



§ 5. ШВИДКІСТЬ РУХУ. СЕРЕДНЯ І МИТТЄВА ШВИДКОСТІ. ЗАКОНИ ДОДАВАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ І ШВИДКОСТЕЙ



Чи перепливали ви річку зі швидкою течією? Дуже важко перепливати її так, щоб потрапити на протилежний берег прямо навпроти місця запливу. А хтось намагався піднятися ескалатором, що рухається вниз? Теж складно. Набагато швидше піднятися, якщо рухатися в бік руху ескалатора. У кожному з наведених прикладів людина бере участь водночас у двох рухах. Як при цьому розрахувати швидкість її руху, ви дізнаєтесь із цього параграфу. Але спочатку згадаємо, що таке швидкість.

1

Згадуємо рівномірний прямолінійний рух тіла

Найпростіший вид механічного руху — *рівномірний прямолінійний рух*.

Рівномірний прямолінійний рух — це такий механічний рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення.

Із означення рівномірного прямолінійного руху випливає:

- для опису цього руху достатньо скористатись одновимірною системою координат, адже траєкторія руху — пряма;
- відношення переміщення \vec{s} до інтервалу часу t , за який це переміщення відбулося, для такого руху є незмінною величиною, адже за рівні інтервали часу тіло здійснює однакові переміщення.

Векторну фізичну величину, яка дорівнює відношенню переміщення \vec{s} до інтервалу часу t , за який це переміщення відбулося, називають швидкістю рівномірного прямолінійного руху тіла:

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

Напрямок вектора швидкості руху збігається з напрямком переміщення тіла, а модуль і проекцію швидкості визначають за формулами:

$$v = \frac{s}{t} \quad ; \quad v_x = \frac{s_x}{t}$$

Одиниця швидкості руху в СІ — метр за секунду:

$$[v] = 1 \text{ м/с (m/s)}.$$

Із формули для визначення швидкості руху тіла можна знайти переміщення тіла за будь-який інтервал часу:

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

Останню формулу будемо записувати для проекцій: $s_x = v_x t$ або для модулів: $s = vt$. Оскільки в даному випадку швидкість руху тіла не змінюється з часом, то переміщення, яке здійснює тіло, прямо пропорційне часу:

$$s \sim t; s_x \sim t.$$

Для розв'язання основної задачі механіки — визначення механічного стану тіла в будь-який момент часу — запишемо рівняння координати. Оскільки $x = x_0 + s_x$, а $s_x = v_x t$, для рівномірного прямолінійного руху рівняння координати має вигляд:

$$x = x_0 + v_x t,$$

де x_0 — початкова координата; v_x — проекція швидкості*; t — час спостереження.

Для описання руху зручно використовувати графіки (рис. 5.1) — вони так само повно описують рух тіл, як і відповідні формули або словесний опис.

- ❓ Розгляньте рис. 5.1. З якою швидкістю рухається автомобіль? велосипед? Яким буде їх переміщення за 4 с спостереження? На якій відстані один від одного перебуватимуть автомобіль і велосипед через 4 с після початку спостереження?

2 Яку швидкість показує спідометр

Нерівномірний рух характеризується *середньою шляховою швидкістю, середньою векторною швидкістю, миттєвою швидкістю* (див. таблицю на с. 28–29).

* Тут і далі мається на увазі проекція швидкості на вісь, яку зазначено в нижньому індексі.

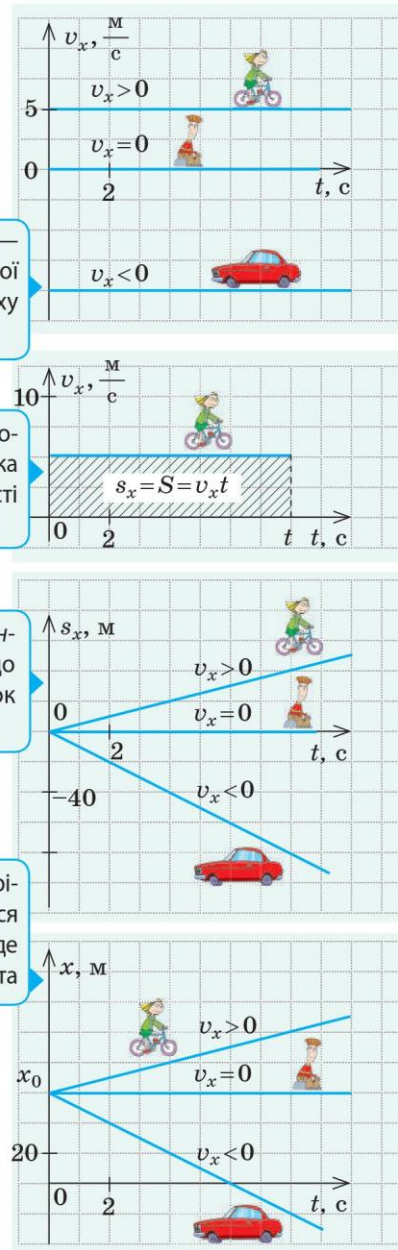


Рис. 5.1. Графіки рівномірного прямолінійного руху. Велосипед і автомобіль рухаються вздовж осі Ox : велосипед — у напрямку осі Ox , автомобіль — у протилежному напрямку. Турист сидить на узбіччі

Характеристика середньої шляхової, середньої векторної,

Середня шляхова швидкість	Середня векторна швидкість
Скалярна фізична величина	Векторна фізична величина
Дорівнює відношенню всього шляху l до інтервалу часу t , за який цей шлях подолано	Дорівнює відношенню переміщення \vec{s} до інтервалу часу t , за який це переміщення здійснено
$v_{\text{сер}} = \frac{l}{t} \quad \frac{\text{Увесь шлях}}{\text{Увесь час спостереження}}$	$\vec{v}_{\text{сер}} = \frac{\vec{s}}{t} \quad \frac{\text{Усе переміщення}}{\text{Увесь час спостереження}}$
Не має напрямку	Напрямок збігається з напрямком переміщення: $\vec{v}_{\text{сер}} \uparrow \vec{s}$
 <p>Знання середньої швидкості не дозволяє правильно описати весь рух. Наведемо приклад. Із міркувань безпеки в населених пунктах України встановлено обмеження швидкості руху транспортних засобів 50 км/год. Якщо водій 10 хв мчить зі швидкістю 80 км/год, а наступні 10 хв «повзе в тягучці» зі швидкістю 20 км/год, середня швидкість руху автомобіля не перевищує 50 км/год, разом із тим швидкісний режим водієм було порушено, і рух автомобіля навряд чи можна вважати безпечним.</p>	

Далі, говорячи про швидкість руху тіла, матимемо на увазі його миттєву швидкість.

Під час прямолінійного рівномірного руху миттєва швидкість увесь час залишається незмінною та збігається із середньою векторною швидкістю руху тіла. У будь-якому іншому випадку миттєва швидкість руху тіла змінюється: *за напрямком* — під час криволінійного рівномірного руху; *за значенням, інколи за напрямком* (напрямок може змінюватися на протилежний) — під час прямолінійного нерівномірного руху; *за напрямком і значенням водночас* під час криволінійного нерівномірного руху.

? Яку швидкість руху показує спідометр: середню векторну? середню шляхову? миттєву?

3 Як визначити швидкість руху тіла відносно різних систем відліку

Розглянемо рух тіла в різних системах відліку (СВ). Нехай таким тілом буде собака, який рухається рівномірно прямолінійно по плоту, що пливе річкою (рис. 5.2). Очевидно, що швидкість руху плоту дорівнює швидкості течії річки. За рухом собаки стежать спостерігач і спостерігачка, причому

миттєвої швидкостей

Миттєва швидкість

Векторна фізична величина

Швидкість руху в даний момент часу, в даній точці; середня векторна швидкість, виміряна за нескінченно малий інтервал часу

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} \quad \Delta \vec{s} \text{ — переміщення за дуже малий інтервал часу } \Delta t (\Delta t \rightarrow 0)$$

Напрямок збігається з напрямком переміщення в даний момент часу: $\vec{v} \uparrow \uparrow \Delta \vec{s}$

Чим меншим є інтервал часу, за який вимірюється середня швидкість руху, тим більше її значення наближається до значення миттєвої швидкості (на рисунках нижче — в точці A):

Час між послідовними положеннями тіла — 1 с

спостерігачка (рибалка) перебуває на березі, а спостерігач (разом із собакою) — на плоту. Спостерігач і спостерігачка вимірюють переміщення собаки та час його руху. Час руху собаки для обох осіб однаковий, а от переміщення відрізнятимуться. Припустимо, що за якийсь час t собака перебіг на інший край плоту.

Переміщення \vec{s}_1 , яке здійснив собака відносно плоту (і яке виміряв спостерігач), приблизно дорівнює за модулем ширині плоту і напрямлене перпендикулярно до течії річки.

Переміщення \vec{s} , здійснене собакою відносно берега (і яке виміряла рибалка), дорівнює за модулем довжині відрізка OA і напрямлене під певним кутом до течії річки.

Власне пліт за цей час змістився за течією і здійснив переміщення \vec{s}_2 відносно берега.

Із рис. 5.2 бачимо: $\vec{s} = \vec{s}_2 + \vec{s}_1$. Пов'яжемо з берегом систему координат XOY — отримаємо *нерухому систему відліку*. Із плотом пов'яжемо систему координат $X'O'Y'$ — отримаємо *рухому систему відліку*.

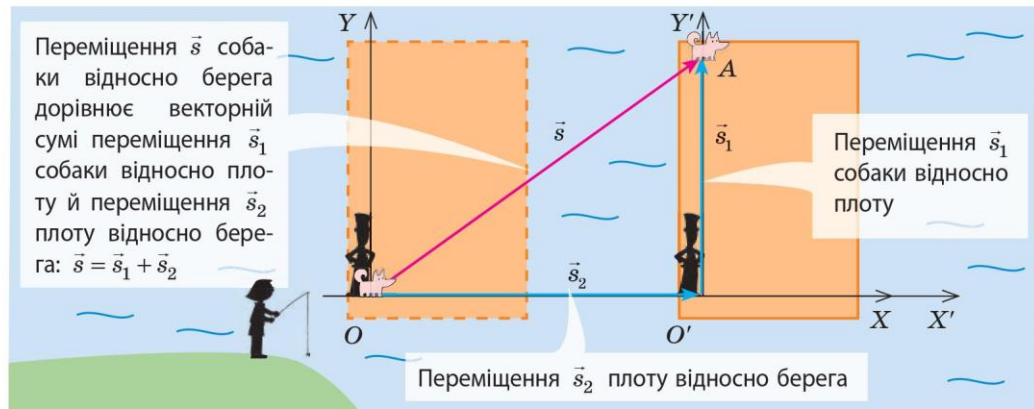


Рис. 5.2. До виведення закону додавання переміщень і швидкостей

Тепер можна сформулювати **закон додавання переміщень**:

Переміщення \vec{s} тіла в нерухомій системі відліку дорівнює геометричній сумі переміщення \vec{s}_1 тіла в рухомій системі відліку та переміщення \vec{s}_2 рухомої системи відліку відносно нерухомої:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$$

Поділивши обидві частини рівняння на час руху $\left(\frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t}\right)$ і врахувавши, що $\vec{s}/t = \vec{v}$, отримуємо **закон додавання швидкостей**:

Швидкість \vec{v} руху тіла в нерухомій системі відліку дорівнює геометричній сумі швидкості \vec{v}_1 руху тіла в рухомій системі відліку та швидкості \vec{v}_2 руху рухомої системи відліку відносно нерухомої:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Зверніть увагу! Оскільки рух і спокій є відносними, то в наведеному вище прикладі як нерухому СВ можна було обрати й СВ, пов'язану з плотом. У такому разі СВ, пов'язана з берегом, була б рухомою, а напрямок її руху був би протилежним напрямку течії.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Рибалка перепливає річку на човні, утримуючи його перпендикулярно до напрямку течії. Швидкість v_1 руху човна відносно води — 4 м/с, швидкість v_2 течії річки — 3 м/с, ширина l річки — 400 м. Визначте: 1) за який час t човен перепливе річку та за який час t_1 човен переплив би річку, якби не було течії; 2) модуль переміщення s і модуль швидкості v руху човна відносно берега; 3) на якій відстані s_2 униз за течією від вихідної точки човен досягне протилежного берега.

Аналіз фізичної проблеми. Як нерухому візьмемо СВ, пов'язану із Землею, як рухому — СВ, пов'язану з водою. Виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зобразимо вектори швидкості: руху човна відносно берега (\vec{v}), руху човна відносно води (\vec{v}_1), течії річки (\vec{v}_2).

Дано:

$$\begin{aligned} v_1 &= 4 \text{ м/с} \\ v_2 &= 3 \text{ м/с} \\ l &= 400 \text{ м} \end{aligned}$$

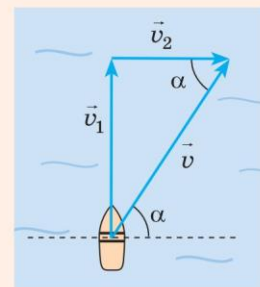
$$\begin{aligned} t &= ? \\ t_1 &= ? \\ s &= ? \\ v &= ? \\ s_2 &= ? \end{aligned}$$

Розв'язання

1) У СВ, пов'язаній із водою, човен здійснив переміщення s_1 , яке за модулем дорівнює ширині річки: $s_1 = l$. Швидкість руху човна відносно води $v_1 = \frac{s_1}{t}$. Отже, час руху човна:

$$t = \frac{l}{v_1}; \quad t = \frac{400 \text{ м}}{4 \text{ м/с}} = 100 \text{ с.}$$

Бачимо, що час руху човна не залежить від швидкості течії річки, тому, якби не було течії, човен переплив би річку за той самий час: $t_1 = t = 100 \text{ с.}$



2) Модуль швидкості v руху човна відносно берега знайдемо за теоремою Піфагора:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}; \quad v = \sqrt{4^2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 3^2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \sqrt{25 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Човен рухається рівномірно, тому переміщення s човна відносно берега:

$$s = vt; \quad s = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 100 \text{ с} = 500 \text{ м}.$$

3) Знаючи час t руху човна та швидкість v_2 течії річки, визначимо відстань s_2 , на яку човен знесло вниз за течією: $s_2 = v_2 t$; $s_2 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 100 \text{ с} = 300 \text{ м}$.

Відповідь: $t = t_1 = 1 \text{ хв } 40 \text{ с}$; $s = 500 \text{ м}$; $v = 5 \text{ м/с}$; $s_2 = 300 \text{ м}$.



Підбиваємо підсумки

- Рівномірний прямолінійний рух — це механічний рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення.
- У випадку рівномірного прямолінійного руху:
 - графік залежності $v_x(t)$ — відрізок прямої, паралельної осі часу;
 - проекцію переміщення тіла можна обчислити за формулою: $s_x = v_x t$; графік залежності $s_x(t)$ — відрізок прямої, який починається в початку координат;
 - рівняння координати має вигляд: $x = x_0 + v_x t$.
- Якщо рух тіла не є рівномірним, для його опису використовують поняття: середня векторна швидкість ($\vec{v}_{\text{сеп}} = \vec{s} / t$); середня шляхова швидкість ($v_{\text{сеп}} = l / t$); миттєва швидкість \vec{v} — середня векторна швидкість за нескінченно малим інтервалом часу, швидкість руху в даний момент часу, швидкість руху в даній точці: $v = \Delta \vec{s} / \Delta t$ ($\Delta t \rightarrow 0$).
- Швидкість \vec{v} руху тіла в нерухомій СВ дорівнює геометричній сумі швидкості \vec{v}_1 руху тіла в рухомій СВ і швидкості \vec{v}_2 рухомої СВ відносно нерухомої СВ: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.

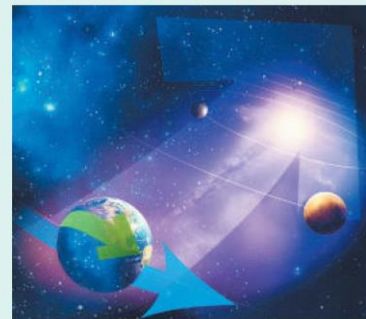


Контрольні запитання

1. Який рух називають рівномірним прямолінійним?
2. Дайте характеристику швидкості рівномірного прямолінійного руху.
3. Як визначити переміщення та координату тіла, яке рухається рівномірно прямолінійно?
4. Який вигляд мають графіки залежності $v_x(t)$; $s_x(t)$; $x(t)$ у випадку прямолінійного рівномірного руху?
5. Дайте означення середньої векторної швидкості руху; середньої шляхової швидкості руху; миттєвої швидкості руху.
6. Сформулюйте закон додавання переміщень і закон додавання швидкостей.

Фізика в цифрах

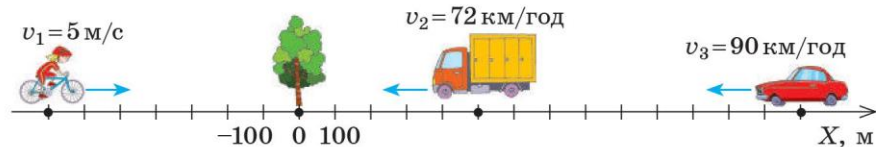
- 1600 км/год — швидкість руху точок екватора; зумовлена обертанням Землі навколо своєї осі.
 - Близько 110 000 км/год — швидкість руху Землі навколо Сонця, а отже, й усіх нас.
 - Понад 780 000 км/год — швидкість, із якою Сонячна система (а отже, усі ми) летить у космічному просторі відносно центра Галактики.
- Тож з якою швидкістю ми рухаємось? Єдиної відповіді немає — все залежить від системи відліку!





Вправа № 5

1. Моторний човен рухається зі швидкістю 10 м/с відносно води. Швидкість течії річки — 1 м/с. Визначте швидкість руху моторного човна відносно берега річки під час руху човна за течією; проти течії.
2. Крилата насінина набуває незмінної швидкості падіння 0,3 м/с практично відразу після початку падіння з верхівки дерева. На якій відстані від прикореневої частини стовбура впаде насінина, якщо швидкість вітру напрямлена горизонтально та дорівнює 1 м/с, а висота дерева становить 50 м? Яким є переміщення насінини відносно поверхні Землі?
3. Кінь рухається ареною цирку по дузі кола радіуса 6 м, описуючи при цьому траєкторію, що являє собою половину кола. Першу чверть кола кінь долає за 10 с, а другу чверть — за 20 с. Визначте середню шляхову та середню векторну швидкості руху коня на кожній ділянці траєкторії та протягом усього часу руху.
4. Запишіть рівняння руху для кожного транспортного засобу на рисунку. Визначте час і місце зустрічі вантажівки та велосипедистки, легкового автомобіля та велосипедистки. Де і коли легковий автомобіль об'їде вантажівку? Побудуйте графіки залежності $v_x(t)$ і $x(t)$ для кожного тіла.



5. Літак має долетіти до міста, розташованого на відстані 600 км на північ. Із заходу дме вітер зі швидкістю 40 км/год. Літак летить зі швидкістю 300 км/год відносно повітря. Яким курсом має летіти літак? Скільки часу триватиме рейс?
6. Перед відправленням потяга йшов дощ. Вітру не було, і краплі дощу падали вертикально. Коли потяг рушив, пасажир помітив, що дощ став косим, хоча погода залишалася безвітряною. Поясніть це явище. Визначте швидкість падіння крапель, якщо під час руху потяга зі швидкістю 40 км/год пасажиром здається, що краплі падають під кутом 45° до вертикалі.
7. Дізнайтеся про «рекордсменів швидкості» в сучасній техніці та в живій природі. Підготуйте повідомлення або презентацію.



Фізика і техніка в Україні



Архип Михайлович Люлька (1908–1984) — видатний український радянський конструктор авіаційних двигунів, академік АН СРСР. Народився в с. Саварка Київської губернії, навчався в Київському політехнічному інституті.

Працюючи в Харківському авіаційному інституті, А. М. Люлька створив конструкцію першого в СРСР двоконтурного турбореактивного двигуна. Першим розробив турбореактивні двигуни для надзвукової авіації. Згодом на літаках із двигунами конструкції А. М. Люльки було встановлено десятки світових рекордів. Під його керівництвом створено дослідно-конструкторське бюро, яке зараз носить його ім'я. На алеї видатних учених у Київській політехніці встановлено пам'ятник А. Люльці.