

5 8. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ. ЗАКОНИ ДОДАВАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ І ШВИДКОСТЕЙ

Чи траплялося вам перепливати річку зі швидкою течією? Ні? Тоді повірте, що дуже важко перепливати її так, щоб потрапити на протилежний берег прямо навпроти місця запливу. А хтось намагався спуститися ескалатором, що рухається вгору? Теж складно. Набагато швидше спуститися, якщо напрямок вашого руху збігається з напрямком руху ескалатора. У кожному з наведених прикладів людина бере участь водночас у двох рухах. Як при цьому розрахувати переміщення та швидкість руху, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

Що таке відносність руху

Ви вже добре знаєте, що рух тіла можна розглядати тільки відносно якого-небудь іншого тіла (тіла відліку). Саме з тілом відліку ми пов'язуємо систему координат і прилад для відлічування часу. За тіло відліку можна взяти будь-яке тіло. Наприклад, описуючи рух пасажирів в салоні автомобіля, тілом відліку можна обрати і придорожню кав'ярню, і салон автомобіля, і зустрічний автомобіль.

Рух тіла характеризується траєкторією, швидкістю, переміщенням, пройденим шляхом. У разі зміни СВ ці характеристики змінюються. Наприклад, в автомобілі, що рухається, ви перебуваєте в стані спокою відносно салону (швидкість і переміщення дорівнюють нулю) і рухаєтесь відносно придорожньої кав'ярні та зустрічного автомобіля. При цьому швидкість вашого руху відносно зустрічного автомобіля більша за швидкість руху відносно кав'ярні.

Залежність траєкторії, шляху, переміщення та швидкості руху тіла від вибору системи відліку називають **відносністю руху**.

Звернемо увагу ще на одну фізичну величину, яка характеризує рух, — час. У процесі руху тіл зі швидкостями, які розглядаються в класичній механіці (тобто набагато меншими за швидкість світла), час не залежить від вибору СВ. Тобто *проміжок часу між двома даними подіями в усіх системах відліку має те саме значення*. Це твердження є однією з найважливіших аксіом класичної механіки.

2 Як визначити швидкість руху тіла відносно різних СВ

Розглянемо рух тіла, яке бере участь водночас у двох рухах. Нехай таким тілом буде собака, який рухається рівномірно прямо-лінійно по плоту, що пливе річкою (рис. 8.1). Очевидно, що швидкість руху плоту дорівнює швидкості течії річки. Припустимо, що за рухом собаки стежать двоє спостерігачів, один із яких (рибалка) перебуває на березі, другий (господар собаки) стоїть на плоті. Обидва спостерігачі вимірюють переміщення собаки та час його руху. Якщо час руху собаки для обох спостерігачів однаковий, то переміщення відрізняться.

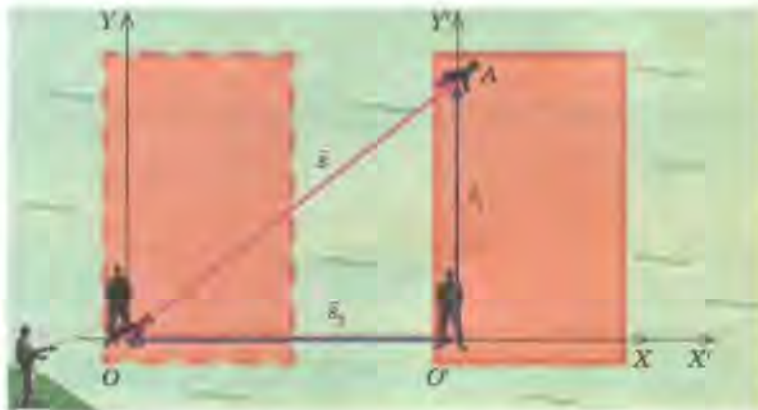


Рис. 8.1. До виведення додавання переміщень і швидкостей

Припустимо, що за якийсь час t собака перебіг, рухаючись із постійною швидкістю, на інший край плоту. Переміщення \vec{s}_1 , яке здійснив собака відносно плоту (і яке виміряв господар собаки), дорівнює за модулем ширині плоту (відізок $O'A$) і напрямлене перпендикулярно до течії річки. Переміщення \vec{s} , здійснене собакою відносно берега (яке виміряв рибалка), дорівнює за модулем довжині відрізка OA і напрямлене під певним кутом до течії річки. Сам пліт за цей час змістився за течією і здійснив переміщення \vec{s}_2 відносно берега. З рис. 8.1 бачимо, що $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$, тобто *переміщення собаки відносно берега дорівнює геометричній сумі переміщення собаки відносно плоту й переміщення плоту відносно берега*. Пов'яжемо з берегом систему координат XOY — це *нерухома система координат*. Із плотом пов'яжемо систему координат $X'O'Y'$ — це *рухома система координат*.

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 й переміщення \vec{s}_2 рухомої системи відліку відносно нерухомої:

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

Поділивши обидві частини рівняння $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ на час руху тіла, маємо: $\frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t}$. Відповідно до визначення швидкості руху тіла:

$\frac{\vec{s}}{t} = \vec{v}$ — швидкість тіла в нерухомій СВ; $\frac{\vec{s}_1}{t} = \vec{v}_1$ — швидкість тіла в рухомій СВ; $\frac{\vec{s}_2}{t} = \vec{v}_2$ — швидкість рухомої СВ відносно нерухомої СВ.

Тобто $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$. Отже, формулюємо **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 й 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.

1 Учимися розв'язувати задачі

Задача. Рибалка перепливає річку на човні, утримуючи його перпендикулярно до напрямку течії річки. Швидкість \vec{v}_1 руху човна відносно води — 4 м/с, швидкість \vec{v}_2 течії річки — 3 м/с, ширина l річки — 400 м.

- Як напрямлена швидкість v човна відносно берега?
- За який час t човен перепливе річку?
- За який час t_1 човен переплив би річку, якби не було течії?
- Якими є модуль переміщення s і модуль швидкості v руху човна відносно берега?
- На якій відстані s_2 вниз за течією від вихідної точки човен досягне протилежного берега?

$$v_1 = 4 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 3 \text{ м/с}$$

$$l = 400 \text{ м}$$

$$t = ?$$

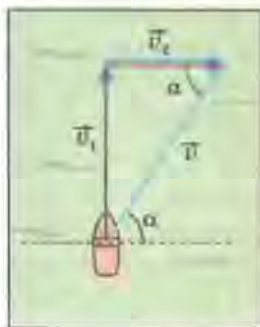
$$t_1 = ?$$

$$s = ?$$

$$v = ?$$

$$s_2 = ?$$

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі, розв'язання. Як нерухому візьмемо СВ, пов'язану із Землею, як рухому — СВ, пов'язану з водою. Виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зазначимо напрямок швидкості руху човна (\vec{v}_1), напрямок швидкості течії річки (\vec{v}_2) і вектор швидкості руху човна відносно берега (\vec{v}). Запишемо закон додавання швидкостей: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.



а) Як видно з рисунка, вектор \vec{v} напрямлений під певним кутом α до берега, при цьому $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_1}{v_2}$.

б) У СВ, пов'язаний з водою, човен рухався зі швидкістю $v_1 = \frac{s_1}{t}$ і при цьому подолав відстань, яка дорівнює ширині річки: $s_1 = l$. Звідси знайдемо час руху човна: $t = \frac{l}{v_1}$.

в) У даному випадку час t_1 руху човна не залежить від швидкості течії річки, тому, якби не було течії, переїзд через річку зайняв би стільки ж часу ($t = t_1$).

г) Модуль швидкості v руху човна відносно берега можна знайти, скориставшись теоремою Піфагора: $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$. Модуль переміщення s човна відносно берега знайдемо з рівності: $s = vt$, де t — час руху човна.

д) Знаючи час t руху човна та швидкість v_2 течії річки, визначимо відстань s_2 , на яку човен знесло вниз відносно вихідної точки: $s_2 = v_2 t$.

Визначимо значення шуканих величин:

$$[\operatorname{tg} \alpha] = \frac{\text{м/с}}{\text{м/с}} = 1, \quad \{\operatorname{tg} \alpha\} = \frac{4}{3} \approx 1,33, \text{ отже, } \alpha \approx 53^\circ;$$

$$[t] = \frac{\text{м}}{\text{м/с}} = \text{с}, \quad \{t\} = \frac{400}{4} = 100, \quad t = 100 \text{ с} = 1 \text{ хв } 40 \text{ с};$$

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad \{v\} = \sqrt{16 + 9} = \sqrt{25} = 5, \quad v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$[s] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{м}, \quad \{s\} = 5 \cdot 100 = 500, \quad s = 500 \text{ м};$$

$$[s_2] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{м}, \quad \{s_2\} = 3 \cdot 100 = 300, \quad s_2 = 300 \text{ м}.$$

Відповідь: човен рухається відносно берега зі швидкістю $v = 5$ м/с, що напрямлена під кутом $\alpha = 53^\circ$ до берега річки. Човен перетне річку за час $t = 1$ хв 40 с, при цьому переміщення човна відносно берега становитиме $s = 500$ м; човен знесе вниз за течією на відстань $s_2 = 300$ м. У разі відсутності течії час руху човна $t_1 = 1$ хв 40 с.



Підбиваємо підсумки

Залежність траєкторії, шляху, переміщення та швидкості руху тіла від вибору СВ називають відносністю руху.

У випадку руху тіл зі швидкостями, які розглядаються в класичній механіці, час не залежить від вибору СВ.

Закон додавання переміщень: переміщення \vec{s} тіла в нерухомій СВ дорівнює геометричній сумі переміщення \vec{s}_1 тіла в рухомій СВ й переміщення \vec{s}_2 рухомої СВ відносно нерухомої: $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$.

Закон додавання швидкостей: швидкість \vec{v} руху тіла в нерухомій СВ дорівнює геометричній сумі швидкості \vec{v}_1 руху тіла в рухомій СВ й швидкості \vec{v}_2 рухомої СВ відносно нерухомої: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під відносністю механічного руху? 2. Які характеристики механічного руху змінюються в разі переходу від однієї СВ до іншої? Які залишаються незмінними? 3. Наведіть приклади, які підтверджують, що рух і спокій є відносними. 4. Сформулюйте закон додавання переміщень. 5. Сформулюйте закон додавання швидкостей. 6. Чи завжди як нерухому СВ потрібно обирати ту, що пов'язана із Землею?

Вправа № 6

1. Моторний човен розвиває швидкість 10 м/с відносно води. Швидкість течії річки дорівнює 1 м/с. Якою є швидкість моторного човна відносно берега під час його руху за течією? проти течії?
2. Крилата насінина набуває постійної швидкості падіння, що дорівнює 0,3 м/с, практично відразу після початку падіння з верхівки дерева. На якій відстані від основи дерева впаде насінина, якщо швидкість вітру спрямована горизонтально та дорівнює 1 м/с, а висота дерева становить 50 м? Яким є переміщення насінини відносно поверхні Землі?
3. Літак летить на південь зі швидкістю 540 км/год відносно повітря крізь повітряний потік, що рухається на схід зі швидкістю 250 км/год. Яким є напрямок руху літака відносно поверхні Землі? Який шлях відносно Землі пролетить літак за 15 хв?
4. Пілотів літака, що летить зі швидкістю 300 км/год відносно повітря, потрібно потрапити до міста, розташованого на відстані 600 км на північ. Із заходу дме вітер зі швидкістю 40 км/год. Яким курсом має летіти літак? Скільки часу триватиме рейс?
5. Ширина річки 150 м, швидкість її течії — 1 м/с. Плавець перепливає цю річку, рухаючись зі швидкістю 2 м/с відносно води. Якими є швидкість і переміщення плавця відносно берега, якщо плавець рухається постійно перпендикулярно до течії річки? Скільки часу йому потрібно, щоб перепливати річку за таких умов, і на яку відстань його знесе течією?
6. Ескалатор піднімає людину, яка стоїть на ньому, за 1 хв. Якщо ескалатор нерухомий, а людина рухається, то її підняття займе 3 хв. Скільки часу займе підняття, якщо людина йтиме вгору рухомим ескалатором?