентгенівські промені невидимі оком, але викликають свічення багатьох речовин і сильно діють на світлочутливі матеріали. Воно має велику проникну здатність, але помітно поглинаються матеріалами, які складаються з атомів з малою атомною масою.

4. Якщо рентгенівські промені проходять крізь об'єкт з нерівномірним розподілом густини, то на вміщеному за об'єктом екрані виникає тіньове зображення об'єкта, на якому розподіл освітленості відповідає розподілу густини речовини в об'єкті.

# Елементи теорії відносності

## Принцип відносності Ейнштейна

1. В основі теорії відносності, створеної А. Ейнштейном, лежать два постулати:

- За допомогою будь-яких фізичних дослідів, виконаних в деякій інерціальній системі відліку, неможливо встановити, перебуває ця система в спокої чи рухається рівномірно і прямолінійно. Інакше кажучи, всі фізичні явища відбуваються у всіх інерціальних системах відліку зовсім однаково і в усіх інерціальних системах відліку фізичні закони мають однаковий вигляд.
- Швидкість світла у вакуумі однакова в усіх інерціальних системах відліку і не залежить ні від руху джерела світла, ні від руху спостерігача. Швидкість світла у вакуумі є граничною швидкістю передавання будь-яких сигналів.

2. Перший постулат Ейнштейна виражає принцип відносності, який є узагальненням механічного принципу відносності на будь-які фізичні процеси. Він встановлює рівноправність всіх інерціальних систем відліку.

## Закон взаємозв'язку маси і енергії

1. Теорія відносності доводить, що будь-яке тіло, яке вільно рухається, має енергію

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

2. Тіло, яке перебуває в спокої ( $v = 0$ ), має енергію спокою

$$E_0 = m_0 \cdot c^2.$$

Ця формула вказує максимальну енергію, яка може бути одержана від тіла з масою спокою  $m_0$ , якщо це тіло перетвориться в електромагнітне випромінювання.

3. Зміна енергії спокою тіла пропорційна зміні маси тіла:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2.$$

А. Ейнштейн показав, що це співвідношення є справедливим для будь-якого виду енергії. Воно дістало назву закону Ейнштейна про взаємозв'язок маси й енергії.

# Квантова фізика

## Фотоелектричний ефект

1. Явище виривання електронів з речовини під дією випромінювання називається фотоелектричним ефектом.

2. Установка для дослідження фотоефекту складається з: посудини, з якої викачано повітря; в посудині є досліджувана пластина, що відіграє роль катоду і анод; напруга між катодом і анодом може змінюватися за допомогою потенціометра.

3. Якщо при незмінному світловому потоці, який падає на катод, поступово підвищувати напругу між катодом і анодом, то сила фотоструму спочатку зростає, а потім стає сталою. Найбільша сила фотоструму, яка виникає при незмінному світловому потоці, називається фотострумом насичення.

4. Сила фотоструму насичення прямо пропорційна падаючому на фотокатод світловому потоку (перший закон фотоефекту).

5. Максимальна швидкість (або кінетична енергія) вибитих випромінюванням електронів зовсім не залежить від освітленості поверхні, а визначається лише частотою (або довжиною хвилі) цього випромінювання (другий закон фотоефекту).

6. Найбільша довжина хвилі, при якій не можна спостерігати фотоефект, називається червоною межею фотоефекту.

## Рівняння Ейнштейна

1. За квантовою теорією світло є потоком фотонів, які рухаються зі швидкістю світла  $c$ .

В однорідному світлі з частотою  $\nu$  всі фотони мають однакову енергію  $h\nu$ , де  $h$  – стала Планка.

2. В явищі фотоефекту кожен фотон може поглинутись лише одним електроном. Енергія фотона частково витрачається на виконання роботи виходу  $A$  електрона з металу, а частково перетворюється в кінетичну енергію вибитого електрона:

$$h\nu = A + \frac{1}{2} \cdot mv^2.$$

Ця формула називається рівнянням Ейнштейна для фотоефекту.

## Фотон

1. Світло випромінюється, поглинається і поширюється дискретними порціями (квантами), які називаються фотонами.

2. Фотон характеризується енергією, масою й імпульсом.

$$\text{Енергія фотона: } \varepsilon = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}.$$

$$\text{Імпульс фотона: } P = m \cdot c = \frac{h \cdot \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

$$\text{Маса фотона: } m = \frac{h \cdot \nu}{c^2} = \frac{h}{c \cdot \lambda}.$$

3. Фотон не має маси спокою, він існує лише в русі зі швидкістю світла у вакуумі.

## Корпускулярно-хвильовий дуалізм

1. Електромагнітне випромінювання виявляє єдність неперервних (хвилі) і дискретних (фотони) властивостей.

2. Хвильові властивості світла виявляються в закономірностях його поширення, інтерференції, дифракції, поляризації, а корпускулярні – в процесах взаємодії з речовиною.

3. Хвильові властивості електромагнітного випромінювання яскравіше виявляються для малих частот і менш яскраво для високих. Навпаки, квантові властивості яскравіше виявляються для великих частот і менш яскраво – для малих.

# Атом і атомне ядро

## *Дослід Е. Резерфорда. Ядерна модель атома.*

1. Мета дослід: експериментальне дослідження розподілу позитивного заряду, отже, й маси всередині атома.

Дослідна установка: Всередині виїмки у шматку свинцю поміщалася радіоактивна речовина, яка служила джерелом альфа-частинок. На шляху вузького, майже паралельного пучка альфа-частинок розміщалися тонка металева фольга. Альфа-частинки, після проходження крізь фольгу, вдарялися в маленький екран, покритий флуоресціюючою речовиною. Екран закріплювався нерухомо на об'єктиві мікроскопа, за допомогою якого велося спостереження спалахів світла під час ударів альфа-частинок в екран. Мікроскоп обертався навколо центра фольги. Весь прилад вміщався в кожух, з якого відкачувалося повітря.

Результати дослідів: проходячи крізь фольгу більшість альфа-частинок не відхилялася від початкового напрямку польоту, невелика їх частина відхилялася на кут порядку  $90^\circ$ , а надзвичайно мала їх кількість відбивалася від фольги.

2. На основі цих досліджень Резерфорд запропонував ядерну “планетарну” модель будови атома: атом складається з позитивно зарядженого масивного ядра; навколо ядра рухаються електрони, утворюючи так звану електронну оболонку атома; заряд ядра дорівнює за значенням сумарному заряду всіх електронів; в ядрі атома зосереджена майже вся маса атома.

3. Ядро атома водню дістало назву протона.

4. Запропонована Резерфордом планетарна модель атома мала ряд непереборних труднощів при поясненні лінійчатих спектрів атомів.

## *Квантові постулати Бора.*

1. Для пояснення лінійчатих спектрів атома водню Н. Бор запропонував постулати:

- Атоми можуть тривалий час перебувати лише в певних (стаціонарних або квантових) станах, в яких, незважаючи на рух електронів з прискоренням, вони не випромінюють електромагнітних хвиль.

- Атоми випромінюють електромагнітні хвилі під час переходу атома з одного стаціонарного стану в інший. При цьому випромінюється фотон з енергією, що дорівнює різниці енергій стаціонарних станів  $h\nu = E_1 - E_2$ .

2. Постулати Бора були експериментально підтвержені. Теорія Бора

дозволяла створити кількісну теорію спектра атому водню. Але побудувати кількісну теорію для наступного за воднем атому гелію на ґрунті борівських уявлень не вдалося. Відносно атома гелію і більш складних атомів теорія Бора дозволяла зробити лише якісні висновки. Це можна було зробити виходячи з квантової механіки, яка включає в себе теорію Бора як окремий випадок.

### *Радіоактивність.*

1. А. Бекерель відкрив явище природної радіоактивності – властивість деяких речовин самодовільно випромінювати альфа-, бета- і гама-промені.

2. Альфа-промені є потоком ядер гелію.

Характерною ознакою альфа-частинок є велика їх енергія. Різні радіоактивні речовини випромінюють альфа-частинки різної енергії, але всі альфа-частинки, випущені даною радіоактивною речовиною, мають цілком певну енергію.

3. Бета-промені є потоком електронів.

На відміну від альфа-частинок, випромінювані даною радіоактивною речовиною бета-електрони мають не одне значення енергії, а можуть мати енергію від 0 до деякого найбільшого значення  $E_m$ , яка є характерною сталою для даного хімічного елемента.

4. Гама-випромінювання полягає у випусканні ядром фотона великої енергії без зміни заряду ядра.

### *Іонізаційна дія радіоактивного випромінювання. Природний радіоактивний фон. Дозиметри.*

1. Поглинута доза іонізуючого випромінювання ( $D$ ) – це відношення енергії  $W$  іонізуючого випромінювання, поглинутої речовиною, до маси  $m$  цієї речовини.

$$D = \frac{W}{m}$$

Одиниця поглинутої дози в СІ – грей  $[D] = 1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

2. Еквівалентна доза іонізуючого випромінювання ( $H$ ) – це фізична величина, яка характеризує біологічний вплив поглинутої дози іонізуючого випромінювання.

$$H = KD$$

$D$  – поглинута доза;

$K$  – коефіцієнт якості (характеризує небезпечність даного виду випромінювання: чим більший коефіцієнт якості, тим небезпечнішим є випромінювання).

Одиниця еквівалентної дози в СІ – зіверт  $[H] = 1 \text{ Зв}$ .

3. Потужність дози іонізуючого випромінювання ( $P_D$ ) – це відношення дози іонізуючого випромінювання  $D$  до часу опромінення  $t$ .

$$P_D = \frac{D}{t}$$

Одиниця потужність дози іонізуючого випромінювання в СІ – греї на секунду  $[P_D] = \frac{\text{Гр}}{\text{с}}$

4. Радіаційний фон – іонізуюче випромінювання земного та космічного походження.

Природний радіаційний фон – це випромінювання природних радіонуклідів і космічне випромінювання.

5. Дозиметр – прилад для вимірювання дози іонізуючого випромінювання, отриманого приладом (і тим, хто ним користується) за деякий інтервал часу.

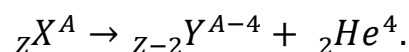
Радіометр – прилад для вимірювання інтенсивності радіоактивного випромінювання від певного джерела (рідини, газу, забрудненої поверхні).

## *Закон радіоактивного розпаду.*

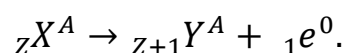
1. Під час радіоактивного розпаду відбувається перетворення ядер одних хімічних елементів в ядра інших хімічних елементів.

Правила, за допомогою яких можна встановити масове число і заряд нового елемента, що виникає внаслідок альфа- або бета-перетворення, дістали назву правил зміщення:

1) В результаті альфа-розпаду ядра утворюється ядро нового хімічного елемента з порядковим номером на дві одиниці меншим



2) В результаті бета-розпаду нове ядро має порядковий номер на одиницю більший за номер вихідного ядра



2. Мірою швидкості радіоактивного перетворення може служити інтервал часу, за який розпадається половина атомів будь-якої кількості елемента. Цей інтервал називають періодом піврозпаду  $T$ .

3. Кількість радіоактивних ядер даного сорту, що збереглися до моменту часу  $t$ , зменшується з часом за законом:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}.$$

Стала розпаду  $\lambda$  зв'язана з періодом піврозпаду  $T$  залежністю:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}.$$

4. Кількість розпадів за одиницю часу  $A = \lambda N$  називають активністю даного препарату, яка в СІ вимірюється в бекерелях.

### *Склад ядра атома.*

1. Резерфорд безпосередньо показав, що протони входять до складу атомних ядер і можуть бути виділені (вибиті) з цих ядер.

2. Експериментально було відкрито існування нейтронів – частинок, маса яких приблизно дорівнює масі протона, а її заряд дорівнює нулю.

3. Атомні ядра складаються з протонів і нейтронів, які часто називають нуклонами. Число протонів у ядрі дорівнює атомному номеру цього елемента; сума чисел протонів і нейтронів у ядрі називається його масовим числом.

4. Ядра ізоотопів даного хімічного елемента містять однакове число протонів і мають однакову кількість електронних оболонок, а відрізняються масовим числом.

5. Між нуклонами в ядрі діють гігантські ядерні сили, які приблизно в 100 раз перевищують сили кулонівського відштовхування протонів. Ядерні сили – короткодійні.

6. При утворенні ядра з окремих нуклонів виділяється енергія, що дорівнює енергії зв'язку ядра. Згідно з законом взаємозв'язку маси й енергії маса атомного ядра менша за суму мас нуклонів на дефект маси ядра  $\Delta m = \frac{E}{c^2}$ .

7. Загальна формула для розрахунку енергії зв'язку будь-якого ядра за його дефектом маси має вигляд:

$$E = (Zm_{\text{п}} + Nm_{\text{н}} - m_{\text{я}}) \cdot c^2.$$

8. Стійкість атомних ядер часто характеризують питомою енергією зв'язку, яка припадає на один нуклон.

## Ядерні реакції

1. Ядерні реакції – штучні перетворення атомних ядер, викликані їх взаємодією з частинками або одне з одним.

2. Під час ядерних реакцій виконуються закони збереження: електричного заряду, числа нуклонів, енергії, імпульсу, маси тощо.

3. Розрізняють такі типи реакцій: 1) випускання збудженим ядром гамма-квантів з поверненням ядра в нормальний стан; 2) захоплення ядром бомбардуючої частинки з перетворенням цього ядра в більш масивне; 3) поглинання ядром бомбардуючої частинки з випусканням ним однієї чи кількох частинок; 4) розщеплення ядра на кілька частин.

4. У процесі ядерних реакцій може виділятися й поглинатися енергія. Енергетичний ефект реакції можна розрахувати на основі закону збереження і перетворення енергії. Виділення енергії має місце як при реакціях поділу важких ядер, так і при реакціях синтезу легких ядер.

## Поділ ядер урану

1. При влученні нейтрона в ядро атома урану в ньому відбувається перегрупування нуклонів. Ядро сильно деформується і розпадається на два ядра. При цьому нуклони вихідного ядра розподіляються між ядрами, які утворюються, з виконанням законів збереження зарядів і масових чисел:

$$Z_B = Z_1 + Z_2 \quad i \quad A_B = A_1 + A_2.$$

2. Оскільки питома енергія зв'язку ядер урану менша за питому енергію зв'язку ядер, які утворюються, поділ ядер урану супроводжується виділенням величезної енергії.

3. Осколки ядра є радіоактивними: вони випромінюють фотони, бета-частинки і нейтрони. В результаті серії послідовних бета-розпадів осколків поділу в решті-решт утворюються стабільні ізотопи.

4. Експериментально було встановлено, що в середньому на один акт поділу випускається від 2 до 3 миттєвих нейтронів. Ці нейтрони можуть у свою чергу викликати поділ наступних 2 – 3 ядер тощо.

Виникає реакція, яка називається ланцюговою.

5. Розмноження нейтронів характеризують коефіцієнтом розмноження, який дорівнює відношенню числа нейтронів  $N_i$ , які викликають поділ ядер речовини на одному з етапів реакції, до  $N_{i-1}$  – нейтронів, які викликають поділ на попередньому етапі реакції:

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}.$$

6. Необхідною умовою для розвитку ланцюгової ядерної реакції є вимога  $k \geq 1$ . Якщо  $k > 1$ , ланцюгова реакція відбувається у вигляді вибуху і якщо  $k = 1$ , вона буде стаціонарною.

### *Термоядерні реакції*

1. Ядерна енергія може вивільнятися не тільки під час поділу важких ядер на легші осколки, а також і при з'єднанні (синтезі) легких ядер у більш масивні.

2. Необхідною умовою здійснення реакції синтезу є те, що об'єднувані ядра повинні мати досить велику кінетичну енергію для виконання роботи проти кулонівських сил відштовхування.

3. Цього можна досягти шляхом нагрівання до температур в десятки мільйонів градусів, у зв'язку з чим реакція синтезу дістала назву термоядерної реакції.

### *Елементарні частинки*

1. Елементарними прийнято вважати частинки, які не складаються з інших відомих частинок і під час взаємодій з іншими частинками чи полями поведуться як єдине ціле.

2. Сучасна фізика поділяє елементарні частинки на кілька основних груп:

- Ферміони – частинки, які складають матерію. До ферміонів належать:
  - Кварки – фундаментальні частинки, з яких складаються адрони (протони, нейтрони та інші).
  - Лептони – легкі частинки, такі як електрони, мюони, тау-лептони і нейтрино.
- Бозони – частинки, які передають взаємодію. До бозонів належать:
  - Фотони – кванти електромагнітного поля, відповідальні за електромагнітну взаємодію.
  - Глюони – носії сильної взаємодії, яка утримує кварки всередині адронів.
  - W- і Z-бозони – носії слабкої взаємодії, відповідальної за деякі типи розпадів частинок.
  - Гравітон (гіпотетична частинка) – передбачуваний носій гравітаційної взаємодії.

Для кожної елементарної частинки існує античастинка з такою ж масою,

але протилежним зарядом.

3. Взаємодії між частинками:

- Сильна взаємодія: діє між кварками та утримує ядра атомів.
- Електромагнітна взаємодія: діє між зарядженими частинками.
- Слабка взаємодія: відповідальна за деякі типи розпадів частинок.
- Гравітаційна взаємодія: діє між усіма частинками, але її вплив на рівні елементарних частинок незначний.

4. Однією з найбільш важливих властивостей елементарних частинок є їх взаємоперетворюваність. Елементарна частинка не складається з інших елементарних частинок, вони з'являються в процесі перетворення інших частинок.

5. У 1932 році відкрито двійник електрона, його античастинку назвали позитроном. Фотон великої енергії може перетворитись на пару електрон-позитрон і, навпаки, при зустрічі позитрона з електроном вони перетворюються на два фотони.

6. Вільний нейтрон радіоактивний і внаслідок радіоактивного розпаду перетворюється на протон, випромінюючи при цьому електрон і антинейтрино. Розпад нейтрона є перетворенням на інші частинки, а не простим поділом на складові частини.

7. У мікросвіті зникає різниця між частинками речовини і поля. Про відносність поділу матерії на рівні елементарних частинок на частинки речовини і частинки – поля свідчить їх взаємоперетворюваність.

## Список використаних джерел

1. Енциклопедія фізики / ред. В. Г. Бар'яхтар, В. М. Локтев, Ю. Г. Під'япольський. – Київ: Наукова думка, 2010. – 944 с.
2. Державний стандарт базової середньої освіти [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-deyaki-pitannya-derzhavnih-standartiv-povnoyi-zagalnoyi-serednoyi-osviti-i300920-898>
3. Каленик В.І., Каленик М.В. Питання загальної методики навчання фізики / Пробний навчальний посібник. – Суми: Редакційно-видавничий відділ СДПУ ім. А.С.Макаренка, 2000. – 125с.
4. Фізика. Навчальна програма для загальноосвітніх навчальних закладів. 10-11 класи. (Авторський колектив під керівництвом Локтева В.М.). [Електронний ресурс]. – URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna-serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva-vm.pdf>
5. Фізика. Навчальна програма для загальноосвітніх навчальних закладів. 7-9 класи. (Авторський колектив під керівництвом Ляшенко О.І.). [Електронний ресурс]. – URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-5-9-klas/onovlennya-12-2017/7-fizika.doc>
6. Фізика : підруч. для 7 кл. закл. загал. серед. освіти / [В.Г. Бар'яхтар, Ф.Я. Божинова, С.О. Довгий, М.М. Кірюхін, О.О. Кірюхіна] ; за ред. С.О. Довгого. – Х. : Вид-во «Ранок», 2024. – 272 с.: іл., фот.
7. Фізика : підруч. для 8 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.О.] ; за ред. Бар'яхтара В.Г., Довгого С.О. – 2-ге вид., перероб. –Харків: Вид-во «Ранок», 2021. – 240 с.: іл., фот.
8. Фізика для загальноосвітніх навчальних закладів з поглибленим вивченням фізики: підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закладів / Т.М. Засекіна, Д.О. Засекін. – К.: УОВЦ «Оріон», 2017. – 272 с. : іл.
9. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В.М.): підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. освіти / І.М. Гельфгат. – Харків: Вид-во «Ранок», 2018. – 272с.: іл., фот.
10. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В.М.): підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти / Т.М. Засекіна, Д.О. Засекін. – К.: УОВЦ «Оріон», 2017. – 272304 с. : іл.

## Зміст

<u>Передмова</u> .....	5
<b>Кінематика</b>	
<u>Механічний рух та його види</u> .....	7
<u>Фізичне тіло. Матеріальна точка</u> .....	7
<u>Система відліку</u> .....	8
<u>Траєкторія руху</u> .....	8
<u>Пройдений шлях</u> .....	8
<u>Переміщення</u> .....	9
<u>Рівномірний прямолінійний рух</u> .....	10
<u>Швидкість рівномірного прямолінійного руху</u> .....	11
<u>Відносність механічного руху</u> .....	12
<u>Середня швидкість</u> .....	13
<u>Миттєва швидкість</u> .....	13
<u>Прискорення</u> .....	14
<u>Швидкість рівнозмінного прямолінійного руху</u> .....	15
<u>Рівняння і графіки рівнозмінного прямолінійного руху</u> .....	16
<u>Вільне падіння тіл</u> .....	18
<u>Рух тіла, кинутого вертикально вгору</u> .....	18
<u>Рівномірний рух матеріальної точки по колу</u> .....	19
<u>Доцентрове прискорення</u> .....	20
<b>Динаміка</b>	
<u>Перший закон Ньютона</u> .....	21
<u>Інерція та інертність</u> .....	21
<u>Маса тіла</u> .....	22
<u>Густина речовини</u> .....	23
<u>Сила</u> .....	23
<u>Імпульс тіла</u> .....	24
<u>Другий закон Ньютона</u> .....	24
<u>Третій закон Ньютона</u> .....	25
<u>Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційна сила</u> .....	26
<u>Сила тяжіння</u> .....	26
<u>Рух під дією сили тяжіння: тіло кинуте горизонтально</u> .....	27
<u>Рух під дією сили тяжіння: тіло кинуте під кутом до горизонту</u> .....	28
<u>Штучні супутники Землі</u> .....	29
<u>Деформація тіл</u> .....	30
<u>Сила пружності</u> .....	30
<u>Закон Гука</u> .....	31
<u>Механічна напруга. Модуль Юнга</u> .....	31
<u>Вага тіла</u> .....	32
<u>Невагомість. Перевантаження</u> .....	33
<u>Сила тертя спокою</u> .....	33
<u>Сила тертя ковзання</u> .....	34
<u>Сила опору, що виникає під час руху тіла в рідині або газі</u> .....	34

<u>Сила Архімеда</u> .....	35
<u>Плавання тіл</u> .....	35
<u>Плавання суден</u> .....	36
<u>Повітроплавання</u> .....	36
<u>Прості механізми: важіль, блоки, похила площина</u> .....	36
<u>Механічний тиск</u> .....	37
<u>Тиск газу. Закон Паскаля</u> .....	37
<u>Тиск рідини</u> .....	38
<u>Атмосферний тиск</u> .....	38
<u>Сполучені посудини</u> .....	38
<u>Гідравлічна машина</u> .....	39
<u>Тиск в рухомих рідинах і газах</u> .....	39
<b>Статика</b>	
<u>Рівновага тіла за відсутності обертання</u> .....	40
<u>Рівновага тіла, що має вісь обертання</u> .....	40
<u>Центр тяжіння і центр мас</u> .....	41
<u>Види рівноваги. Стійкість споруд</u> .....	41
<b>Закони збереження</b>	
<u>Імпульс тіла</u> .....	42
<u>Закон збереження імпульсу</u> .....	42
<u>Реактивний рух</u> .....	43
<u>Механічна робота</u> .....	43
<u>Потужність</u> .....	44
<u>Енергія</u> .....	45
<u>Потенціальна енергія</u> .....	45
<u>Кінетична енергія</u> .....	46
<u>Закон збереження повної механічної енергії</u> .....	46
<u>Коефіцієнт корисної дії (ККД)</u> .....	47
<b>Механічні коливання та хвилі</b>	
<u>Механічні коливання</u> .....	48
<u>Фізичні величини, що характеризують коливання</u> .....	48
<u>Вільні коливання</u> .....	49
<u>Гармонічні коливання</u> .....	50
<u>Фаза коливань</u> .....	52
<u>Енергія коливального руху</u> .....	53
<u>Математичний маятник</u> .....	54
<u>Пружинний маятник</u> .....	54
<u>Вимушені коливання</u> .....	54
<u>Резонанс</u> .....	55
<u>Автоколивання</u> .....	56
<u>Механічні хвилі</u> .....	56
<u>Довжина і швидкість хвилі</u> .....	57
<u>Рівняння біжучої хвилі</u> .....	58
<u>Звукові хвилі</u> .....	59

## Молекулярно-кінетична теорія

<u>Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) будови речовини та їх дослідне обґрунтування</u> .....	60
<u>Розподіл Максвелла</u> .....	60
<u>Дослід Штерна</u> .....	61
<u>Маса та розміри молекул і атомів. Кількість речовини</u> .....	62
<u>Сили взаємодії між молекулами</u> .....	63
<u>Будова твердого тіла, рідини і газу з точки зору МКТ</u> .....	64
<u>Ідеальний газ</u> .....	64
<u>Температура і її вимірювання</u> .....	65
<u>Газові закони для ізопроцесів</u> .....	65
<u>Тиск газу</u> .....	67
<u>Основне рівняння МКТ ідеального газу</u> .....	67
<u>Молекулярно-кінетичне тлумачення температури</u> .....	68
<u>Рівняння стану ідеального газу</u> .....	68
<u>Рівняння стану реального газу</u> .....	69
<u>Зріджені гази</u> .....	70
<u>Пароутворення і конденсація</u> .....	70
<u>Насичена і ненасичена пара</u> .....	71
<u>Кипіння</u> .....	71
<u>Вологість повітря</u> .....	72
<u>Властивості рідини</u> .....	73
<u>Поверхневий натяг</u> .....	73
<u>Змочування</u> .....	74
<u>Капілярність</u> .....	74
<u>Кристалічні тіла</u> .....	75
<u>Полікристали</u> .....	75
<u>Аморфні тіла</u> .....	76
<u>Рідкі кристали</u> .....	76

## Основи термодинаміки

<u>Теплові явища та способи їх пояснення</u> .....	77
<u>Термодинамічний стан системи</u> .....	77
<u>Температура в термодинаміці</u> .....	78
<u>Теплове розширення тіл</u> .....	78
<u>Внутрішня енергія</u> .....	79
<u>Види теплопередачі (теплообміну)</u> .....	80
<u>Кількість теплоти</u> .....	80
<u>Теплоємність. Питома теплоємність речовини</u> .....	81
<u>Теплота згоряння палива</u> .....	81
<u>Плавлення і кристалізація твердих тіл</u> .....	82
<u>Питома теплота плавлення</u> .....	82
<u>Питома теплота пароутворення</u> .....	82
<u>Зміни внутрішньої енергії при виконанні роботи</u> .....	83
<u>Перший закон термодинаміки</u> .....	83

<u>Застосування першого закону термодинаміки до ізопроцесів в ідеальному газі...</u>	84
<u>Необоротність теплових процесів. Другий закон термодинаміки.....</u>	85
<u>Принцип дії теплової машини.....</u>	85
<u>Холодильна машина.....</u>	87

## Електростатика

<u>Електричний заряд.....</u>	88
<u>Електризація тіл.....</u>	89
<u>Закон збереження електричного заряду.....</u>	89
<u>Закон Кулона.....</u>	89
<u>Електричне поле.....</u>	90
<u>Напруженість електричного поля.....</u>	90
<u>Принцип суперпозиції.....</u>	90
<u>Лінії напруженості електричного поля.....</u>	91
<u>Потік напруженості. Теорема Гауса.....</u>	91
<u>Електричне поле заряджених поверхонь.....</u>	92
<u>Провідники в електричному полі.....</u>	93
<u>Діелектрики та їх будова.....</u>	93
<u>Поляризація діелектриків.....</u>	94
<u>Діелектрична проникність.....</u>	94
<u>Сегнетоелектрики і електрети.....</u>	95
<u>П'єзоелектричний ефект.....</u>	95
<u>Потенціал і різниця потенціалів.....</u>	96
<u>Зв'язок між силовою і енергетичною характеристиками електричного поля.....</u>	97
<u>Дослід Міллікена.....</u>	97
<u>Електроємність.....</u>	98
<u>Конденсатор.....</u>	98
<u>Плоский конденсатор.....</u>	99
<u>Енергія конденсатора й електричного поля.....</u>	99

## Електродинаміка

<u>Електричний струм.....</u>	101
<u>Джерело струму. Електричне поле.....</u>	100
<u>Сила струму.....</u>	100
<u>Електрична напруга.....</u>	101
<u>Електричний опір.....</u>	101
<u>Закон Ома для ділянки кола.....</u>	102
<u>Послідовне з'єднання провідників.....</u>	102
<u>Паралельне з'єднання провідників.....</u>	102
<u>Стаціонарне електричне поле.....</u>	103
<u>Електрорушійна сила.....</u>	104
<u>Закон Ома для повного кола.....</u>	104
<u>Правила Кірхгофа.....</u>	105
<u>Робота і потужність постійного електричного струму.....</u>	105
<u>Закон Джоуля-Ленца.....</u>	106
<u>Електричний струм у металах.....</u>	106

<u>Залежність опору металевих провідників від температури</u> .....	106
<u>Надпровідність</u> .....	107
<u>Напівпровідники</u> .....	107
<u>Власна електропровідність напівпровідників</u> .....	108
<u>Домішкова електропровідність напівпровідників</u> .....	108
<u>Електронно-дірковий перехід</u> .....	109
<u>Струм у вакуумі</u> .....	110
<u>Термоелектронна емісія</u> .....	110
<u>Електронні пучки</u> .....	111
<u>Електронно-променева трубка</u> .....	111
<u>Електричний струм у газах</u> .....	112
<u>Самостійний електричний розряд</u> .....	112
<u>Поняття про плазму</u> .....	113
<u>Електричний струм у розчинах електролітів</u> .....	113
<u>Закони електролізу</u> .....	114
<b>Електромагнетизм</b>	
<u>Постійні магніти. Магнітне поле</u> .....	115
<u>Магнітне поле струму</u> .....	115
<u>Електромагніт</u> .....	116
<u>Магнітна індукція</u> .....	116
<u>Сила Ампера. Дія магнітного поля на провідник із струмом</u> .....	117
<u>Магнітний потік</u> .....	118
<u>Сила Лоренца</u> .....	118
<u>Магнітні властивості речовини</u> .....	119
<u>Феромагнетики</u> .....	120
<u>Електричний двигун</u> .....	120
<u>Електровимірювальні прилади</u> .....	121
<u>Явище електромагнітної індукції</u> .....	122
<u>Індукційне електричне поле</u> .....	123
<u>Закон електромагнітної індукції</u> .....	123
<u>Рух провідника у незмінному магнітному полі</u> .....	124
<u>Самоіндукція. Індуктивність</u> .....	124
<u>Енергія магнітного поля</u> .....	125
<b>Електромагнітні коливання</b>	
<u>Вільні електромагнітні коливання в контурі</u> .....	126
<u>Рівняння гармонічних коливань у контурі</u> .....	127
<u>Автоколивання</u> .....	127
<u>Вимушені електромагнітні коливання. Змінний струм</u> .....	128
<u>Діючі значення напруги і сили струму</u> .....	128
<u>Електричний резонанс</u> .....	129
<u>Трансформатор</u> .....	129
<b>Електромагнітні хвилі</b>	
<u>Електромагнітне поле</u> .....	131
<u>Електромагнітні хвилі</u> .....	131

<u>Утворення електромагнітних хвиль і їх властивості</u> .....	131
<u>Енергія електромагнітної хвилі</u> .....	132
<u>Принципи радіотелефонного зв'язку</u> .....	132
<b>Оптика</b>	
<u>Джерела світла. Поширення світла</u> .....	134
<u>Відбивання світла</u> .....	134
<u>Плоске дзеркало</u> .....	134
<u>Сферичні дзеркальні поверхні</u> .....	135
<u>Заломлення світла</u> .....	136
<u>Явище повного відбивання світла</u> .....	137
<u>Лінзи</u> .....	137
<u>Швидкість світла</u> .....	138
<u>Інтерференція світла</u> .....	138
<u>Дифракція світла</u> .....	139
<u>Дифракційна ґратка</u> .....	139
<u>Поляризація світла</u> .....	140
<u>Дисперсія світла</u> .....	140
<u>Спектри</u> .....	140
<u>Інфрачервоне, ультрафіолетове проміння</u> .....	141
<u>Рентгенівські промені</u> .....	141
<b>Елементи теорії відносності</b>	
<u>Принцип відносності Ейнштейна</u> .....	142
<u>Закон взаємозв'язку маси і енергії</u> .....	142
<b>Квантова фізика</b>	
<u>Фотоелектричний ефект</u> .....	143
<u>Рівняння Ейнштейна</u> .....	143
<u>Фотон</u> .....	144
<u>Корпускулярно-хвильовий дуалізм</u> .....	144
<b>Атом і атомне ядро</b>	
<u>Дослід Е. Резерфорда. Ядерна модель атома</u> .....	145
<u>Квантові постулати Бора</u> .....	145
<u>Радіоактивність</u> .....	146
<u>Іонізаційна дія радіоактивного випромінювання. Природний радіоактивний фон. Дозиметри</u> .....	146
<u>Закон радіоактивного розпаду</u> .....	147
<u>Склад ядра атома</u> .....	148
<u>Ядерні реакції</u> .....	149
<u>Поділ ядер урану</u> .....	149
<u>Термоядерні реакції</u> .....	150
<u>Елементарні частинки</u> .....	150
<u>Список використаних джерел</u> .....	152

## Узагальнені набори істотних ознак компонентів змісту шкільного курсу фізики

### *Фізичне явище*

1. Зовнішні ознаки явища.
2. Умови за яких спостерігається явище.
3. Сутність явища і механізм його проходження, тобто його пояснення на основі сучасних наукових теорій.
4. Визначення явища.
5. Зв'язок даного явища з іншими.
6. Кількісна характеристика явища.
7. Використання явища на практиці.
8. Способи попередження шкідливої дії явища.

### *Фізична величина*

1. Яке явище або властивість тіл характеризує дана величина.
2. Визначення величини.
3. Визначальна формула (для кожної величини формула, що вказує на зв'язок даної величини з іншими).
4. Тип величини (векторна чи скалярна).
5. Одиниця вимірювання даної величини.
6. Способи вимірювання величини.

### *Фізичний закон*

1. Між якими явищами (процесами) або величинами закон встановлює зв'язок.
2. Формулювання закону.
3. Математичний вираз закону.
4. Досліди, що підтверджують справедливість закону.
5. Врахування й використання закону на практиці.
6. Границі застосування закону.

### *Фундаментальний фізичний експеримент*

1. З якою метою проводилося дослідження.
2. Принципова схема дослідного пристрою.
3. Результати експерименту.
4. Висновки.

### *Фізична теорія*

1. Дослідні факти, що визначили розробку теорії.
2. Основні поняття теорії.
3. Основні положення (принципи) теорії.
4. Математичний апарат теорії (основні рівняння).
5. Приклади явищ, що пояснюються даною теорією.
6. Явища і властивості тіл (частинок) передбачені теорією.

### *Прилад*

1. Призначення приладу.
2. Принцип роботи приладу.
3. Схема будови приладу (головні частини приладу, їх взаємодія).
4. Правила користування приладом.
5. Область застосування приладу.

**Електронне видання**  
ISBN 978-966-698-356-8 (PDF)

***КАЛЕНИК Михайло Вікторович***

Професор кафедри математики, фізики та методик їх навчання  
фізико-математичного факультету Сумського державного педагогічного  
університету імені А.С. Макаренка, кандидат педагогічних наук, доцент

## **ІСТОТНІ ОЗНАКИ КОМПОНЕНТІВ ЗМІСТУ ШКІЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ**

***Навчально-методичний посібник***  
(електронне видання)

*Комп'ютерна верстка: М.В. Каленик*  
Матеріали подано в авторській редакції

Гарнітура Times New Roman, Palatino Linotype. Формат 60x84/14  
Ум. друк. арк. 6,7 Вид. № 10

**Виготовлювач:**  
СумДПУ імені А.С. Макаренка,  
вул. Роменська, 87, м. Суми, 40002  
Свідоцтво ДК № 231 від 02.11.2000 р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи:  
серія ДК № 5050 від 23.02.2016.

