

## 5. ОСНОВНА ЗАДАЧА МЕХАНІКИ. МЕХАНІЧНИЙ РУХ. СИСТЕМИ КООРДИНАТ І СИСТЕМИ ВІДЛІКУ

71 Товарний потяг їде зі швидкістю 50 км/год. Позаду нього, на відстані 1 км, з-за повороту з'являється експрес, що проходить за 1 годину 70 км. Машиніст експреса, помітивши попереду товарний потяг, починає гальмувати. При цьому необхідно не менш ніж 2 км, щоб експрес зупинився. Чи станеться катастрофа? Чому потрібні 2 км, щоб зупинити експрес? На ці та багато інших запитань відповідає розділ фізики, який називається «Механіка». А от знайомство з механікою традиційно починають з кінематики.

### 1 Що таке механічний рух

Ви напевне знаєте вислів давньогрецького філософа *Геракліта Ефеського* (кін. VI — поч. V ст. до н. е.): «Усе тече, усе змінюється». Інакше кажучи, все у світі перебуває в русі. Найпростішою з форм руху є *механічний рух*.

**Механічний рух** — зміна з часом положення тіла або частин тіла у просторі відносно інших тіл.

Нагадаємо, що Всесвіт за розмірами матеріальних тіл у ньому ділять на три рівні: *мікросвіт*, *макросвіт* і *мегасвіт*. До мікросвіту належать атоми, молекули, а також частинки, які їх складають; до макросвіту — планети, фізичні тіла, що оточують людину, сама людина; до мегасвіту — зорі, галактики та інші величезні космічні об'єкти. *Механічний рух* — це рух об'єктів макро- та мегасвіту.

Механічний рух умовно ділять на два найпростіші види: *поступальний рух* і *обертальний рух*.

**Поступальний рух** — це такий рух тіла, при якому всі точки тіла рухаються однаково.

Поступально рухаються сходи ескалатора метро, курсор на моніторі комп'ютера, потяг на прямолінійній ділянці шляху тощо. *Під час поступального руху будь-яка пряма лінія, уявно проведена в тілі, залишається паралельною сама собі* (рис. 5.1).

**Обертальний рух, або обертання**, — це такий рух тіла, коли всі точки тіла рухаються по колах, центри яких розташовані на одній прямій лінії — на осі обертання.

Добове обертання Землі, обертання дзиґи, обертання Землі навколо Сонця — усе це приклади обертального руху.



**Рис. 5.1.** Рух кузова автомобіля — поступальний; рух його коліс не є поступальним, цей рух — сума обертального та поступального рухів

Якщо перевернути велосипед колесами догори й розкрутити їх, то одержимо обертальний рух коліс; при цьому віссю обертання кожного колеса буде вісь, на якій воно прикріплене до корпусу велосипеда. А от під час звичайного руху велосипеда точки на його колесах здійснюють складніший рух, який являє собою суму поступального та обертального рухів. Слід зазначити, що, як правило, рух будь-якого тіла — це сума поступального та обертального рухів.

### 2 Що вивчає механіка

**Механіка** — наука про механічний рух матеріальних тіл і взаємодії, які відбуваються при цьому між тілами.

**Основна задача механіки** — пізнати закони механічного руху матеріальних тіл, взаємодій між тілами; передбачати поведінку тіл на основі законів механіки; визначати механічний стан тіла (координати та швидкість руху) у будь-який момент часу.

Наприклад, блискучим досягненням механіки Ньютона було пізнання законів руху планет Сонячної системи, визначення часу сонячних затемнень у майбутньому та минулому.

Механіка у своєму складі має кілька розділів, зокрема *кінематику*.

**Кінематика** (від грец. *kinematos* — рух) — розділ механіки, що вивчає рух тіл і при цьому не розглядає причини, якими цей рух викликаний.

Інакше кажучи, кінематика не відповідає на запитання на зразок: «Чому потрібні саме 2 км, щоб зупинити експрес?» — вона займається *тільки описанням руху*. А от *причини зміни руху тіл* розглядають у розділі механіки, який називається *динамікою*.

### 3 Чому без вибору системи відліку неможливо розв'язати основну задачу механіки

Зверніть увагу: будь-який механічний рух є відносним. У природі немає нерухомих тіл, а отже, немає якогось абсолютно «зручного» тіла, відносно якого можна розглядати рух решти тіл. Тому залежно від поставленого завдання спостерігач обирає певне тіло й, умовно вважаючи його нерухомим, розглядає рух решти тіл саме відносно обраного тіла. Таке тіло називають тілом відліку.

**Тіло відліку** — це тіло, яке в умовах даної задачі вважається нерухомим і відносно якого вивчають рух усіх інших тіл, що розглядаються в цій задачі.

Взагалі за тіло відліку можна взяти будь-яке тіло, однак слід виходити з міркувань зручності. Так, якщо розглядається рух потяга від пункту А до пункту В, то за тіло відліку доцільно взяти тіло, нерухоме відносно Землі, наприклад залізничну станцію. А от якщо розглядається рух пасажирів в цьому потязі, то за тіло відліку зручно обрати полицю вагона або будь-яке інше тіло, нерухоме відносно потяга.



Механічний рух відбувається в просторі та часі, тому для описування механічного руху насамперед необхідно вміти визначати положення тіла в просторі. Для цього з тілом відліку пов'язують *систему координат*.

Зручно використовувати прямокутну (декартову) систему координат, яка задається за допомогою *трьох* взаємно перпендикулярних *координатних осей* ( $OX$ ,  $OY$  і  $OZ$ )\*, що перетинаються в одній точці — у *початку відліку*. По осях відкладають відстані в обраній шкалі довжин, наприклад у метрах. Значення відстаней, відлічуваних від початку відліку в напрямку осі координат, вважаються *додатними*, у протилежному напрямку — *від'ємними*. В обраній системі координат положення точки у просторі задається *трьома* координатами ( $x$ ;  $y$ ;  $z$ ) або *радіус-вектором* ( $\vec{r}$ ) (рис. 5.2).

**Радіус-вектор** — вектор, який сполучає початок відліку з положенням точки в довільний момент часу.

Скажімо, щоб задати положення підводного човна (рис. 5.3), спочатку потрібно обрати тіло відліку (наприклад, будівля порту), а потім із тілом відліку зв'язати осі координат ( $OX$ ,  $OY$  і  $OZ$ ), на яких задати одиничні відрізки (200 м). Відповідно положення точки  $A$  на підводному човні буде задане трьома координатами:  $x=600$  м,  $y=500$  м,  $z=-700$  м.

На практиці часто доводиться мати справу з рухами, які відбуваються тільки в одній площині (рух човна по поверхні води, біг спортсмена по колу стадіону) або тільки вздовж однієї прямої (рухи автомобіля або пішохода на прямій ділянці дороги, каменя, що падає вертикально вниз). У таких випадках для опису положення тіла досить використати відповідно *двовимірну* (рис. 5.4) або *одновимірну* (рис. 5.5) системи координат.

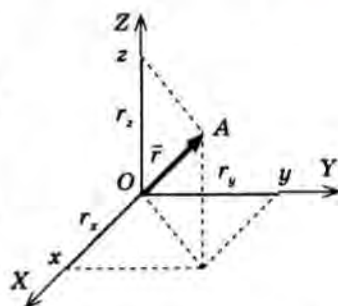


Рис. 5.2. Положення точки в просторі задається трьома координатами ( $x$ ;  $y$ ;  $z$ ) або радіус-вектором ( $\vec{r}$ ). Проекції радіус-вектора на осі координат збігаються з координатами точки:  $r_x = x$ ;  $r_y = y$ ;  $r_z = z$

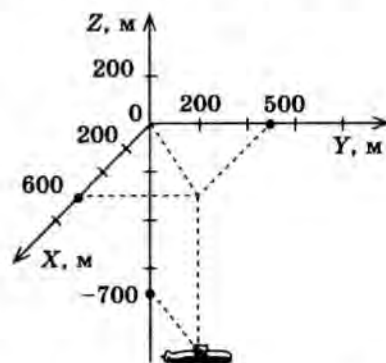


Рис. 5.3. Положення у просторі підводного човна можна задати трьома координатами:  $x=600$  м,  $y=500$  м,  $z=-700$  м

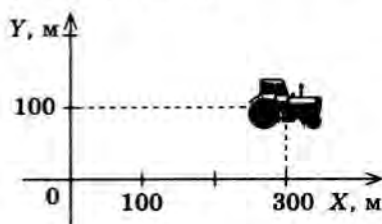


Рис. 5.4. Щоб визначити положення трактора в полі, досить знати тільки дві координати:  $x=300$  м,  $y=100$  м

\* Напрямок кожної осі пов'язують з яким-небудь тілом, тому тіл, відносно яких розглядається рух, має бути чотири (три тіла, пов'язані з осями координат, і тіло відліку). Саме чотири тіла задають систему координат.



Рис. 5.5. Для визначення положення пішохода й положення автомобіля на прямолінійній ділянці дороги досить однієї координати:  $x_{\text{п}} = -2$  км;  $x_{\text{А}} = 8$  км

При цьому, щоб визначити положення тіла в будь-який момент часу, недостатньо задати систему координат і пов'язати її з тілом відліку, — необхідний також прилад для відлічування часу.

Тіло відліку, пов'язана з ним система координат і прилад для відлічування часу утворюють **систему відліку**.

Зверніть увагу: судити про механічний рух без зазначення системи відліку (*далі* — *СВ*) неможливо. Дуже часто СВ уже визначено умовою задачі. Наведемо приклад найпростішої задачі про механічний рух.

**Задача.** Автомобіль рухається прямолінійним шосе від пункту А до пункту В, відстань між якими дорівнює 100 км. Де перебуватиме автомобіль через 1 год, якщо відомо, що всю відстань він подолає за 2 год? Швидкість руху автомобіля вважати постійною.

У задачі не визначено тіло відліку, але очевидно, що це тіло на поверхні Землі. Тобто тіло на поверхні Землі — це зручне для даного випадку умовно нерухоме тіло, яке й беруть за тіло відліку. Автомобіль рухається прямолінійним шосе, отже, у задачі слід використати одновимірну систему координат. Вісь координат доцільно спрямувати вздовж прямої АВ, а початок відліку сумістити з точкою А. Одиничний відрізок уже задано — 1 км. Також у задачі визначено одиницю часу (1 год) і момент початку відліку часу (момент, коли автомобіль виїхав із пункту А).

Розв'язуючи задачу, легко визначимо, що через 1 год автомобіль перебуватиме в точці, координата якої  $x = 50$  км. Також можна визначити положення автомобіля й у будь-який інший момент часу його руху від пункту А до пункту В, іншими словами — розв'язати основну задачу механіки.

#### 4 Які задачі розв'язує механіка в наш час

Механіка вивчає закони, яким підпорядковуються різні види рухів, — від руху планет і космічних кораблів до руху газу та нафти трубопроводами. Усе це є дуже важливим для практичної діяльності людей, тому механіка, що є найдавнішим розділом фізики, і нині інтенсивно розвивається. Наведемо кілька прикладів.

На початку минулого століття потужний імпульс розвитку механіки дала авіація: було потрібно визначити, якою має бути форма крила літака, щоб піднімальна сила літака була найбільшою, яким повинен бути корпус, щоб на надзвукових швидкостях опір його руху був найменшим, і т. д.

У середині ХХ ст. виникла низка задач, пов'язаних із космічними польотами, наприклад розрахунок траєкторії руху ракети.

З кінця ХХ ст. велику увагу приділяють механіці нелінійних коливань — коливань великої амплітуди (нелінійних коливань, наприклад, зазнає земна поверхня під час землетрусів у 6–7 балів за шкалою



Ріхтера). Дослідженнями нелінійних коливань займалися українські фізики *Микола Миколайович Крилов*, *Миколай Митрофанович Боголюбов*, *Юрій Олексійович Митропольський*.

### Підбиваємо підсумки

Механіка — наука про рух матеріальних тіл у мегахсвіті й макросвіті та про взаємодії, які відбуваються при цьому між тілами.

Основна задача механіки — пізнати закони руху матеріальних тіл, взаємодій між ними й передбачити їхню поведінку на основі законів механіки; визначити механічний стан тіла у будь-який момент часу.

Механічний рух — зміна з часом положення тіла або частин тіла у просторі відносно інших тіл. Найпростіші види руху — поступальний і обертальний. У ході поступального руху всі точки тіла рухаються по паралельних один одному відрізках прямих ліній. У ході обертального руху точки тіла рухаються по колах, центри яких розташовані на осі обертання тіла. На практиці тіло зазвичай здійснює обидва види рухів одночасно.

Будь-який рух відбувається як у просторі, так і в часі. Тіло відліку, пов'язана з ним система координат і прилад для відлічування часу утворюють систему відліку (СВ). Розв'язуючи будь-яку задачу про механічний рух, обов'язково слід обрати СВ.

### Контрольні запитання

1. Дайте визначення механічного руху.
2. Наведіть приклади механічних рухів.
3. Який рух називають поступальним? обертальним? Наведіть приклади.
4. Що вивчає механіка?
5. У чому полягає основна задача механіки?
6. Що таке тіло відліку?
7. Що таке система координат?
8. Які види систем координат ви знаєте?
9. Наведіть приклад, коли використовують тривимірну систему координат; двовимірну; одновимірну.
10. Що таке система відліку (СВ)? Навіщо в ній потрібен годинник?
11. Що означає обрати СВ?
12. Наведіть приклади задач, які розв'язує сучасна механіка.

### Вправа № 3

1. Чи є поступальним рух вашого рюкзака, коли ви піднімаєте його з підлоги і ставите (не обертаючи) на парту? коли ви розмахуєте ним, спускаючись сходами?
2. Відносно якого тіла відліку розглядають рух, коли кажуть: а) швидкість течії річки 3 м/с; б) повз автомобіль пролітають придорожні стовпи; в) сонце вранці встає на сході, а ввечері сідає на заході; г) капелюх нерухомо лежить на поверхні річки?
3. Якою системою координат (одновимірною, двовимірною чи тривимірною) ви скористаєтесь, розглядаючи такі рухи: політ бджоли; катання на ковзанах; спуск із гори на лижах; падіння каменя; рух ліфта; біг на 60 м; гра у футбол?
4. Дано точки з координатами:  $A(-10)$ ;  $B(100)$ ;  $C(-5; 6)$ ;  $D(0,3; 0,8)$ ;  $E(4; 6; 8)$ . Накресліть у зошиті відповідні системи координат і зобразіть на них зазначені точки.
5. Уявіть, що вам електронною поштою призначили зустріч четверо друзів. Один написав: «Зустрінемося о 15.00 за 100 метрів від кав'ярні "Апельсин"»; другий: «Зустрінемося о 15.00 за 100 метрів від кав'ярні "Апельсин" у напрямку до найближчої станції метро»; третій: «Зустрінемося о 15.00»; четвертий: «Зустрінемося за 100 метрів від кав'ярні "Апельсин" у напрямку до найближчої станції метро». З ким із ваших друзів зустріч відбудеться напевно? Чому з іншими вона навряд чи відбудеться?



### Експериментальне завдання

«Створіть» у класній кімнаті декартову систему координат (за площину  $XOY$  візьміть площину підлоги, за площину  $YOZ$  — стіну, на якій висить класна дошка, за площину  $XOZ$  — стіну з вікнами). Визначте в цій системі координат розташування декількох тіл у класній кімнаті, наприклад вашого стільця, журналу на столі вчителя, ручки дверей тощо.



Я. С. Яцків

### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Головна астрономічна обсерваторія НАН України (ГАО) (Київ) — всесвітньо відома наукова установа, де здійснюють наукові дослідження з космічної геодинаміки, фізики Сонця й тіл Сонячної системи, еволюції зір і галактик, фізики космічної плазми та ін.

Вирішальне значення як для наукових спостережень, так і для практичного застосування має створення систем відліку в просторі та часі, наприклад систем GPS (Global Positioning System) чи ГЛОНАСС (глобальна навігаційна супутникова система). ГАО є провідним науковим центром із дослідження проблем координатно-часового забезпечення об'єктів науки

й економіки України. Науковцями ГАО виконано цикл робіт із вивчення вільного та вимушеного рухів полюсів Землі, з визначення координат полюсів Землі за даними майже сторічних астрономічних спостережень. Цей ряд координат полюсів відомий серед науковців світу як «київський ряд».

За пропозицією директора ГАО, президента Української астрономічної асоціації акад. Ярослава Степановича Яцківа (див. фото) установою були задіяні нові технічні засоби спостереження, які визначають параметри обертання Землі, нові підходи до побудови небесної та загальноземної систем координат. Під керівництвом Я. С. Яцківа створено високоточні каталоги слабких зір і джерел космічного радіовипромінювання. Учений брав активну участь у підготовці та виконанні низки космічних програм (ВЕГА, СОПРОГ, ФОБОС, МАРС). За дослідження зміни орієнтації земної осі в тілі Землі та просторі його відзначено престижною міжнародною премією ім. Рене Декарта (2003).