

ПЛАН-КОНСПЕКТ ПРОВЕДЕННЯ

ЛЕКЦІЙНОГО ЗАНЯТТЯ №1

МОДУЛЬ 1.

ТЕМА 1.1. КІНЕМАТИКА

Навчальна дисципліна: Фізика

Категорія здобувачів вищої освіти: курсанти та студенти.

Навчальна мета: оволодіти знаннями про основні поняття кінематики та способи опису руху матеріальної точки.

Виховна мета: сприяти підвищенню рівня знань про основні форми руху матерії, формуванню наукового світогляду.

Розвивальна мета: розвивати інтелектуальні здібності, пам'ять, увагу, уяву, мислення, спостережливість, активність, творчість, самостійність здобувачів вищої освіти, прищеплювати їм раціональні способи пізнавальної діяльності з зазначеної теми.

Кількість аудиторних годин: 2 години.

Навчальне обладнання, ТЗН: відеопроєктор, комп'ютерна техніка та відповідне програмне забезпечення.

Наочні засоби: наочність викладення матеріалу забезпечується використанням схем, таблиць та мультимедійним супроводженням окремих питань теми.

Міжпредметні та міждисциплінарні зв'язки: Дисципліна "Фізика" зв'язана з дисципліною "Вища математика" та в ряду інших є основою для вивчення дисциплін загальної підготовки: «Хімія», «Технічна механіка», «Матеріалознавство та технологія матеріалів», «Технічна механіка рідини та газу», а також дисциплін циклу професійної підготовки: «Термодинаміка та теплопередача», «Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках», «Пожежна та виробнича автоматика», «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах пожежі», які викладаються як правило пізніше. Знання з дисципліни «Фізика» та одержані навички і уміння дозволять створити якісну базу для вивчення теоретичних і практичних питань вказаних дисциплін.

План лекції (навчальні питання):

Вступ.

1.1.1. Кінематичне рівняння руху. Прямолінійний і криволінійний рух.

1.1.2. Кінематичні характеристики руху матеріальної точки - швидкість і прискорення.

1.1.3. Кінематика колового руху.

1.1.4. Кінематика руху абсолютно твердого тіла.

Список рекомендованих джерел:

Основні джерела

1. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики. Т. 1. – Київ: Техніка, 1999.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1-4. М. : КноРус, 2009.
3. Горбачук І.Т. Загальна фізика (збірник задач). Київ: Вища школа, 1993.
4. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Профессия, 2010.
5. Фізика. Розділи: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний електричний струм: довідник / Укладачі: В. Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 94 с.
6. Фізика. Розділи: Магнітне поле. Електромагнетизм. Коливання, хвилі і хвильові явища. Елементи квантової механіки. Фізика атома і атомного ядра. Елементи фізики твердого тіла: довідник./ Укладачі: В. Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 122 с.

Додаткові джерела

7. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике. М. : Мир и образование., 2006.

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

Вступ.

Механіка – це розділ фізики, у якому вивчається найпростіша форма руху матерії – *механічний рух*, що полягає в зміні взаємного розташування тіл або їх частин у просторі і часі. У *класичній механіці* розглядається рух порівняно великих тіл, зі швидкостями, набагато меншими ніж швидкість світла у вакуумі. Класична механіка складається із трьох основних розділів: кінематики, динаміки, статички. *Кінематика* описує різні види механічного руху без розгляду причин, що викликають той чи інший рух. *Динаміка* досліджує вплив взаємодії між тілами на їх рух. *Статика* розглядає стан механічної рівноваги тіл, умови рівноваги.

1.1.1 Кінематичне рівняння руху. Прямолінійний і криволінійний рух.

Найбільш простий вид мають закони руху матеріальної точки. *Матеріальною точкою* називається тіло, геометричними розмірами і формою якого можна знехтувати в умовах даної задачі. Рух матеріальної точки розглядається стосовно *системи відліку*, у яку входять: *тіло відліку*, відносно якого розглядається рух, *система координат*, яка пов'язана з цим тілом, і *пристрій для виміру часу* (годинник). За допомогою останнього визначають моменти часу, які відповідають різним положенням матеріальної точки в просторі.

Рух матеріальної точки вважається повністю заданим, якщо заданий закон, за яким змінюються в часі її координати

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t). \quad (1.1.1.1)$$

Ці три рівняння еквівалентні одному векторному рівнянню

$$\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}, \quad (1.1.1.2)$$

де \vec{r} – радіус-вектор матеріальної точки, що проведений з початку координат у місце її розташування, а $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – одиничні орти (рис. 1.1.1.1), спрямовані уздовж відповідних осей x, y, z . Рівняння (1.1.1.1 – 1.1.1.2) називаються *кінематичними рівняннями руху* матеріальної точки.

Лінія, яку описує матеріальна точка в просторі під час руху, називається *траєкторією*. Залежно від форми траєкторії розрізняють *прямолінійний* і *криволінійний* рух.

Довжина траєкторії, яку проходить матеріальна точка за розглянутий проміжок часу, є пройдений нею *шлях* S . Рух матеріальної точки у просторі також задається *вектором переміщення* $\Delta\vec{r}$. Це вектор, що проведений з початкового положення матеріальної точки в її кінцеве положення (рис. 1.1.1.1).

Вектор переміщення

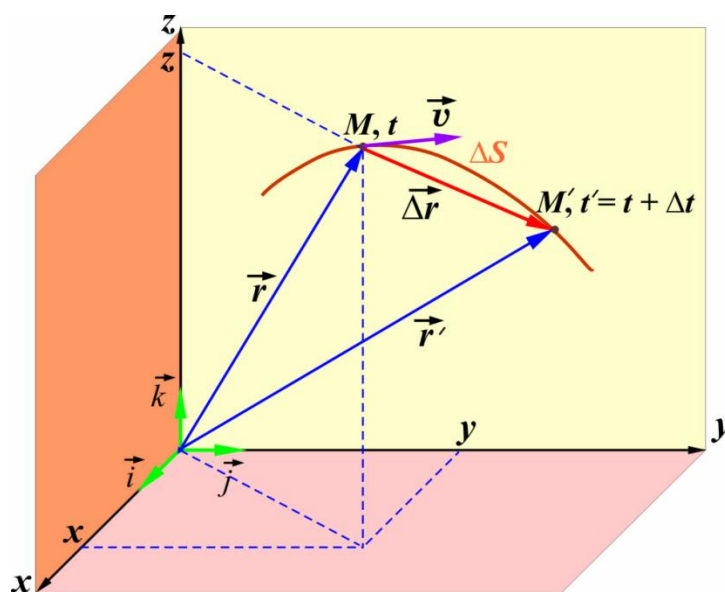


Рис. 1.1.1.1

матеріальної точки дорівнює приросту радіуса-вектора \vec{r}

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}' - \vec{r}. \quad (1.1.1.3)$$

1.1.2 Кінематичні характеристики руху матеріальної точки - швидкість і прискорення.

Вектор миттєвої швидкості \vec{v} дорівнює першій похідній від радіуса-вектора матеріальної точки за часом, тобто

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}. \quad (1.1.2.1)$$

Вектор миттєвої швидкості спрямований по *дотичній* до траєкторії (рис. 1.1.1.1) у напрямку руху матеріальної точки.

Модуль миттєвої швидкості дорівнює першій похідній від пройденого шляху S за часом, тобто

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}. \quad (1.1.2.2)$$

Проекції швидкості на осі координат характеризують швидкість руху уздовж відповідних осей і дорівнюють

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}. \quad (1.1.2.3)$$

Модуль швидкості виражається через його проекції згідно з формулою

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}. \quad (1.1.2.4)$$

Прискорення характеризує швидкість зміни швидкості матеріальної точки в часі. Вектор прискорення \vec{a} дорівнює першій похідній від вектора швидкості за часом або другій похідній від радіуса-вектора за часом

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}. \quad (1.1.2.5)$$

Проекції вектора прискорення на осі координат можна знайти як відповідні похідні

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}. \quad (1.1.2.6)$$

Модуль прискорення дорівнює

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}. \quad (1.1.2.7)$$

У випадку криволінійного руху вектор прискорення доцільно розкласти (рис. 1.1.2.1) на дві компоненти: *нормальне* (доцентрове) прискорення \vec{a}_n і

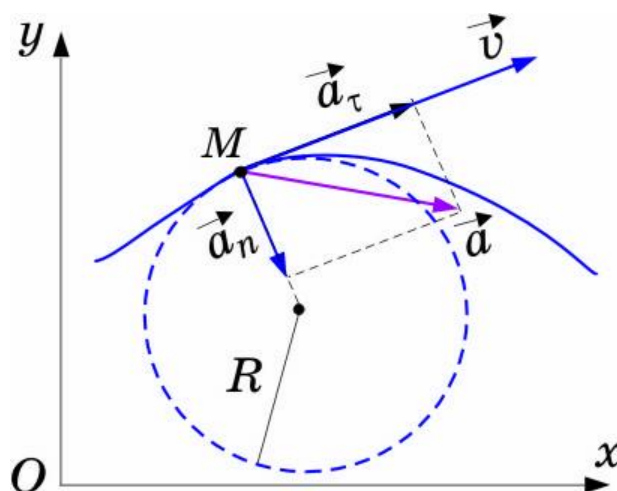


Рис. 1.1.2.1

тангенційне (дотичне) прискорення \vec{a}_τ

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau. \quad (1.1.2.8)$$

Вектор тангенційного прискорення \vec{a}_τ характеризує швидкість зміни швидкості *тільки по модулю*. Він спрямований уздовж дотичній до траєкторії, а по модулю дорівнює похідній від модуля швидкості за часом

$$a_\tau = \frac{d|\vec{v}|}{dt}. \quad (1.1.2.9)$$

Вектор нормального прискорення \vec{a}_n характеризує швидкість зміни швидкості *тільки за напрямком*. Він спрямований до центра кривини траєкторії (тобто перпендикулярно до дотичної), а по модулю дорівнює

$$a_n = \frac{v^2}{R}, \quad (1.1.2.10)$$

де R – радіус кривини траєкторії (рис. 1.1.2.1).

Модуль повного прискорення дорівнює

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}. \quad (1.1.2.11)$$

1.1.3 Кінематика руху матеріальної точки по колу.

Для опису *руху матеріальної точки по колу* використовують інші фізичні величини, які в цьому випадку є більш зручними.

Кутова швидкість характеризує швидкість зміни кута повороту φ радіус-вектора, що визначає положення матеріальної точки у часі. Чисельно кутова швидкість дорівнює першій похідній від кута повороту φ радіус-вектора за часом

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.1.3.1)$$

Кутова швидкість є величиною *векторною*. Вектор $\vec{\omega}$ спрямований уздовж осі обертання згідно з *правилом правого гвинта*, тобто збігається з поступальним рухом правого гвинта, якщо його обертати в напрямку руху матеріальної точки (рис. 1.1.3.1).

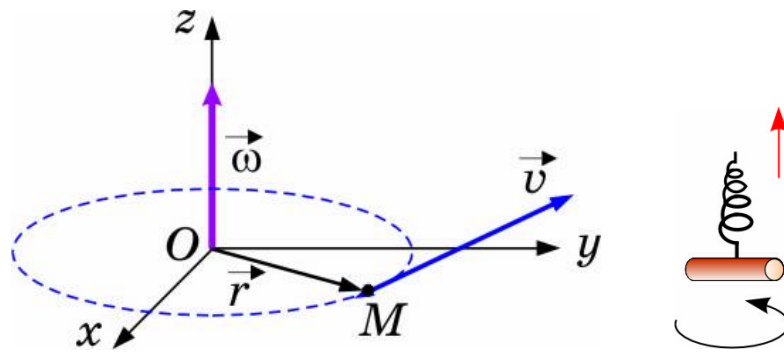


Рис. 1.1.3.1

Вектор швидкості \vec{V} (яку в цьому випадку називають *лінійною* швидкістю) дорівнює векторному добутку вектора кутової швидкості $\vec{\omega}$ і радіуса-вектора \vec{r} матеріальної точки

$$\vec{V} = \vec{\omega} \times \vec{r}. \quad (1.1.3.2)$$

Оскільки всі вектори в (1.1.3.2) взаємно перпендикулярні, їх модулі зв'язані співвідношенням

$$v = \omega \cdot r, \quad (1.1.3.3)$$

де r – радіус обертання.

Кутове прискорення характеризує швидкість зміни вектора кутової швидкості в часі. Вектор кутового прискорення $\vec{\varepsilon}$ дорівнює першій похідній від вектора кутової швидкості $\vec{\omega}$ за часом

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}. \quad (1.1.3.4)$$

Нормальне й тангенційне прискорення виражаються через кутові характеристики співвідношеннями

$$a_{\tau} = \varepsilon \cdot r, \quad (1.1.3.5)$$

$$a_n = \omega^2 \cdot r. \quad (1.1.3.6)$$

Періодом обертання T називається час одного повного оберту. *Частотою обертання ν* називається кількість обертів, що виконані за одиницю часу. Період і частота обернено пропорційні один одному:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.1.3.7)$$

Кутова швидкість пов'язана із частотою співвідношенням

$$\omega = 2\pi\nu. \quad (1.1.3.8)$$

1.1.4 Кінематика руху абсолютно твердого тіла.

Абсолютно твердим тілом називається тіло, відстань між двома будь-якими точками якого не змінюється. Довільний рух твердого тіла можна уявити як суперпозицію (накладення) двох незалежних рухів: поступального і обертального.

Поступальним називається такий рух, за якого будь-яка пряма, що з'єднує дві довільні точки твердого тіла переміщується паралельно самій собі. При поступальному русі всі точки тіла рухаються за однаковими траєкторіями, а їх швидкості збігаються зі швидкістю руху центру інерції тіла.

Обертальним рухом твердого тіла навколо нерухомої осі називається такий рух, за якого всі точки тіла описують кола, центри яких лежать на цій осі. При обертальному русі всі точки тіла мають однакові кутові швидкості $\vec{\omega}_i = \vec{\omega}$.

Ступені вільності. Довільне тверде тіло можна уявити як сукупність матеріальних точок. З попереднього відомо, що для опису руху матеріальної точки необхідно задати три функції часу, наприклад $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$. Якщо ж є система N незалежних матеріальних точок (тобто точок, які не взаємодіють), то, очевидно, для опису їх руху необхідно задати $3N$ таких функцій, або, як їх називають, параметрів. Однак, точки твердого тіла не є незалежними, між ними є зв'язок (умова) – сталість відстаней між двома довільними точками твердого тіла.

Щоб визначити, чи зміниться число незалежних параметрів опису руху, при наявності зв'язку, розглянемо дві матеріальні точки 1 і 2. Якщо відстань l між ними залишається сталою, то ця умова запишеться у вигляді рівняння

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 = l^2 \quad (1.1.4.1)$$

З цієї умови випливає, що коли відомі п'ять координат з шести, то шоста координата виражається через відстань l та відомі п'ять координат, тобто вже не є незалежною. Отже, система двох зв'язаних матеріальних точок має п'ять незалежних параметрів (ступенів вільності), що однозначно задають їх стан, на відміну від двох незалежних матеріальних точок, для яких число ступенів вільності дорівнює шести. Така система двох зв'язаних точок є, зокрема, класичною моделлю для молекул кисню O_2 , азоту N_2 та водню H_2 , що входять до складу повітря (число ступенів вільності таких молекул дорівнює п'яти).

Отже, число незалежних функцій (параметрів), що необхідні для опису руху системи, називаються числом ступенів вільності.

Загалом, якщо система складається з N точок між якими встановлено n зв'язків, то число ступенів вільності $s = 3N - n$. При цьому не обов'язково, щоб є якості незалежних координат використовувались саме декартові координати. Це можуть бути довільні s величин

$$q_1, q_2, q_3, \dots, q_s$$

в результаті наданням яких положення системи матеріальних точок визначається однозначно. Такі величини називаються *узагальненими координатами*. Рух системи матеріальних точок заданий, якщо узагальнені координати будуть знайдені як функції часу, тобто буде визначений їх кінематичний закон руху

$$q_1 = q_1(t), q_2 = q_2(t), q_3 = q_3(t), \dots, q_s = q_s(t) \quad (1.1.4.2)$$

Відомо, що для визначення положення абсолютно твердого тіла в просторі необхідно вказати три довільні точки цього тіла, що не лежать на одній прямій. Оскільки, відстань між цими точками зберігається, дев'ять координат цих точок зв'язані трьома співвідношеннями виду (1.1.4.1). Тому, для $N = 3$ і $n = 3$ маємо $s = 6$, тобто *абсолютно тверде тіло має шість ступенів вільності*.

Зауважимо, що обмеження руху тіла також еквівалентно встановленню додаткових зв'язків, тому супроводжується зменшенням числа ступенів вільності. Наприклад, тверде тіло, одна з точок якого закріплена нерухомо, може тільки обертатись навколо цієї точки і має три ступені вільності (оскільки наявність нерухомої точки призводить до втрати використання трьох координат, тобто трьох ступенів вільності з шести). Тверде тіло, яке може тільки обертатись навколо закріпленої вісі має одну ступінь вільності, адже достатньо вказати кут обертання. Якщо ж тверде тіло може ковзати вздовж закріпленої осі і одночасно обертатись навколо неї, то число ступенів вільності дорівнює двом.