# ЛЕКЦІЯ 1
## Вступ

Фізика є провідною галуззю природознавства. Завдання її, як і природознавства взагалі – пізнання світу природи.

Розвиток фізики складним чином переплітається з розвитком інших наук (математики, хімії, астрономії) і з усім ходом історії суспільства.

Структурна схема фізики складається з таких елементів:

1. Основні поняття, вироблені дотепер. В основі фізики лежать такі фундаментальні поняття, як рух, матерія, простір і час. Зміст цих понять змінюється у процесі розвитку науки.

2. Методи, які застосовуються у фізичних дослідженнях, і отримані з їх допомогою найважливіші результати.

3. Основні проблеми і напрями досліджень. Вони відображають як рівень розвитку фізики, так і потреби суспільства. Найбільш актуальними наразі є: розвиток фізики елементарних частинок і атомного ядра з метою подальшого пізнання будови матерії; розвиток ядерної та створення основ термоядерної енергетики; вдосконалення методів перетворення і передачі енергії; створення нових матеріалів; створення теорії високотемпературної надпровідності.

4. Відгалуження фізики, що ведуть в інші галузі наук і в практику.

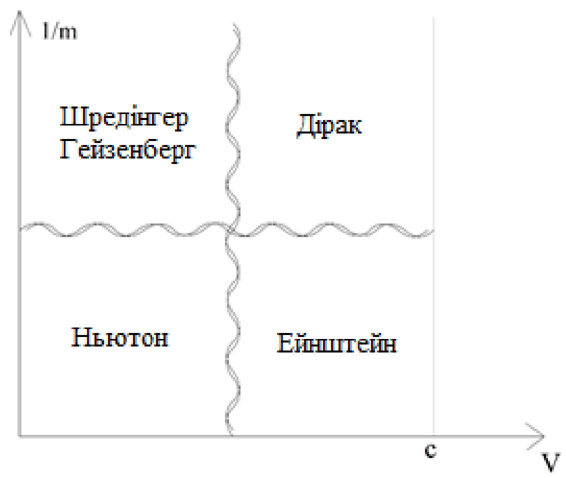


Рис. 1

У своєму розвитку механіка пройшла три епохи: класичну (Ньютон), релятивістську (Ейнштейн) і квантову (Шредінгер, Гейзенберг, Дірак), що схематично можна представити діаграмою. Тут *m* – маса об’єкта, *V* – швидкість його руху, *c* – швидкість світла (рис. 1).

З кожним новим етапом закони ставали все більш точними, все більш загальними. Треба чи не треба враховувати релятивістські поправки у кожній задачі, вирішується окремо з урахуванням точності вимірювань.

Зауважимо, що нові теорії не відкидають старі, а включають їх у себе як граничний випадок, нове приймається не тому що воно новіше, а тому, що воно точніше. Біля витоків кожної науки стоїть експеримент. Дані досліду піддаються теоретичному аналізу, створюються абстрактні поняття, які відображають суть явища. Роль теорії: створення абстрактних понять і встановлення законів, що зв'язують їх одне з одним.

Експериментальний і теоретичний етапи в пізнанні природи чергуються; дослід створює передумови для аналізу, теорія втілює їх в закони і передає експерименту для перевірки, нові дані знову аналізуються і так далі, – знання розширює свої межі та уточнюється.

Одна з основних переваг фізики полягає в єдності теорії й експерименту.

У своїх міркуваннях ми завжди користуємося ідеалізованими модельними об'єктами: замість тіл розглядаємо матеріальні точки, нитки – нерозтяжні, тіла – абсолютно тверді. Модель є абстрактною системою, яка у спрощеному вигляді представляє систему, що досліджується. Ідеалізація об'єкта є відстоþонення від несуттєвого. Наша мета полягає у тому, щоб розкрити закон, а закон – це істотне в явищі. Тому при створенні моделей беруться до уваги тільки суттєві для даного кола явищ властивості і зв'язки. Моделі створюються на основі «фізичного підходу», а він виробляється у процесі вирішення задач. Щоб вирішувати задачі, необхідно знати теорію, до викладення якої ми і перейдемо.

# I. КІНЕМАТИКА

## § 1. Основні положення

Механіка – наука про рух тіл.

Сукупність тіл, виділена для розгляду, називається механічною системою.

Механічний рух – процес зміни взаємного розташування тіл.

Простір – форма існування матерії. Простір тривимірний – щоб задати положення точки, необхідно задати три числа.

Система координат (декартова) – три взаємно перпендикулярні осі.

Час – властивість матеріальних процесів мати певну тривалість (внутрішня характеристика процесу).

Тіло відліку – матеріальне тіло, відносно якого визначається положення точок простору.

Система координат разом з тілом відліку і годинником складають систему відліку.

Лінія, уздовж якої рухається тіло, називається траєкторією. Залежно від форми траєкторії розрізняють рух: прямолінійний і криволінійний.

Тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати, називається матеріальною точкою.

Кінематика – розділ механіки, який вивчає рух тіл, без урахування взаємодії між ними. Усі системи відліку в кінематиці рівноправні. У кінематиці розрізняють пряму і обернену задачі.

Пряма задача кінематики – за заданим положенням тіла в просторі у будь-який момент часу визначити швидкість і прискорення (також у будь-який момент часу). Метод розв’язання – диференціювання за часом функції, що визначає положення тіла в просторі.

Обернена задача – за заданим прискоренням, як функції часу, знайти швидкість і координати або радіус-вектор частинки у будь-який момент часу. Метод розв’язання – інтегрування за часом функцій, що визначають прискорення і швидкість. Для однозначного розв’язання оберненої задачі необхідно задати початкові умови, тобто початкове положення тіла і його швидкість у початковий момент часу.

Розрізняють три способи завдання руху: векторний, координатний і природний.

Розглянемо їх більш детально.

## § 2. Векторний спосіб завдання руху

1. *Пряма задача кінематики*: задана залежність від часу радіус-вектора, що характеризує положення матеріальної точки $\vec{r}(t)$. Необхідно знайти швидкість $\vec{V}(t)$ та прискорення $\vec{w}(t)$.

$$\vec{V}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}(t)}{\Delta t} =$$

$$\frac{d\vec{r}(t)}{dt} = \dot{\vec{r}}. \quad (1.1)$$

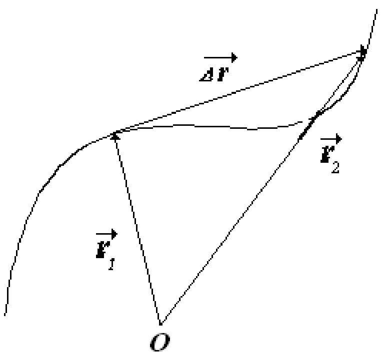

Рис. 2

Похідні за часом у фізиці прийнято позначати крапкою над літерою.

Співвідношення (1.1) визначає миттєву швидкість. Якщо нас цікавлять середні значення, тоді:

$$\langle V(t) \rangle = \frac{S}{\Delta t}, \tag{1.2}$$

$$\langle \vec{V}(t) \rangle = \frac{\Delta \vec{r}(t)}{\Delta t}, \tag{1.3}$$

тут $S$ та $\Delta \vec{r}(t)$ – шлях та переміщення тіла за час $\Delta t$ (рис. 2).

Прискорення (миттєве) визначається зі співвідношення:

$$\vec{w}(t) = \frac{d\vec{V}(t)}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}. \tag{1.4}$$

Для визначення середніх значень прискорення можна скористатися формулами аналогічними (1.2) та (1.3).

2. *Обернена задача кінематики*: задано прискорення тіла, як функція часу $\vec{w}(t)$, знайти його швидкість і радіус-вектор, якщо початкові умови мають вигляд:

$$\vec{V}(0) = \vec{V}_0, \quad \vec{r}(0) = \vec{r}_0.$$

Помноживши обидві частини рівності (1.4) на $dt$, отримаємо:

$$\frac{d\vec{V}}{dt}dt = d\vec{V} = \vec{w}(t)dt. \tag{1.5}$$

Проінтегруємо з урахуванням початкових умов:

$$\int_{\vec{V}_0}^{\vec{V}(t)} d\vec{V} = \int_0^t \vec{w}(t)dt. \tag{1.6}$$

У випадку рівноприскореного руху $\vec{w} = const$ замість (1.6) матимемо:

$$\vec{V}(t) - \vec{V}_0 = \vec{w}t,$$

або

$$\vec{V}(t) = \vec{V}_0 + \vec{w}t. \tag{1.7}$$

Далі помножимо (1.1) на $dt$ і проінтегруємо:

$$\int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}(t)} d\vec{r} = \int_0^t \vec{V}(t)dt. \tag{1.8}$$

У разі рівноприскореного руху, підставивши (1.7) в (1.8), отримаємо:

$$\vec{r}(t) - \vec{r}_0 = \int_0^t (\vec{V}_0 + \vec{w}t)dt = \vec{V}_0 t + \frac{\vec{w}t^2}{2},$$

або

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{\vec{w}t^2}{2}. \tag{1.9}$$

Співвідношення (1.7) та (1.9) дають добре відомі зі шкільного курсу фізики співвідношення для рівноприскореного руху. Якщо ж прискорення залежить від часу $\vec{w} = \vec{f}(t)$, треба скористатися співвідношеннями (1.6) і (1.8).

Шлях, пройдений тілом, є:

$$S(t) = \int_0^t |\vec{V}(t)|dt. \tag{1.10}$$

## § 3. Координатний спосіб завдання руху

1. *Пряма задача кінематики*: у декартовій системі координат задані координати матеріальної точки як функції часу, необхідно знайти проекції швидкості і прискорення:

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t). \tag{1.11}$$

Діючи, як і в попередньому випадку, отримаємо:

$$\begin{gathered} V_x = \frac{dx}{dt}, \quad w_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, \\ V_y = \frac{dy}{dt}, \quad w_y = \frac{dV_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}, \\ V_z = \frac{dz}{dt}, \quad w_z = \frac{dV_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}. \end{gathered} \tag{1.12}$$

Співвідношення (1.12) вирішують поставлену задачу. Модулі векторів швидкості і прискорення знайдемо, скориставшись визначенням модуля вектора:

$$|\vec{V}| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}; \quad |\vec{w}| = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}.$$

Від координатного способу завдання руху можна перейти до векторного, вводячи орти відповідних осей координат: $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$.

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k},$$

$$\vec{V}(t) = V_x(t)\vec{i} + V_y(t)\vec{j} + V_z(t)\vec{k},$$

$$\vec{w}(t) = w_x(t)\vec{i} + w_y(t)\vec{j} + w_z(t)\vec{k}.$$

2. *Обернена задача кінематики*: задані проекції прискорення, необхідно знайти проекції вектора швидкості і координати матеріальної точки. Початкові умови мають вигляд:

$$V_x(0) = V_{x0}; \quad x(0) = x_0; \; \dots .$$

Діючи як і у випадку розгляду векторного способу завдання руху, знайдемо:

$$V_x(t) = V_{x0} + \int_0^t w_x(t)dt,$$

$$x(t) = x_0 + \int_0^t V_x(t)dt. \tag{1.13}$$

Аналогічно для проекцій $y, z$ і $V_y, V_z$.

У випадку рівноприскореного руху замість (1.13) за аналогією з (1.7) та (1.9) матимемо:

$$V_x(t) = V_{x0} + w_x t,$$

$$x(t) = x_0 + V_{x0}t + \frac{w_x t^2}{2}. \qquad (1.14)$$

Рівняння лінії, уздовж якої рухається тіло, називається рівнянням траєкторії. Якщо з (1.11) виключити час, отримаємо рівняння траєкторії в явному вигляді. Рівняння (1.11) називають рівнянням траєкторії у параметричному вигляді.

## § 4. Природний спосіб завдання руху

Цей спосіб застосовується тоді, коли заздалегідь відома траєкторія точки, положення її визначається дуговою координатою $S$, яка відраховується уздовж траєкторії від обраного початку $O$ (рис. 3). Рух визначено, якщо відомі: траєкторія, початок відліку, додатний напрям і закон руху $S(t)$.

Швидкість при криволінійному русі можна записати у вигляді:

$$\vec{V} = V_\tau \vec{\tau}, \qquad (1.15)$$

де $\vec{\tau}$ – одиничний вектор дотичної до траєкторії. Позначимо $S$ – відстань від початку відліку до положення тіла в довільний момент часу, яка відрахована уздовж траєкторії, тобто шлях пройдений тілом. Тоді

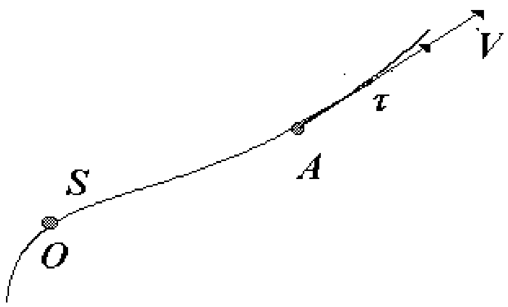

Рис.3

$$V_\tau = \frac{dS}{dt}; \quad |\vec{V}| = |\vec{V}_\tau| = V_\tau.$$

Модуль вектора швидкості дорівнює його проекції на напрям одиничного вектора, дотичного до траєкторії.

Прискорення за визначенням є похідна від вектора швидкості. При диференціюванні необхідно врахувати, що в процесі руху може змінюватися як модуль вектора швидкості, так і напрям вектора $\vec{\tau}$:

$$\vec{w} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{dV_\tau}{dt}\vec{\tau} + V_\tau \frac{d\vec{\tau}}{dt}, \qquad (1.16)$$

$\frac{dV_\tau}{dt} = w_\tau$ – характеризує зміну швидкості за величиною і називається тангенціальним прискоренням, воно спрямоване по дотичній до траєкторії. Розглянемо другий доданок (1.16):

$$V_\tau \frac{d\vec{\tau}}{dt}\frac{dS}{dS} = V_\tau \frac{dS}{dt}\frac{d\vec{\tau}}{dS} = V_\tau^2 \frac{d\vec{\tau}}{dS}. \quad (1.17)$$

Щоб зрозуміти сенс отриманого результату, зробимо так: візьмемо малу ділянку траєкторії (рис. 4), яку можна розглядати як дугу деякого кола $r = r_1 = r_2$. За час $dt$ частинка перейде з точки 1 у точку 2, пройшовши шлях $dS$, вектор $\vec{\tau}$ отримає приріст $d\vec{\tau}$. Визначимо кут, на який повернеться радіус-вектор: $\delta\alpha = \frac{dS}{r}$, з іншого боку (рис. 5): $sin\frac{\delta\alpha}{2} = \frac{\frac{1}{2}|d\vec{\tau}|}{|\vec{\tau}|} = \frac{1}{2}|d\vec{\tau}| = \frac{1}{2}\delta\alpha$. Тоді $|d\vec{\tau}| = \frac{dS}{r}$; $\frac{1}{r} = \frac{|d\vec{\tau}|}{dS}$.

Якщо довжина дуги прямує до нуля $dS \to 0$, то вектор $d\vec{\tau}$ стає перпендикулярним до $\vec{\tau}$: $d\vec{\tau} \perp \vec{\tau}$ (рис. 5) і, отже, вектор $d\vec{\tau}$ спрямований уздовж нормалі до траєкторії, тобто $\frac{d\vec{\tau}}{dS} = \frac{\vec{n}}{r}$.

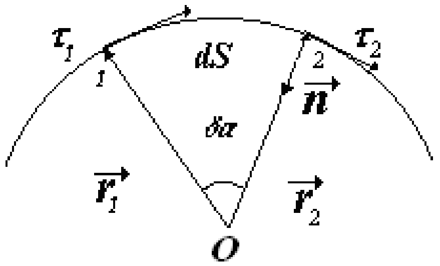


Рис. 4

Підставляючи отримане співвідношення в (1.17), знайдемо:

$$V_\tau \frac{d\vec{\tau}}{dt} = \frac{V_\tau^2}{r}\vec{n} = w_n\vec{n}.$$

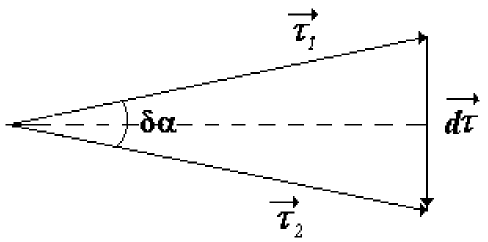


Рис. 5

Ця складова прискорення завжди спрямована до центру кривизни траєкторії і називається доцентровим прискоренням, модуль якого дорівнює: $w_n = \frac{V_\tau^2}{r}$. Повне прискорення запишеться у вигляді:

$$\vec{w} = w_\tau\vec{\tau} + w_n\vec{n} = \frac{dV}{dt}\vec{\tau} + \frac{V^2}{r}\vec{n},$$

$$|w| = \sqrt{w_\tau^2 + w_n^2}. \quad (1.19)$$

Величина $\frac{1}{r} = k$ називається кривизною, а $r$ – радіусом кривизни траєкторії.