

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА

§ 15. ЯВИЩЕ ІНЕРЦІЇ. ІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ. ПЕРШИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

71 Автомобіль мчить дорогою, у небі літає птах, куля боулінгу котиться по доріжці. Що підтримує кожен із цих рухів? Чи існує якась причина виникнення всіх рухів? І чи потрібне взагалі щось, щоб підтримувати рух? Ці питання хвилювали вчених ще за часів Арістотеля, однак відповіді на них знайшли тільки Г. Галілей і і. Ньютон (див. рис. 1.1, 1.2). із цього параграфа ви довідаєтеся, яке значення для розвитку механіки мали роботи Г. Галілея.

1 Що вивчає динаміка

Вивчаючи кінематику, ми описували рухи тіл, однак про причини, які викликають ці рухи, не йшлося. При цьому основна задача механіки полягає не тільки в тому, щоб описати, як рухається тіло в даний момент часу, але й передбачити, як воно рухатиметься далі. А для цього необхідно встановити, чому тіло змінює характер свого руху або, навпаки, чому та за яких умов характер руху тіла буде незмінним. Саме цими питаннями займається *динаміка*.

Динаміка — це розділ механіки, в основі якого лежить кількісний опис взаємодії тіл, яка визначає характер їхнього руху.

Основна задача динаміки — вивчити можливі взаємодії тіл, з'ясувати закони, яким підпорядковуються рух і взаємодія тіл, і на основі цих законів уміти визначати положення тіл у будь-який момент часу.

2 Коли тіло зберігає швидкість свого руху

Вивчення динаміки почнемо зі з'ясування умов, за яких швидкість руху тіла залишається незмінною. Із кінематики ви знаєте, що швидкість тіла є постійною в разі його рівномірного прямолінійного руху, оскільки під час такого руху не змінюються ані модуль, ані напрямок швидкості. Швидкість руху тіла незмінна (дорівнює нулю) і у випадку, коли тіло перебуває у спокої. Для описування будь-якого руху необхідно обрати систему відліку (СВ). Скористаємося найбільш зручною для нас СВ — пов'язаною з точкою на поверхні Землі.

Отже, з'ясуємо, за яких умов тіло рухається рівномірно прямолінійно або перебуває у стані спокою відносно Землі.

М'яч, який лежить на столі, тягар, підвішений на пружині (рис. 15.1), перебувають у стані спокою. Однак варто штовхнути м'яч рукою або розтягти пружину, як стан спокою тіл порушиться. У цьому випадку тіла змінять свою швидкість (почнуть рухатися відносно Землі) у результаті взаємодії з рукою. Але ж до цього вони теж із чимось взаємодіяли? Звичайно, так. Ви добре знаєте, що всі тіла, які перебувають поблизу поверхні Землі, взаємодіють із нею. Якщо прибрати стіл, відчепити пружину, м'яч і тягар відразу ж почнуть

рухатися під дією гравітаційного притягання Землі. А перебувають вони в стані спокою тому, що дія Землі *скомпенсована (зрівноважена)* дією інших тіл: на м'яч, крім Землі, діє стіл, і дія Землі скомпенсована дією столу; на тягар, крім Землі, діє пружина, і дія Землі скомпенсована дією пружини.*

Отже, можна зробити висновок: *тіло перебуває у стані спокою, якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані.*

Тепер розглянемо кілька прикладів рівномірного прямолінійного руху. Якщо горошину опустити у високу посудину, наповнену водою, то спочатку вона рухатиметься прискорено, однак через деякий час її швидкість усталиється і решту шляху горошина рухатиметься рівномірно (рис. 15.2, а). Річ у тім, що на горошину помітно діють два тіла: вода й Земля. Дія води (архімедова сила та сила опору середовища) напрямлена вгору, дія Землі (сила тяжіння) — униз. Зі збільшенням швидкості руху горошини опір води буде збільшуватися доти, доки дія води не компенсує дію Землі.

Точно так само через нетривалий час після розкриття парашута встановлюється (стає рівномірним) і рух парашутиста (без урахування поривів вітру) (рис. 15.2, б).

Численні досліди показують, що *тіло рухається рівномірно прямолінійно, якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані.*

А як рухатиметься тіло, якщо на нього не діють інші тіла? По відповідь на це запитання звернемося до історії фізики.

3 Який рух називають рухом за інерцією

Близько 2500 років тому давньогрецький філософ *Арістотель*, міркуючи про причини руху тіл, зробив розумний з погляду здорового глузду висновок: «Усе, що рухається, має рух завдяки чомусь. Тіло, яке рухається, зупиняється, якщо тіло, що його штовхає,

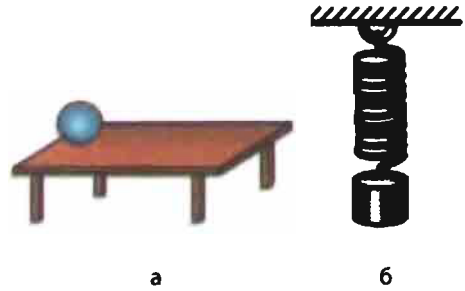


Рис. 15.1. Тіло перебуває у стані спокою відносно Землі, оскільки дія Землі скомпенсована: а — дією столу, б — дією пружини

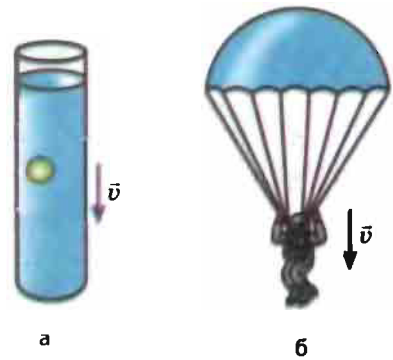


Рис. 15.2. Через деякий час після початку руху тіло починає рухатися прямолінійно та рівномірно відносно Землі, оскільки дія Землі скомпенсована: а — дією води; б — дією повітря

* Насправді на м'яч і тягар діють ще багато інших тіл: це й гравітаційне притягання з боку навколишніх тіл, і виштовхувальна дія повітря, і дія повітряних потоків. Однак у розглянутих прикладах ці дії є незначними й не мають помітного впливу.

припиняє свою дію». Справді, щоб віз рухався по дорозі, яка не має нахилу, необхідно, щоб його тягнув кінь. Якщо прибрати дію коня, віз зупиниться. Однак чи дійсно це так?

Уявімо ідеалізовану ситуацію: осі коліс воза змащені так добре, що між ними та колесами немає тертя, дорога є ідеально рівною та гладенькою, а голоблі закріплені та не заважають рухові. Іншими словами — мислено виключимо всі можливі сили тертя. Можна припустити, що в цьому випадку віз, почавши рух, буде рухатися рівномірно прямолінійно як завгодно довго.

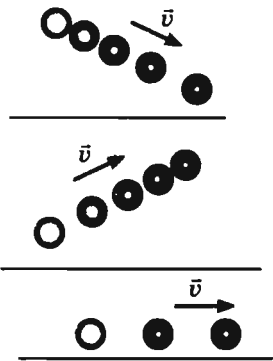


Рис. 15.3. Схема дослідів Г. Галілея. Розглядаючи рух різних тіл по похилій площині, учений зробив висновок: «У всіх випадках руху вниз або вгору по похилій площині є причина, що викликає зміну швидкості; рух по горизонтальній поверхні за повної відсутності тертя має бути рухом з постійною швидкістю»

Саме такого висновку наприкінці XVI ст. дійшов італійський учений *Галілео Галілей*. Вивчаючи рух тіл по похилій площині (рис. 15.3) і використовуючи мислений експеримент, він сформулював закон, який пізніше дістав назву *закон інерції Галілея*:

Якщо на тіло не діють інші тіла, воно зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху.

Слід зазначити, що Арістотель дійшов практично такого самого висновку: «Якщо тіло, якому один раз надали руху, перебуває в порожнечі, то воно має рухатися не спиняючись нескінченно». Однак потім учений вирішив, що такий рух неможливий, тому що ніякої порожнечі в природі бути не може.

Зараз ми знаємо, що такий рух є можливим. Так, якщо космічний корабель перебуватиме вдалині від зір, то після вимкнення двигунів він продовжить рухатися рівномірно прямолінійно зі швидкістю, яку мав на момент вимкнення.

Тіло, на яке не діють інші тіла та поля, називають *вільним (ізолюваним)*, а рух вільного тіла називають *рухом за інерцією*, тому закон, установлений

Галілеєм, називають *законом інерції*. У реальності практично неможливо створити умови, коли на тіло ніщо не діє, тому *рухом за інерцією зазвичай вважають випадки, коли дії на тіло інших тіл і полів уздовж лінії руху тіла доволі слабкі й до помітної зміни швидкості це тіло проходить значний шлях.*

Так, рухами за інерцією можна вважати практично рівномірні рухи: шайби по льоду після удару ключкою, кулі на доріжці під час гри в боулінг і т. д. (рис. 15.4).

4 Що постулює перший закон Ньютона

Закон інерції Г. Галілея став першим кроком у встановленні основних законів механіки. Формулюючи основні закони руху тіл, І. Ньютон назвав цей закон *першим законом руху* та подав його так:

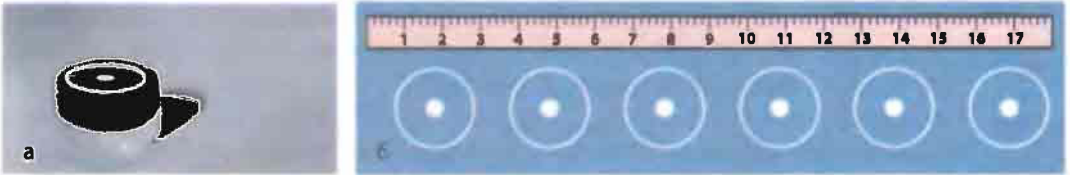


Рис. 15.4. Диск, що являє собою шар металу на шарі сухого льоду (а), може рухатися по металевій поверхні практично без тертя. На стробоскопічній фотографії (б) бачимо, що за рівні проміжки часу (0,1 с) такий диск проходить практично однакові відстані

Будь-яке тіло, поки воно залишається ізольованим, зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху.

Звернемо увагу на таке.

По-перше, тіло рухається рівномірно прямолінійно або перебуває у стані спокою, якщо воно ізольоване (тобто на нього не діють інші тіла) або якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані. Тому можна стверджувати, що відсутність дії на тіло інших тіл рівнозначна тому, що на тіло діють інші тіла, однак їхні дії скомпенсовані.

По-друге, будь-який рух розглядається відносно якої-небудь СВ. Тому перший закон Ньютона не тільки формулює умову руху тіла за інерцією, але й постулює існування СВ, відносно яких спостерігається такий рух.

Виходячи з цього можна сформулювати закон інерції Галілея (або перший закон руху Ньютона) з урахуванням сучасних уявлень. Отже, перший закон механіки Ньютона:

Існують такі системи відліку, відносно яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на нього не діють інші тіла та поля або якщо їхні дії скомпенсовані.

5 Які системи відліку називають інерціальними

З курсу фізики 8-го класу ви знаєте, що явище збереження тілом стану спокою або рівномірного прямолінійного руху за умови, що на нього не діють інші тіла та поля або їхні дії скомпенсовані, називають явищем інерції.

Але чи в кожній СВ спостерігається явище інерції? Уявіть, що ви сидите в купе потяга, який стоїть на пероні. На столику купе лежить м'ячик (рис. 15.5). На м'ячик діють два тіла: Земля і столик. Дії Землі

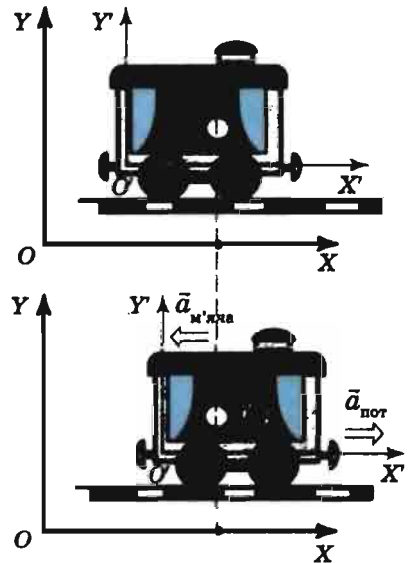


Рис. 15.5. Дії на м'яч столика та Землі скомпенсовані. Однак у системі відліку XOY , пов'язаній із пероном, м'яч залишається у спокої, тому ця СВ — інерціальна; у системі відліку $X'O'Y'$, пов'язаній із потягом, що починає рух, м'яч рухається з прискоренням, тому ця СВ — неінерціальна

та столика скомпенсовані, і м'ячик перебуває в спокої відносно перону. Таким чином, відносно СВ, пов'язаної з пероном, явище інерції спостерігається. Однак щойно потяг починає набирати швидкість, як м'ячик починає котитися по столу, тобто відносно потяга починає рухатися з прискоренням, хоча дії Землі та столика, як і раніше, скомпенсовані. Отже, відносно СВ, пов'язаної з потягом, який набирає швидкість, явище інерції не спостерігається (дія інших тіл на м'ячик скомпенсована, але він не зберігає свою швидкість).

СВ, відносно якої спостерігається явище інерції, називають *інерціальною системою відліку*; СВ, відносно якої явище інерції не спостерігається, — *неінерціальною системою відліку*.

Далі, якщо спеціально не застережено, *будемо користуватися тільки інерціальними СВ*.

Інерціальні системи відліку — це такі системи відліку, відносно яких тіло зберігає швидкість свого руху постійною, якщо на нього не діють інші тіла та поля або якщо їхні дії скомпенсовані.

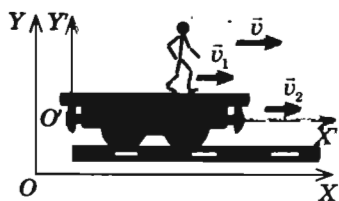


Рис. 15.6. Дії платформи та Землі на людину скомпенсовані. У системі відліку $X'O'Y'$, яка пов'язана з платформою і рухається відносно поверхні Землі зі швидкістю \vec{v}_2 , швидкість \vec{v}_1 руху людини є постійною. У системі відліку XOY , пов'язаній із Землею, швидкість \vec{v} руху людини теж є постійною і дорівнює $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$

Зазвичай як інерціальну використовують СВ, жорстко пов'язану з точкою на поверхні Землі. Однак це не єдина інерціальна СВ — їх нескінченно багато. *Будь-яка СВ, що рухається відносно Землі рівномірно прямолінійно, є інерціальною**. Справді, якщо тіло зберігало стан спокою або рівномірного прямолінійного руху відносно Землі, то й відносно СВ, яка рухається відносно Землі з постійною швидкістю, швидкість тіла теж буде постійною, хоча й інакшою (рис. 15.6).

Слід зазначити, що СВ, жорстко пов'язану із Землею, можна вважати інерціальною тільки умовно, оскільки Земля обертається навколо своєї осі. Для точніших вимірювань слід використовувати інерціальну СВ, пов'язану із Сонцем, а ще краще — СВ, пов'язану з далекими зорями.

Підбиваємо підсумки

Відносно Землі тіло рухається рівномірно прямолінійно, якщо на нього не діють інші тіла та поля або якщо їхні дії скомпенсовані.

Тіло, на яке не діють тіла та поля, називають вільним (ізольованим), а рух вільного тіла — рухом за інерцією. Аналізуючи рух вільних тіл, Г. Галілей сформулював закон інерції: якщо на тіло не діють інші тіла, то воно зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху.

І. Ньютон назвав закон інерції Галілея першим законом руху. У сучасній фізиці перший закон механіки Ньютона формулюють так: існують такі СВ, відносно яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на нього не діють інші тіла та поля або якщо їхні дії скомпенсовані. Такі СВ називають інерціальними.

* Будь-яка СВ, що рухається відносно поверхні Землі з прискоренням, є *неінерціальною*.

Зазвичай як інерціальну використовують СВ, пов'язану із Землею; для точніших розрахунків — СВ, пов'язані із Сонцем або далекими зорями. Будь-яка СВ, що рухається відносно інерціальної СВ рівномірно прямолінійно, теж є інерціальною.

Контрольні запитання

1. Що вивчає динаміка? 2. Якою є основна задача динаміки? 3. За яких умов тіло зберігає швидкість свого руху? Наведіть приклади. 4. Опишіть досліди, спираючись на які Г. Галілей установив закон інерції. Сформулюйте цей закон. 5. Яке тіло називають вільним? Як рухається вільне тіло? Як називають такий рух? 6. Сформулюйте перший закон Ньютона. 7. Які СВ називають інерціальними? неінерціальними? Наведіть приклади таких систем.

Вправа № 12

1. Ви сидите на стільці — і ви, і стілець перебуваєте у стані спокою відносно Землі. Які тіла діють на стілець? на вас? Що ви можете сказати про ці дії? 2. Веслярі, що намагаються змусити човен рухатися проти течії, не можуть із цим упоратись, і човен перебуває у спокої відносно берега. Дії яких тіл при цьому компенсуються? 3. На рисунок зображено кілька тіл. З яким тілом ви пов'язали би СВ, щоб вона була інерціальною? неінерціальною? Відповідь обґрунтуйте.



§ 16. ВЗАЄМОДІЯ. СИЛА

Ви вже знаєте, за яких умов тіло зберігає швидкість руху постійною. З'ясуємо, за яких умов швидкість руху тіла змінюється і від яких чинників це залежить.

Які існують види взаємодій

Ми вже говорили про те, що вільних (ізолюваних) тіл у природі практично не існує. Будь-яке тіло (або частинка) оточене іншими тілами (частинками). Тіла (або частинки) чинять певну дію одне на одне.

Дію тіл або частинок одне на одне називають **взаємодією**.

Взаємодія — одне з основних (фундаментальних) понять не тільки у фізиці, але й у науці загалом. Саме взаємодії є причиною будь-яких змін, що відбуваються з тілами. Вибух наднової зорі, живлення клітини, політ орла, радіоактивний розпад речовини, порив вітру, хімічні реакції, — усі процеси та явища в природі відбуваються в результаті взаємодій. Завдяки взаємодіям існує і сама природа: існування атомів і їхніх складників, існування планет, зір, галактик, людини та навколишніх тіл, — усе це можливе саме завдяки взаємодіям.

Розрізняють **чотири фундаментальні види взаємодій**: *гравітаційна, електромагнітна, сильна, слабка**.

* У 60-х рр. ХХ ст. створено *теорію електрослабкої взаємодії*, у рамках якої електромагнітну та слабку взаємодії об'єднано. Нині фізики працюють над створенням теорії, що поєднувала б усі види взаємодій.