Частина 1

МЕХАНІКА

Розділ 1 КІНЕМАТИКА

- Механічний рух тіл. Основна задача механіки та її розв’язання
- Фізичне тіло і матеріальна точка. Система відліку
- Відносність механічного руху
- Векторні і скалярні величини. Дії над векторами
- Траєкторія руху. Шлях і переміщення
- Рівномірний прямолінійний рух. Швидкість руху тіла
- Закон додавання швидкостей
- Графічне зображення рівномірного прямолінійного руху
- Рівноприскорений прямолінійний рух тіла. Прискорення руху тіла
- Графічне зображення рівноприскореного руху
- Вільне падіння тіл. Прискорення вільного падіння

§ 1 МЕХАНІЧНИЙ РУХ ТІЛ. ОСНОВНА ЗАДАЧА МЕХАНІКИ ТА ЇЇ РОЗВ’ЯЗАННЯ

Фізика розглядає різноманітні природні явища, з якими ви вже ознайомилися раніше, в основній школі: механічні, теплові, електричні, оптичні. У профільній школі будемо вивчати їх детальніше, враховуючи вже набуті вами знання з фізики і математики. Розпочнемо з розгляду механічного руху як одного з найважливіших для практики і найпростіших для сприйняття фізичних явищ.

Усі тіла навколо нас у будь-який момент часу мають певне розташування у просторі. Якщо з часом положення тіл змінюються, то кажуть, що тіла рухаються.

Механічний рух — це зміна з часом взаємного положення у просторі матеріальних тіл або взаємного положення частин даного тіла.

Розділ фізики, в якому пояснюється механічний рух матеріальних тіл, а також взаємодії, які відбуваються при цьому між тілами, називають **механікою.**

Термін «механіка» вперше ввів Арістотель, що в перекладі з грецької означає *машина* або *пристрій*.

Щоб вивчити рух тіла, треба дослідити, як змінюється його положення у просторі з часом, тобто вміти визначати його координати у будь-який момент. Так, астрономи, знаючи закони руху небесних тіл, можуть розрахувати з великою точністю, наприклад, появу в певний момент у певній ділянці неба комети.

Основна задача механіки полягає у визначенні положення тіла у будь-який момент часу.

Така задача має єдиний розв'язок тільки за конкретних початкових умов, тобто коли відоме початкове положення (координати) тіла і початкова швидкість його руху. Розв'язок основної задачі механіки математично подається у вигляді певної функції (залежності) координат тіла від часу.

У цьому розділі ми будемо досліджувати тільки просторові (геометричні) характеристики механічного руху тіла, його траєкторію, координати та швидкість, не враховуючи масу тіла та причини, які змінюють стан його руху.

Розділ механіки, в якому вивчають рухи матеріальних тіл без урахування мас цих тіл і сил, що на них діють, називають **кінематикою.**

Отже, щоб розв'язати основну задачу механіки, насамперед треба з'ясувати, які існують різновиди руху та їх характеристики.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке механічний рух?
2. Сформулюйте завдання механіки як розділу фізики.
3. У чому полягає основна задача механіки та розв'язання її в кінематиці?
4. Що вивчає кінематика?

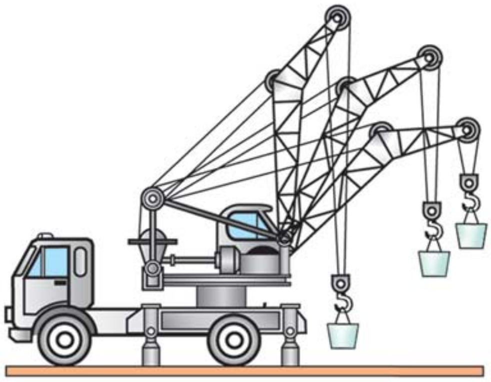
§ 2 ФІЗИЧНЕ ТІЛО І МАТЕРІАЛЬНА ТОЧКА. ПОСТУПАЛЬНИЙ РУХ. СИСТЕМА ВІДЛІКУ

Під час дослідження руху якогось тіла постає завдання визначати його положення у просторі у певні моменти часу. Наприклад, ми хочемо описати рух каменя, який кинули у річку. Камінь має певні розміри і форму, складається з величезної кількості атомів, під час польоту він безладно обертається, окремі його точки рухаються по-різному. Щоб описати детально рух такого тіла, треба дослідити рух усіх його частинок — це настільки складна задача, що на її розв'язання не вистачить обчислювальних потужностей і часу.

Проте у фізиці часто задачу, залежно від її умов, можна розв'язати наближено й отримати цілком задовільний результат. Для цього замість реального тіла розглядають його спрощену ідеальну ***модель***, тобто об'єкт, у якому нехтують несуттєвими для даної задачі властивостями заданого тіла, залишаючи лише його основні, визначальні риси.

Якщо камінь у наведеному прикладі до падіння у воду подолав відстань, значно більшу за його розміри, то вони не будуть суттєво впливати на характер його руху й у граничному випадку тіло можна вважати точкою.

Крім того, на рух тіла не впливають його атомна структура, теплові, електричні, оптичні властивості тощо. Для опису у спрощеній моделі руху



а

б

Мал. 1, *в*

тіла, а пізніше і причин цього руху, досить, щоб геометрична точка мала масу, що дорівнює масі даного тіла, і могла рухатись. Таку ідеальну модель реального тіла називають **матеріальною точкою.**

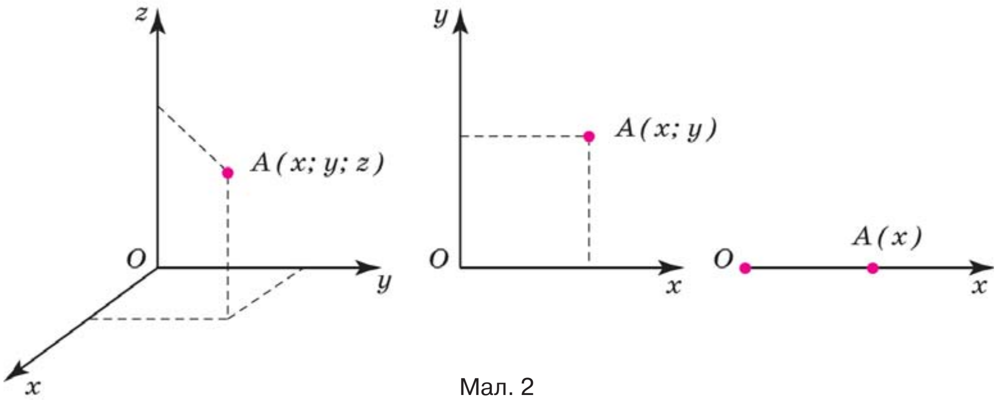
Матеріальною точкою є тіло, розмірами якого за даних умов руху можна знехтувати.

У наведеному визначенні дуже важливі слова «за даних умов руху», які виражають обмеженість застосування даного поняття. ***Матеріальна точка — поняття відносне, а не абсолютне.*** Одне й те саме тіло в одній задачі можна розглядати як матеріальну точку (рух космічного корабля на орбіті, рух океанського лайнера, які є малими порівняно з протяжністю шляхів, що вони долають), а в іншій — як тіло скінченних розмірів і певної форми (стикування одного космічного корабля з іншим). У більшості випадків далі у нашому курсі вважатимемо рухомі тіла матеріальними точками. Зрозуміло, що задача опису механічного руху тіл дуже спроститься.

У наведених вище прикладах усі точки рухомого тіла рухалися по-різному. Але на практиці дуже часто тіла рухаються так, що всі їх точки рухаються однаково. Однаково рухаються точки кузова автомобіля на прямій ділянці дороги, різця токарного верстата, вантажу на канаті підіймального крана (мал. 1, *а*), кабінок колеса огляду (мал. 1, *б*), поршня у циліндрі двигуна автомобіля, шухляди, що витягують зі столу, санчат, що опускаються з гори, голки швейної машини, ручки під час писання (мал. 1, *в*) тощо.

Рух тіла, під час якого всі його точки рухаються однаково, називають **поступальним.**

Коли тіло рухається поступально, будь-який виділений напрям у тілі, наприклад пряма вздовж планки висувної шухляди, залишається пара-



Мал. 2

лельним своєму положенню у будь-який момент часу. Іншими словами, тіло при поступальному русі *не обертається.* Зрозуміло, що під час дослідження поступальних рухів досить описати рух лише однієї точки тіла, що також значно спрощує розв'язання основної задачі механіки.

Місцезнаходження досліджуваного тіла під час руху можна визначити, вказавши його розташування відносно іншого тіла.

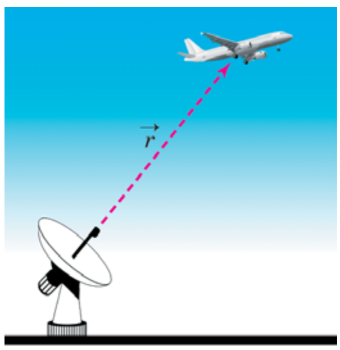
Тіло, відносно якого визначають положення інших тіл у різні моменти часу, називають **тілом відліку.**

Для визначення положення тіла відносно тіла відліку математично користуються певною системою координат. За початок декартової системи координат беруть довільну точку тіла відліку, з якою жорстко пов'язують осі системи. Користуючись одиничним масштабом, можна визначити координати x, y, z будь-якої точки простору, відкладаючи масштаб у напрямі координатних осей. Положення кожної точки у просторі визначається трьома координатами, на площині — двома, на прямій — однією (мал. 2).

Якщо точка рухається відносно тіла відліку, то потрібно знати не тільки де, а й коли вона перебуває у відповідному місці. Отже, для одержання повної інформації про рух тіла (точки), треба вміти вимірювати час. Час вимірюють, використовуючи який-небудь перебіг рівномірного періодичного процесу, наприклад хід годинника.

Тіло відліку, з яким пов'язана система координат, і годинник для вимірювання часу утворюють **сисему відліку.**

Наведемо приклад системи відліку, яка відрізняється від описаної вище. Щоб виявити місцезнаходження літака, радіолокатор посилає сигнал і через час t приймає відбитий сигнал (мал. 3). Відстань до літака обчислюється за формулою $l = c\,\frac{t}{2}$, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — стала швидкість сигналу.



Мал. 3

Місцезнаходження літака відносно радіолокатора у цьому разі визначається також трьома координатами: відстанню до літака l і двома кутами, які визначають за розташуванням антени під час вимірювань, — кутом азимуту напряму на літак відносно напряму на північ і кутом між горизонталлю та напрямом на літак.

Під час руху положення тіла змінюється відносно системи координат, тобто з часом змінюються і значення координат певної точки тіла. Розглянемо, як у фізиці визначають зміну фізичної величини з часом. Наприклад, координати точки, відлічені вздовж осей координат у момент часу, який прийняли за початковий ($t_0 = 0$), дорівнювали відповідно x_0, y_0, z_0. Через певний інтервал часу $t - t_0$ (або просто t, оскільки $t_0 = 0$) вони змінилися і набули значень x, y, z. Це означає, що за час t координата x змінилася на ($x - x_0$), координата y — на ($y - y_0$), координата z — на ($z - z_0$). Кожна з різниць $x - x_0$, $y - y_0$, $z - z_0$ є також фізичною величиною — **зміною** координат x, y, z за відповідний інтервал (зміну) часу $t - t_0$. Щоб визначити **зміну будь-якої фізичної величини, треба від її кінцевого значення відняти її початкове значення.**

Часто застосовують скорочений запис зміни фізичної величини за допомогою знака Δ (грецька літера дельта), який пишуть перед позначенням змінюваної фізичної величини, наприклад: $\Delta x = x - x_0$, $\Delta y = y - y_0$, $\Delta z = z - z_0$, $\Delta t = t - t_0$.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. З якою метою в механіці користуються ідеальними моделями?
2. Що розуміють під матеріальною точкою? Чи можна сказати, що це просто дуже маленьке тіло?
3. У яких випадках застосовують поняття матеріальної точки?
4. Назвіть ознаки поступального руху.
5. Коли в механіці під час дослідження руху можна обмежитись описом руху однієї точки?
6. Чим розрізняються між собою тіло відліку і система відліку?
7. Що таке зміна фізичної величини? Як її визначають?

§ 3 ВІДНОСНІСТЬ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

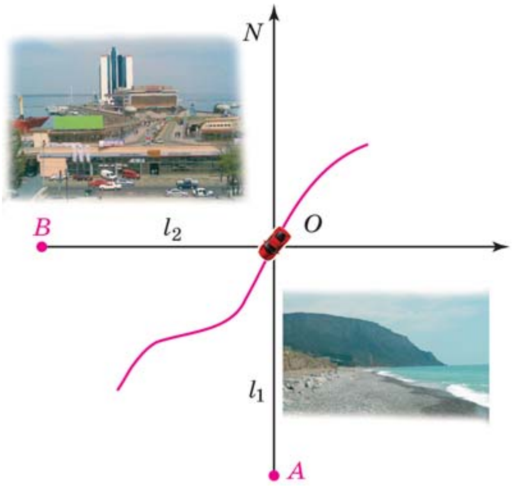
Досліджуючи механічний рух, тіло відліку можна вибирати довільно, але звичайно його вибирають з міркувань зручності, щоб опис руху мав найпростіший вигляд. Зокрема, можна розглядати кілька різних тіл, з кожним з яких пов'язана своя система прямокутних координат з довільним орієнтуванням осей. Це дає можливість одночасно розглядати положення одного тіла в різних системах координат. Зрозуміло, що в різних системах координат положення того самого тіла може бути зовсім різним. Наприклад, положення автомобіля на шляху можна визначити, зазначивши, що він перебуває на відстані l_1 на північ від населеного пункту A (мал. 4). Водночас можна сказати, що автомобіль перебуває на відстані l_2 на схід від пункту B. Це означає, що **положення тіла відносне: воно різне відносно різних тіл відліку і пов'язаних з ними систем координат.**

З відносності положення тіла випливає також **відносність будь-якого механічного руху.** *У чому ж вона полягає?*

Вибране тіло буде рухатись по-різному відносно інших тіл: людина, яка їде в потязі, відносно Землі рухається, а відносно вагону потяга перебуває у стані спокою. Літаки, що летять групою, перебувають один відносно одного у стані спокою, відносно Землі рухаються з великою швидкістю, наприклад $900\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$, а відносно такої ж групи літаків, що рухаються у зворотному напрямі, вони рухаються зі швидкістю $1800\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$.

Будь-який механічний рух і, зокрема, стан спокою тіла є відносними.

Відповідаючи на запитання, рухається тіло чи перебуває у стані спокою, необхідно вказати, відносно яких тіл розглядається рух цього тіла. Безглуздо і неможливо розглядати якийсь «абсолютний рух» тіла або «рух взагалі» безвідносно до певного тіла відліку.



Мал. 4

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. У чому полягає відносність механічного руху?
2. Як визначити, рухається тіло чи перебуває у стані спокою?
3. Поясніть, хто перебуває в русі: пасажир, який їде в автобусі, чи людина, що стоїть на автобусній зупинці?
4. Що насправді рухається: Земля навколо Сонця чи Сонце навколо Землі?

§ 4 ВЕКТОРНІ І СКАЛЯРНІ ВЕЛИЧИНИ. ДІЇ НАД ВЕКТОРАМИ

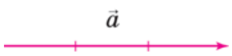
Фізичні величини, що характеризують фізичну систему і її стани (наприклад взаємодію і механічний рух тіл) відображаються відповідними математичними об'єктами. Наприклад, щоб задати масу, температуру, об'єм тіла, треба визначити тільки їх числові значення у певних одиницях. Щоб задати силу або швидкість, треба обов'язково знати, крім числового значення, ще і їхній напрям у просторі, від чого залежить перебіг самого явища.

Фізичні величини, які виражають тільки числом, називають **скалярними**, або **скалярами.**

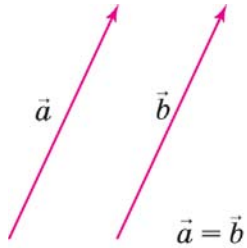
Математичні дії зі скалярними величинами визначаються відомими вам правилами арифметики.

Фізичні величини, які характеризують числовим значенням, напрямом і геометричним способом додавання, називають **векторними**, або **векторами.**

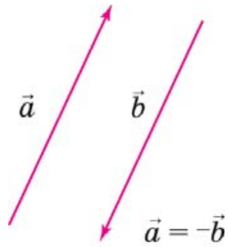
Числове значення вектора називають модулем вектора. Модуль вектора — величина скалярна и додатна. Векторну фізичну величину зображають стрілкою, довжина якої у вибраному масштабі дорівнює модулю вектора, а напрям збігається з напрямом фізичної величини (мал. 5). Якщо модуль вектора дорівнює нулю, то вектор зображається точкою.



Мал. 5



Мал. 6



Мал. 7

Позначають вектори напівжирними літерами, наприклад ***a***, ***b***, ***c***, або світлими літерами зі стрілками над ними: $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$.

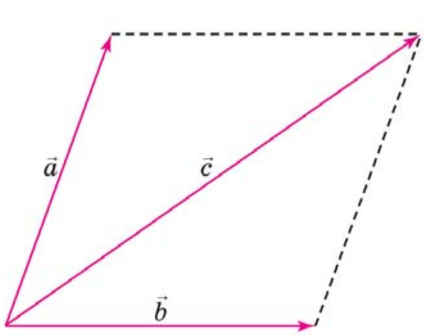
Модуль вектора позначають або за допомогою математичного знака модуля $|\vec{a}|$, $|\vec{b}|$, $|\vec{c}|$, або просто світлими літерами a, b, c. Надалі будемо користуватися цим останнім позначенням модуля вектора.

Вектори $\vec{a}$ і $\vec{b}$ є рівними, якщо вони мають однакові модулі і напрями (мал. 6). Вектори можна множити на скаляр, якщо помножити вектор $\vec{a}$ на скаляр k, то отримаємо вектор добутку $\vec{p}$ такого самого напряму, як у вектора $\vec{a}$, з модулем, що дорівнює добутку модуля вектора $\vec{a}$ на модуль скаляра k: $\vec{p} = k\vec{a}$. Якщо вектор $\vec{a}$ помножити на (-1), то його модуль залишиться таким самим, а напрям зміниться на протилежний. Якщо вектори $\vec{a}$ і $\vec{b}$ рівні за модулем і мають протилежні напрями, то їх називають **протилежними** і пишуть $\vec{a} = -\vec{b}$ (мал. 7).

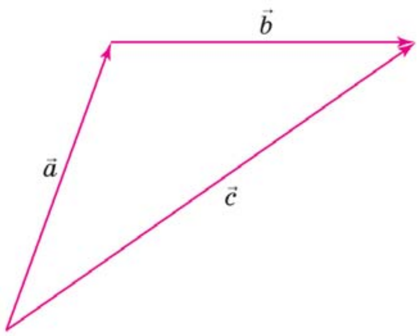
Математичні вектори можна переносити паралельно самим собі, з фізичними векторами це можна робити не завжди (наприклад, у задачах на рівновагу, коли дія важеля залежить від точки прикладання вектора сили).

Вектори можна додавати за правилами *геометричного*, або *векторного*, *додавання*. Якщо додати вектори $\vec{a}$ і $\vec{b}$, то отримаємо вектор їхньої суми $\vec{c}$, таку дію записують у вигляді векторної рівності: $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$. Щоб визначити напрям і довжину (модуль) вектора суми $\vec{c}$ користуються такими правилами.

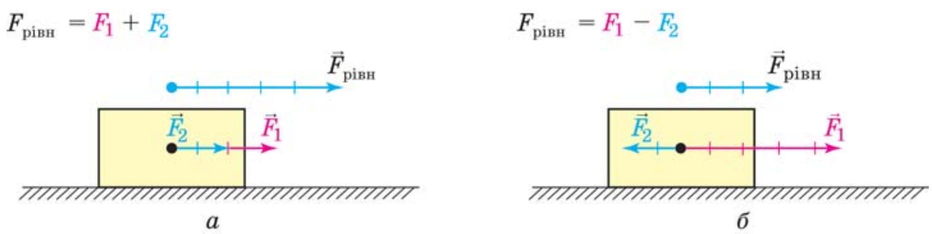
Правило паралелограма. Якщо вектори $\vec{a}$ і $\vec{b}$ мають спільний початок, то для їх додавання треба побудувати на цих векторах (як на сторонах) паралелограм (мал. 8), діагональ якого буде вектором суми векторів $\vec{a}$ і $\vec{b}$. Якщо в цьому паралелограмі від кінця вектора $\vec{a}$ до кінця вектора $\vec{b}$ провести другу діагональ, то вона дорівнюватиме вектору різниці векторів $\vec{a} - \vec{b}$ (перевірте це для вправи).



Мал. 8



Мал. 9



Мал. 10

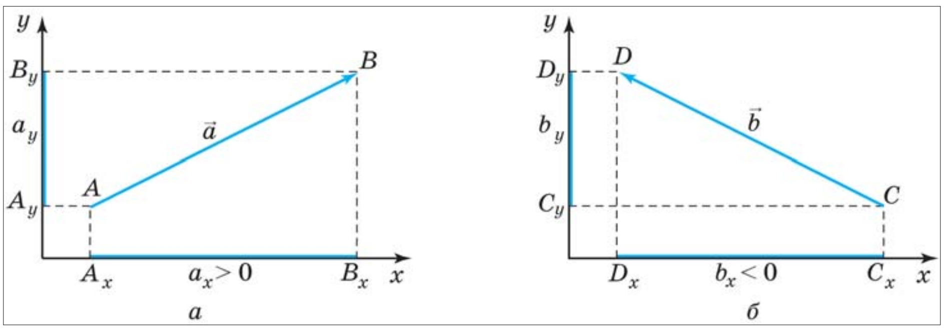
Якщо вектори $\vec{a}$ і $\vec{b}$ не мають спільного початку, то їх можна за допомогою паралельного перенесення привести до спільного початку.

Правило трикутника. Паралельним перенесенням вектора $\vec{b}$ сумістити його початок з кінцем вектора $\vec{a}$, тоді вектором суми $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$ буде вектор, що з'єднує початок вектора $\vec{a}$ і кінець вектора $\vec{b}$ (мал. 9). Правило трикутника еквівалентне правилу паралелограма, але його зручно застосовувати, коли треба додавати декілька векторів. Також за цим правилом неважко отримати різницю векторів $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$. Перепишемо цю рівність у вигляді $\vec{c} = \vec{a} + (-\vec{b})$, бачимо, що віднімання вектора еквівалентне додаванню протилежного йому вектора $(-\vec{b})$, що неважко зробити.

Коли вектори напрямлені вздовж однієї прямої або паралельні, їх називають **колінеарними**. Колінеарні вектори можуть бути напрямлені в один бік або в протилежні боки. Ви стикалися з обома випадками у 8 класі, коли визначали рівнодійну сил, прикладених до тіла, які діяли вздовж однієї прямої (мал. 10, *а*, *б*).

Колінеарні вектори додаються так само, як і **неколінеарні**, які ми розглядали вище. Задача у цьому разі значно спрощується, результат вам добре відомий: за модулем результуючий вектор дорівнює або арифметичній сумі (коли вектори напрямлені в один бік), або арифметичній різниці (коли вектори напрямлені протилежно) модулей векторів, що додаються. Результуючий вектор у першому випадку так само напрямлений, як і складові, у другому — у бік більшого за модулем вектора.

Рівняння механіки, як побачимо далі, мають зручну і наочну векторну форму, але під час обчислень ми оперуємо числами (скалярами), тому під час розв'язання задач виникає потреба перейти від векторного до скалярного запису. Для цього ознайомимося з поняттям проекції вектора на координатну вісь і правилами дій з проекціями векторів.



Мал. 11

Вам добре відомо з геометрії поняття проекції точки на пряму (вісь).

Проекцією точки на пряму (вісь) називають основу перпендикуляра, опущеного з цієї точки на пряму.

Зрозуміло, що оскільки відрізок складається з послідовної і безперервної сукупності точок, то **проекція відрізка** на вісь складатиметься з проекцій усіх його точок на цю вісь, це **буде відрізок на осі, обмежений проекціями початку і кінця даного відрізка**.

На мал. 11, *а*, *б* зображені вектори $\vec{a}$ і $\vec{b}$, що по-різному орієнтовані відносно осей координат. Проекції точок і відрізків позначаються їхніми символами з нижнім індексом осі, проекція на яку розглядається. Наприклад, A_x, C_x — проекції початків векторів $\vec{a}$ і $\vec{b}$ на вісь Ox; B_y, D_y — проекції кінців векторів $\vec{a}$ і $\vec{b}$ на вісь Oy. Визначаючи проекцію вектора на вісь, треба враховувати, що знак проекції залежатиме від орієнтації цього вектора відносно осі.

Проекцію вектора на вибрану вісь вважають додатною, якщо від проекції початку вектора до проекції його кінця треба рухатися у напрямі цієї осі.

Проекцію вектора на вибрану вісь вважають від'ємною, якщо від проекції початку вектора до проекції його кінця треба рухатися у напрямі, протилежному напряму цієї осі.

Відповідно до цих правил, проекція вектора $\vec{a}$ на вісь Ox буде додатною, тобто $a_x > 0$, а проекція вектора $\vec{b}$ на вісь Oy — від'ємною, тобто $b_x < 0$. Обидві проекції цих векторів на вісь будуть додатними, тобто a_x, $b_x > 0$.

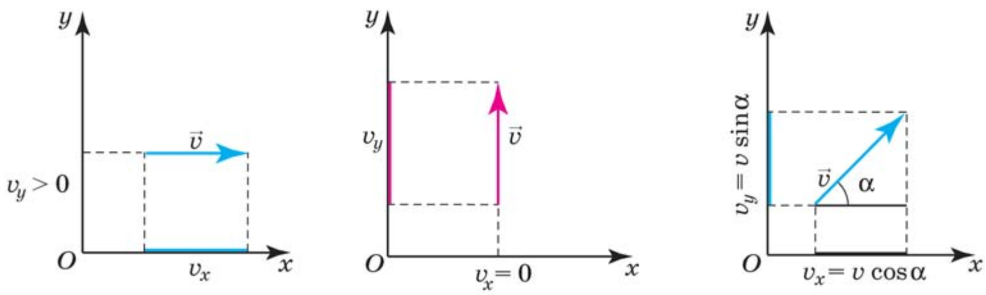
Якщо відомі проекції кількох векторів на певну вісь, то, користуючись наведеними правилами і правилами додавання векторів, неважко визначити проекцію суми векторів на цю вісь.

Проекція вектора суми векторів на певну вісь дорівнює сумі проекцій векторів-доданків на цю вісь.

Якщо $\vec{c} = \vec{a} + \vec{a}$, то $c_x = a_x + b_x$, і $c_y = a_y + b_y$. Перевірте це самостійно.

Ви бачите, що на площині векторному рівнянню відповідають два скалярних рівняння. Значення проекцій векторів залежать від їх розташування відносно системи координат, тому під час розв'язання задач намагаються вибирати напрями координатних осей таким чином, щоб спростити математичні перетворення й обчислення.

На мал. 12 показано різні випадки орієнтації вектора швидкості тіла $\vec{v}$ відносно осей координат. У загальному випадку вектор $\vec{v}$ напрямлений під кутом α до осі Ox (мал. 12, *в*) і його проекції визначатимуться за формулами тригонометрії: $v_x = v \cos \alpha$ і $v_y = v \sin \alpha$. Якщо вектор $\vec{v}$ напрямлений паралельно осі Ox, то, як видно з мал. 12, *а*, модулі вектора і його проекції збігаються. При перпендикулярному розташуванні вектора $\vec{v}$ відносно осі



Мал. 12

Ox (мал. 12, *б*) проекції його початку і кінця на цю вісь збігаються і модуль проекції дорівнює нулю.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Чим відрізняються векторні величини від скалярних?
2. Наведіть приклади векторних і скалярних величин.
3. За якими правилами додаються вектори?
4. Як знаходяться проекції векторів на координатні осі?

Задачі та вправи

Р о з в' я з у є м о р а з о м

1. В яких з наведених нижче прикладів досліджуване тіло можна вважати матеріальною точкою: а) обчислюють тиск трактора на ґрунт; б) визначають висоту підйому ракети; в) розраховують роботу, виконану під час піднімання залізобетонної плити перекриття відомої маси на задану висоту; г) обчислюють масу сталевої кульки, користуючись мензуркою?

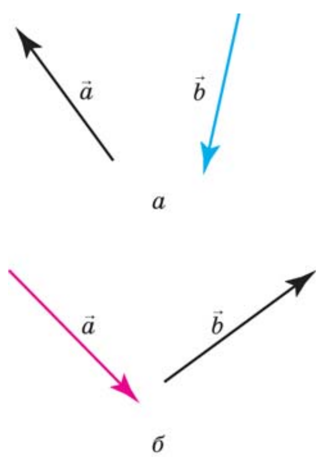
В і д п о в і д ь: у випадках «б» і «в».

2. Коли літак летить над хмарами, то пасажирам іноді здається, що літак падає вниз на хмари, чого насправді немає. Чим це пояснити?

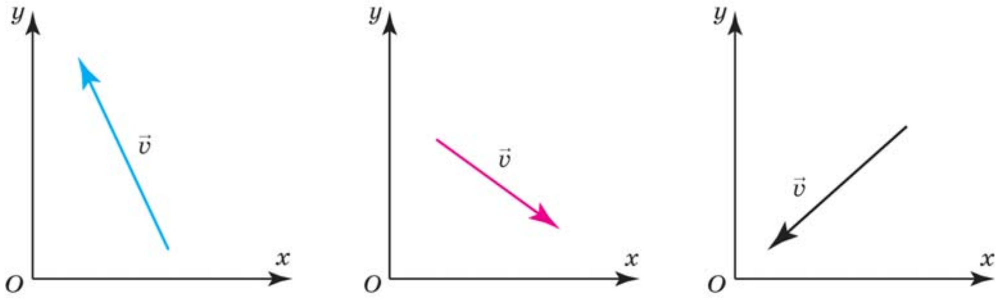
В і д п о в і д ь: насправді хмари внаслідок конвекції піднімаються вгору і здається, ніби літак падає вниз.

Рівень А

1. Які рухи є рівномірними, а які — нерівномірними: а) рух літака на зльоті; б) спускання на ескалаторі метрополітену; в) рух потяга при наближенні до станції?
2. Яким буде рух колеса автомобіля, коли за ним спостерігатиме людина, що сидить у цьому автомобілі біля вікна?
3. Наведіть приклади задач, у яких Місяць: а) можна вважати матеріальною точкою; б) не можна вважати матеріальною точкою.
4. Чи можна вважати Землю матеріальною точкою, визначаючи: а) відстань від Землі до Сонця; б) шлях, пройдений Землею по орбіті навколо Сонця за місяць; в) довжину екватора; г) швидкість руху точки екватора під час добового обертання Землі навколо осі; ґ) швидкість руху Землі по орбіті навколо Сонця?
5. Чи може людина, яка перебуває на рухомому ескалаторі, бути в стані спокою у системі відліку, пов'язаній із Землею?
6. Додайте вектори за правилами трикутника і паралелограма (мал. 13, *а*, *б*).



Мал. 13



Мал. 14

Рівень Б

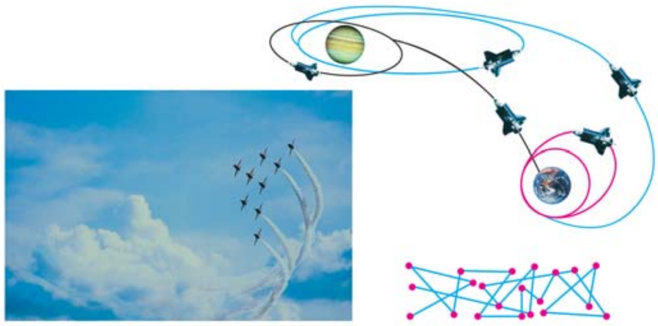
7. Велосипедист, що рухається по дорозі, крутить педалі. Який при цьому рух педалей — поступальний чи обертальний?
8. Чи можна вважати матеріальною точкою снаряд під час розрахунку: а) дальності польоту снаряда; б) форми снаряда, яка забезпечує зменшення опору повітря?
9. Чи можна вважати матеріальною точкою залізничний потяг довжиною приблизно 1 км під час розрахунку шляху, пройденого за кілька секунд?
10. Чому в літаку під час польоту, дивлячись в ілюмінатор на безхмарне небо, ми не відчуваємо, що літак летить?
11. Швидкість штормового вітру 30 $\frac{м}{с}$, а швидкість руху автомобіля досягає 150 $\frac{км}{год}$. Чи може автомобіль рухатися так, щоб перебувати у спокої відносно повітря?
12. Швидкість руху велосипедиста 36 $\frac{км}{год}$, а швидкість вітру 4 $\frac{м}{с}$. Яку швидкість має вітер у системі відліку, пов'язаній з велосипедистом, коли: а) вітер зустрічний; б) вітер попутний?
13. Знайдіть проекції векторів на координатні осі (мал. 14).

§ 5 ТРАЄКТОРІЯ РУХУ. ШЛЯХ І ПЕРЕМІЩЕННЯ

Матеріальна точка під час механічного руху з часом послідовно змінює своє положення у просторі, кожному з яких відповідають значення координат у заданій системі відліку. Неперервна сукупність точок, що визначаються цими координатами, утворює у просторі уявну лінію-траєкторію, вздовж якої рухалося тіло.

Траєкторією руху точки називається уявна лінія, яку описує тіло під час руху.

Траєкторія — це слід, який залишає тіло під час свого руху, найчастіше — невидимий, інколи — видимий (слід від велосипедних коліс на сухому асфальті після подолання калюжі), інколи — заздалегідь заданий (залізничні або трамвайні рейки). За формою траєкторії механічні рухи бувають **прямолінійними** (траєкторія — пряма лінія) і **криволінійними**, коли тіло рухається вздовж довільної кривої (мал. 15). За траєкторією легко



Мал. 15

визначити **шлях**, пройдений тілом під час руху, — досить виміряти довжину траєкторії.

Шлях — це довжина траєкторії, яку описало рухоме тіло (матеріальна точка) за певний інтервал часу.

Шлях є скалярною фізичною величиною, оскільки не має визначеного напряму і характеризується лише значенням. Шлях позначають латинською літерою l. Одиницею шляху в СІ є **один метр (1 м)**.

На практиці знання шляху, який пройшло рухоме тіло, дає змогу визначити, наприклад, час і кількість пального, що потрібні для його подолання, але цього не досить для визначення положення тіла наприкінці руху. Отже, це можна зробити, якщо знати напрями, у яких перебувало тіло на початку і наприкінці руху, а також відстані до нього від тіла відліку в ці моменти. Знаємо, що число і напрям характеризують вектор, отже, ми прийшли до доцільності **векторного опису** механічного руху. Переваги такого опису полягають в його математичній наочності, крім того, такий спосіб задання положення тіла не залежить від орієнтації системи координат у просторі.

На мал. 16 точка A з координатами x, y відповідає положенню рухомої матеріальної точки на площині, а напрямлений відрізок $\vec{r}$, що з'єднує початок координат і точку A, визначає відстань матеріальної точки від тіла відліку і напрям на неї.

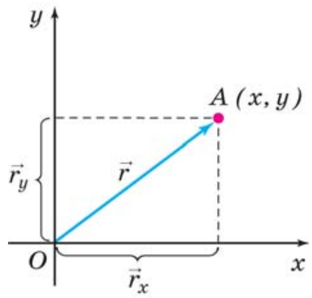
Вектор, проведений з початку системи відліку в дану точку, називають **радіус-вектором** цієї точки.

Такий векторний спосіб задання місцеположення точки у просторі відповідає наведеному раніше прикладу про визначення положення літака радіолокатором (мал. 3).

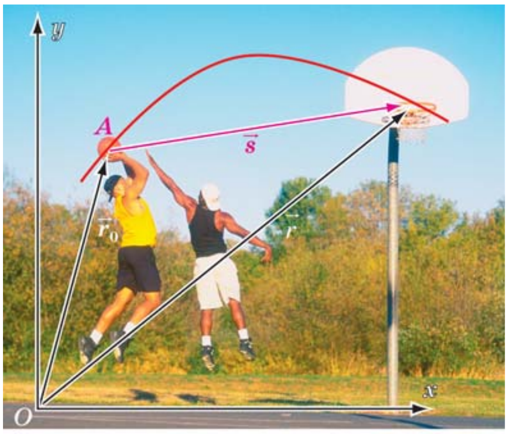
Якщо з кінця радіус-вектора опустити перпендикуляри на осі координат, то можна визначити проекції радіус-вектора $\vec{r}$ на ці осі: r_x — проекція радіус-вектора $\vec{r}$ на вісь Ox, r_y — проекція радіус-вектора $\vec{r}$ на вісь Oy. На мал. 16 добре видно, що знайдені проекції збігаються з координатами точки A:

$$r_x = x,\ r_y = y.$$

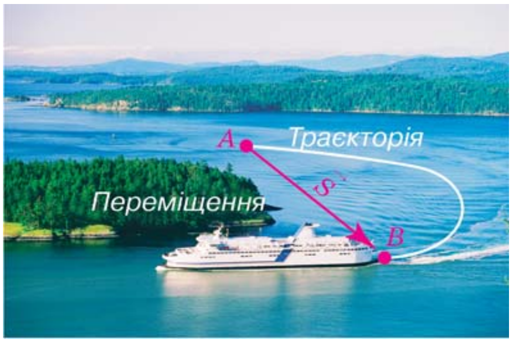
Якщо точка A рухається певною траєкторією, то довжина і напрям вектора $\vec{r}$ будуть відповідно



Мал. 16



Мал. 17



Мал. 18

змінюватися. На мал. 17 $\vec{r}_0$ — це радіус-вектор матеріальної точки в початковий момент руху, а $\vec{r}$ — радіус-вектор цієї точки у кінцевий момент руху, він показує, де перебуватиме тіло через час руху t.

Тоді, щоб визначити **зміну** в положенні тіла за час руху, треба, як ви вже знаєте, знайти різницю між векторами $\vec{r}$ і $\vec{r}_0$ за правилом трикутника. Це буде вектор $\vec{s}$, що з'єднує кінці цих векторів, він напрямлений до кінця вектора $\vec{r}$:

$$\vec{r} - \vec{r}_0 = \Delta\vec{r} = \vec{s}.$$

Вектор $\vec{s}$, проведений з початкового положення матеріальної точки до її кінцевого положення, називають **переміщенням** цієї точки за певний час.

Переміщення — дуже важлива фізична величина, **що показує, на яку відстань і в якому напрямі змістилося тіло за даний час**. Знаючи, як переміщення змінюється з часом, можна розв'язати основну задачу для будь-якого механічного руху. Як випливає з мал. 17, якщо відомі радіус-вектор початкового положення тіла $\vec{r}_0$ і переміщення тіла $\vec{s}$ за час t, то радіус-вектор $\vec{r}$ кінцевого положення тіла можна визначити векторним додаванням цих векторів:

$$\vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{s}.$$

Отриманий вираз називають **рівнянням** будь-якого механічного **руху** у векторній формі, тут поточний радіус-вектор і переміщення — функції часу: $\vec{r} = \vec{r}(t)$ і $\vec{s} = \vec{s}(t)$. Цей загальний векторний розв'язок основної задачі механіки дуже наочний, але їм не можна скористатися для безпосереднього обчислення координат тіла у будь-який момент часу. Для цього його треба **переписати у проекціях на осі координат**, оскільки проекція вектора — це скаляр. Вираз у проекціях на координатну вісь буде мати такий самий вигляд, як і векторний вираз, але замість векторів треба записати відповідні проекції на осі координат. На мал. 17 маємо дві осі координат, тож наша векторна рівність розпадається на дві скалярні рівності (два рівняння руху) — для осей Ox і Oy:

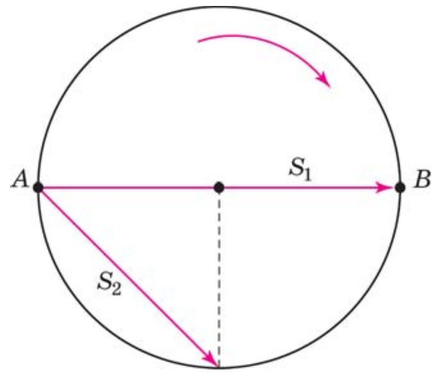
$$x = x_0 + s_x,$$
$$y = y_0 + s_y,$$

Тут x_0, y_0, x, y, — проекції радіус-векторів $\vec{r}$ і $\vec{r}_0$, які дорівнюють відповідним координатам їх кінців, s_x і s_y — проекції переміщення відповідно на осі Ox і Oy. Якщо початкові координати x_0, y_0 перенести у ліву частину цих рівностей, то одержимо вирази для проекцій преміщення:

$$s_x = x - x_0 = \Delta x,$$
$$s_y = y - y_0 = \Delta y.$$

Проекції переміщення $\vec{s}$ на осі координат *Ox* і *Oy* дорівнюють змінам координат тіла *x* і *y*.

Одержані скалярні вирази вже дають змогу, знаючи початкові координати точки і залежність проекцій переміщення від часу, обчислювати координати точки для будь-якого моменту. Надалі якраз і будемо вивчати залежності проекцій переміщення від часу для різних видів механічного руху, тобто знаходити рівняння руху для конкретних видів руху.



Мал. 19

На мал. 18 показано криволінійну траєкто- рію, яку тіло описало, рухаючись із точки A в точку B, і відповідне переміщення. Видно, що довжина (модуль) переміщення у загальному випадку менша за пройдений тілом шлях за певний інтервал часу. Тільки якщо, тіло рухається вздовж прямої і весь час в один бік, то пройдений ним шлях дорівнює модулю переміщення.

Під час руху шлях, пройдений тілом, з часом може тільки зростати, а переміщення, залежно від виду руху, з часом може зростати, зменшуватися і, навіть, ставати нулем. Це буває, коли тіло, рухаючись, повертається у точку, з якої починало рух. Прикладом може бути рух тіла по колу (мал. 19). Як ми бачимо, під час руху тіла із точки A в точку B за годинниковою стрілкою модуль його переміщення напочатку збільшується, поки не набуде максимального значення (діаметра кола), а потім зменшується і набуває значення нуля у точці початку руху.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Що таке траєкторія руху?
2. Чи залежить траєкторія руху тіла від системи відліку?
3. Що таке пройдений шлях?
4. Що називають радіус-вектором точки?
5. Що називають переміщенням тіла?
6. Як за переміщенням визначити положення тіла під час руху?
7. Чим відрізняється переміщення від пройденого шляху?
8. Чому дорівнює переміщення годинникової стрілки за добу? за 2 год?
9. Коли пройдений шлях і переміщення будуть однаковими? Наведіть приклади.
10. Які переваги векторного опису механічного руху?

§ 6 РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. ШВИДКІСТЬ РУХУ ТІЛА

Найпрстішим є рівномірний рух тіла вздовж прямої в одному напрямі. З курсу фізики 8 класу ви знаєте, що **прямолінійним рівномірним рухом на-**

зивають такий рух уздовж прямої, під час якого тіло за будь-які однакові інтервали часу проходить однакові шляхи. Дамо інше визначення такого руху і з’ясуємо певні відмінності.

Прямолінійним рівномірним рухом називають рух уздовж прямої, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення.

Обидва визначення прямолінійного рівномірного руху значною мірою еквівалентні щодо його ознак, але у другому визначенні фігурує векторна величина *переміщення*, на відміну від скалярного *шляху*, тобто у ньому враховано напрям руху тіла і тому нове визначення більш змістовне, оскільки дає змогу повніше і детальніше описати рух.

Дуже важливими у визначеннях прямолінійного рівномірного руху є те, що рівність шляхів, або переміщень розглядається за ***будь-які*** рівні інтервали часу. Якби цієї умови не було, то можна було б підібрати для прикладу такі рухи, для яких ознака рівності шляхів виконувалася б для вибраних рівних інтервалів часу, а протягом цих окремих інтервалів умова рівності шляхів-переміщень не виконувалася б. У цьому разі рух безумовно не був би рівномірним, хоча ознака рівномірності формально і виконувалася б. Умова визначення вимагає, щоб рівності переміщень виконувались, наприклад, і для інтервалів 0,01 с, і для інтервалів 1 с, і для всіх довільних, що лежать поза межами цих значень.

Вимога рівності переміщень тіла за будь-які рівні інтервали часу є дуже жорсткою, тому на практиці рівномірні рухи бувають рідко. Проте на прикладі цього найпростішого виду руху можна дослідити більшість характеристик механічного руху і використати їх для вивчення складніших рухів. Значною мірою прямолінійним і рівномірним рухом можна вважати рух металевої кульки у воді, дощових крапель, парашутиста під куполом парашута, транспортних засобів на окремих ділянках шляху.

Порівнюючи рух різних тіл, користуються такими характеристиками, як *повільно*, *швидко*, які є якісними і відносними. Щоб порівняти різні рухи кількісно, треба порівняти, наприклад, переміщення різних тіл за одиницю часу. Якщо за t одиниць часу здійснено переміщення $\vec{s}$ то відношення $\frac{\vec{s}}{t}$ показує, яке переміщення здійснило тіло за одиницю часу. Це відношення називають **швидкістю руху тіла** і позначають малою латинською літерою v:

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

Швидкість прямолінійного рівномірного руху — це стала векторна величина, яка характеризує переміщення тіла за одиницю часу і визначається відношенням переміщення тіла до інтервалу часу, за який це переміщення відбулося.

Знаючи швидкість руху тіла $\vec{v}$ можна визначити переміщення тіла за будь-який час t:

$$\boxed{\vec{s} = \vec{v}t}.$$

Напрям швидкості рівномірного прямолінійного руху показує напрям руху тіла і збігається з напрямом переміщення тіла.

За одиницю швидкості руху тіла приймають швидкість такого рівномірного руху, під час якого тіло за одиницю часу здійснює пе-