

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський коледж  
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет  
імені Василя Стефаника»

***Гоцанюк Т.В.***

**Збірник теоретичних матеріалів для  
практичних занять курсу  
«Природничі науки: фізика і астрономія»**

Івано-Франківськ, 2019

УДК 53(075.8)+52(075.8)

*Рекомендовано до друку педагогічною радою Івано-Франківського коледжу  
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»  
(протокол №3 від 30 січня 2019 року)*

**Рецензенти:**

кандидат хімічних наук

**Бойчук Володимира Михайлівна,**

доцент кафедри теоретичної та експериментальної  
фізики ДВНЗ «Прикарпатський національний  
університет імені Василя Стефаника»

викладач вищої категорії, викладач-методист

**Петрашук Оксана Петрівна,**

викладач хімії Івано-Франківського коледжу ДВНЗ  
«Прикарпатський національний університет імені  
Василя Стефаника»

**Гоцанюк Т.В.**

Збірник теоретичних матеріалів для практичних занять курсу  
«Природничі науки: фізика і астрономія» / Гоцанюк Тетяна  
Василівна. – Івано-Франківськ: ДВНЗ «Прикарпатський  
національний університет імені Василя Стефаника», 2019. – 68 с.

Збірник розроблено з метою забезпечення підготовки до виконання  
практичних занять з курсу «Природничі науки: фізика і астрономія».

Методична розробка призначена для студентів, викладачів.

**УДК 53(075.8)+52(075.8)**

© Гоцанюк Т.В., 2019

© ДВНЗ «Прикарпатський національний  
університет імені Василя Стефаника»

## ЗМІСТ

<b>РОЗДІЛ 1. Механіка</b> .....	6
Кінематика.....	6
Динаміка.....	15
Закони збереження.....	25
<b>РОЗДІЛ 2. Молекулярна фізика і термодинаміка</b> .....	29
Властивості газів, рідин і твердих тіл.....	29
Основи термодинаміки.....	34
<b>РОЗДІЛ 3. Електродинаміка</b> .....	47
Електричне поле.....	47
Струм у різних середовищах.....	40
Магнітне поле.....	41
Електромагнітна індукція.....	43
<b>РОЗДІЛ 4. Коливання та хвилі</b> .....	44
Механічні коливання та хвилі.....	44
Електромагнітні коливання і хвилі.....	47
<b>РОЗДІЛ 5. Оптика та основи теорії відносності</b> .....	48
Хвильова оптика.....	48
Елементи квантової фізики.....	51
Елементи теорії відносності.....	52
<b>РОЗДІЛ 6. Атомна і ядерна фізика</b> .....	53
<b>РОЗДІЛ 7. Астрономія</b> .....	56

## Вступ

Фізика — природнича наука, яка досліджує загальні властивості матерії та явищ у ній, а також виявляє загальні закони, які керують цими явищами. Це наука про закономірності природи в широкому сенсі цього слова. Фізики вивчають поведінку та властивості матерії в широких межах її проявів, від субмікроскопічних елементарних частинок, з яких побудоване все матеріальне (фізика елементарних частинок), до поведінки всього Всесвіту як єдиної системи (космологія).

Програма курсу фізики і астрономії для ВНЗ I – II рівнів акредитації подана для двох рівнів – рівень стандарту і рівень академічний та розрахована:

- на студентів, які обрали суспільно-гуманітарний, художньо-естетичний або спортивний напрями профілізації (рівень стандарту).
- на студентів, для яких фізика відіграє роль апарата для вивчення закономірностей навколишнього світу, певної галузі природознавства, техніки та технологій (профілі: інформатика, виробничі технології, проектування, конструювання, менеджмент, побутове обслуговування, агротехнології) – академічний рівень.

Курс фізики має забезпечити опанування студентами основних фізичних гіпотез, моделей, концепцій, законів, явищ на рівні теоретичних узагальнень, достатніх для розуміння та пояснення хімічних та біологічних явищ і процесів, формування цілісного географічного образу планети Земля та окремих країн, опанування основ медичних знань, формування екологічної культури, вміння гармонійно облаштовувати стосунки з природою і соціумом, забезпечення відповідного рівня соціалізації молодшої людини.

Оцінюються:

- 1) рівень володіння теоретичними знаннями, що їх можна виявити під час усного чи письмового опитування, тестування;
- 2) рівень умінь використовувати теоретичні знання під час розв'язування задач різного типу (розрахункових, експериментальних, якісних);
- 3) рівень володіння практичними вміннями та навичками, що їх можна виявити під час виконання лабораторних робіт;

4) зміст і якість творчих робіт студентів (рефератів, проектів, творчих експериментальних робіт, виготовлення приладів, комп'ютерне моделювання фізичних процесів тощо).

Оцінювання вміння розв'язувати задачі та володіння студентами практичними вміннями та навичками:

- усвідомити фізичну суть задачі;
- записати її умову в скороченому вигляді;
- зробити схему або малюнок (за потреби), побудувати графіки та проаналізувати їх;
- виявити, яких даних не вистачає в умові задачі, та знайти їх у таблицях чи довідниках;
- виразити необхідні величини в одиницях СІ;
- обрати чи вивести формулу для знаходження шуканої величини;
- виконати відповідні математичні дії й операції;
- здійснити обчислення числових значень невідомих величин;
- оцінити одержаний результат та його реальність, раціональність обраного способу розв'язування задачі;
- планувати проведення дослідів чи спостережень;
- збирати установку за схемою;
- проводити спостереження, знімати покази приладів;
- оформляти результати дослідження (складати таблиці, будувати графіки тощо);
- визначати та обчислювати похибки вимірювання;
- робити проведеного експерименту чи спостереження.

Посібник містить завдання кількох рівнів складності з таких тем:

- Механіка
- Молекулярна фізика і термодинаміка
- Електродинаміка
- Коливання та хвилі
- Оптика та основи теорії відносності
- Атомна і ядерна фізика
- Астрономія

## РОЗДІЛ 1. Механіка

### Кінематика

**Механічним рухом** називають зміну з плином часу положення тіла відносно інших тіл.

Світобудову за розмірами матеріальних тіл у ній можна поділити на три частини: мікросвіт, макросвіт і мегасвіт.

До **мікросвіту** належать атоми, молекули та частинки, з яких вони складаються. Рух у мікросвіті описує квантова механіка; **макросвіт** — люди, тварини, машини й механізми, річки й водоспади, а також, власне, Земля. До **мегасвіту** належать планети Сонячної системи, Сонце, зорі, галактики. Механічний рух — це рух об'єктів макро- й мегасвітів.

Механічний рух умовно можна поділити на два найпростіші види: поступальний рух та обертовий рух.

**Поступальний рух** — це такий рух, коли усі точки тіла рухаються однаково.

**Обертовий рух** — це такий рух, за якого всі точки тіла рухаються по колах, центри яких розташовані на одній прямій лінії,— осі обертання.

**Основне завдання механіки** полягає в тому, щоб визначити положення тіла в будь-який момент часу.

З'ясуємо, як визначити положення тіла в просторі. Положення тіла в просторі завжди визначають відносно якого-небудь іншого тіла, що називається **тілом відліку**.

**Тіло відліку** — це тіло, що в умовах задачі вважається нерухомим, і відносно якого розглядається рух усіх інших тіл у цій задачі.

Пов'язана з тілом відліку система координат й обраний спосіб вимірювання часу утворюють **систему відліку**.

Отже, система відліку складається з таких компонентів:

- 1) тіла відліку;
- 2) пов'язаної з ним системи координат;
- 3) способу відліку часу.

Для того, щоб визначати зміну положення тіла в просторі, потрібно, насамперед, уміти визначати це положення. Виникає питання: чи завжди необхідно знати об'єм, форму й розміри тіла?

На щастя, для розв'язування багатьох задач розмірами тіла можна знехтувати, розглядаючи тіло як одну точку. При цьому опис руху тіла набагато спрощується.

**Матеріальна точка** — це фізична модель, що застосовується для спрощення опису руху тіла й відповідає тілу, розмірами якого в умовах певної задачі можна знехтувати.

**Траєкторія руху матеріальної точки** — це лінія її руху в просторі.

Дуже часто траєкторія є невидимою лінією. Траєкторія точки, що рухається, може бути прямою або кривою лінією. Відповідно до форми траєкторії, рух буває прямолінійним і криволінійним.

З поняттям траєкторії тісно пов'язане поняття шляху.

**Шлях** — це фізична величина, що чисельно дорівнює довжині ділянки траєкторії, пройденої матеріальною точкою за проміжок часу.

Шлях, зазвичай, позначають символом  $l$ . Одиницею шляху в СІ служить метр (м).

Шлях збільшується, якщо тіло рухається і залишається незмінним, якщо тіло перебуває в стані спокою. Отже, шлях не може зменшуватися з плином часу.

Шлях, пройдений тілом, дозволяє визначити положення тіла в будь-який момент часу лише в тому випадку, коли відома траєкторія руху. Для цього достатньо відкласти пройдений шлях від початкового положення тіла вздовж траєкторії в напрямі руху тіла.

Однак, якщо траєкторія руху тіла не відома (або не відомий напрям руху), то положення тіла, що рухається, у будь-який момент визначити вже неможливо.

Щоб визначити положення тіла, що рухається, у будь-який момент, вводять фізичну величину «переміщення».

**Переміщенням** називають вектор, проведений від початкового положення тіла до його положення в певний момент часу.

Отже, переміщення одночасно вказує і на напрям руху, і на відстань між початковим і кінцевим положеннями тіла, що рухається.

Переміщення позначають символом  $s$ . Одиницею модуля переміщення в СІ, як і шляху, є метр.

Довжину переміщення, узятую зі знаком «+» або «-», називають проекцією вектора переміщення на координатну вісь.

Якщо точка А — початкове положення тіла, зумовлене координатою  $x_0$ , а точка В — його кінцеве положення, зумовлене координатою  $x$ , то в загальному випадку можна записати:

$$x = x_0 + s_x$$

Отже, за відомим вектором переміщення тіла та його початковою координатою можна визначити його кінцеву координату, тобто знайти положення тіла відносно обраної системи відліку в будь-який момент часу.

Найпростіший вид механічного руху — це рівномірний прямолінійний рух. З цим видом руху учні вже знайомі з курсу фізики й математики попередніх класів.

**Прямолінійний рівномірний рух** — це такий рух, коли матеріальна точка за будь-які однакові проміжки часу здійснює однакові переміщення.

Однією з основних кінематичних характеристик руху є швидкість:

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

**Швидкість**  $\vec{v}$  прямолінійного рівномірного руху — це фізична величина, що дорівнює відношенню переміщення  $\vec{s}$  до проміжку часу  $t$ , за який відбулося це переміщення.

Як бачимо з визначення, швидкість є векторною величиною: напрямок швидкості збігається з напрямком переміщення. У випадку прямолінійного рівномірного руху модуль переміщення  $s$  збігається зі шляхом  $l$ , тому в цьому випадку можна записати, що

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

Одиниця швидкості в СІ — 1 м/с.

Скориставшись формулою для швидкості  $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$  можна обчислити переміщення тіла за будь-який проміжок часу:  $\vec{s} = \vec{v} \cdot t$ . Цю ж формулу можна в проекціях:

$$s_x = v_x t$$

Якщо відомі швидкість тіла і час рівномірного руху, то можна обчислити пройдений тілом шлях:  $l = vt$ , а також можна обчислити й час руху:

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



Назвемо умовно одну систему відліку «нерухомою», а іншу — «рухомою». Тоді **правило додавання переміщень** можна сформулювати так:

переміщення  $\vec{s}$  тіла в «нерухомій» системі відліку дорівнює векторній сумі переміщення  $\vec{s}_1$  тіла в «рухомій» системі відліку й переміщення  $\vec{s}_2$  «рухомої» системи відліку відносно «нерухомої» :

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$$

Швидкість  $\vec{v}$  тіла в «нерухомій» системі відліку дорівнює векторній сумі швидкості  $\vec{v}_1$  тіла в «рухомій» системі відліку й швидкості  $\vec{v}_2$  «рухомої» системи відліку відносно «нерухомої».

Графік функції  $s_x = f(t)$  називається **графіком руху**. Графіком  $s_x(t) = v_x t$  є пряма, що проходить через початок координат. Якщо  $v_x > 0$ , то  $s_x$  з плином часу зростає, а якщо  $s_x < 0$ , то  $s_x$  з часом зменшується.

Графік функції  $v_x(t)$  — пряма, паралельна осі часу  $t$ . Якщо  $v_x > 0$ , ця пряма проходить вище від осі  $t$ , а якщо  $v_x < 0$ , то нижче.

Рух зі змінною швидкістю, коли за однакові проміжки часу тіло проходить різні шляхи, називають **нерівномірним**.

У деяких випадках можна розраховувати переміщення, якщо ввести величину, яку називають **середньою швидкістю**. Вона показує, яке переміщення здійснює тіло в середньому за одиницю часу, тобто

$$\vec{v}_{\text{сеп}} = \frac{\vec{s}}{t}$$

Ця формула описує так звану **середню векторну швидкість**. Однак вона не завжди підходить для опису руху.

На практиці часто користуються так званою **середньою шляховою швидкістю**, що дорівнює відношенню шляху, пройденого тілом, до часу руху:

$$v_{\text{сеп.l}} = \frac{l}{t}$$

**Миттєвою швидкістю** називають величину, що дорівнює відношенню дуже малого переміщення до проміжку часу, упродовж якого це переміщення відбулося:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

**Прискорення** — це векторна величина, що характеризує зміну швидкості тіла й дорівнює відношенню зміни швидкості до часу, за який ця зміна відбулася.

Нехай  $\vec{v}_0$  — початкова швидкість матеріальної точки,  $\vec{v}$  — миттєва швидкість точки за проміжок часу  $\Delta t$ . Тоді зміна миттєвої швидкості дорівнює  $\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$ . Звідси випливає, що

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

Прискорення має такий самий напрямок, як і зміна швидкості.

Якщо тіло рухається так, що його швидкість за будь-які рівні проміжки часу змінюється однаково, то такий рух називають рівноприскореним.

**Рівноприскорений рух** — це такий прямолінійний рух, коли швидкість тіла за будь-які однакові проміжки часу змінюється на одну й ту саму векторну величину.

Запишемо формулу для прискорення в проекціях на вісь  $Ox$ :

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

За одиницю прискорення в Міжнародній системі одиниць приймають таке прискорення прямолінійно рівноприскореної рухомої точки, коли за 1 с її швидкість змінюється на 1 м/с.

$$[a] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Проекція переміщення обчислюється за формулою:

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

У випадку прямолінійного рівноприскореного руху без початкової швидкості проекція переміщення обчислюється за формулою:

$$s_x = \frac{a_x t^2}{2}$$

Площу трапеції можна обчислити і як добуток півсум основ ( $v_{0x}$  і  $v_x$ ) на висоту ( $t$ ). Отже,

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t$$

**Рівняння координати в разі прямолінійного рівноприскореного руху:**

Оскільки  $x = x_0 + s_x$ , дістаємо:

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

**Середня швидкість у разі прямолінійного рівноприскореного руху:**

Проекція середньої швидкості визначається, як  $\vec{v}_{\text{сер.}x} = \frac{s_x}{t}$ . Скориставшись формулою  $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t$  маємо, що в разі рівноприскореного руху проекція середньої швидкості дорівнює середньому арифметичному проекції початкової та кінцевої швидкостей:

$$v_{\text{сер.}x} = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t$$

**Співвідношення між переміщенням і швидкістю в разі прямолінійного рівноприскореного руху**

$$v_x = \sqrt{v_{0x}^2 + 2a_x s_x}$$

Падіння тіла за умови, коли опором повітря можна знехтувати, називають **вільним падінням**.

У випадку вільного падіння всі тіла, незалежно від їхньої маси, падають на землю з однаковим прискоренням, що називається **прискоренням вільного падіння**.

Прискорення вільного падіння позначається  $\vec{g}$ . Отже,  $\vec{a} = \vec{g} = \text{const}$ . Модуль вектора  $\vec{g}$  уперше виміряв Християн Гюйгенс у 1656 р. за допомогою маятникового годинника. Біля поверхні Землі  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Під час розв'язування задач приблизно можна вважати  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

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

Поняття вільного падіння має широкий зміст: тіло здійснює вільне падіння, не тільки тоді, коли його початкова швидкість дорівнює нулю. Якщо тіло кинути вниз із початковою швидкістю  $v_0$ , воно при цьому також вільно падатиме. Навіть більше, вільне падіння не обов'язково являє собою рух униз.

Якщо початкова швидкість тіла спрямована вгору, то тіло в процесі вільного падіння якийсь час летітиме вгору, зменшуючи свою швидкість, і лише потім почне падати вниз.

Під час підйому тіла його швидкість зменшується відповідно до формули  $v = v_0 - gt$ . Отже, швидкість дорівнюватиме нулю за час  $t_{\text{під}} = \frac{v_0}{g}$ . Досягнувши найвищої точки, тіло на мить зупиниться й почне рухатися з прискоренням вільного падіння. Швидкість тіла під час руху вниз збільшуватиметься відповідно до формули  $v = gt$ , де

час  $t$  відлічується тепер з моменту, коли тіло перебуває у найвищій точці.

### Вільне падіння як окремий випадок рівноприскореного руху

Розглядаючи вільне падіння й рух тіла, кинутого вертикально вгору, як окремий випадок рівноприскореного руху, можна запропонувати учням разом з учителем заповнити таку таблицю:

Рівноприскорений рух	Вільне падіння	Рух тіла, кинутого вгору
$v = v_0 + at$	$v = v_0 + gt$	$v = v_0 - at$
$l = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$	$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$
$l = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$	$h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$	$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$
$l = \frac{v^2}{2a}$	$h = \frac{v^2}{2g}$	$h_{max} = \frac{v_0^2}{2a}$
$v = \sqrt{v_0^2 + 2al}$	$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$	$v = \sqrt{v_0^2 - 2gh}$

Криволінійний рух у природі більш поширений, ніж прямолінійний. Кінчик пера авторучки під час письма рухається кривими лініями, футбольний м'яч після удару футболіста рухається криволінійною траєкторією, кривою рухаються автомобілі, космічні тіла тощо.

Вивчити всі види криволінійних рухів неможливо, та й немає в цьому необхідності: майже будь-який криволінійний рух можна представити як послідовність рухів на дугах кіл різних радіусів.

Тому ми вивчаємо рух матеріальної точки по колу. У навколишньому світі ми стикаємося з рухом по колу досить часто: так рухаються стрілки годинника й зубчасті коліщатка їхніх механізмів; так рухаються автомобілі й потяги опуклими мостами й на закругленнях доріг; по колових орбітах рухаються численні штучні супутники Землі та природні супутники інших планет.

У випадку прямолінійного руху як середня, так і миттєва швидкості тіла завжди спрямовані вздовж вектора переміщення. Миттєва швидкість тіла, що рухається по колу, спрямована на дотичну до неї в цій точці.

Ми вивчатимемо рух точки по колу з постійною за модулем швидкістю. Його називають рівномірним рухом по колу.

Швидкість точки, що рухається по колу, називають **лінійною швидкістю**.

Лінійна швидкість  $v$  — це фізична величина, що характеризує криволінійний рух і дорівнює відношенню шляху  $\Delta l$ , пройденого тілом криволінійною траєкторією за малий проміжок часу  $\Delta t$ , до величини цього проміжку:

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

Рух тіла по колу часто характеризують не швидкістю руху, а проміжком часу, за який тіло здійснює один повний оберт.

Період обертання — це фізична величина, що дорівнює часу одного повного оберт.

Якщо тіло за час  $t$  зробило  $N$  повних обертів, то період обертання  $T$  дорівнює:

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

Одиниця періоду обертання в СІ — секунда ( $[T] = \text{с}$ ).

Щоб зробити один повний оберт, тіло, що рухається зі швидкістю  $v$ , має пройти шлях  $2\pi r$  (довжина кола радіусом  $r$ ).

Отже,

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

Частота обертання — це фізична величина, що чисельно дорівнює числу повних обертів за одиницю часу:

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

Період і частота пов'язані співвідношенням:

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

Одиниця вимірювання частоти в СІ —  $1/\text{с}$ .

Використовуючи поняття періоду й частоти, отримуємо формули для лінійної швидкості:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r \nu$$

Крім лінійної швидкості для характеристики швидкості зміни положення тіла у колі використовують кутову швидкість.

**Кутова швидкість** — це фізична величина, що дорівнює відношенню кута повороту радіуса, проведеного до тіла від центру

кола, по якому рухається тіло, до проміжку часу, упродовж якого цей поворот здійснювався:

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

Оскільки в СІ кути вимірюють у радіанах, то одиницею кутової швидкості є радіан на секунду (рад/с).

За час одного періоду ( $\Delta t = T$ ) тіло робить один повний оберт ( $\varphi = 2\pi$ ), тому кутову швидкість можна обчислити за формулою:

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

Кутова і лінійна швидкості пов'язані співвідношенням:

$$v = \omega r$$

Швидкість тіла — величина векторна. Будь-яка зміна вектора швидкості в часі означає виникнення прискорення:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

При цьому  $\Delta\vec{v}$  може характеризувати зміну не лише модуля швидкості, але і її напрямку. Якщо змінюється тільки модуль швидкості, то відбувається прямолінійний прискорений рух. Якщо змінюється лише напрям, то виникає рівномірний криволінійний рух.

Модуль прискорення у випадку рівномірного руху по колу можна обчислити за формулою:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Ми вже знаємо, що лінійну швидкість  $v$  можна обчислити через період і частоту обертання, а також через кутову швидкість за допомогою таких формул:

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

Підставляючи вищезазначені формули у формулу для обчислення доцентрового прискорення  $a_{\text{доц}} = \frac{v^2}{r}$  дістаємо:

$$a_{\text{доц}} = \frac{4\pi^2}{T^2} r; \quad a_{\text{доц}} = 4\pi^2 \nu^2 r; \quad a_{\text{доц}} = \omega^2 r.$$

Остання формула доводить, що у випадку однакової кутової швидкості доцентрове прискорення буде більшим за радіус кола. Цим можна, наприклад, пояснити той факт, що на диску, який обертається, легше утриматися, якщо перебувати ближче до центра диска, і дуже складно зробити це, якщо знаходитися на його краю.

## Динаміка

Розділ механіки, у якому вивчаються причини, що зумовлюють прискорення, називають **динамікою**.

**Основне завдання динаміки** — вивчити взаємодію тіл, з'ясувати закони, завдяки яким відбувається рух тіл, і на підставі цих законів уміти визначати положення певного тіла в довільний момент часу.

Причина прискорення тіла — дія на нього іншого тіла.

Тіло перебуває в стані спокою, якщо дія інших тіл на це тіло скомпенсована.

Тіло рухається прямолінійно й рівномірно, якщо дія інших тіл на це тіло скомпенсована.

За Аристотелем, сила — причина руху.

Якщо на тіло не діють інші тіла, то воно зберігає стан спокою або рухається прямолінійно та рівномірно.

За вченням Ньютона, **сила — причина зміни руху тіл**.

**Перший закон Ньютона:** будь-яке тіло продовжує перебувати в стані спокою або рівномірного і прямолінійного руху, доки й оскільки його не змусять змінити цей стан прикладені до нього сили.

Ті системи відліку, у яких закон інерції реалізується, називаються **інерціальними**, а ті, у яких не реалізується, — **неінерціальними**.

Відповідно до сучасних уявлень, **перший закон Ньютона формулюється так:** існують такі системи відліку, відносно яких тіла зберігають свою швидкість незмінною, якщо на них не діють інші тіла, або дії інших тіл скомпенсовані.

**Інертність** — це властивість, яка характерна для всіх тіл і полягає в тому, що для зміни швидкості тіла потрібен час.

Властивість тіла — інертність — характеризується фізичною величиною — масою.

**Маса тіла** — це міра його інертності.

Відношення модулів прискорень двох тіл, що взаємодіють, обернено пропорційне відношенню їхніх мас.

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

**Основні властивості маси:**

1. Маса тіла — величина інваріантна, тобто не залежить від вибору системи відліку.

2. Маса тіла не залежить від швидкості руху тіла.

3. Маса тіла — величина адитивна, тобто маса тіла дорівнює сумі мас усіх частинок, з яких тіло складається, а маса системи тіл дорівнює сумі мас тіл, що утворюють систему.

4. У класичній механіці спрацьовує закон збереження маси: під час будь-яких процесів, що протікають у системі тіл, загальна маса системи залишається незмінною; маса тіла не змінюється внаслідок його взаємодії з іншими тілами.

Дію тіл або частинок (одна на одну) називають **взаємодією**.

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

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

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

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

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

**Сила** — це векторна величина, що є мірою дії на тіло інших тіл, у результаті якої тіло дістає прискорення або змінює форму й розміри.

У системі СІ сила вимірюється в ньютонах (1 Н).

1 Н — це сила, яка тілу масою 1 кг надає прискорення  $1 \text{ м/с}^2$ .

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

**Другий закон Ньютона:** рівнодійна  $\vec{F}$  усіх сил, прикладених до тіла, дорівнює добутку маси тіла на його прискорення.

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



## Особливості застосування другого закону Ньютона

Зупинимося на деяких фактах, що впливають із другого закону Ньютона й допоможуть під час розв'язування задач.

1. Сила — причина прискорення; прискорення визначається силою, що діє на тіло. Зміна сили приводить до зміни прискорення, а не навпаки.

2. Якщо на тіло одночасно діє кілька сил, то  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}$ .

3. Якщо сили, які діють на тіло, скомпенсовані, тобто  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ , то прискорення  $\vec{a} = 0$ . Отже, закон інерції можна сформулювати так: тіло перебуває в стані спокою або рухається з постійною швидкістю, якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю.

4. З другого закону Ньютона можна дістати визначення 1 Н:

$$1\text{Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

**Третій закон Ньютона:** два тіла взаємодіють одне з одним із силами, спрямованими вздовж однієї прямої, однаковими за модулем і протилежними за напрямом.

**Сили, з якими взаємодіють два тіла:**

а) мають ту саму фізичну природу, оскільки зумовлені однією взаємодією;

б) однакові за модулем і спрямовані вздовж однієї прямої протилежно одна одній;

в) прикладені до різних тіл і тому не можуть компенсувати одна одну.

**Декілька прикладів прояву третього закону Ньютона.**

1. **Явище віддачі.** Сила, що діє на снаряд з боку гармати, дорівнює за модулем силі, що діє на гармату з боку снаряда в момент пострілу. У автоматичній стрілецькій зброї явище віддачі використовується для перезаряджання зброї.

2. **Реактивний рух.** З величезною швидкістю викидаючи продукти згоряння палива назад, ракета діє на них з надзвичайною силою. З такою ж за модулем, але спрямованою вперед, силою продукти згоряння діють на ракету.

3. **Взаємодія Землі й Сонця, Місяця й Землі, рух планет та інших небесних тіл.**

4. **Рух транспортних засобів.**

**Гравітаційна взаємодія** — це взаємодія, властива всім тілам у Всесвіті. Вона проявляється в їх взаємному притяганні одне до одного.

**Закон всесвітнього тяжіння:** дві матеріальні точки масами  $m_1$  і  $m_2$ , що перебувають на відстані  $R$  одна від одної, притягуються із силою

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

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

Силу, з якою Земля притягує будь-яке тіло, називають **силою тяжіння**.

Під час вільного падіння всі тіла біля поверхні Землі рухаються з однаковим прискоренням, що називають прискоренням вільного падіння  $\vec{g}$ . Це прискорення зумовлене дією на тіло сили тяжіння  $\vec{F}_T$ .

Отже, другий закон Ньютона для тіла, що вільно падає, має вигляд:

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

Таким чином,

- Сила тяжіння, що діє на тіло, пропорційна масі цього тіла.
- Точку прикладання сили тяжіння, що діє на тіло, за будь-якого його положення в просторі називають центром ваги.

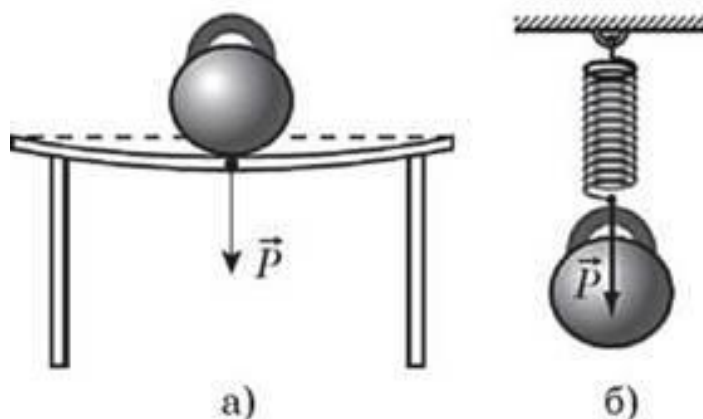
Розглядаючи Землю як однорідну кулю, розуміємо, що Земля притягує тіло масою яке знаходиться на її поверхні, із силою:

$$F = G \frac{mM_3}{R_3^2} \text{ де } M_3 \text{ — маса Землі, } R_3 \text{ — радіус Землі. Ця сила надає тілам}$$

прискорення вільного падіння, що дорівнює:

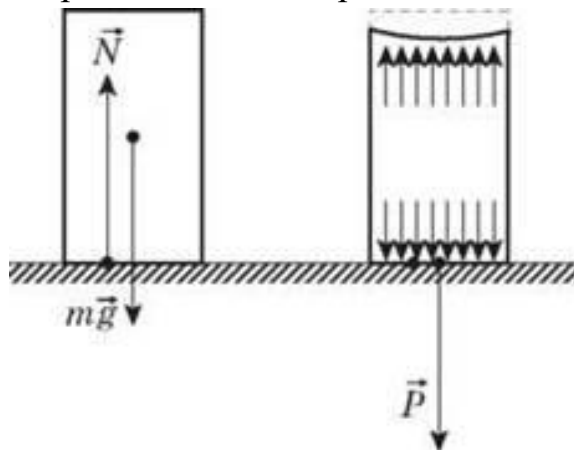
$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M_3}{R_3^2}.$$

Унаслідок земного тяжіння усі тіла стискають або прогинають опору (рис. а) або розтягують підвіс (рис. б).



**Вагою тіла** називають силу, з якою тіло, унаслідок його притягання до Землі, тисне на опору або розтягує підвіс.

З'ясуємо причину виникнення ваги тіла. Для цього розглянемо тіло, що лежить на горизонтальній опорі.



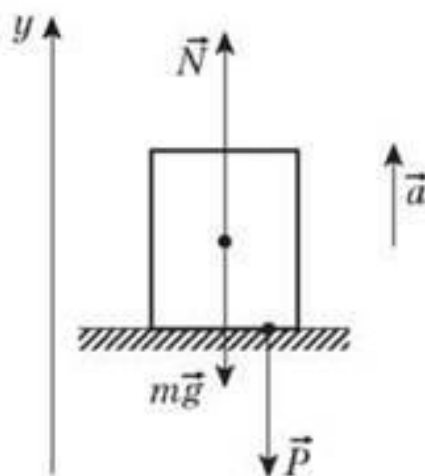
На це тіло діють дві сили: сила тяжіння  $\vec{F}_m = m\vec{g}$  і сила реакції опори  $\vec{N}$ . Оскільки ці сили прикладені до різних точок цього тіла, то внаслідок дії цих сил тіло деформується (стискається). У результаті виникає сила пружності  $\vec{P}$ , яка й діє на опору.

Сили  $\vec{N}$  і  $\vec{P}$  — це сили взаємодії тіла й опори, тому, відповідно до третього закону Ньютона, вони однакові за модулем і протилежні за напрямом:

$$\vec{N} = \vec{P}.$$

Якщо тіло й опора нерухомі відносно Землі (або спільно рухаються рівномірно й прямолінійно), то, відповідно до другого закону Ньютона,  $\vec{N} + m\vec{g} = 0$ .

Отже,  $\vec{P} = m\vec{g}$ .



Відповідно до другого закону Ньютона,  $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ .  
Спроекувавши цей вираз на вісь Оу, дістаємо:

$$-mg + N = ma, \text{ або } N = m(g + a).$$

З урахуванням того, що  $P = N$ , остаточно отримуємо:

$$P = m(g + a) > mg.$$

• Якщо прискорення тіла спрямоване вгору, то вага тіла більша за силу тяжіння.

Міркуючи аналогічно, можна показати вагу тіла, якщо прискорення тіла спрямоване вниз:

$$P = m(g - a) < mg.$$

• Якщо прискорення тіла спрямоване вниз, то вага тіла менша за силу тяжіння.

Стан, за якого вага тіла дорівнює нулю, називається **станом невагомості**.

Відношення сили, з якою тіло тисне на опору в разі прискореного руху вгору, до його ваги в інерціальній системі відліку називають **перевантаженням**.

Штучні супутники Землі — космічні літальні апарати, виведені на навколоземні орбіти. Вони призначаються для розв'язування різних наукових і прикладних задач.

Швидкість, якої потрібно надати супутнику, щоб він рухався навколоземною орбітою (на меншій висоті, у порівнянні з радіусом Землі), називають **першою космічною швидкістю**.

$$v_1 = \sqrt{R_3 g} \approx 8 \left( \frac{\text{км}}{\text{с}} \right).$$

Щоб тіло змогло залишити Землю й перетворитися на штучну планету — супутник Сонця, йому слід надати так званої **другої космічної швидкості**.

$$v_2 = \sqrt{2} \cdot v \approx 11,2 \left( \frac{\text{км}}{\text{с}} \right).$$

**Третя космічна швидкість** — це швидкість, необхідна для того, щоб тіло могло залишити межі Сонячної системи й рушити в Галактику.

**Деформація** — це зміна форми й розмірів тіла під дією зовнішніх сил.

За характером зсуву частинок тіла одна відносно одної розрізняють такі види деформацій: **розтягання, стискання, зсув, крутіння, вигин**.

Найбільш простим видом деформації є деформація розтягання й деформація стискання.

Якщо до однорідного, закріпленого з одного кінця стрижня прикласти силу вздовж його осі в напрямі від стрижня, то він зазнає деформації розтягання. Деформації розтягання зазнають троси, канати, ланцюги в піднімальних пристроях, стяжки між вагонами тощо. Якщо на закріплений стрижень подіяти силою вздовж його осі в напрямі до стрижня, то він зазнає стискання. Деформації стискання зазнають стовпи, колони, стіни, фундаменти будинків та ін. Унаслідок розтягання або стискання змінюється площа поперечного перерізу тіла.

Деформації розтягання й стискання характеризуються абсолютним і відносним подовженням.

**Абсолютне подовження** — це фізична величина, що дорівнює зміні довжини тіла внаслідок деформації розтягання або стискання.

Абсолютне подовження позначають  $\Delta l$  і обчислюють за формулою:  $\Delta l = l - l_0$ , де  $l_0$  — початкова довжина тіла, а  $l$  — довжина деформованого тіла.

Очевидно, що в разі деформації розтягання  $\Delta l > 0$ , а у випадку деформації стискання  $\Delta l < 0$ .

**Відносне подовження** — це фізична величина, що дорівнює відношенню абсолютного подовження до початкової довжини тіла.

Відносне подовження позначається  $\varepsilon$  і обчислюється за формулою:

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

У випадку деформації розтягання  $\varepsilon > 0$ , а вразі деформації стискання  $\varepsilon < 0$ .

Деформації, які повністю зникають після припинення дії на тіло зовнішніх сил, називають **пружними**.

Деформації, які зберігаються й після того, як зовнішні сили перестають діяти на тіло, називаються **пластичними**.

**Сила пружності** — це сила, що виникає внаслідок деформації тіла й спрямована протилежно напрямку зсуву частинок у процесі деформації.

**Механічна напруга**  $\sigma$  — це фізична величина, що характеризує деформоване тіло й дорівнює відношенню модуля сили пружності  $F_{np}$  до площі поперечного перерізу тіла  $S$ :

$$\sigma = \frac{F_{\text{пр}}}{S}$$

Одиниця механічної напруги в СІ — паскаль (Па).

**Досліди показують, що:**

- у разі незначних пружних деформацій механічна напруга пропорційна відносному подовженню:

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

Коефіцієнт пропорційності  $E$  називається модулем пружності, або модулем Юнга.

**Модуль Юнга** — це фізична величина, що характеризує опірність матеріалу пружній деформації розтягання або стискання.

Оскільки відносне подовження  $\varepsilon$  — безрозмірна величина, то одиниця модуля Юнга в СІ — паскаль (Па).

**Закон Гука:** у межах пружної деформації сила пружності прямо пропорційна абсолютному подовженню пружини:

$$F_{\text{пр}} = k|\Delta l|$$

Жорсткість пружини визначається за формулою:

$$k = \frac{F_{\text{пр}}}{|\Delta l|}$$

Звідси випливає, що одиниця жорсткості в системі СІ вимірюється в Н/м.

Покажемо, що вираз  $\sigma = E|\varepsilon|$  також є законом Гука, але в іншій формі запису.

За визначенням,  $\sigma = \frac{F_{\text{пр}}}{S}$ , а відносне подовження  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ . Тоді з урахуванням формули  $\sigma = E|\varepsilon|$  дістаємо:

$$\frac{F_{\text{пр}}}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l}.$$

Звідси:

$$F_{\text{пр}} = \frac{ES}{l_0} |\Delta l| = k |\Delta l|$$

Де  $k = \frac{ES}{l_0}$  - коефіцієнт жорсткості. Отже,

- коефіцієнт жорсткості залежить від пружних властивостей матеріалу, з якого виготовлене тіло, і його геометричних розмірів.

**Сила тертя** — це сила, що виникає під час руху або в разі спроби спричинити рух одного тіла по поверхні іншого й спрямована вздовж дотикальних поверхонь проти руху.

**Сила тертя спокою** — це сила, що виникає між дотикальними поверхнями тіл, нерухомих відносно одне одного.

Якщо несильно подіяти на брусок, який лежить на столі, силою  $F_1$ , спрямованою горизонтально, то брусок залишиться лежати на місці. Оскільки брусок не зрушує з місця, отже, з'явилася сила тертя спокою  $F_{\text{терт.спок}}$ , яка зрівноважує силу  $F_1$ .

Потягнемо брусок з більшою силою, збільшиться й сила тертя спокою. Якщо ці досліди продовжити, ми зможемо задіяти таку силу, за якої брусок зрушить з місця. У цей момент ми досягнемо максимальної сили тертя спокою.

Експериментально встановлено, що максимальна сила тертя спокою пропорційна силі реакції опори:

$$F_{\text{терт.спок.max}} = \mu_0 N$$

Тут  $\mu_0$  — максимальний коефіцієнт тертя спокою,  $N$  — модуль сили реакції опори.

**Сила тертя ковзання** — це сила, що виникає під час ковзання одного тіла по поверхні іншого.

На досліді можна показати, що модуль сили тертя ковзання  $F_{\text{терт.ковз}}$  пропорційний модулю сили нормального тиску  $N$ :

$$F_{\text{терт.ковз.}} = \mu N$$

Слід звернути у вагу учнів на те, що співвідношення  $F_{\text{терт.ковз}} = \mu N$  не можна записувати у векторному вигляді, тому що сила тертя і сила нормального тиску перпендикулярні одна одній.

Під час переміщення тіла по горизонтальній поверхні горизонтально спрямованою силою сила нормальної реакції дорівнює за модулем силі тяжіння, тому в цьому випадку співвідношення  $F_{\text{терт.ковз}} = \mu N$  набуває вигляду:  $F_{\text{терт.ковз}} = \mu mg$ .

Якщо тіло не ковзає по поверхні іншого тіла, а котиться, то тертя, що виникає в місці їхнього зіткнення, називають тертям кочення.

До тертя кочення можна віднести тертя коліс залізничного вагона об рейки, коліс автомобіля об бруківку, тертя під час перекочування діжок або труб об ґрунт тощо.

Під час кочення тіло деформує все нові й нові ділянки поверхні. Це є однією з причин виникнення сили тертя кочення. Зазвичай тертя кочення тим менше, чим твердіші поверхні дотикальних тіл.

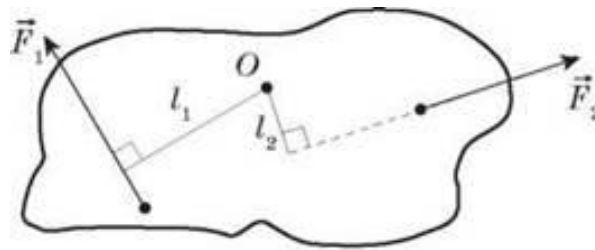
Розділ механіки, у якому вивчаються умови рівноваги тіл або системи тіл, називають **статикою**.

**Рівновага** — це збереження стану руху або спокою тіла з плином часу.

Якщо тіло не може обертатися, то всі його точки рухаються тільки поступально. У цьому випадку для того, щоб тіло залишалося в стані спокою, необхідно, щоб векторна сума всіх прикладених до тіла сил дорівнювала нулю:

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

Довжину перпендикуляра, опущеного з осі обертання на лінію дії сили, називають **плечем сили**.



**Моментом сили** відносно осі обертання тіла називають узятий зі знаком плюс або мінус добуток модуля сили на її плече:

$$M = \pm Fl.$$

У СІ момент сили вимірюється в ньютон-метрах (Н·м).

Якщо до тіла, закріпленому на осі, прикладено кілька сил, то умова рівноваги тіла має вигляд:

- тіло, закріплене на осі, перебуває в стані рівноваги, якщо алгебраїчна сума моментів сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots = 0.$$

**Центр мас** — це властивість тіла, і вона ні від чого не залежить, а центр ваги не властивий тілу й залежить від умов, у яких перебуває тіло.

Рівновагу тіла називають **стійкою**, якщо після будь-яких незначних відхилень тіла від положення рівноваги тіло знову повертається в початкове положення.

Рівновагу тіла називають **нестійкою**, якщо після будь-яких незначних відхилень тіла від положення рівноваги тіло ще більше відхиляється від початкового положення.

Рівновагу тіла називають **байдужою**, якщо після будь-яких незначних відхилень тіла від положення рівноваги тіло залишається у своєму новому положенні.



## Закони збереження

Величина  $m\vec{v}$  отримала назву **імпульсу тіла**. Вона є мірою механічного руху. Під час взаємодії відбувається передача імпульсу від одного тіла до іншого:

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

**Імпульс тіла** — це векторна величина, що дорівнює добутку маси тіла на його швидкість і збігається за напрямом з напрямом швидкості.

Одиницею вимірювання імпульсу в СІ є  $\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}$ .

Під дією сили тіло змінює свою швидкість, отже, змінюється й імпульс тіла:

$$\Delta\vec{p} = \Delta(m\vec{v}) = m\Delta\vec{v}.$$

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

Добуток сили на час її дії називають **імпульсом сили**.

Одиниця вимірювання імпульсу сили в СІ —  $\text{Н}\cdot\text{с}$ .

**Закон збереження імпульсу:** сумарний імпульс замкнутої системи тіл залишається незмінним за будь-якої взаємодії тіл системи між собою:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_3 + \dots + m_n\vec{v}_n = \overline{const}.$$

**Реактивним рухом** називають рух, що виникає в тілі в результаті відокремлення від нього з певною швидкістю певної його частини.

**Реактивний двигун** — це двигун, що перетворює хімічну енергію палива на кінетичну енергію газового струменя, при цьому двигун дістає швидкість у зворотному напрямі.

Швидкість оболонки ракети тим більша, чим більшою є швидкість викинутого газу й чим більша його маса:

$$v_{об} = v_{г} \frac{m_{г}}{m_{об}}$$

Якщо сила спрямована під кутом  $\alpha$  до переміщення тіла, то **робота**  $A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$ .

**Робота сили** дорівнює добутку модуля сили на модуль переміщення й на косинус кута між напрямом сили й напрямом переміщення.

Одиницею вимірювання роботи в СІ є джоуль (Дж).

Обчислимо роботу внутрішніх сил системи, що складається із Землі й піднятого над поверхнею Землі тіла.

Якщо тіло падає з певної висоти, напрям сили тяжіння збігається з напрямом переміщення. При цьому під час руху тіла вниз робота сили тяжіння позитивна. Якщо тіло масою  $m$  падає з висоти  $h$ , то робота сили тяжіння дорівнює:

$$A = mgh.$$

Під час руху тіла вгору сила тяжіння вже спрямована протилежно переміщенню, тому в цьому випадку робота сили тяжіння негативна. Отже, у разі підйому тіла масою  $m$  на висоту  $h$  робота сили тяжіння дорівнює:

$$A = -mgh.$$

Із закону Гука випливає, що в разі зменшення деформації пружини до нуля, модуль сили пружності зменшується від  $kx$  до нуля, тому середнє значення сили пружності дорівнює:

$$F_{\text{пр.сер.}} = \frac{kx}{2}$$

При цьому робота сили пружності визначається, як

$$A = F_{\text{пр.сер.}}x = \frac{kx}{2}x = \frac{kx^2}{2}.$$

У разі збільшення деформації пружини сила пружності, що діє на тіло з боку пружини, спрямована протилежно деформації.

У цьому випадку робота сили пружності негативна.

### **Робота сили тертя ковзання.**

Сила тертя ковзання завжди спрямована протилежно напрямку швидкості, а отже, і переміщенню тіла, тому робота сили тертя ковзання завжди негативна.

**Потужність** — це фізична величина, що чисельно дорівнює відношенню роботи до проміжку часу, за який вона виконана:

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

Одиниця потужності в СІ — ват (Вт).

**Миттєва потужність** — це скалярна фізична величина, що дорівнює відношенню роботи, виконаної за нескінченно малий проміжок часу, до величини цього проміжку:

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F_x \Delta x}{\Delta t} = F_x \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Оскільки швидкість  $v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ , то остаточно дістаємо:

$$P = F_x v_x.$$

Отже, миттєва швидкість дорівнює добутку проекцій сили, що діє на тіло, і швидкості в напрямі його переміщення.

Таким чином, чим більша швидкість автомобіля, тим менша сила тяги потрібна для її підтримання (при постійній потужності двигуна):

$$F_x = \frac{P}{v_x}.$$

Здатність тіла виконувати роботу внаслідок зміни свого стану характеризують фізичною величиною, що називається **енергією**.

Енергія, яку має тіло внаслідок свого руху, називається **кінетичною енергією**.

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

**Теорема про кінетичну енергію:** робота сили дорівнює зміні кінетичної енергії тіла.

Фізичну величину, що характеризує здатність системи взаємодіючих тіл (частин тіла) виконувати роботу внаслідок зміни їхнього взаємного положення, називають **потенціальною енергією**.

Потенціальна енергія піднятого вантажу:

$$E_{\pi} = mgh.$$

Потенціальна енергія деформованої пружини:

$$E_{\pi} = \frac{kx^2}{2}.$$

Потенціальну енергію можна визначити тільки для сил, робота яких під час руху по замкнутій траєкторії дорівнює нулю.

Суму потенційної та кінетичної енергій тіла називають його повною **механічною енергією**:

$$E = E_{\pi} + E_k$$

Якщо між тілами системи діють лише сили тяжіння й сили пружності, механічна енергія замкнутої системи тіл зберігається:

$$E = E_{\pi} + E_k = \text{const}$$

**Ударом** (або **зіткненням**) прийнято називати короткочасну взаємодію тіл, у результаті якої їхні швидкості зазнають значних змін.

**Абсолютно пружний удар** — це зіткнення, за якого зберігається механічна енергія системи тіл.

**Абсолютно непружний удар** — це зіткнення, за якого тіла з'єднуються (злипаються) одне з одним і рухаються далі як одне тіло.

Зіткнення (удар) називається **центральною**, якщо вектори швидкості кульок до і після удару спрямовані вздовж прямої, що проходить через їхні центри.

## РОЗДІЛ 2. Молекулярна фізика і термодинаміка

### Властивості газів, рідин і твердих тіл

**Молекулярно-кінетичною теорією** називають вчення про будову і властивості речовини на основі уявлень про існування атомів і молекул як найменших частинок хімічних речовин.

**В основі МКТ лежать три основні положення:**

1) всі речовини утворені з найдрібніших частинок — молекул, які самі складаються з атомів. Молекули й атоми являють собою електрично нейтральні частинки. За певних умов молекули й атоми можуть набувати додаткового електричного заряду та перетворюватися на позитивні або негативні іони;

2) атоми й молекули перебувають у безперервному хаотичному русі;

3) частинки взаємодіють одна з одною силами, що мають електричну природу.

Співвідношення між макроскопічними параметрами — об'ємом і тиском — називається **рівнянням стану**.

**Основне завдання молекулярно-кінетичної теорії:** встановити зв'язок між макроскопічними і мікроскопічними параметрами речовини й, виходячи з цього, знайти рівняння стану даної речовини. Наприклад, знаючи масу молекул, їх середні швидкості й концентрацію, можна знайти об'єм, тиск і температуру даної маси газу, а також визначити тиск газу, якщо відомі його об'єм і температура.

Фізична величина, яка визначає число молекул у даному тілі, називається **кількістю речовини** й позначається літерою  $\nu$ .

**Один моль** — це кількість речовини, яка містить стільки ж молекул, скільки атомів вуглецю міститься в 12 г вуглецю.

**Відносна молекулярна маса**  $M_r$  дорівнює відношенню маси молекули  $m_0$  даної речовини до  $1/12$  маси атома вуглецю  $m_{0c}$ :

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0c}}.$$

Кількість молекул в одному молі називається **постійною Авогадро**:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  1/моль.

Масу одного моля речовини називають **молярною масою**.

Відношення маси речовини  $m$  до кількості речовини  $\nu$  називається **молярною масою** і позначається  $M$ :

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

Якщо дане тіло містить  $\nu$  молей речовини, то **число молекул**  $N$  у цьому тілі визначається виразом:

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

**Властивості газів:** гази не зберігають ні об'єм, ні форму; газ заповнює всю ємність, у якій він знаходиться.

**Властивості рідин:** рідини зберігають об'єм, але не зберігають форму; внаслідок здатності до переливання, рідина зазвичай приймає форму посудини.

**Властивості твердих тіл:** тверді тіла зберігають об'єм і форму.

Модель реального газу, у якій нехтують розмірами молекул газу й їх взаємодією між зіткненнями, називають **ідеальним газом**.

**Ізопроесами** називають процеси, що відбуваються з даною масою газу за постійного значення одного з трьох параметрів — тиску, об'єму або температури.

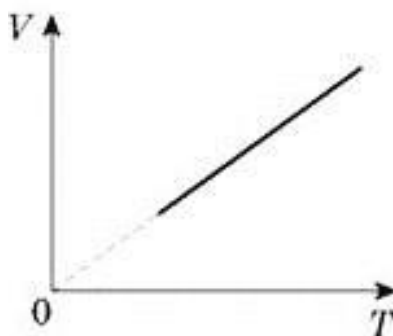
Зміна об'єму й температури газу за постійного тиску називається **ізобарним процесом**.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

**Закон Гей-Люссака:**

Під час ізобарного процесу об'єм даної маси газу прямо пропорційний його абсолютній температурі.

Співвідношення між об'ємом даної маси газу й абсолютною температурою за постійного тиску зображено графічно на рисунку.



Цей графік називають **ізобарою**. Він показує, що при постійному тиску об'єм газу прямо пропорційний його абсолютній температурі.

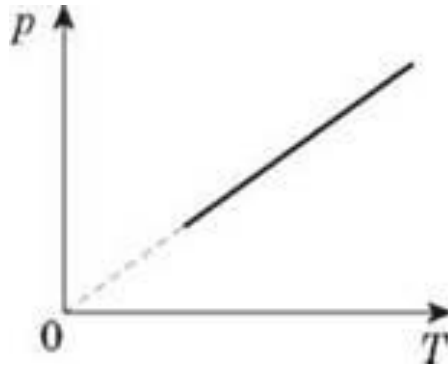
Зміна тиску й температури газу з постійним об'ємом, називають **ізохорним процесом**.

### Закон Шарля:

При ізохорному процесі тиск даної маси газу прямо пропорційний до його абсолютної температури.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Графік залежності  $p(T)$  при  $V = \text{const}$  називають ізохорою.



Цей графік показує, що з постійним об'ємом тиск газу прямо пропорційний до його абсолютної температури.

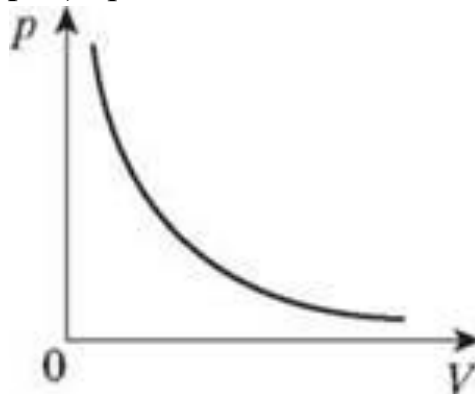
Зміна тиску та об'єму газу за постійної температури називають **ізотермічним процесом**.

### Закон Бойля — Маріотта:

Під час ізотермічного процесу тиск даної маси газу обернено пропорційний до його об'єму.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Графік залежності  $p(V)$  при  $T = \text{const}$  називають ізотермою.



Цей графік показує, що за постійної температури тиск газу обернено пропорційний його об'єму.

Тиск ідеального газу прямо пропорційний концентрації часток, масі частки й середньому значенню квадрата швидкості частки.

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}.$$

Тиск ідеального газу пропорційний добутку концентрації молекул на середню кінетичну енергію поступального руху молекули:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}.$$

**Рівняння Клапейрона:** для даної маси газу добуток тиску газу на його об'єм, поділено на абсолютну температуру газу, є величина постійна:

$$\frac{pV}{T} = \text{const.}$$

**Закон Авогадро:** за однакових температури й тискові в рівних об'ємах різних газів міститься однакове число молекул.

Тиск газу можна виразити за рахунок концентрації газу і його абсолютної температури:  $p = nkT$ .

Модель реального газу, у якій нехтують розмірами молекул газу та їх взаємодією між зіткненнями, називають **ідеальним газом**.

**Рівняння Менделєєва — Клапейрона:**

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Процес перетворення рідини на пару називається **пароутворенням**. Якщо пароутворення відбувається з вільної поверхні рідини, воно називається **випаровуванням**.

Процес переходу молекул з пари в рідину називають **конденсацією**.

**Кипіння** — це інтенсивний перехід рідини в пару, який відбувається при утворенні пухирців пари по всьому об'єму рідини за певної температури.

**Питома теплота пароутворення**  $L$  чисельно дорівнює кількості теплоти, необхідної для того, щоб звернути на пару 1 кг рідини за незмінної температури.

Пар, що знаходиться в динамічній рівновазі зі своєю рідиною, називають **насиченою парою**.

**Відносною вологістю повітря**  $\varphi$  називають відношення тиску водяної пари при даній температурі  $p$  до тиску насиченої пари  $p_n$  з тією ж температурою:

$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100 \, \%.$$

Температуру, за якої водяна пара стає насиченою, називають **точкою роси**.



Вологість вимірюють за допомогою спеціальних приладів: **психрометра та гігрометра**.

У розташуванні молекул у рідині існує тільки близький порядок.

Намагання рідини зменшити площу своєї поверхні називається **поверхневим натягом**.

**Поверхнева енергія** — надлишкова потенціальна енергія молекул поверхневого шару рідини.

Частина внутрішньої енергії рідини (поверхнева енергія  $E_{\text{пов}}$ ) прямо пропорційна площі вільної поверхні рідини (кількості молекул у поверхневому шарі):

$$E_{\text{пов}} = \sigma S.$$

Силу, яка діє з боку рідини на контур, що обмежує її поверхню намагаючись зменшити її площу поверхні, називають **силою поверхневого натягу**.

$$F_{\text{пов}} = \sigma l.$$

У кристалах атоми та молекули розташовані впорядковано, утворюючи кристалічну решітку.

Кристали плавляться при певній температурі, яка називається **температурою плавлення**.

Залежність фізичних властивостей від напрямку всередині кристалу називають **анізотропією**.

У аморфних тілах є «близький» порядок у розташуванні атомів і молекул. Аморфні тіла не мають певної температури плавлення.

Речовини, що поєднують властивості рідин і кристалів, називаються **рідкими кристалами**.

Речовини, що складаються з дуже великої кількості однакових або різних за будовою атомних груп, а також чергуються, складовими ланками, з'єднаними між собою хімічним зв'язком в довгі лінійні, розгалужені і навіть просторові тривимірні структури, називають **полімерами**.

## Основи термодинаміки

**Термодинамічна система** — сукупність макроскопічних систем, які можуть обмінюватися енергією між собою та з зовнішніми тілами.

Термодинамічна система, яка не бере участі у теплообміні з оточуючими тілами, називають **теплоізованою**.

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

**Абсолютна температура** є мірою середньої кінетичної енергії руху молекул:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT.$$

**Внутрішня енергія** — це сума кінетичної енергії хаотичного руху всіх частинок, що входять до складу даного тіла, і потенційної енергії їх взаємодії одна з одною.

$$U = E_k + E_p.$$

**Два способи зміни внутрішньої енергії:**

- 1) під час виконання роботи;
- 2) шляхом теплопередачі.

Внутрішня енергія ідеального газу залежить тільки від температури і не залежить ні від його тиску, ні від об'єму:

Газ, який може розширюватися або стискатися, але як ціле він не переміщується.

Нехай газ знаходиться у вертикальному циліндрі, який закрито рухливим поршнем площею. Під дією прикладеної зовнішньої сили  $F$  поршень опустився на відстань  $\Delta x$ , стиснувши при цьому газ. Газ буде стискатися доти, доки сила  $F$  не врівноважиться з силою, що діє на поршень з боку газу і відповідною  $pS$ , де  $p$  — тиск газу (якщо переміщень мало, то тиск газу можна вважати постійним).

Очевидно, робота газу ( $A_r$ ) визначається наступним чином:

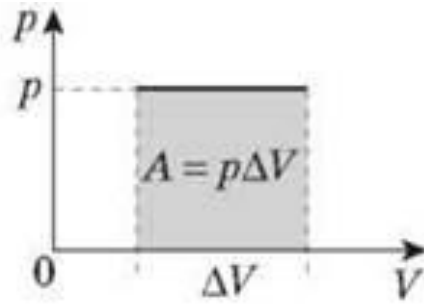
$$F\Delta x = pS\Delta x \quad \text{або} \quad A_r = p\Delta V.$$

Якщо газ стиснути, то  $\Delta V < 0$  — робота газу негативна, якщо газ розширити, то  $\Delta V > 0$  — робота газу позитивна.

Робота зовнішніх сил, буде мати протилежний знак:

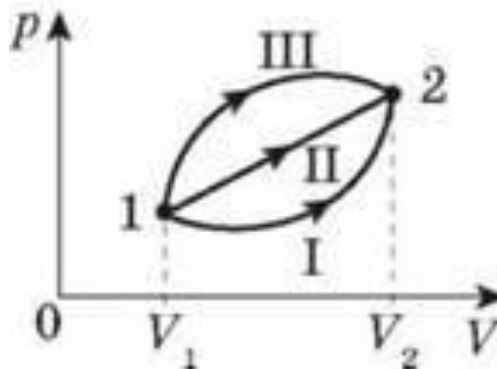
$$A = -A_r = -p\Delta V.$$

Роботу газу у випадку постійного тиску можна побудувати графічно. При ізобарному процесі робота розширення газу може бути знайдена на діаграмі  $pV$ , як площа прямокутника.



З графіка випливає, що  $A = p\Delta V = p(V_2 - V_1)$ .

Якщо газ з стану 1 переводять у стан 2 різними способами (див. рис.), то очевидно, що різниця енергій  $U_1 - U_2$  та ж сама, а робота — різна. Робота в термодинаміці залежить від послідовності станів, яку проходить тіло від початкового до кінцевого стану.



$$A = \frac{m}{M} R \Delta T.$$

Підставляючи числові значення, отримуємо:  $A = 8,31 \text{ кДж}$ . Якщо прийняти, що  $m = M$ , а  $\Delta T = 1 \text{ К}$ , то  $A = R$ , тобто

- універсальна газова постійна має сенс роботи, що здійснюється одним кіло-молем газу при ізобарній зміні температури на 1 К.

Таке тлумачення  $R$  відповідає раніше встановленому його найменуванню:  $R = 8,31 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}$ .

Енергія в природі не виникає з нічого і не зникає: кількість енергії незмінна, вона тільки переходить з однієї форми в іншу.

Зміна внутрішньої енергії тіла дорівнює сумі кількості теплоти, переданого тілу, і роботи, що здійснюється над тілом:

$$\Delta U = Q + A$$

Кількість теплоти, яка передається тілу, дорівнює сумі зміни внутрішньої енергії тіла і роботи, яку воно виконує:

$$Q = \Delta U + A_z.$$

При ізохорному процесі внутрішня енергія змінюється тільки внаслідок теплообміну:

$$\Delta U = Q.$$

При ізотермічному процесі вся підведена кількість теплоти витрачається на роботу, виконану газом проти зовнішнього тиску:

$$Q = A_r.$$

Процес в теплоізолюваній системі називають **адіабатним**.

В умовах відсутності теплообміну газу із зовнішнім середовищем робота, яку здійснює газ проти зовнішніх сил, відбувається за рахунок втрати його внутрішньої енергії:

$$A_r = -\Delta U.$$

При ізобарному процесі кількість теплоти, яка підводиться до газу, витрачається на збільшення внутрішньої енергії і на роботу розширення, яку здійснює газ проти зовнішнього тиску:

$$Q = \Delta U + A_r.$$

**Тепловий двигун** — пристрій, який здійснює механічну роботу за рахунок внутрішньої енергії палива.

**Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна** — це відношення корисної роботи  $A_k$ , виконаної двигуном, до кількості теплоти  $Q_1$ , яка отримана від нагрівача:

$$\eta = \frac{A_k}{Q_1} \cdot 100 \, \%.$$

**Холодильною установкою** називається циклічно діючий пристрій, який підтримує в холодильній камері температуру нижчу, ніж у довкіллі.

## РОЗДІЛ 3. Електродинаміка

### Електричне поле

Явища, у яких тіла набувають властивості притягувати інші тіла, називають **електризацією**.

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

В електрично ізольованій системі тіл алгебраїчна сума зарядів всіх тіл залишається незмінною:

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

Заряд, поміщений на тілі, розміри якого малі порівняно з відстанями до інших тіл, з якими воно взаємодіє, називають **точковим зарядом**.

Нерухомі точкові заряди  $q_1$  й  $q_2$  взаємодіють у вакуумі із силою  $F$ , прямо пропорційною модулям зарядів і обернено пропорційною квадрату відстані  $r$  між зарядами:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}.$$

**Електричне поле** — це форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими тілами.

Відношення сили  $\vec{F}$ , що діє збоку електричного поля на точковий пробний заряд  $q$ , поміщений у дану точку поля, до цього заряду називається **напруженістю електричного поля** в цій точці:

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

**Принцип суперпозиції полів**: напруженість електричного поля системи  $N$  зарядів дорівнює векторній сумі напруженостей полів, створених кожним з них окремо:

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

Уявні лінії, дотичні до яких у кожній точці збігаються з напрямком напруженості електричного поля, називаються **силовими лініями** або **лініями напруженості електричного поля**.

**Явище електростатичної індукції** полягає в тому, що на кінцях провідника виникають різнойменні заряди в рівних кількостях, а напруженість поля усередині провідника стає рівною нулю.

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

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

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

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

**Напруженість електричного поля** дорівнює різниці потенціалів, що припадає на одиницю довжини уздовж лінії напруженості:

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

Напруженість однорідного поля дорівнює 1В/м, якщо різниця потенціалів між двома точками, з'єднаними вектором завдовжки 1 м і спрямованим уздовж напруженості поля, дорівнює 1 В.

Поверхні рівного потенціалу називають **еквіпотенціальними поверхнями**.

Відношення заряду  $q$  відокремленого провідника до його потенціалу  $\varphi$  називається **електроємністю** цього провідника:

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

**Фарад** — ємність провідника, у якого зміна заряду на 1 Кл спричиняє зміну потенціалу на 1 В.

**Конденсатор** — два провідники, що мають рівні й протилежні за знаком заряди, причому конфігурація провідників така, що поле, створюване ними, зосереджено в основному між провідниками.

**Електроємність плоского конденсатора:**

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}.$$

**Енергія зарядженого конденсатора:**

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

**Електричний струм** — це напрямлений рух заряджених частинок. За напрямком струму приймають напрямок руху позитивно заряджених частинок.

**Дії електричного струму:** світлова, теплова, хімічна, магнітна.

Фізичну величину  $I$ , що дорівнює відношенню заряду  $q$ , перенесеного через поперечний переріз провідника за проміжок часу  $t$ , до цього проміжку часу, називають **силою струму**:

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

**Робота струму** на ділянці кола дорівнює добутку напруги на цій ділянці на силу струму в ній й на проміжок часу, протягом якого протікає струм:

$$A = UI t.$$

**Закон Джоуля—Ленца:**

кількість теплоти, яку виділяє провідник зі струмом, прямопропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження через нього струму:

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

**Потужність струму** на ділянці кола дорівнює добутку напруги на цій ділянці на силу струму:

$$P = UI.$$

Відношення роботи сторонніх сил з переміщення заряду усередині джерела до заряду є характеристикою джерела струму й називається **електрорушійною силою джерела**:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{стор}}}{q}.$$

**Закон Ома для повного кола:** сила струму в замкнутому колі, що містить одне джерело, дорівнює відношенню ЕРС джерела до повного опору кола:

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

**Найбільша сила струму відповідає режиму короткого замикання:**

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}.$$

**Напруга на полюсах замкнутого джерела струму:**

$$U = \varepsilon - I r.$$

## Струм у різних середовищах

Явище, яке полягає в тому, що опір провідника за певної температури стає рівним нулю, називають **надпровідністю**.

Процес розпаду молекул розчиненої речовини на іони під дією розчинника називається **електролітичною дисоціацією**.

Процес виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму через електроліт називають **електролізом**.

**Маса речовини  $m$** , яка виділилася на електроді, пропорційна заряду  $q$ , що пройшов через електроліт:

$$m = kq.$$

Електрохімічний еквівалент чисельно дорівнює масі речовини в кілограмах, що виділяється під час проходження 1 Кл електрики:

$$k = \frac{m}{q}.$$

**Іонізація газів** — відривання від їхніх атомів або молекул електронів.

Процес протікання електричного струму через газ називають **газовим розрядом**.

Газовий розряд, який можна спостерігати тільки за наявності зовнішнього іонізатора, називають **несамостійним газовим розрядом**.

**Напівпровідники** — речовини, питомий опір яких дуже швидко знижується з підвищенням температури.

Провідність напівпровідника, обумовлену рухом електронів, називають **електронною**.

Провідність напівпровідника, обумовлену рухом дірок, називають **дірковою**.

Домішки, атоми яких легко віддають електрони, називаються **донорними**.

Напівпровідники, у яких основними носіями зарядів є електрони, називають **напівпровідниками  $n$ -типу**.

Домішки, які «захоплюють» електрони атомів кристалічної решітки напівпровідників, називаються **акцепторними**.

Напівпровідники, у яких основними носіями зарядів є дірки, називають **напівпровідниками  $p$ -типу**.

Контакт двох напівпровідників з різними видами провідності має властивості добре проводити струм в одному напрямку й значно гірше в протилежному напрямку, тобто має **однобічну провідність**.



## Магнітне поле

Частини магніту, поблизу яких найбільше сильно проявляється дія магніту, називають **полюсами магніту**.

**Північним полюсом магнітної стрілки** називають той, котрий указує на північ.

Однйменні полюси магнітів відштовхуються, а різнойменні — притягуються. Тому за допомогою магнітної стрілки можна визначати, який полюс магніту північний, а який — південний.

Провідник зі струмом діє на розташований поблизу його постійний магніт.

Паралельні провідники зі струмами взаємодіють один з одним: якщо струми течуть в одному напрямку, то провідники притягуються, а якщо в протилежних напрямках — те відштовхуються.

Котушки зі струмами взаємодіють так само, як постійні магніти.

**Гіпотеза Ампера:** магнітні властивості постійних магнітів обумовлені незатухаючими «молекулярними» струмами, що циркулюють у них.

У просторі навколо провідника зі струмом виникають сили, що діють на рухомі заряди і на магнітну стрілку.

**Магнітним полем** ми будемо називати той стан простору, що проявляє себе через дію магнітних сил.

**Модуль вектора магнітної індукції** дорівнює відношенню сили, що діє на провідник зі струмом, розташований перпендикулярно до вектора магнітної індукції, до добутку сили струму в провіднику й довжини провідника:

$$B = \frac{F}{Il}.$$

**Лініями магнітної індукції** є лінії, проведені так, що дотичні до них у кожній точці вказують на напрямок поля в цій точці.

За напрямок вектора магнітної індукції приймають напрямок, у якому вказано північний полюс вільно обертової магнітної стрілки.

Напрямок ліній магнітної індукції поля, створеного прямолінійним провідником зі струмом, збігається з напрямком обертання ручки буравчика (гвинта із правою нарізкою), коли напрямок поступального руху власне буравчика збігається з напрямком струму в провіднику.

Напрямок ліній магнітної індукції поля, створюваного струмом у дротяному витку або котушці, збігається з напрямком поступального руху буравчика (гвинта із правою нарізкою), коли напрямок обертання ручки буравчика збігається з напрямком струму.

**Сила Ампера:**  $F_A = IlB \sin \alpha$ .

**Напрямок сили Ампера визначається за правилом лівої руки:**

якщо розкрити долоню лівої руки розташувати так, щоб вектор магнітної індукції входив у долоню, а чотири витягнутих пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на  $90^\circ$  в площині долоні великий палець покаже напрямок сили, що діє на провідник з боку магнітного поля.

**Сила Лоренца:**  $F_L = qvB \sin \alpha$ .

Напрямок сили Лоренца, що діє на позитивно заряджену частинку, визначають за допомогою **правила лівої руки**: якщо розкрити долоню лівої руки розташувати так, щоб вектор магнітної індукції входив у долоню, а чотири витягнутих пальці вказували напрямок швидкості позитивно зарядженої частинки, то відігнутий на  $90^\circ$  в площині долоні великий палець покаже напрямок сили, що діє на частинку.

Відношення  $\mu = \frac{B}{B_0}$ , що характеризує магнітні властивості середовища, дістало назву **магнітної проникності** даного середовища.

**Діамагнетики** — речовини, що намагнічуються проти напрямку зовнішнього магнітного поля.

**Парамагнетики** — речовини, які намагнічуються в зовнішньому магнітному полі в напрямку зовнішнього магнітного поля.

**Феромагнетики** — матеріали, що мають велику магнітну проникність.

**Феромагнітні властивості** — властивості речовини, а не окремих ізолюваних атомів.

## Електромагнітна індукція

**Магнітний потік** (потік магнітної індукції) через замкнутий контур:

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

**Явище електромагнітної індукції:** за будь-якої зміни магнітного потоку через площу, обмежену контуром, у замкнутому контурі виникає індукційний струм.

Електричне поле, створене змінним магнітним полем, називають **вихровим**.

**ЕРС індукції в замкнутому контурі** пропорційна швидкості зміни магнітного потоку, що пронизує цей контур:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

**Правило Ленца:** індукційний струм у замкнутому контурі завжди має такий напрямок, що створене ним магнітне поле намагається компенсувати зміну магнітного потоку, яка спричинила цей струм.

Виникнення ЕРС індукції в контурі під час зміни сили струму в цьому ж контурі називають **явищем самоіндукції**.

$$\varepsilon_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

**Індуктивність** — це якість провідного контуру, обумовлена відношенням зміни потоку магнітної індукції, що пронизує контур, до зміни сили струму в ньому.

**1 Гн** — індуктивність контуру, у якому в разі зміни сили струму на 1 А за 1 с виникає ЕРС самоіндукції 1 В.

**Енергія магнітного поля** струму в контурі індуктивністю  $L$  дорівнює

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

**Змінним струмом** називають електричний струм, що періодично змінюється за величиною й напрямком.

**Генератор змінного струму** є електромеханічним пристроєм, що перетворює механічну енергію в електричну енергію змінного струму.

**Трансформатор** — пристрій, що застосовують для підвищення або зниження напруги змінного струму.

**Коефіцієнт трансформації** — величина, що дорівнює відношенню напруг у первинній і вторинній обмотках трансформатора:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

## РОЗДІЛ 4. Коливання та хвилі

### Механічні коливання та хвилі

**Коливаннями** називаються фізичні процеси, які точно або приблизно повторюються через однакові інтервали часу.

**Механічними коливаннями** називаються такі рухи тіл, за яких через рівні інтервали часу координати рухомого тіла, його швидкість і прискорення набувають вихідних значень.

Модуль найбільшого відхилення від положення рівноваги називають **амплітудою коливань**  $x_{\max}$ .

Проміжок часу, протягом якого відбувається одне повне коливання, називають **періодом коливань**:

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

Кількість повних коливань, здійснюваних тілом за 1 с, називають **частотою коливань**:

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

**Вільні коливання** — це коливання, що відбуваються в механічній системі під дією внутрішніх сил системи після короткочасної дії якоїсь зовнішньої сили.

Коливання, що виникають під дією зовнішніх сил і змінюються з часом за величиною й напрямком, називаються **вимушеними**.

Для того щоб у системі відбувалися вільні коливання, необхідно, щоб було виконано **дві умови**:

1) система повинна перебувати поблизу положення стійкої рівноваги;

2) сили опору руху повинні бути досить незначними.

Коливання, під час яких зміщення залежить від часу за законом косинуса (або синуса), називаються **гармонічними**.

**Рівняння гармонічних коливань:**

$$x = x_{\max} \cos \omega t$$

**Циклічною частотою коливань**  $\omega$  є кількість повних коливань, здійснюваних за  $2\pi$  секунд.

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

**Період коливань математичного маятника** дорівнює:

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

**Період малих коливань пружинного маятника** дорівнює:

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

Під час коливань відбуваються взаємні періодичні перетворення потенціальної й кінетичної енергій.

**Загасаючими** називаються коливання, енергія яких зменшується із часом.

Коливання, що виникають під дією зовнішньої періодичної сили, називаються **вимушеними**.

Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань у разі збігу частоти зовнішньої сили із власною частотою системи називається **резонансом**.

**Хвилею** називається процес поширення коливань із часом.

Проміжок часу  $T$ , протягом якого відбувається одне повне коливання, називають **періодом коливань**.

**Частотою коливань**  $\nu$  називають фізичну величину, що дорівнює числу коливань за одиницю часу.

Відстань між найближчими точками хвилі, які рухаються однаково, називається **довжиною хвилі** й позначається  $\lambda$ .

Взаємне посилення або ослаблення в просторі двох або декількох хвиль однакової довжини називають **інтерференцією хвиль**.

Хвилі, у яких частинки середовища під час коливань зміщуються в напрямку, перпендикулярному до напрямку поширення хвилі, називаються **поперечними**.

Хвилі, у яких частинки середовища під час коливань зміщуються уздовж напрямку поширення хвилі, називаються **поздовжніми**.

**Звукові хвилі** — це хвилі, частоти яких лежать у діапазоні від 20 Гц до 20 кГц.

**Висоту звуку визначає частота звукової хвилі**: чим більша частота хвилі, тим звук вищий.

**Тембр звуку визначає його забарвлення**. Він визначається наявністю й інтенсивністю обертонів — частот, кратних основній.

Гучність звуку визначають переважно за амплітудою звукової хвилі.

Звукові хвилі частотою, яка нижча від звукового діапазону, називають **інфразвуком**.

Звукові хвилі частотою, яка вища від звукового діапазону, називають **ультразвуком**.

## Електромагнітні коливання і хвилі

**Електричним коливальним контуром** називається електричне коло, що складається з конденсатора  $C$  й котушки  $L$ .

Періодичні зміни електричного заряду, сили струму й напруги в колі називають **електромагнітними коливаннями**.

**Формула Томсона:**

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

**Резонансом в електричному коливальному контурі** називається явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань сили струму у разі збігу частоти зовнішньої змінної напруги із власною частотою коливального контуру.

Тільки заряди, що рухаються із прискоренням, можуть передавати енергію за посередництвом створюваного ними електромагнітного поля.

Контур, що не випромінює в простір електричну енергію, називають **закритим**.

**Електромагнітна хвиля** — це процес поширення в просторі із часом вільного електромагнітного поля.

Існування електромагнітних хвиль було передбачено Максвеллом. Для перевірки цієї теорії Г. Герц використав відкритий коливальний контур (вібратор), що дозволило переконатися в правильності висновків теорії.

Герц зміг визначити швидкість електромагнітної хвилі за формулою:

$$v = \lambda\nu.$$

Для електромагнітної хвилі у вакуумі період  $T$ , частота  $\nu$  й довжина хвилі  $\lambda$  пов'язані співвідношеннями:

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

**Шкала електромагнітних хвиль** — безперервна послідовність частот і довжин хвиль електромагнітних випромінювань, що являють собою змінне електромагнітне поле, яке поширюється в просторі.

## РОЗДІЛ 5. Оптика та основи теорії відносності

### Хвильова оптика

Уявлення про світло як про потік частинок дістало назву **корпускулярної теорії світла**.

Уявлення про світло як про поширення хвиль дістало назву **хвильової теорії світла**.

В основі корпускулярно-хвильового дуалізму лежить думка, що світло одночасно має і хвильові і корпускулярні властивості.

**Промінь** — це лінія, що вказує напрямок перенесення світлової енергії.

**Пучок променів** — це сукупність світлових променів.

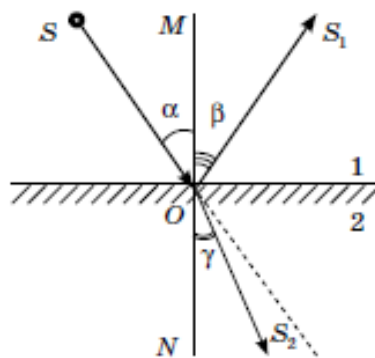
Джерело світла, розмірами якого в даних умовах можна знехтувати, називають **точковим джерелом світла**.

**Закон прямолінійного поширення світла**: світло в порожнечі або однорідному середовищі поширюється прямолінійно.

**Тінь** — ділянка простору, у яку не потрапляє світлова енергія від джерела світла.

**Півтінь** — ділянка простору, у яку світлова енергія від джерела світла потрапляє частково.

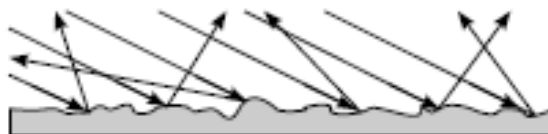
### Відбиття світла



Якщо направити вузький світловий пучок на поверхню води у великій посудині, то частина світла відіб'ється від поверхні води, інша частина пройде з повітря у воду. Зобразимо розглянутий дослід графічно (див. *рисунок*). Лінія  $MN$  — перпендикуляр до межі розділу двох середовищ. Промінь  $S$  — падаючий промінь; промінь  $S_1$  — відбитий промінь; промінь  $S_2$  — заломлений промінь;  $\alpha$  — кут падіння;  $\beta$  — кут відбиття;  $\gamma$  — кут заломлення.



Світло, відбите від шорсткуватої поверхні, взагалі не утворює якогось пучка й не має певного напрямку: воно розсіюється й поширюється у всіх напрямках. Таке відбиття називається *розсіяним* (*дифузійним*).



### **Закони відбиття світла**

1. Промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні в точці падіння лежать в одній площині.
2. Кут відбиття дорівнює куту падіння. Відбивну поверхню називають плоским дзеркалом, якщо пучок паралельних променів, що падає на неї, після відбиття залишається паралельним.

### **Закони заломлення світла**

1. Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до поверхні в точці падіння променя лежать в одній площині.
2. Відношення синуса кута падіння променя до синуса кута заломлення є величиною постійною для двох даних середовищ:

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

**Повне відбиття:** явище відбиття світла від оптично менш густого середовища, за якого заломлення відсутнє, а інтенсивність відбитого світла практично дорівнює інтенсивності падаючого.

**Інтерференцією хвиль** називається явище посилення коливань в одних точках простору й ослаблення в інших в результаті накладення двох або декількох хвиль, що приходять у ці точки.

**Когерентні (зв'язані) хвилі** — це хвилі, що мають однакову частоту й незмінне зрушення фаз у кожній точці простору.

**Когерентні джерела** — це джерела, що мають однакову частоту й незмінне зрушення фаз у часі.

**Амплітуда коливань** середовища в певній точці **максимальна**, якщо різниця ходу двох хвиль, що збуджують коливання в цій точці, дорівнює цілому числу довжин хвиль:

$$\Delta x = k\lambda$$

**Амплітуда коливань** середовища в певній точці **мінімальна**, якщо різниця ходу двох хвиль, що збуджують коливання в цій точці, дорівнює непарному числу напівхвиль:

$$\Delta x = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

**Дифракція** — це порушення прямолінійності поширення хвиль під час проходження повз перешкоду або через отвір.

**Дифракція світла** — це явище огинання границь непрозорих тіл — країв отворів, вузьких щілин і екранів, тобто порушення прямолінійності світла.

**Закони геометричної оптики** є наслідками хвильової теорії світла, коли довжина світлової хвилі набагато менша за розміри перешкод.

**Фронт хвилі** — це сукупність точок простору, до яких у цей момент дійшла хвиля.

**Принцип Гюйгенса:** кожную точку фронту хвилі можна розглядати як джерело вторинних хвиль. Нове положення фронту хвилі може поставати як огинаюча цих вторинних хвиль.

**Дисперсія світла** — залежність показника заломлення від частоти світлової хвилі.

За заданої частоти довжина хвилі більша в тому середовищі, де швидкість хвилі більша.

Кожний колір характеризується своєю частотою хвилі.

## Елементи квантової фізики

Світло випромінюється й поглинається речовиною не безупинно, а окремими порціями — **квантами**.

**Фотоефект** — явище виривання електронів з речовини під дією світла.

### Закони фотоефекту:

1. Кількість електронів, які вириваються щомиті з поверхні металу, прямо пропорційна поглинутій енергії світла.
2. Максимальна кінетична енергія вирваних електронів лінійно збільшується відповідно до зростання частоти світла, що падає.
3. Для кожної речовини існує червона границя фотоефекту, тобто мінімальна частота світла, за якої ще спостерігають фотоефект.

### Рівняння Ейнштейна для фотоефекту:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

### Основні властивості фотона:

1. Є частинкою електромагнітного поля.
2. Рухається зі швидкістю світла.
3. Існує тільки в русі.
4. Зупинити фотон не можна: він або рухається зі швидкістю світла, або не існує.

## Елементи теорії відносності

### Постулати спеціальної теорії відносності:

1) усі явища природи в усіх інерціальних системах відліку протікають однаково й описуються однаковими рівняннями;

2) швидкість світла у вакуумі — величина абсолютна, інваріантна щодо всіх ІСВ і не залежить від швидкості руху джерела або приймача сигналу.

У всіх інерціальних системах відліку за однакових початкових умов усі механічні явища протікають однаково.

### Класичний закон додавання швидкостей:

$$\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$$

### Релятивістський закон додавання швидкостей:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}}$$

**Подія** — це спрощена модель такого явища, яке в заданій системі відліку можна вважати таким, що відбувається в певній точці простору в певний момент часу.

Події, одночасні в одній системі відліку, виявляються неодноразовими в іншій системі відліку, яка рухається рівномірно й прямолінійно відносно першої, тобто одночасність — поняття відносне.

### Релятивістський ефект скорочення розмірів тіла:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

### Релятивістський ефект уповільнення часу:

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

### Формула Ейнштейна:

$$E_0 = mc^2.$$

У разі зміни маси тіла на  $\Delta m$  виділяється енергія

$$\Delta E_0 = \Delta mc^2.$$

**Швидкість світла є граничною швидкістю:** жодне тіло, що має масу, не може рухатися зі швидкістю світла.

## РОЗДІЛ 6. Атомна і ядерна фізика

### Планетарна модель атома:

- атоми будь-якого елемента складаються з позитивно зарядженої частини, що дістала назву ядра;
- до складу ядра входять позитивно заряджені елементарні частинки — протони (пізніше було встановлено, що й нейтральні нейтрони);
- навколо ядра обертаються електрони, що утворюють так звану електронну оболонку.

### Квантові постулати Бора:

1. Атомна система може перебувати тільки в певних (стаціонарних або квантових) станах, кожному з яких відповідає певна енергія  $E_n$ . У стаціонарному стані атом не випромінює.

2. Під час переходу атома з одного стаціонарного стану в інший відбувається випускнення або поглинання кванта електромагнітної енергії. Енергія кванта дорівнює різниці енергій стаціонарних станів:

$$h\nu_{\text{кп}} = E_{\text{к}} - E_{\text{п}}.$$

**Спектральним аналізом** називають метод вивчення хімічного складу речовини, заснований на дослідженні його спектрів.

Випромінювання ізольованих атомів даного хімічного елемента має чітко визначені довжини хвиль.

Атоми поглинають випромінювання лише тих довжин хвиль, які вони можуть випускати за даної температури.

Оптичні квантові генератори, випромінювання яких лежить у видимій і інфрачервоній області спектра, називаються лазерами.

### Властивості лазерного випромінювання:

- 1) малий кут розбіжності пучка світла;
- 2) виняткова монохроматичність;
- 3) найпотужніші джерела світла;
- 4) ККД близько 1 %.

### Склад атомного ядра: протонно-нейтронна модель.

Ядра з тим самим електричним зарядом, але різною масою називають **ізотопами**.

Протон і нейтрон — це два так званих зарядових стани однієї й тієї ж частинки — нуклона.

Кількість  $Z$  протонів у ядрі називають зарядовим числом.

Величину  $A = Z + N$ , яка дорівнює загальному числу нуклонів у ядрі, називають масовим числом.

Верхній індекс у позначенні ядра  ${}^A_ZX$  відповідає масовому числу, а нижній — зарядовому числу ядра.

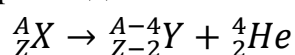
Сили притягання, що діють між нуклонами в ядрі, називаються **ядерними**.

**Властивості ядерних сил:** дуже великі; короткодійчі; зарядово незалежні.

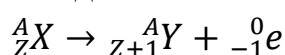
**Радіоактивність** — здатність атомів деяких хімічних елементів до спонтанного випромінювання.

Радіоактивне випромінювання складається з  $\alpha$  -,  $\beta$  - і  $\gamma$  -променів.

Перетворення атомних ядер, які супроводжуються випускненням  $\alpha$  -частинок, називаються  **$\alpha$ -розпадом**:



Перетворення атомних ядер, які супроводжуються випускненням  $\beta$ -частинок, називаються  **$\beta$ -розпадом**:



Для кожного виду радіоактивних ізотопів існує період напіврозпаду — проміжок часу, за який розпадається половина початкового числа атомів.

**Закон радіоактивного розпаду:**  $N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$

Розпад атома не залежить від його віку, тобто атоми «не старіють».

Зміни атомних ядер під час взаємодії їх одне з одним або іншими частинками називаються **ядерними реакціями**.

**Енергетичним виходом ядерної реакції** називають різницю енергії спокою частинок до і після реакції:

$$Q = E_i - E_k$$

Якщо  $Q > 0$  — реакція називається **екзоенергетичною**, тому що йде з виділенням енергії.

Якщо  $Q < 0$  — реакція називається **ендоенергетичною** і для її порушення необхідно затратити енергію.

Енергію зв'язку визначає величина тієї роботи, яку потрібно виконати для розщеплення ядра на його складові — нуклони.

Тіло масою  $m$ , що перебуває у стані спокою, має енергію  $E = mc^2$ , де  $c$  — швидкість світла.

Різниця  $\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_n$  називається **дефектом мас**.

Енергія зв'язку, що припадає на один нуклон, називається **питомою енергією зв'язку**.

Утворення ядра з менш масивних ядер називається **реакцією синтезу**.

Розщеплення ядра на менш масивні ядра називається **реакцією розподілу**.

**Діленням ядра** називається ядерна реакція ділення важкого ядра, збудженого захопленням нейтрона, на дві приблизно рівні частини, які називаються осколками ділення.

Реакція, у якій кількість ядер, що діляться, збільшується з часом або залишається постійною, називається **ланцюговою ядерною реакцією**.

**Коефіцієнт розмноження нейтронів  $k$**  — відношення числа нейтронів на певному етапі ланцюгової реакції до їх числа на попередньому етапі.

**Ядерним реактором** називається пристрій, у якому здійснюється й підтримується керована ланцюгова реакція ділення деяких важких ядер.

**Основні елементи ядерного реактора:**

- ядерне пальне;
- сповільнювач нейтронів;
- теплоносій;
- пристрій для регулювання швидкості реакції;
- захисна оболонка, що затримує випромінювання.

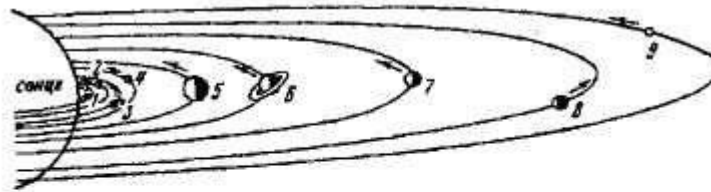
**Елементарними** ми вважаємо ті частинки, які із сучасної точки зору не складаються з більш простих.

На рівні елементарних частинок зникає відмінність між речовиною й полем.

Зустріч античастинки із частинкою завжди призводить до їх взаємної анігіляції.

## РОЗДІЛ 7. Астрономія

**Будова Сонячної системи.** Сонячна система - одна з множини різноманітних за розмірами і складністю зоряних систем Нашої Галактики. До неї входять дев'ять великих планет разом з супутниками, десятки тисяч малих планет - астероїдів, мільйони комет, метеоритна речовина, космічний пил і газ, та єдина зоря - Сонце, навколо якого обертаються всі тіла системи. Загальний план її будови такий, як і Нашої Галактики, тобто, всі планети обертаються навколо Сонця по еліптичних орбітах проти годинникової стрілки приблизно в одній площині (мал. 2). У тому самому напрямі вони обертаються навколо своєї осі, за винятком Венери та Урана, обертання яких зворотне. Середня віддаль між планетами закономірно зростає приблизно в два рази.



Мал. 2. Схема будови Сонячної системи  
1 - Меркурій; 2 - Венера; 3 - Земля; 4 - Марс;  
5 - Юпітер; 6 - Сатурн; 7 - Уран; 8 - Нептун;  
9 - Плутон.

Однією з перших гіпотез про будову світу була гіпотеза Клавдія Птолемея, відома як *геоцентрична система Світу*. За цією гіпотезою Земля - нерухома планета, що знаходиться в центрі світу, а всі інші небесні світила рухаються навколо неї. Це помилкове вчення існувало майже 15 століть, оскільки К. Птолемей користувався неперевершеним авторитетом, проти якого ніхто не наважувався заперечувати.

Вперше правильну схему будови світу дав М. Коперник. Прийшовши до висновку, що Сонце знаходиться в центрі системи, а Земля та інші планети рухаються навколо нього і обертаються навколо своєї осі, він визначив відносну віддаль від планет до Сонця, вичислив періоди їх обертання по орбіті. Так виникла *геліоцентрична система Світу*.

Вчення М. Коперника про два рухи Землі - орбітальний і обертальний - докорінно змінило попередні погляди про будову світу, змусило переглянути постулати інших наук, зокрема фізики, і звіль-



нитися від застарілих схоластичних традицій, що гальмували розвиток наук.

**Закони руху планет.** Ідею М. Коперника поширювали його послідовники. Серед них найвидатнішими були Джордано Бруно і Галілео Галілей, які зазнали жорстоких тортур збоку церкви. Вдосконалюючи геліоцентричну систему світу Коперника, Йоган Кеплер відкрив три закони руху планет:

1. Всі планети рухаються по еліптичних орбітах, в одному з фокусів яких, загальному для всіх планет, знаходиться Сонце.

2. Відрізок прямої, який сполучає планету з Сонцем (Радіус-вектор планети) за рівні проміжки часу описує рівновеликі площі.

3. Квадрати періодів обертання планет навколо Сонця пропорційні кубам великих півосей їх орбіт, тобто:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

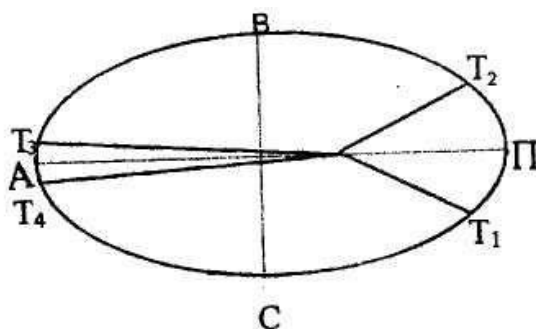
де  $T_1$  і  $T_2$  сидеричний період обертання планет;  $a_1$  і  $a_2$ — велика піввісь їх орбіт.

Другий закон показує (мал. 3), що площа  $ST_1T_2$ , яку описав радіус—вектор за проміжок часу  $\Delta t$  біля *перигелію*, рівна площі  $ST_3T_4$ , описаний радіусом-вектором біля *афелію*. Оскільки дуга  $T_1T_2$  більша за дугу  $T_3T_4$ , то швидкість руху планет у перигелію більша, ніж у афелію. Отже, рух планет по орбіті нерівномірний - він то прискорюється, то сповільнюється. Третій закон показує залежність швидкості руху планет від їх віддалі до Сонця і пов'язує в єдине ціле всі планети системи.

І. Ньютон, використавши закони руху планет Й. Кеплера, відкрив закон всесвітнього тяжіння, відповідно до якого всі тіла взаємодіють між собою, при цьому сила тяжіння ( $F$ ) пропорційна добутку мас взаємодіючих тіл ( $m_1$  і  $m_2$ ) і обернено пропорційна квадрату віддалі ( $r$ ) між ними:

$$F = \frac{g(m_1 \cdot m_2)}{r^2}$$

$g$ — гравітаційна стала (6,6111).



Мал. 3. До пояснення законів Кеплера.

А – афелій; П – перигелій;  
BC – середня віддаль від Сонця.

За цим законом рухом небесних тіл Сонячної системи керує Сонце. Своїм притяганням воно надає тілам деякого прискорення, але й самі тіла, притягуючи його, також надають йому певного прискорення. Якби тіла Сонячної системи притягалися лише Сонцем, то вони рухалися б навколо нього на правильних орбітах відповідно до законів Й. Кеплера. Проте, взаємодіючи між собою, космічні тіла також притягаються, тому вони не рухаються точно по еліпсу, параболі чи колу. Відхилення в русі планет від законів Кеплера називають *збуреннями*. Вони тим більші, чим більша різниця мас взаємодіючих тіл і чим менша віддаль між ними. Комети й астероїди значних збурень у русі планет не викликають, однак планети на рух цих тіл впливають сильно.

**Сонце.** Сонце - центральне тіло Сонячної системи, найближча до нас типова зоря середньої величини, властивості якої значно краще вивчені, ніж будь-якої іншої зорі. Це розжарена плазмова куля, радіус якої  $6,96 \cdot 10^5$  км (у 109 разів більший за радіус Землі), об'єм -  $1,41 \cdot 10^{33}$  см<sup>3</sup>, маса -  $1,99 \cdot 10^{30}$  кг (99,866 % маси всієї Сонячної системи), середня густина - 1410 кг/м<sup>3</sup>, прискорення сили тяжіння біля поверхні 274 м/с<sup>2</sup>. На Сонці виявлено водень, гелій, азот, вуглець, кисень, магній, натрій, залізо та інші елементи, однак переважаючим є водень, який становить близько 90 % усієї маси Сонця, а другий за кількістю атомів - гелій (10 %). Обертається навколо власної осі з різною кутовою швидкістю на широтах. На екваторі повний оберт робить за 24 земних доби і 6 год, а біля полюсів - за 35 діб. Сонце злегка пульсує з середнім періодом 160 хв і амплітудою близько 20 км.

Сонце - джерело життя на Землі. Джерело це - в його світловій і тепловій енергії. Температура плазми в центрі Сонця - 15 млн °С, тиск - 100 млрд атм. Навіть на поверхні газів розігріті до 5700-6000 °С. Такі високі температури і тиск підтримуються постійними термоядерними

реакціями, за яких водень перетворюється в гелій, і при цьому виділяється величезна кількість енергії. Тому Сонце перебуває в газОВОГНЯНОМУ стані і випромінює в світовий простір велику кількість тепла. Земля, рухаючись навколо Сонця, перехоплює лише одну двомільярдну частку цього тепла. Проте його достатньо, щоб відбувалися всі процеси і явища в природі та існувало життя на Землі.



Мал. 4. Схема будови Сонця

Вивільнена в ядрі величезна кількість енергії досягає поверхні Сонця лише через 10 млн років. В процесі переміщення від центра до периферії один вид енергії поглинається і перетворюється в інший. Замість поглинутого гама проміння, випромінюється рентгенівське, замість рентгенівського - ультрафіолетове і, нарешті, видиме та довгохвильове. Частина Сонця, де відбувається передача енергії шляхом поглинання та перевипромінювання, називається зоною *променевої рівноваги* (мал. 4). Вона займає оболонку в межах 0,3-0,7 радіуса Сонця. Вище цієї зони тепло передається шляхом *конвективного перемішування*.

**Сонячна атмосфера.** Зовнішній шар Сонця, з якого йде випромінювання в навколишній простір, називають *сонячною атмосферою*. Вона складається з фотосфери, хромосфери й корони.

Фотосфера - нижня частина атмосфери, тонкий шар газу заввишки 200-300 км, що має температуру 5-6 тис °С і тиск близько 10,13 кПа (0,1 атм.). Випромінює стільки тепла, скільки його одержує з

внутрішніх шарів Сонця. Потужність випромінювання становить  $3,8 \cdot 10^{26}$  Ват, що відповідає втраті маси Сонця величиною в 4 млн тон.

Хромосфера - шар газів над фотосферою, що простягається на висоту 15-20 тис км. Її видно під час повних сонячних затемнень у вигляді рожевого кільця навколо темного диска Місяця, в якому виділяються яскраві факели і флокули. Вони виникають над **сонячними** плямами. *Факели* (нім. Fackel - смолоскип) - яскраві ділянки фотосфери на краю сонячного диска, температура яких вища за температуру навколишнього середовища.

Корона - зовнішня частина атмосфери Сонця. Це розріджена плазма, що складається з позитивно заряджених протонів і вільних електронів, які рухаються в просторі з швидкістю 300-750 км/с і створюють сонячний вітер. Сонячний вітер це не просте рівномірне витікання плазми, а складний вихороподібний потік. Під час сонячних спалахів швидкість елементарних часток сягає 2000 км/с і це сильно впливає на фізичні властивості земної атмосфери та його магнітне поле.

**Сонячне випромінювання.** Кількість енергії, яку виробляє Сонце, важко уявити. За одну секунду воно випромінює більше енергії, ніж її спожило людство з початку своєї цивілізації. Лише за три доби від нього приходить до нас стільки тепла, скільки можна одержати, спаливши всі земні запаси вугілля, нафти й ліси. Свою енергію Сонце випромінює нерівномірно. Іноді на його поверхні виникають сильні вибухи, які супроводжуються виділенням величезної кількості енергії. 12 листопада 1960 р. такий вибух викинув у простір хмару сонячного водню, поперечник якої був понад 16 млн км, а довжина - 75 млн км.

Сонце випромінює корпускулярну і хвильову енергію. Корпускулярна енергія — це потік електронів і протонів, що створюють сонячний вітер. Хвильове випромінювання, на відміну від корпускулярного, характеризується великою стійкістю у видимому спектрі і значними коливаннями в ультрафіолетовому та інфрачервоному спектрах. Ці коливання, як і коливання корпускулярного випромінювання, залежать від сонячної активності, під якою розуміють сукупність явищ на Сонці, які зумовлюються процесами в його надрах і проявляються у вигляді сонячних плям, факелів, флокулів, волокон, протуберанців.

*Сонячні плями* - це відносно холодні (1500 °C) темні ділянки, що існують упродовж кількох годин або днів і мають розміри 7-15 тис. км.

Плями завжди оточенні фотосферними факелами, що існують тривалий час.

*Сонячні спалахи* - раптові й різкі посилення яскравості окремих ділянок атмосфери Сонця поблизу сонячних плям, що розвиваються. Тривають від кількох хвилин до кількох годин. При цьому підсилюється рентгенівське, ультрафіолетове та корпускулярне випромінювання, а також зароджуються космічні промені. Площі, охоплені ними, досягають кількох млрд км<sup>2</sup>.

Сукупність усіх нестаціонарних явищ на Сонці (утворення сонячних плям, спалахів, факелів тощо) називають *сонячною активністю*. Період, протягом якого сонячна активність виявляється найбільше, називають максимумом, а протягом якого її нема або проявляється зовсім мало, називають мінімумом.

Сонячна активність проявляється через певну кількість років, які складають її цикл. В XIX ст. було виявлено циклічність - істотну зміну числа плям на Сонці протягом 7,5-16 років при середній тривалості циклу 11,1 року. Проте є ще 22-річний (магнітний) та 80-90-річний (віковий) цикли. Вважають, що існує більш тривалий цикл — тисячолітній. Причини циклічності очевидно зв'язані з процесами, які відбуваються в підфотосферних шарах Сонця.

Циклічність сонячної активності викликає циклічність явищ у географічній оболонці. В період максимуму в земній атмосфері виникають полярні сяйва, магнітні бурі та інші явища.

Планети Сонячної системи. Планети — небесні тіла, які рухаються навколо Сонця і світяться відбитим промінням. Вони різні за розмірами й властивостями і мають власний видимий рух на небі. За фізичними властивостями об'єднуються у дві групи, які розділені в просторі кільцем астероїдів. Планети всередині цього кільця (Меркурій, Венера, Земля і Марс), називають *внутрішніми*, або планетами *'Земної групи*. Вони невеликі за розмірами й масами, мають тверду поверхню, велику густину, повільно обертаються навколо своєї осі і швидко рухаються на орбітах. Мають атмосферу і високу температури поверхні.

Планети, які рухаються за кільцем астероїдів, називаються *зовнішніми*, або планетами - *гігантами* (Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун). Вони великі за розміром і масою, мають малу густину, швидко обертаються навколо своєї осі, не мають твердої поверхні але мають

потужну атмосферу, яка містить водень, гелій та домішки метану й аміаку. Температури на поверхні  $-100^{\circ}\text{C}$ .

*Меркурій* - найближча до Сонця планета Сонячної системи, що рухається на середній віддалі 57,9 млн км. Менша за Землю в 3 рази, а сонячного тепла одержує в 6,7 раз більше. Сонячна доба становить 176 земних діб, період обертання навколо Сонця - 88 діб. Температу-ра на освітленій частині  $+420^{\circ}\text{C}$ , на затіненій  $-240^{\circ}\text{C}$ . Атмосфера дуже розріджена.

*Венера* - друга планета, що рухається по коловій орбіті на віддалі 103,2 млн км від Сонця за 225 діб, а навколо своєї осі за 243 доби. Напрямок руху зворотний рухові планет навколо Сонця. Вісь обертання перпендикулярна до орбіти, тому пори року не виражені. Середній радіус Венери 6050 км, маса - 0,9528 маси Землі. Має потужну атмосферу з вуглекислого газу. Температура на поверхні  $+450-470^{\circ}\text{C}$ , атмосферний тиск —  $100\text{ кг/см}^2$ . Венеру спостерігають або увечері після заходу Сонця ("Вечірня зоря") або вранці перед сходом Сонця ("Ранішня зоря").

За Венерою на середній віддалі 149,6 млн км від Сонця розташована планета Земля. Тут ми не будемо давати їй характеристику, оскільки їй присвячується вся книга.

*Марс* - зовнішня планета земної групи. Середня віддаль від Сонця близько 227,9 млн км. Марсіанський рік становить 678 земних діб, а доба - 24 годин 27 хв. За розмірами в два рази менший за Землю. Має два природні супутники - *Фобос* і *Деймос*. Атмосфера розріджена, переважає вуглекислий газ. Є азот і кисень. Її тиск біля поверхні --  $0,5-8\text{ мб}$ . Нахилення осі обертання до площини орбіти під кутом  $65^{\circ}$  зумовлює нерівномірність дня й ночі на різних широтах та зміну пір року. Температура на поверхні коливається від  $+13-43^{\circ}\text{C}$  до  $-120^{\circ}\text{C}$ . На фотографіях, одержаних з близької віддалі, добре видно багато кратерів, гірських пасом і ущелин типу каньйон, окремі гори заввишки 27 км. На Марсі відмічаються періоди глобальних пилових бурь.

*Юпітер* - п'ята і найбільша планета Сонячної системи. Середня віддаль від Сонця близько 778,3 млн км. Період обертання навколо Сонця 11,9 тропічного року, навколо осі - 9 год 50 хв. Екваторіальний радіус 71398 км, маса  $1,901 \cdot 10^{27}\text{ кг}$  (удвічі більша за масу всіх інших планет разом узятих). Має 16 природних супутників. Навколо Юпітера виявлено кільце. Поверхня Юпітера закрита суцільним шаром хмар з

темних смуг і світлих зон, розташованих паралельно екваторові. В атмосфері є водень, гелій, неон, метан і аміак. Її тиск такий як і на Землі. Гігантський атмосферний вихор (Велика Червона Пляма) утричі перевищує, розміри Землі. Температура на поверхні Юпітера від  $-100^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

*Сатурн* - шоста за віддаленням від Сонця планета. Середня віддаль від Сонця близько 1,427 млрд км. Період обертання навколо Сонця 29,5 тропічного року, навколо осі - 10 год 14 хв. Екваторіальний радіус 60100 км, маса  $5,68 \cdot 10^{26}$  кг. Має 10 великих і 12 малих су,путників. У площині екватора його оточує світло-сіре кільце складної структури. Упродовж 29,5 років його двічі видно в максимальному розкритті і двічі не видно зовсім. Температура на поверхні Сатурна ід  $-190^{\circ}\text{C}$  до  $-150^{\circ}\text{C}$ . Як і на Юпітері, в атмосфері Сатурна виявлено вихор - Червону Пляму.

*Уран* — сьома за віддаленням від Сонця планета Сонячної системи. Середня віддаль від Сонця близько 2,870 млрд км. Період обертання навколо Сонця 84,013 тропічного року, а навколо осі — 17 год 18 хв. Екваторіальний радіус 26200 км, маса  $8,69 \cdot 10^{25}$  кг. Вісь обертання майже збігається з площиною його орбіти. Температура поверхні близько  $-220^{\circ}\text{C}$ . Має 5 природних супутників. У 1977 році навколо Урану відкрили систему кілець. Атмосфера складається з молекулярного водню і метану.

*Нептун* — восьма планет Сонячної системи. Середня віддаль від Сонця 4, 499 млрд км, період обертання навколо Сонця 164,8 тропічного року, навколо осі — 18 год 12 хв. Екваторіальний радіус 25230 км, маса становить 17,25 мас Землі. Атмосфера складається з молекулярного водню з невеликими домішками метану. Температура зовнішніх шарів  $-200^{\circ}\text{C}$ . Неозброєним оком Нептун не спостерігається. Має 2 природні супутники.

*Плутон* - найдальша планета Сонячної системи, тому слабо вивчена. Середня віддаль від Сонця 5,9089 млрд км, період обертання навколо Сонця 247,7 років, а навколо осі - 6 діб 9 год 17 хв. Радіус Плутона 1500 км, маса  $1,2 \cdot 10^{25}$  кг. За розмірами і масою близький до планет земної групи, за іншими фізичними характеристики — до планет-гігантів. Має 1 природний супутник

**Астероїди, комети, метеорити.** Крім планет та їх супутників до Сонячної системи входить значна кількість *малих планет* - астероїдів.

*див.* Це невеликі холодні тіла, що мають неправильну форму, обертаються навколо своєї осі і навколо Сонця по еліптичних орбітах. Найбільші астероїди (Церера, Ерос, Паллада, Юнона та інші) мають діаметр від 300 до 1003 км, а найменші з відомих - до 1 км. Орбіти більшості астероїдів лежать між орбітами Марса і Юпітера. Розрахунки показують, що в цьому місці повинна існувати ще одна планета, але вона чомусь не сформувалася або вибухнула. Можливо тут існувала планета Фаєтон з діаметром близько 6000 км - дещо більшим, як у Меркурія і меншим, ніж у Марса. Внаслідок якоїсь космічної катастрофи вона розлетілася на шматки, сформувавши кільце астероїдів. Орбіти цих астероїдів дуже витягнуті і можуть перетинатися з орбітами планет. Серед малих планет є планети з назвами Україна, Київ та ін.

*Комети* - це нестійкі тіла Сонячної системи, що мають вигляд світлих рухомих об'єктів з туманними обрисами і перебувають під впливом гравітаційного поля Сонця. Мають ядро і хвіст. *Ядро* - це монолітна брила льоду, з вмерзлими в нього твердими частинками. Розміри ядра від сотень метрів до кількох кілометрів. З наближенням до Сонця лід випаровується, а вмерзлі в нього тверді частинки й гази розпорошуються, утворюючи навколо ядра *голову* — газову оболонку з аміаку, метану та вуглекислого газу. Під дією сонячного вітру газ і пил витягуються за кометою на сотні мільйонів кілометрів у вигляді *хвоста*. Голови деяких комет за розмірами перевищують розміри Сонця, а хвости витягуються на сотні мільярдів кілометрів. Однак маси комет незначні. Більшість комет мають дуже витягнуті еліптичні орбіти. Є комети, що рухаються по параболічних та гіперболічних орбітах. Обігнувши Сонце, деякі з них назавжди покидають Сонячну систему.

З кожним наближенням до Сонця комети втрачають частину речовини і з часом розпадаються, утворюючи метеоритні потоки. Яскравою є комета Галлея, яка рухається навколо Сонця з періодом близько 76 років. Останній раз спостерігалася у 1986 р.

*Метеорити* — різні за розмірами тверді тіла, що падають на поверхню Землі чи інші планети з міжпланетного простору. Потрапляючи в атмосферу Землі, метеоритні тіла вже на висоті 110-70 км внаслідок зіткнення з повітрям нагріваються до тисяч градусів і починають світитися, залишаючи на небі яскраві сліди. Великі метеори у вигляді вогняних куль, що супроводжуються гуркотом, свистом, сюрчанням



називають *болідами*. Розрізняють метеорити залізні, залізокам'яні і кам'яні. Щороку на Землю випадає більше 2000 метеоритів. На місці падіння великих метеоритів утворюються кратери. Арізонський метеоритний кратер має діаметр 1200 і глибину 200 м.

Галузь астрономії, яка вивчає Всесвіт у видимому світлі, називається оптичною. Але видиме світло займає лише маленьку ділянку електромагнітного спектра, куди входять також радіохвилі, інфрачервоне, ультрафіолетове, рентгенівське та гамма-випромінювання - різні за довжиною (чи частотою) електромагнітні хвилі. З XIX ст. астрономи почали вивчати космічні об'єкти в доступних інфрачервоних променях. А в 30-х роках XX ст. зародилася нова галузь астрономії - радіоастрономія, справжній розвиток якої почався після другої світової війни. В короткохвильовій частині спектра виділяють окремо діапазони:

- ультрафіолетової астрономії (довжина хвилі 390-30 нм),
- рентгенівської астрономії (30-0,01 нм) і
- гамма-астрономії (довжина хвилі менша за 0,01 нм), кожна з яких має свої методи досліджень. Важливу інформацію про те, що діється далеко за межами Землі, доносять до нас потоки космічних променів і нейтрино. Космічні промені складаються головним чином з протонів - ядер водню, а також з електронів, ядер гелію і ядер важчих хімічних елементів.

**Нейтрино** – це частинка, яка має неймовірну проникну здатність, бо майже не взаємодіє з речовиною. Не маючи електричного заряду, з масою спокою, ще й досі достовірно не встановленою, нейтрино здатне проходити крізь тверде тіло навіть легше, ніж світло крізь скло. Наприклад, шар свинцю товщиною в 50 світлових років воно перетне так, немов це порожній простір.

Подивись на небо безхмарної ночі. Ти побачиш тисячі зірок. Здавна людський розум намагався проникнути в таємниці цього величезного нескінченного світу. Індійські, грецькі та римські вчені задовго до нашої ери припускали існування безлічі світів, схожих на наш. Уже тоді весь світ дістав назву Всесвіту, або космосу. Він фантастично великий А наша крихітна Земля і навіть зорі, які ми бачимо, становлять незначну частину космосу. Всесвіт складається з

великої кількості зоряних світів – **галактик**. Однією з них є наша Галактика, до якої входить Сонячна система. Сонячна система розташована на краю Галактики, тому основну частину нашої Галактики можна бачити ніби збоку – світлу смугу з безлічі зірок, що проходить через усе зоряне небо. Це – ***Молочний шлях***. Український народ здавна називав його ***Чумацьким шляхом***.

До складу Галактики входять такі небесні тіла як зорі планети (в тому числі Земля), астероїди, метеорити, комети, метеори, космічний пил. Міжзоряний простір пронизують невидимі оку космічні промені.

**Зорі** – кулясті розпечені тіла, що випромінюють світло. Всі зорі складаються з газів і мають на своїй поверхні високі температури, за рахунок чого й відбувається випромінювання. За температурою поверхні зорі поділяються на червоні (2000-3000°C), жовті (6000-7000°C), білі (12000°C) і голубі (25000°C). За кольором і температурою Сонце належить до жовтих зірок.

Розрізняють зорі й за розмірами. Є зірки-гіганти в мільярди разів більше від Сонця, і карлики – в десятки разів менші від нього.

У нашій Галактиці зорі розташовані нерівномірно. Їх найбільше навколо її центра, де сила тяжіння максимальна, а швидкість руху менша, ніж на околицях (див. зоряне небо на форзацах підручника).

Неозброєним оком на нічному небозводі можна побачити близько 2000 зір. Насправді їх мільярди. Окремі з них можна виявити тільки за допомогою сучасних телескопів та радіотелескопів.

Ще в Стародавній Греції помітили, що на нічному небі зорі скупчуються групами — **сузір'ями**. Кожне сузір'я має свою назву, пов'язану з легендами та міфами стародавнього світу.

Нині все небо поділене умовно на **88 сузір'їв**. У Північній півкулі найбільш відомі сузір'я Великої і Малої Ведмедиці, які ми бачимо протягом року.

В Україні ці сузір'я в народі називають Великий і Малий Віз, або Великий і Малий Ківш. Крім семи яскравих зірок, у складі кожного з цих сузір'їв безліч маленьких, часто ледь помітних. Для мореплавців, мандрівників, туристів особливо важливим є те, що в складі Малої Ведмедиці розташована яскрава Полярна зоря, яка завжди розміщена на півночі.

Окремі сузір'я можна спостерігати на нічному небі протягом усього року. Їх називають *навколополярними*. Це — Велика та Мала Ведмедиця, Дракон, Цефей, Кассіопея.

Треба знати, що зорі в сузір'ях насправді ніяк не пов'язані між собою ні в просторі, ні в часі. Це лише видиме нами їх об'єднання на площині небозводу.

**Планети** — холодні кулясті небесні тіла, що не випромінюють світло. Проте чому ж ми їх бачимо на небозводі? Виявляється, вони здатні відбивати сонячні промені від своєї поверхні як дзеркало. Крім великих планет, є планети-карлики, діаметром від 1 до близько 1000 км. **Цеастероїди**. Вони бувають не тільки кулясті, а й неправильної форми.

**Комети**. Іноді на небозводі з'являються яскраві хвостаті зорі. Це комети. Комета складається з «голови» й «хвоста», який стає яскравим та довгим у період наближення її до Сонця. Голова комети — це скупчення замерзлих газів, у які вкраплені пил та каміння. Хвіст — потік газів та пилу, що потрапляють з голови при сильному нагріванні. Тільки-но комета віддаляється від Сонця, її краса тьмяніє. Хвіст вкорочується і світиться слабо.

Минають тисячі років, і голова комети зменшується за рахунок танення льоду, розпадається на дрібне каміння й пилинки. З кожним обертом навколо Сонця хвіст світиться дедалі слабкіше. Всім кометам присвоєні імена вчених, наприклад комета Галлея.

**Метеорити**. На знімках поверхні Місяця з космічного корабля можна побачити величезні лійки — кратери. Частина з них — результат падіння на поверхню Місяця небесних тіл — метеоритів. За своїм походженням це уламки інших небесних тіл, найчастіше астероїдів. Метеорити бувають залізні, кам'яні і залізо-кам'яні. Падають вони й на Землю. В США, у штаті Арізона, після падіння метеорита утворився велетенський кратер. У 1908 році Тунгуський метеорит, що впав у Сибіру, знищив ліс на величезній території.

Іноді на зоряному небі можна побачити яскраві іскорки, що, пролітаючи, залишають тонкий слід. Це так звані падаючі зорі. Насправді падають не зорі, а дрібні піщинки і камінчики. Прилітаючи з космосу з велетенською швидкістю, вони від тертя об повітря розжарюються і світяться. Це явище дістало назву **метеорів**.

Внаслідок досліджень вчені дійшли висновку, що у Всесвіті, крім видимих небесних тіл, є **космічне випромінювання**, що заповнює міжзоряний простір. І якби не надійний захист повітряної оболонки Землі з озоновим шаром, космічне випромінювання знищило б усе живе.

Навчальне видання

*Рекомендовано до друку педагогічною радою Івано-Франківського коледжу  
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»  
(протокол №3 від 30 січня 2019 року)*

**Гоцанюк Тетяна Василівна**

**Збірник теоретичних матеріалів  
для практичних занять курсу  
«Природничі науки: фізика і астрономія»**

Івано-Франківськ, 2018