Лекція 1

Тема 1. Фізика як наука про найбільш загальні властивості матерії та найпростіші форми її руху. Зв'язок фізики з іншими науками, зокрема з математикою.

1. Фізика як наука про найбільш загальні властивості матерії та найпростіші форми її руху. Зв'язок фізики з іншими науками, зокрема з математикою.

1. Фізика як наука про найбільш загальні властивості матерії та найпростіші форми її руху. Зв'язок фізики з іншими науками, зокрема з математикою.

Фізика є частиною природознавства, яка експериментальними методами, теоретичними узагальненнями і передбаченнями вивчає прості, але найзагальніші властивості і об'єктивні просторово-часові закони руху матерії, кількісні і якісні її зміни, які пов'язані з будовою, взаємодією і перетворенням усіх її видів і станів.

Фізика ділиться на частини, кожна з яких вивчає в основному певний вид руху матерії. Механіка вивчає переміщення тіла в просторі; молекулярна фізика – хаотичний рух великої кількості атомів і молекул, з яких складається речовина; електромагнетизм – взаємодія електричного і магнітного полів з електричними зарядами; оптика – виникнення, особливості поширення випромінювання і його взаємодія з речовиною; фізика атома і атомного ядра – атомного та ядерного руху матерії. Але границь як таких між розділами фізики немає.

Процес пізнання у фізиці починається із спостереження явищ в природних умовах або в спеціально поставлених експериментах. У результаті узагальнення даних спостережень будується наукове припущення про механізм явища, тобто створюється гіпотеза. Якщо гіпотеза при логічному її розвитку приводить до наслідків, які підтверджуються дослідами, вона стає науковою теорією. Математичний апарат є необхідним атрибутом для побудови теорій.

Спочатку виникла і розвивалась так звана **класична механіка**, основні закони якої були сформульовані Ньютоном. Вона вивчає рухи макроскопічних тіл, швидкості яких малі у порівнянні з швидкістю світла. Рухи тіл, швидкості яких близькі до швидкості світла, вивчаються у **релятивістській механіці**, основою якої є теорія відносності. Рухи мікроскопічних тіл вивчає **квантова механіка**.

Тема 2. Кінематика.

1. Матеріальна точка. Відносність руху. Системи відліку.
2. Радіус-вектор. Рівняння руху точки у векторній і координатній формах.
3. Вектори переміщення, швидкості і прискорення.
4. Тангенціальне та нормальне прискорення.

1. Матеріальна точка. Відносність руху. Системи відліку.

Механіка – розділ фізики, який вивчає найпростішу форму руху тіл – механічний рух, тобто зміну взаємного положення тіл в просторі з часом.

Кінематика – частина механіки, яка вивчає рух тіл без вияснення причин, що обумовили цей рух. Такий підхід дозволяє виявити особливості різних видів руху і ввести їх фізичні характеристики.

Розглядаючи рух різних реальних систем, ми побачимо і дещо спільне для них і дещо специфічне для кожного. Спільне можна виділити, абстрагуючись від конкретних особливостей рухомих тіл. Така абстракція полягає в тому, що реальне тіло замінюється "**матеріальною точкою**" – тілом, яке володіє масою, Але його розмірами можна знехтувати. Однак, тут треба відмітити, що нехтуючи розмірами тіла, ми виключаємо із розгляду обертання його навколо власної осі.

Вивчення руху матеріальної точки важливе не тільки тому, о воно дає можливість описати рух реального тіла, але і тому, що дозволяє побудувати точну теорію руху будь-якого реального тіла як сукупності матеріальних точок.

Рухом тіла називають зміну його положення в просторі з часом. Однак поняття руху має строго визначений зміст тільки тоді, якщо вказано тіло (або система тіл), відносно якого відбувається рух розглядуваного тіла. В цьому суть фундаментальної властивості природи, зміст якої полягає в тому, що **будь-який рух відносний**.

Припустимо, що два автомобілі рухаються назустріч один одному кожний зі швидкістю 50 км/год відносно Землі. Швидкість одного автомобіля відносно другого дорівнює 100 км/год. Отже, для спостерігача, що знаходиться в одному із автомобілів, другий автомобіль буде наближатися до нього зі швидкістю 100 км/год. Інший приклад. Автомобіль, який рухається зі швидкістю 90 км/год обганяє автомобіль, що рухається зі швидкістю 50 км/год. Швидкість руху першого автомобіля відносно другого дорівнює $90\, км/год - 50\, км/год = 40\, км/год$. Швидкість першого автомобіля відносно другого називають **відносною швидкістю**.

Таким чином, у випадку, коли швидкості направлені вздовж однієї прямої, для отримання відносної швидкості достатньо простого додавання або віднімання: **якщо швидкості протилежні за напрямком, то вони додаються; якщо вони співпадають за напрямком – віднімаються**. Якщо швидкості не направлені вздовж однієї прямої, то їх потрібно додавати векторно. При цьому важливо вказати, яка система відліку використовується.

$$\boxed{\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2}, \tag{1.1}$$

Отже, **швидкість тіла відносно нерухомої системи координат дорівнює векторній сумі швидкості тіла відносно рухомої системи координат і швидкості рухомої системи відносно нерухомої**.

Опис руху матеріальної точки можливий тільки за наявності системи **відліку**. **Системою відліку** називають координатну систему з годинником для відліку часу, пов'язану з реальним тілом. Слід підкреслити, що система відліку завжди "скріплюється" з деяким реальним тілом, відносно якого вивчається рух даної матеріальної точки і яке ми умовно приймаємо за нерухоме. Вивчити рух даної матеріальної точки можна по відношенню до різних реальних тіл. Але так як ці тіла можуть самі рухатись, то закони руху нашої матеріальної точки будуть, образно кажучи, не однаковими в різних системах відліку.

То як же слід вибирати систему відліку? З кінематичної точки зору всі системи відліку є рівноправними. На практиці ж стараються вибирати таку систему, яка при розгляді даної задачі найбільш зручна, тобто приводить до менших обчислень, забезпечує найбільшу наглядність і простоту. Для опису рухів на Землі за систему відліку зазвичай беруть Землю. Систему відліку зображають тривимірною системою координат, осі якої жорстко зв'язані з вибраним тілом, яке разом з нерухомим годинником, який служить для вимірювання часу, утворюють систему відліку.

Лінію, яку описує при своєму русі матеріальна точка, називають **траєкторією.** За виглядом траєкторії в даній системі всі рухи можна поділити на прямолінійні і криволінійні. Вид траєкторії залежить від вибору системи відліку. Це означає, що рух однієї і тієї ж точки в одній системі буде прямолінійним, в іншій – криволінійним. Наприклад, рух кульки, що падає з вікна рухомого вагона, є прямолінійним відносно системи відліку, пов'язаної з вагоном, і криволінійним (в даному випадку парабола) відносно системи відліку, пов'язаної з землею. Не тільки траєкторія, але і характер самого руху залежить від вибору системи відліку. Основна задача кінематики полягає в тому, щоб у вибраній системі відліку навчитись описувати рух точки аналітично, тобто за допомогою формул.

2. Радіус-вектор. Рівняння руху точки у векторній і координатній формах.

Існує три способи аналітичного опису руху точки в просторі.

Перший спосіб (траєкторний) полягає в наступному. На заданій траєкторії встановлюється початок відліку (рис. 1.1) так званої дугової координати *s*, яка визначає в даний момент положення точки на траєкторії. Дугова координата вимірюється довжиною ділянки по кривій від початку відліку до даної точки на траєкторії; встановлюється також і правило знаків. Дугова координата в одну сторону від початку відліку є додатною, в іншу – від’ємною.

При такому способі опис положення рухомої точки на траєкторії цілком визначається єдиною координатою *s*, яка є функцією часу:

$$\boxed{s = s(t)}. \tag{1.2}$$

Цю функцію називають **законом руху точки вздовж траєкторії**.

Другий спосіб аналітичного опису руху точки – векторний. Ґрунтується на тому, що положення точки в просторі задається **радіус-вектором** $\vec{r}$, проведеним із деякого центру *O* до даної точки (рис. 1.2,). При русі точки її радіус-вектор змінює свій модуль і напрям, будучи таким чином функцією часу:

$$\boxed{\vec{r} = \vec{r}(t)}. \tag{1.3}$$

Дану функцію називають **векторним законом руху точки**, її можна також розглядати як рівняння траєкторії руху в параметричній формі (параметр – час).

Третій спосіб названий **координатний** полягає в наступному. Положення точки *A* в просторі визначається в прямокутній системі координат заданням трьох координат *x*, *y*, *z* (рис. 1.3,). Під час руху точки її координати змінюються з часом $\boxed{x = x(t),\ y = y(t),\ z = z(t)}$. **Ці функції**, якщо вони відомі, задають **положення точки в просторі в будь-який момент часу**. Координатні рівняння руху можна розглядати і як запис траєкторії руху.

Звичайно, всі три способи пов’язані між собою Найпростіший зв’язок існує між векторним і координатним способами опису руху. Він випливає з того, що кожен вектор в Декартові системі координат можна представити у вигляді суми трьох векторів, напрямлених вздовж осей *x, y, z*:

$$\vec{r} = r_x\vec{i} + r_y\vec{j} + r_z\vec{k}, \tag{1.4}$$

де r_x, r_y, r_z – проекції вектора $\vec{r}$ на відповідні осі; $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ – одиничні вектори, напрямлені вздовж осей *x*, *y*, *z*. Так як проекції вектора $\vec{r}$ рівні координатам кінця вектора $\vec{r}$ $r_x = x, r_y = y, r_z = z$, то можна записати:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}. \tag{1.5}$$

Даний вираз дозволяє здійснювати перехід від векторного способу опису до векторного, який є більш компактним і використовується в основному під час теоретичних досліджень. При розв’язуванні конкретних задач більш зручним є координатний спосіб опису.

3. Вектори переміщення, швидкості і прискорення.

Якщо точка, рухаючись по траєкторії (рис. 1.4,) перемістилась з пункту *A* в п. *B*, то **переміщенням** точки називається вектор $\overrightarrow{AB}$, що має довжину $|AB|$ і напрям від *A* до *B*. Якщо точка перемістилась по траєкторії від пункту *B* до п. *C*, то переміщенням буде $\overrightarrow{BC}$. Переміщення точки від *A* до *C* буде зображатися вектором $\overrightarrow{AC}$. Як видно з рис.,

$$\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC},$$

Тобто кінцеве переміщення дорівнює векторній сумі окремих переміщень. Це твердження є важливим твердженням механіки, яке називається принципом переміщень.

Таким чином, **переміщення** – векторна величина $\vec{r}$. Вона показує в якому напрямі і на яку відстань перемістилась матеріальна точка.

Основними кінематичними величинами, що характеризують рух точки, є швидкість і прискорення.

Якщо матеріальна точка за певний проміжок часу Δt здійснила переміщення $\Delta\vec{r}$, то фізичну величину, що визначається **відношенням переміщення** $\Delta\vec{r}$ **до проміжку часу, протягом якого воно відбулось, називають середньою швидкістю**:

$$\boxed{\vec{\upsilon}_c = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta\vec{t}}}. \tag{1.6}$$

Оскільки вектор переміщення неповністю відображає характер руху, то вводиться поняття миттєвої швидкості. **Миттєва швидкість** – це фізична величина, що визначається границею, до якої наближається середня швидкість, за умови, коли проміжок часу Δt прямує до нуля, тобто

$$\boxed{\vec{\upsilon} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}}. \tag{1.7}$$

Отже, **миттєва швидкість** – це векторна величина, яка дорівнює першій похідній від вектора переміщення за часом і напрямлена по дотичній до траєкторії в бік руху. Миттєва швидкість – це швидкість точки в даний момент часу або в даній точці траєкторії.

Для характеристики прискореного руху вводиться поняття **прискорення**, яке характеризує **зміну швидкості**.

Величину, яка дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася називають середнім прискоренням:

$$\vec{a}_c = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}. \tag{1.8}$$

Оскільки середнє прискорення не повністю відображає характер руху матеріальної точки, то вводять поняття миттєвого прискорення, тобто прискорення в даний момент часу або прискорення в даній точці траєкторії руху. Миттєве прискорення визначається границею, до якої прямує величина $\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}$ при $\Delta t \to 0$:

$$\boxed{\vec{a} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}}. \tag{1.9}$$

Якщо матеріальна точка рухається із сталим прискоренням, то такий рух називають рівнозмінним. Прискорення є величина векторна. Цей вектора напрямлений у той бік, куди напрямлений вектор зміни швидкості $\Delta\vec{\upsilon}$.

4. Тангенціальне та нормальне прискорення.

Розглянемо випадок, коли траєкторія руху матеріальної точки – плоска крива лінія (рис. 1.4, а, Дущенко). Нехай у момент часу t_1 матеріальна точка в точці траєкторії A мала швидкість $\vec{\upsilon}_1$, а в момент часу t_2 в точці траєкторії B – швидкість $\vec{\upsilon}_2$. Зробимо паралельне перенесення векторів $\vec{\upsilon}_1$ і $\vec{\upsilon}_2$ на окремий рисунок (рис. 1.4, б, Дущенко). З рисунка видно, що при криволінійному русі вектор прискорення завжди напрямлений у бік угнутості траєкторії, оскільки напрям визначається напрямом вектора $\Delta\vec{\upsilon}$. Вектор $\Delta\vec{\upsilon}$ можна розкласти на два складових: $\Delta\vec{\upsilon}_\tau$ – вздовж вектора $\vec{\upsilon}_1$, який називається тангенціальною складовою; $\Delta\vec{\upsilon}_n$ – вздовж нормалі до $\vec{\upsilon}_1$, який називають нормальною складовою. За означенням, миттєве прискорення

$$\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{d\vec{\upsilon}_\tau}{dt} + \frac{d\vec{\upsilon}_n}{dt} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, \tag{1.10}$$

де $\vec{a}_\tau$ і $\vec{a}_n$ – відповідно тангенціальна і нормальна складові повного прискорення.

Тангенціальне прискорення характеризує зміну швидкості за величиною і напрямлене по дотичній до даної точки траєкторії. **Нормальне**, або **доцентрове, прискорення** характеризує зміну швидкості за напрямом і напрямлене вздовж миттєвого радіуса кривизни до центра.

Модуль і напрям повного прискорення в даній точці траєкторії відповідно визначається як

$$\boxed{a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2},\ tg\alpha = \frac{a_n}{a_\tau}}, \tag{1.11}$$

де α – кут між вектором прискорення і дотичною до траєкторії руху матеріальної точки в даний момент часу.

Рівномірний рух матеріальної точки по колу радіуса R з центром O (рис. 1.5, Дущенко) розглянемо як окремий випадок криволінійного руху. При цьому швидкість руху точки залишається сталою величиною, а змінюється за напрямом. Нехай за малий проміжок часу матеріальна точка перемістилась з точки траєкторії A в точку B. Зміна швидкості за напрямом при цьому характеризується вектором $\Delta\vec{\upsilon}$, який визначаємо паралельним перенесенням і відкладанням з точки A вектора $\vec{\upsilon}_2$. Трикутник OAB і трикутник із сторонами $|\vec{\upsilon}_1|$, $|\vec{\upsilon}_2|$, $|\Delta\vec{\upsilon}|$ – подібні. З їхньої подібності маємо:

$$\frac{\Delta\upsilon}{\Delta R} = \frac{\upsilon}{R} \quad \text{або} \quad \Delta\upsilon = \frac{\upsilon}{R}\Delta R. \tag{1.12}$$

Поділивши обидві частини на Δt і перейшовши до границі, дістанемо

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon}{R}\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta R}{\Delta t} \quad \text{або} \quad \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{\upsilon}{R}\frac{dR}{dt}. \tag{1.13}$$

Звідси маємо

$$\boxed{a_n = \frac{\upsilon^2}{R}}. \tag{1.14}$$

Оскільки при $\Delta t \to 0$ кут $\Delta\varphi \to 0$, то $\angle ABO \to 90^\circ$ і вектор a_n буде перпендикулярним до вектора швидкості $\vec{\upsilon}$ в точці A траєкторії, тобто напрямленим по радіусу до центра. Таке прискорення називають **доцентровим**. Отже, при рівномірному русі матеріальної точки по колу тангенціального прискорення немає, а повне прискорення дорівнює доцентровому.

5. Співвідношення між лінійними та кутовими величинами.

При обертальному русі твердого тіла навколо нерухомої осі всі його точки описують кола, центри яких лежать на осі обертання (рис.1.7, Дущенко). Проведемо через вісь обертання дві на півплощини. Одну з них жорстко зв’яжемо з тілом, другу вважатимемо нерухомою. Обертання тіла навколо осі можна задати за допомогою кута φ між цими площинами. Якщо за проміжки часу Δt тіло здійснило обертання на кут $\Delta\varphi$, то границю, до якої прямує відношення $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ при $\Delta t \to 0$, називають **кутовою швидкістю**:

$$\boxed{\omega = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}}. \tag{1.15}$$

Обертання тіла із сталою кутовою швидкістю називають рівномірним. Нерівномірне обертання характеризують за допомогою кутового прискорення. Якщо за малий проміжок часу Δt кутова швидкість змінилась на величину $\Delta\omega$, то границю, до якої прямує відношення $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ при $\Delta t \to 0$, називають **кутовим прискоренням**:

$$\boxed{\varepsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}}. \qquad (1.16)$$

Оскільки

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \qquad (1.17)$$

То

$$\boxed{\varepsilon = \frac{d}{dt}\left(\frac{d\varphi}{dt}\right) = \frac{d^2\varphi}{dt^2}}. \qquad (1.18)$$

Отже, значення кутової швидкості і кутового прискорення тіла відповідно дорівнюють першій і другій похідній від кута за часом. При обертальному русі твердого тіла всі його точки мають однакові кутові швидкості і кутові прискорення. Кутову швидкість і кутове прискорення вимірюють відповідно одиницями радіан за секунду (рад/с) та радіан за секунду в квадраті (рад/с^2).

Встановимо співвідношення між лінійною і кутовою швидкостями та лінійним і кутовим прискореннями. Довжина дуги, яку описує точка, що знаходиться на відстані R від осі при обертанні на кут $\Delta\varphi$

$$\Delta s = R\Delta\varphi. \qquad (1.19)$$

Тоді лінійна швидкість руху точки:

$$\boxed{\upsilon = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{R\Delta\varphi}{\Delta t} = R\omega}. \qquad (1.20)$$

На основі формул (1.14) і (1.20) маємо, що нормальне прискорення

$$\boxed{a_n = \frac{\upsilon^2}{R} = \omega^2 R}. \qquad (1.21)$$

Тангенціальне прискорення

$$\boxed{a_\tau = \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{d}{dt}(R\omega) = R\varepsilon}. \qquad (1.22)$$

Обертання тіла характеризується також періодом обертання T і частотою обертання n. Період обертання – це час, протягом якого тіло здійснює один повний оберт навколо осі обертання, а частота – це кількість обертів, які здійснює тіло за одиницю часу. Між періодом і частотою існує взаємозв’язок:

$$\boxed{n = \frac{1}{T}}. \qquad (1.23)$$

Оскільки за період тіло здійснює обертання на кут $\Delta\varphi = 2\pi$, то

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n}. \qquad (1.24)$$

Лінійна швидкість може бути виражене через частоту

$$\boxed{\upsilon = R\omega = 2\pi R n}. \qquad (1.25)$$

Таблиця 1.1