

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних  
та фундаментальних дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни

«Фізика»

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт  
(Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів)**

**за темою №1 – Механіка**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 28.08.2023 № 1.

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

### **План лекцій:**

1. Кінематика матеріальної точки
2. Кінематика твердого тіла
3. Закони Ньютона
4. Сили
5. Сили інерції
6. Імпульс системи
7. Центр мас
8. Робота і потужність сили
9. Кінетична і потенціальна енергія
10. Механічна енергія і робота
11. Зіткнення
12. Момент імпульсу
13. Динаміка твердого тіла
14. Гіроскопи

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Фізика: Підручник / В.В. Бойко, Г.І. Булах, Я.О. Гуменюк, П.П. Ільїн. – К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 468 с.
2. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.
3. Курс фізики модульно-рейтингова система навчання: підруч. Для студ. Вищ. Техн. Навч. Закл./ Андріяшик М.В., Вербицький Б.І., Король А.М. – К.: НВЦ «Фламенко», 2008. – 530 с.

#### **Допоміжна література:**

1. Фізика. Задачі з розв'язаннями: Навч. посібник І. П. Гаркуша, З. П. Мокляк, Ю. О. Буслов – Дніпропетровськ; Національна гірнича академія України, 2003.
2. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.

### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. <http://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/view.php?id=272&chapterid=11f>
2. <http://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/view.php?id=296>
3. <http://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/view.php?id=297>

4. <http://physics.zfft.kpi.ua/mod/book/view.php?id=299>
5. <http://physics.zfft.kpi.ua/mod/book/view.php?id=301>
6. <http://physics.zfft.kpi.ua/mod/book/view.php?id=302>

## Текст лекції

### 1. Кінематика матеріальної точки.

**Кінематика** – це початковий розділ механіки, в якому встановлюються поняття та величини, що визначають рух, а також способи опису та загальні співвідношення між характеристиками руху без аналізу причин, які їх зумовлюють.

Існують різні способи опису положення і руху тіла в обраній системі відліку – векторний, координатний та природний – і відповідний набір кінематичних величин, які для цього використовуються. В наступних пунктах окремо розглядається кожен із цих способів та зв'язок між кінематичними характеристиками руху в різних системах відліку (перетворення Галілея):

- Векторний спосіб опису руху
- Координатний спосіб опису руху
- Природний спосіб опису руху
- Перетворення Галілея

#### **Векторний спосіб опису руху**

Такий спосіб дозволяє лаконічно та прозоро відображати зміст кінематичних величин і зв'язки між ними.

**Радіус-вектор, траєкторія, шлях, переміщення.** Положення точки у просторі можна задати вектором, проведеним із початку відліку в цю точку (рис.1.1), який називається її **радіусом-вектором**  $\vec{r}$   $\rightarrow$ .

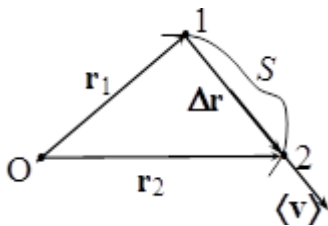


Рис. 1.1

Рухом частинок, отже й кінець її радіуса-вектора, описує в просторі неперервну лінію, котра називається **траєкторією** руху. Можна сказати, що траєкторія є геометричним місцем точок кінця радіуса-вектора частинки, що рухається. Довжина відрізка траєкторії між двома даними точками називається **шляхом**, пройденим частинкою за відповідний проміжок часу. Шлях визначає відстань, яку пройшла частинка вздовж траєкторії, але шлях не містить жодної інформації про її кінцеве положення. Тому для визначення зміни положення точки в просторі використовують

**переміщення  $\Delta\vec{r}$  – вектор, який проводять із початкового в кінцеве положення точки на траєкторії** (рис. 1.1).

Очевидно, що

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1.$$

Модуль вектора переміщення  $|\Delta \vec{r}|$  дорівнює відстані між початковим та кінцевим положенням точки на траєкторії і в загальному випадку не дорівнює пройденому шляху  $S$  (рис. 1.1.):  $|\Delta \vec{r}| \leq S$ .

Але переміщення  $d\vec{r}$  за нескінченно малий проміжок часу співпадає з відповідною нескінченно малою ділянкою траєкторії (рис. 1.2).

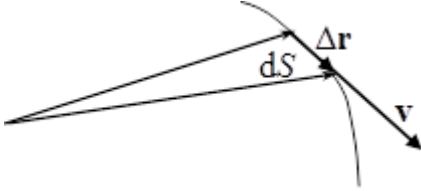


Рис. 1.2

Тому модуль вектора елементарного переміщення  $|d\vec{r}|$  і пройдений точкою шлях  $dS$  збігаються:

$$|d\vec{r}| = dS.$$

Вектор  $d\vec{r}$  є напрямлений по дотичній до траєкторії, тож указує напрям руху тіла в даній точці траєкторії.

**Швидкість.** Стан руху точки визначається не просто зміною її положення в просторі, а тим, як ця зміна відбувається у часі. Наближено це відображає відношення переміщення  $\Delta \vec{r}$  до проміжку часу  $\Delta t$ , за який воно здійснене. Така величина називається **середнім вектором швидкості** (або **вектором середньої швидкості переміщення**)  $\langle \vec{v} \rangle$ :

$$\langle \vec{v} \rangle = \Delta \vec{r} / \Delta t$$

Напрям вектора  $\langle \vec{v} \rangle$  співпадає з напрямом вектора переміщення (рис.1.1), і його модуль

$$|\langle \vec{v} \rangle| = |\Delta \vec{r}| / \Delta t$$

Слід зазначити, що вектор середньої швидкості є визначеним тільки для заданого проміжку часу  $\Delta t$ , тож для різних проміжків він може відрізнятись як за модулем, так і за напрямком. Але при поступовому зменшенні величини  $\Delta t$  відношення  $\Delta \vec{r} / \Delta t$  прямує до визначеної границі  $\vec{v}$ , яка є точною характеристикою руху в кожному мить і називається **миттєвою швидкістю** (або просто **швидкістю**):

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \equiv \vec{r}'(t) \equiv \dot{\vec{r}}(t).$$

Оскільки переміщення  $\Delta \vec{r}$  є приростом радіуса-вектора, то миттєва швидкість є похідною від радіуса-вектора по часу. При цьому вектор  $\vec{v}$  є співнаправлений з вектором  $d\vec{r}$ , отже,

**вектор миттєвої швидкості в кожній точці напрямлений по дотичній до траєкторії.**

Вектор  $\vec{v}$  показує не тільки як швидко, а й у якому напрямі переміщується тіло в кожен момент часу. Тому говорять, що **вектор швидкості є мірою стану руху тіла**. Зокрема, поведінка вектора швидкості дає загальну

інформацію про характер руху. До прикладу, якщо  $\vec{v} = \text{const}$ , то ані величина, ані напрям швидкості не змінюються, тож тіло рухається рівномірно і прямолінійно. Якщо ж незмінною лишається тільки модуль вектора швидкості, то тіло здійснює рівномірний криволінійний рух, тощо.

У практичних задачах часто буває істотним не напрям руху, а лише швидкість подолання тілом шляху. Тому, крім величин  $\langle \vec{v} \rangle$  і  $\vec{v}$ , використовують середню  $\langle v \rangle$  та миттєву  $v$  **скалярні** або **шляхові** швидкості, які означають через пройдений шлях аналогічно до співвідношень (1.2) і (1.3):

$$\langle v \rangle = \frac{S}{\Delta t},$$

$$v = \frac{dS}{dt}.$$

Зауважимо, що із співвідношення (1.1а) випливає, що миттєва шляхова швидкість  $v$  збігається із модулем вектора миттєвої швидкості, але для середніх швидкостей це, на загал, не так.

**Прискорення.** Ще однією характеристикою руху є прискорення. **Вектор миттєвого прискорення** (або просто **прискорення**)  $\vec{a}$  визначає швидкість зміни вектора швидкості у часі й уводиться аналогічно до миттєвої швидкості:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \equiv \vec{v}'(t)$$

$$\equiv \dot{\vec{v}}(t) \equiv \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{r}''(t) = \ddot{\vec{r}}(t),$$

тобто прискорення – це похідна від вектора швидкості, або ж друга похідна від радіуса-вектора по часу. Вектор прискорення збігається за напрямом з вектором  $\Delta \vec{v}$  і в загальному випадку складає певний кут із напрямом швидкості (рис. 1.3).

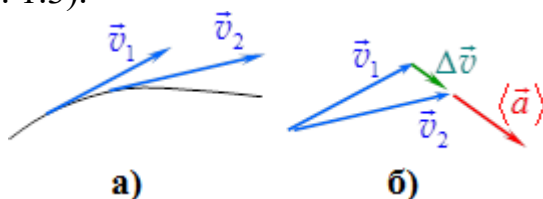


Рис. 1.3

Якщо рух є рівнозмінним ( $\vec{a} = \text{const}$ ), то прискорення визначається виразом

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t},$$

де  $\Delta t = t_2 - t_1$  – проміжок часу, за який швидкість змінюється на величину  $\Delta \vec{v}$ .

При нерівномірній зміні швидкості цей вираз визначає середнє прискорення  $\langle \vec{a} \rangle$  за час  $\Delta t$ .

### Координатний спосіб опису руху

Векторні співвідношення компактно і повно відображують фізичний зміст величин і зв'язки між ними, але при розрахунках вектори треба задавати числами. Тому, крім векторного, використовують координатний спосіб опису руху. В такому разі з тілом відліку жорстко зв'язують певну систему координат, найчастіше декартову, і положення точки в просторі визначають координатами – числами  $x, y, z$ . Ці числа дорівнюють відстаням (з тим, чи іншим знаком) від початку координат  $O$  до проєкції точки на відповідну координатну вісь, рис. 1.4а.

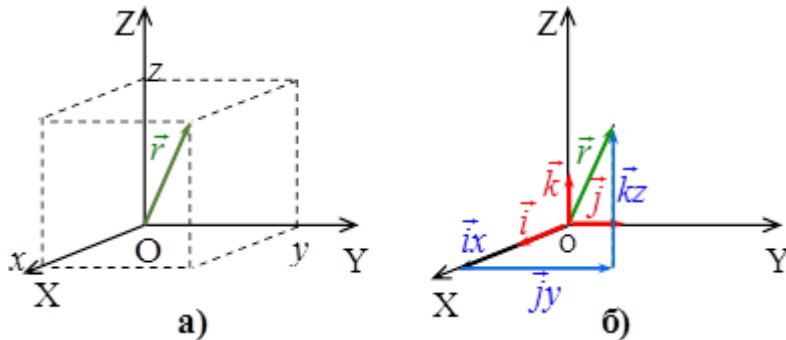


Рис. 1.4

Відтак закон руху точки визначається системою рівнянь залежностей координат від часу:

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t).$$

Очевидно, що декартові координати точки є проєкціями кінця радіуса-вектора на осі координат  $OX, OY, OZ$ :  $x = r_x = r \cos \alpha$ ,  $y = r_y = r \cos \beta$ ,  $z = r_z = r \cos \gamma$ , де  $\alpha, \beta, \gamma$  – "напрямні кути", тобто кути між напрямками радіуса-вектора  $\vec{r}$  та осей  $OX, OY, OZ$  (на рис. 1.4а показано тільки один з них). Тому можна записати:

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

де  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – одиничні базисні вектори (*орти*), які визначають напрямки осей декартової системи координат (рис. 1.4б) і утворюють її *базис*.

Отже, знаючи координати точки, можна обчислити модуль її радіуса-вектора та, через напрямні косинуси, його напрям:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}; \cos \alpha = x/r, \cos \beta = y/r, \cos \gamma = z/r,$$

Продиференціювавши вираз (1.16) по часу і врахувавши означення (1.3), отримаємо вираз швидкості точки в координатній формі:

$$\vec{v} = \vec{i} \frac{dx}{dt} + \vec{j} \frac{dy}{dt} + \vec{k} \frac{dz}{dt}.$$

Отже, похідні координат по часу – то є проєкції вектора швидкості на відповідні осі:



$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt}.$$

Тому за заданим законом руху в координатній формі (1.15) можна визначити проєкції вектора швидкості (1.19), а також його модуль і напрям:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}, \cos \alpha = v_x/v, \\ \cos \beta = v_y/v, \cos \gamma = v_z/v.$$

Аналогічно визначаються й параметри вектора прискорення при координатному способі опису руху:

$$\vec{a} = \vec{i} \frac{dv_x}{dt} + \vec{j} \frac{dv_y}{dt} + \vec{k} \frac{dv_z}{dt} = \vec{i} a_x + \vec{j} a_y + \vec{k} a_z.$$

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

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \cos \alpha = \frac{a_x}{a}, \cos \beta = \frac{a_y}{a}, \\ \cos \gamma = \frac{a_z}{a}.$$

### ***Природний спосіб опису руху***

Цей спосіб є зручним при описі руху по заданій траєкторії. Положення точки на траєкторії задається криволінійною координатою, тобто відстанню  $l$  від обраного початку відліку  $O$  до цієї точки, відрахованою вздовж траєкторії. Позитивний напрям відліку криволінійної координати задається, виходячи з міркувань зручності, і зазвичай вибирається у напрямку руху точки. Закон руху при цьому визначається залежністю криволінійної координати точки від часу  $l = l(t)$ . Зауважимо також, що модуль зміни криволінійної координати – то є пройдений точкою шлях.

## **2. Кінематика твердого тіла.**

Тверді тіла, що рухаються, не завжди можна вважати матеріальними точками. Це стосується, наприклад, рухомих деталей та вузлів механізмів і машин. При цьому різні точки протяжного тіла рухаються не однаково, тому механіка твердого тіла є набагато складніша, ніж механіка точки.

Рух твердих тіл можна поділити на декілька різновидів: 1) поступальний рух; 2) обертання навколо нерухомої осі; 3) плоский рух; 4) обертання навколо нерухомої точки; 5) вільний рух. Але базовими є поступальний і обертальний рухи, позаяк, інші різновиди можна розглядати як сукупність цих двох.

Поступальним називається рух, при якому довільна пряма, проведена між двома точками тіла, в процесі руху не змінює своєї просторової орієнтації. Прикладом може бути рух кузова автомобіля при русі по прямій трасі, або рух кабінки оглядового колеса у парку відпочинку.

Обертальним називають такий рух твердого тіла, коли будь-якої миті всі його точки рухаються по колах із центрами на одній нерухомій прямій – осі обертання.

При поступальному русі всі точки тіла рухаються, як одна, по однакових за формою траєкторіях і з однаковою швидкістю та прискоренням. Отже кінематика поступального руху твердого тіла збігається з кінематикою точки і не потребує окремого розгляду. Що до інших рухів, то далі заторкуються лише найпростіші — обертальний і плоский рухи.

**Кутова швидкість.** Нехай маємо якесь тіло, що обертається навколо нерухомої осі OZ (рис. 1.8).

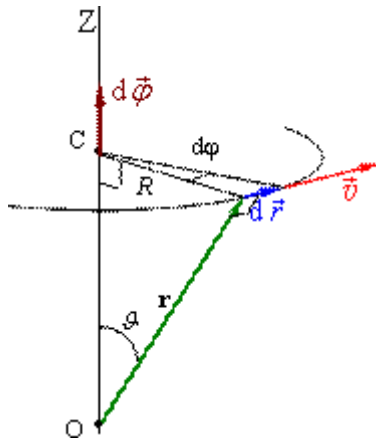


Рис. 1.8

Розглянемо деяку його точку, котра рухається по коловій траєкторії радіуса  $R$  із центром у точці  $C$ . Задамо положення точки радіусом-вектором  $\vec{r}$  із початком в точці  $O$  на осі обертання. За час  $dt$  точка здійснює переміщення  $d\vec{r}$ , яке є перпендикулярним до  $\vec{r}$  і має модуль

$$|d\vec{r}| = R d\phi = r d\phi \sin \theta.$$

де  $d\phi$  – кут повороту тіла навколо осі обертання за час  $dt$ .

Це співвідношення можна подати у векторній формі, аби воно відображало й напрям обертання тіла. Для цього величину  $d\phi$  розглядають як модуль вектора елементарного кута повороту  $d\vec{\phi}$ , який напрямлений уздовж осі обертання згідно з правилом правого гвинта.

За цим правилом вектор  $d\vec{\phi}$  спрямований у напрямку вкручування правого гвинта при його обертанні в напрямку обертання тіла; подібні вектори називаються аксіальними. Зауважимо також, що відображувати як вектори можна лише нескінченно малі кути повороту.

У такому разі замість виразу (2.1) можна записати:

$$d\vec{r} = [d\vec{\phi}, \vec{r}].$$

Швидкість руху точки отримаємо, поділивши  $d\vec{r}$  на  $dt$ :

$$\vec{v} = \left[ \frac{d\vec{\varphi}}{dt}, \vec{r} \right].$$

З цього виразу видно, що різні точки обертового тіла рухаються з різними швидкостями, але перший множник під знаком векторного добутку, однаковий для всіх точок, і тому визначає рух не лише окремої точки, а й усього тіла. Вектор

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$$

Називається **кутовою швидкістю** тіла і є кількісною характеристикою обертального руху.

Вектор  $\vec{\omega}$  як і  $d\vec{\varphi}$ , напрямлений уздовж осі обертання згідно з правилом правого гвинта. Одиницею кутової швидкості є 1 рад/с (радіан за секунду).

**Кутове прискорення.** Зміна вектора кутової швидкості з часом характеризується вектором кутового прискорення  $\vec{\beta}$ :

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}.$$

Одиницею кутового прискорення є 1 рад/с<sup>2</sup>.

При обертанні навколо фіксованої осі вектор  $\vec{\beta}$ , так само як і вектор  $\vec{\omega}$ , напрямлений уздовж осі обертання (рис. 1.9).

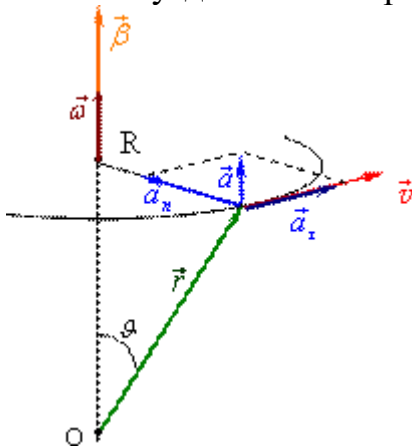


Рис. 1.9

У такому разі зручніше використовувати не вектори, а їхні проєкції на вісь обертання OZ:

$$\omega_z = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \beta_z = \frac{d\omega_z}{dt}. \quad (2.5)$$

При цьому, позаяк напрям осі обертання пов'язаний із позитивним напрямом відліку кута повороту правилом правого гвинта. В такому разі знак  $\omega_z$  визначає напрям обертання, а знак  $\beta_z$  – характер обертання. До прикладу, на рис. 1.9 відображено прискорене обертання в додатньому напрямі осі OZ.

Якщо під час руху вісь обертання змінює напрям, то  $d\vec{\omega}$  і  $d\vec{\beta}$  напрямлені під кутом до осі).

Окремим важливим для практики випадком обертального руху є рівномірне обертання тіла навколо фіксованої осі ( $\vec{\beta} = 0, \vec{\omega} = \text{const}$ ). Такий рух є періодичним, отож окрім кутової швидкості його характеризують періодом  $T$  (с) – проміжком часу, за який здійснюється один оберт, і частотою обертання  $n$  (1/с) – кількістю обертів за одиницю часу.

Оскільки за один оберт тіло повертається на кут  $2\pi$ , то

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ і } n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (2.6)$$

**Зв'язок між лінійними та кутовими величинами.** При розгляді обертального руху окремих точок твердого тіла величини  $d\vec{r}$  і  $d\vec{v}$  відповідно називають **лінійним переміщенням** і **лінійною швидкістю**, на відміну від **кутового переміщення**  $d\varphi$  та **кутової швидкості**  $\vec{\omega}$ . Між лінійними та кутовими величинами існують однозначні зв'язки. Зокрема, зв'язок між елементарними лінійним і кутовим переміщеннями задається виразами (2.1) і (2.1a), а зв'язок між лінійною та кутовою швидкістю – виразом (2.2) із урахуванням означення (2.3):

$$\vec{v} = [\vec{\omega}, \vec{r}]. \quad (2.7)$$

Для модулів маємо:

$$v = \omega r \sin \vartheta = \omega R, \quad (2.7a)$$

де  $R = r \sin \vartheta$  – радіус кола, по якому рухається точка.

Вираз для повного прискорення точки через кутові величини знайдемо диференціюванням виразу (2.7):

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \left[ \frac{d\vec{\omega}}{dt}, \vec{r} \right] + \left[ \vec{\omega}, \frac{d\vec{r}}{dt} \right] = [\vec{\beta}, \vec{r}] + [\vec{\omega}, \vec{v}],$$

де враховано, що  $d\vec{\omega}/dt = \vec{\beta}$  – вектор кутового прискорення, а  $d\vec{r}/dt = \vec{v}$  – вектор лінійної швидкості.

Оскільки при обертанні тіла навколо нерухомої осі вектори  $\vec{\omega}$  і  $\vec{\beta}$  лежать на осі, то вектор  $[\vec{\beta}, \vec{r}]$  має напрям дотичної до траєкторії даної точки тіла (рис. 1.9) і є її тангенціальним прискоренням  $\vec{a}_\tau$ :

$$\vec{a}_\tau = [\vec{\beta}, \vec{r}]. \quad (2.8)$$

При цьому тангенціальне прискорення точки, що обертається, називається її **лінійним прискоренням**. Його проєкція на напрям дотичної до кола

$$a_\tau = \beta r \sin \vartheta = \beta R. \quad (2.8a)$$

Так само друга складова повного прискорення  $[\vec{\omega}, \vec{v}]$  при нерухомій осі обертання напрямлена по нормалі до траєкторії точки (рис. 1.9), і є її нормальним прискоренням:

$$\vec{a}_n = [\vec{\omega}, \vec{v}]. \quad (2.9)$$

Модуль нормального прискорення

$$a_n = \omega v = \omega^2 R. \quad (2.9a)$$

На основі співвідношень (2.8a) і (2.9a) можна визначити модуль і напрям (див. рис. 1.9) повного прискорення точок обертвого тіла:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = R\sqrt{\beta^2 + \omega^4},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega^2}{\beta}. \quad (2.10)$$

$$(2.10a)$$

### 3. Закони Ньютона.

Ньютонові закони руху (або просто закони Ньютона) — це фундаментальні закони класичної механіки.

Вони були вперше опубліковані Ісааком Ньютоном в праці «Математичні начала натуральної філософії» (1687) та застосовані ним для пояснення багатьох фізичних явищ, пов'язаних з рухом фізичних тіл.

Закони Ньютона разом з його ж законом всесвітнього тяжіння та апаратом математичного аналізу вперше в свій час надали загальне та кількісне пояснення широкому спектру фізичних явищ, починаючи з особливостей руху маятника та закінчуючи орбітами Місяця та планет. Закон збереження імпульсу, який Ньютон вивів як наслідок своїх другого та третього законів, також став першим з відомих законом збереження.

Закони Ньютона піддавались експериментальній перевірці протягом більш як двохсот років. Для масштабів від 10–6 метра на швидкостях від 0 до 100 000 000 м/с вони дають задовільні результати.

#### Перший закон Ньютона (закон інерції)

Раніше за Ньютона закон інерції досить точно сформулював Рене Декарт. Строге його формулювання в сучасному викладі таке:

Існують такі системи відліку, в яких центр мас будь-якого тіла, на яке не діють жодні сили, або сума сил, що діють на нього, дорівнює нулю, зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, допоки цей стан не змінять сили, застосовані до нього.

Цей закон постулює існування системи відліку, в яких справедливі наступні два закони. Ці системи відліку мають назву інерційних або Галілеєвих, тобто таких, які рухаються зі сталою швидкістю одна відносно іншої.

### Історичне формулювання

Ньютон у своїй книзі «Математичні начала натуральної філософії» сформулював перший закон механіки таким чином:

Всяке тіло продовжує зберігати стан спокою або рівномірний і прямолінійний рух, допоки цей стан не змінять сили, застосовані до нього.

З сучасної точки зору, таке формулювання незадовільне. По-перше, термін «тіло» слід замінити терміном «матеріальна точка», оскільки тіло кінцевих розмірів за відсутності зовнішніх сил може здійснювати й обертальний рух. По-друге, і це головне, Ньютон у своїй праці спирався на існування абсолютної нерухомої системи відліку, тобто абсолютного простору і часу, а ці уявлення сучасна фізика відкидає. З іншого боку, в довільній (наприклад, такій, що обертається) системі відліку закон інерції неправильний, тому ньютонівське формулювання було замінено постулатом існування інерційних систем відліку.

Другий закон Ньютона: основний закон динаміки

Докладніше: Другий закон Ньютона

Формулювання:

В інерційній системі відліку прискорення матеріальної точки зі сталою масою прямо пропорційне рівнодійній всіх сил, що діють на неї, і обернено пропорційне її масі.

Математично це формулювання може бути записано так:

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v})$$

або

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a},$$

, якщо  $m$  — константа.

де

$\mathbf{F}$  — сила, яка діє на тіло

$m$  — маса тіла

$\mathbf{a}$  — прискорення

$\mathbf{v}$  — швидкість

$m\mathbf{v}$  — імпульс, який також позначається як  $\mathbf{p}$

Це рівняння фактично означає, що чим більша за абсолютним значенням сила буде прикладена до тіла, тим більшим буде його прискорення.

Параметр  $m$  або маса в цьому рівнянні — це насправді коефіцієнт пропорційності, який характеризує інерційні властивості об'єкта.

У рівнянні  $F = ma$  прискорення може бути безпосередньо виміряне, на відміну від сили. Тому цей закон має сенс, якщо ми можемо визначити силу  $F$  безпосередньо. Одним з таких законів, який визначає правило обчислення гравітаційної сили, є закон всесвітнього тяжіння.

У загальному випадку, коли маса та швидкість об'єкта змінюються з часом, отримаємо:

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) = m\frac{d\mathbf{v}}{dt} + \mathbf{v}\frac{dm}{dt} = m\mathbf{a} + \mathbf{v}\frac{dm}{dt}$$

Рівняння із змінною масою описує реактивний рух. Важливе фізичне значення цього закону полягає в тому, що тіла взаємодіють, обмінюючись імпульсами й роблять це за допомогою сил.

Сучасне дослідження[1][2] виявило справедливості цього закону для яких завгодно систем відліку.

Третій закон Ньютона: закон дії та протидії

Формулювання:

Сили, що виникають при взаємодії двох тіл, є рівними за модулем і протилежними за напрямом.

Математично це записується так

$$\mathbf{F}_{1,2} = -\mathbf{F}_{2,1},$$

де  $F_{1,2}$  — сила, що діє на перше тіло з боку другого тіла, а  $F_{2,1}$  — навпаки, сила, що діє з боку першого тіла на друге тіло.

Для сили Лоренца третій закон Ньютона не виконується. Лише переформулювавши його як закон збереження імпульсу в замкнутій системі з частинок і електромагнітного поля, можна відновити його справедливості.

4. Сили.

5. Сили інерції.

6. Імпульс системи.

7. Центр мас.

8. Робота і потужність сили.
9. Кінетична і потенціальна енергія.
10. Механічна енергія і робота.
11. Зіткнення.
12. Момент імпульсу.
13. Динаміка твердого тіла.
14. Гіроскопи.