

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА

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

? 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 дізнаєтеся, 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 ні модуль, ні 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 розтягнути 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 ураховання 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,

* 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.

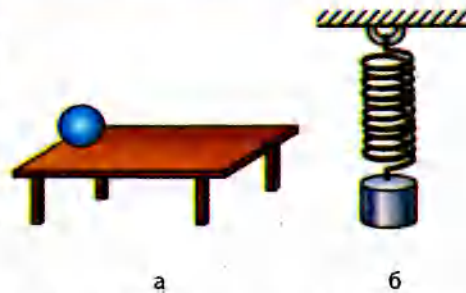


Рис. 15.1. Тіло перебуває у стані спокою відносно Землі, оскільки дія Землі скомпенсована: а — дією столу, б — дією пружини

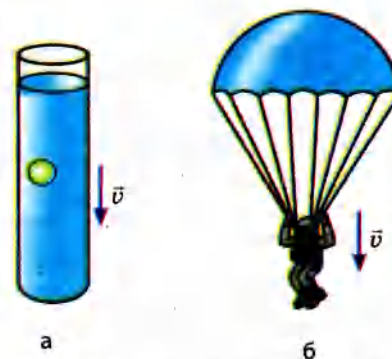


Рис. 15.2. Через деякий час після початку руху тіло починає рухатися прямолінійно та рівномірно відносно Землі, оскільки дія Землі скомпенсована: а — дією води; б — дією повітря

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.

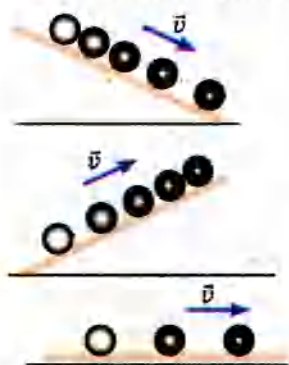


Рис. 15.3. Схема дослідів Г. Галілея. Розглядаючи рух різних тіл по похилій площині, учений зробив висновок: «У всіх випадках руху вниз або вгору по похилій площині є причина, що викликає зміну швидкості; рух по горизонтальній поверхні за повної відсутності тертя має бути рухом з постійною швидкістю»

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 вдаліні 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, установленний 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:

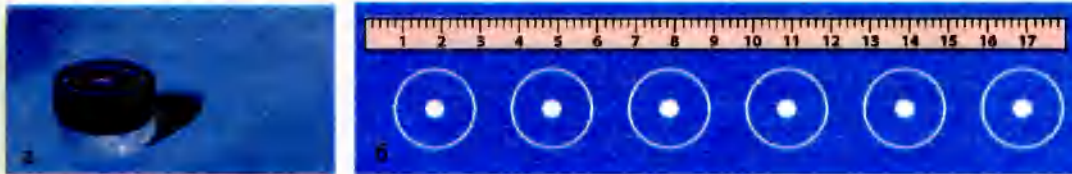


Рис. 15.4. Диск, що являє собою шар металу на шарі сухого льоду (а), може рухатися по металевій поверхні практично без тертя. На стробоскопічній фотографії (б) бачимо, що за рівні проміжки часу (0,1 с) такий диск проходить практично однакові відстані

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

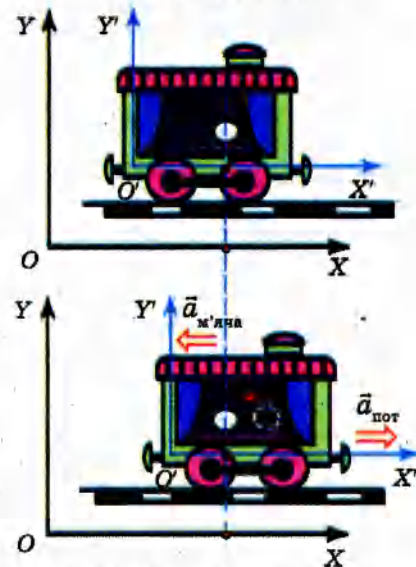


Рис. 15.5. Дії на м'яч столика та Землі скомпенсовані. Однак у системі відліку XOY , пов'язаній із пероном, м'яч залишається у спокої, тому ця СВ — інерціальна; у системі відліку $X'O'Y'$, пов'язаній із потягом, що починає рух, м'яч рухається з прискоренням, тому ця СВ — неінерціальна

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.

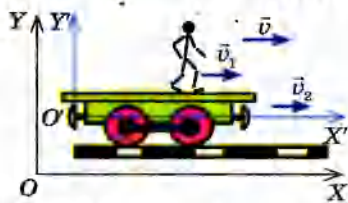


Рис. 15.6. Дії платформи та Землі на людину скомпенсовані. У системі відліку $X'O'Y'$, яка пов'язана з платформою і рухається відносно поверхні Землі зі швидкістю \vec{v}_2 , швидкість \vec{v}_1 руху людини є постійною. У системі відліку XOY , пов'язаній із Землею, швидкість \vec{v} руху людини теж є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

Гравітаційна взаємодія універсальна — в ній беруть участь усі тіла й частинки. Ця взаємодія є визначальною для існування та руху небесних тіл. Докладніше ви познайомитеся з нею, коли будете вивчати закон всесвітнього тяжіння.

Електромагнітна взаємодія виявляється тільки між частинками, що мають електричний заряд. Ця взаємодія визначає структуру речовини: вона пов'язує електрони та ядра в атомах, атоми в молекулах, визначає хімічні й біологічні процеси та ін. У механіці з цим видом взаємодії ви зустрічалися, коли вивчали сили пружності та сили тертя.

Гравітаційна та електромагнітна взаємодії є *далекодійними* — вони виявляються на досить великих відстанях між об'єктами і не мають кінцевого радіуса дії.

Процеси, зумовлені *сильною взаємодією* і *слабкою взаємодією*, підпорядковуються законам квантової механіки. Ці взаємодії виявляються в мікросвіті.

2 За яких умов тіла змінюють швидкість свого руху

Відповідно до першого закону Ньютона тіло не змінює швидкість свого руху тільки у випадку, якщо на нього не діють інші тіла або якщо дії інших тіл скомпенсовані. Санчата, які ви тягнете по снігу за мотузку, рухаються рівномірно прямолінійно тоді, коли дія снігу, по якому вони ковзають, компенсується дією руки. Ракета вдалині від зір рухається рівномірно прямолінійно, оскільки на неї не діють інші тіла. Коробка зі сталевими скріпками нерухомо лежить на столі, бо дія Землі компенсується дією столу.

Однак варто відпустити мотузку, як дія снігу сповільнить рух санчат. Якщо ввімкнути двигуни ракети, то взаємодія ракети з розпеченими газами, що вириваються із сопел, змінить швидкість її руху. Якщо до коробки зі скріпками піднести магніт, то в результаті взаємодії з магнітом коробка розпочне рух (набуде прискорення).

Численні спостереження й досліди показують, що *тіло змінює швидкість свого руху в результаті взаємодії з іншими тілами*.

3 Що таке сила

Уявіть, що, розігнавшись на спортивному велосипеді, ви припинили крутити педалі. Врешті-решт ви обов'язково зупинитесь — швидкість руху велосипеда поступово зменшиться до нуля. А от час зупинки велосипеда, а отже, і його прискорення суттєво залежать від того, чи натискаєте ви при цьому на гальмо. Тобто те саме тіло в результаті різної дії (взаємодії) набуває різного прискорення. Тому взаємодію можна і потрібно характеризувати кількісно. Кількісною мірою будь-якої взаємодії є *сила*.

Сила — це фізична величина, яка характеризує взаємодію тіл.

Слід звернути увагу на такі факти.

По-перше, *результат дії одного тіла на інше залежить від напрямку цієї дії*. Наприклад, якщо візок, що рухається, підштовхнути

рукою в напрямку його руху, то швидкість візка збільшиться. Якщо ж дія руки буде напрямлена проти руху візка, то швидкість візка зменшиться. Отже, сила як фізична величина, що характеризує взаємодію тіл, має напрямок.

По-друге, у результаті взаємодії тіло може й не змінити швидкість свого руху. Наприклад, якщо стиснути в руці м'ячик, то він залишиться в спокої, однак деякі його частини змістяться одна відносно одної. У результаті дії руки м'ячик змінить свою форму — деформується.

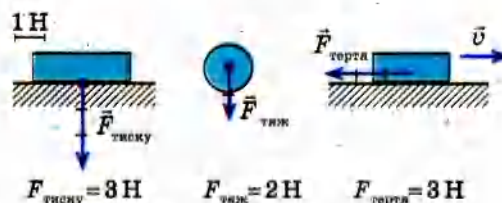
У механіці розглядають тільки гравітаційні сили й деякі види електромагнітних сил: силу пружності, силу тертя та силу опору середовища. Усі ці сили характеризують взаємодії, які спричиняють зміну швидкості руху тіл або (і) зміну їхніх форм і розмірів.

Сила (у механіці) \vec{F} — це векторна фізична величина, яка є мірою дії на тіло з боку інших тіл, у результаті чого тіло набуває прискорення або (і) змінює форму та розміри.

Одиниця сили в СІ — **ньютон (Н)**. 1 Н дорівнює силі, яка, діючи на тіло масою 1 кг, надає йому прискорення 1 м/с².

У фізиці силою часто називають також безпосередньо саму дію одного тіла на інше. Наприклад, можна сказати: на тіло діє сила тяжіння, хоча насправді на тіло діє Земля, дія якої характеризується силою тяжіння.

Щоб повністю визначити силу, слід вказати її значення (або формулу, за якою вона визначається), зазначити її напрямок і точку (або тіло), до якої ця сила прикладена (рис. 16.1).



$F_{\text{тяжк}} = 3 \text{ Н}$ $F_{\text{тяг}} = 2 \text{ Н}$ $F_{\text{тертя}} = 3 \text{ Н}$

Рис. 16.1. Сила повністю визначена, якщо задано її модуль, напрямок, точку прикладення

4 Додавання сил. Рівнодійна сила

На тіло практично ніколи не діє тільки одна сила, частіше — дві, три або більше. З курсу фізики 8-го класу ви знаєте: якщо на тіло діють кілька сил, то результат їхньої дії буде таким самим, як коли б на тіло діяла тільки одна сила, яку називають *рівнодійною* (рис. 16.2).

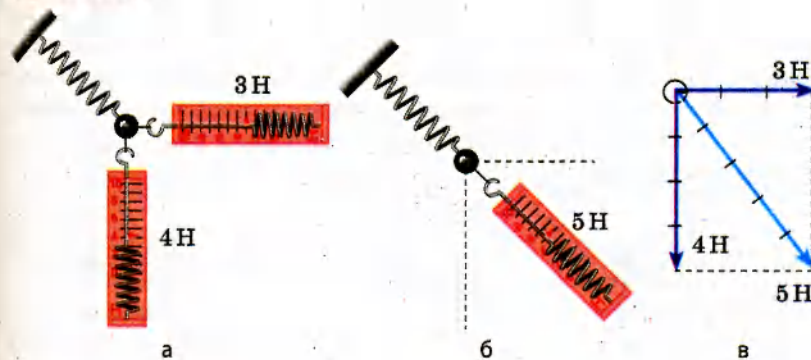


Рис. 16.2. Сили 3 Н і 4 Н, напрямлені під кутом 90° одна до одної (а), діють на пружину так само, як сила 5 Н (б). У цьому випадку сила 5 Н — рівнодійна сил 3 Н і 4 Н (в)

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА

Рівнодійна сила — це сила, яка діє на тіло так само, як декілька сил, що діють одночасно, і дорівнює геометричній сумі сил, які діють на дане тіло:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n,$$

де n — кількість сил, що діють на тіло.

Оскільки сила — величина векторна, то рівнодійну декількох сил, прикладених до даного тіла, визначають за правилом додавання векторів (див. § 4).

Підбиваємо підсумки

Дію тіл або частинок одне на одне називають взаємодією. Розрізняють чотири види взаємодій: гравітаційна, електромагнітна, сильна, слабка. Кількісною мірою будь-якої взаємодії є сила. Сила — це фізична величина, яка характеризує взаємодію тіл. У механіці розглядають тільки гравітаційні сили та деякі види електромагнітних сил: силу пружності, силу тертя та силу опору середовища.

Сила (у механіці) \vec{F} — це векторна фізична величина, яка є мірою дії на тіло з боку інших тіл, у результаті чого тіло набуває прискорення або (і) змінює форму та розміри.

Одиниця сили в СІ — ньютон (Н). 1 Н дорівнює силі, яка, діючи на тіло масою 1 кг, надає йому прискорення 1 м/с².

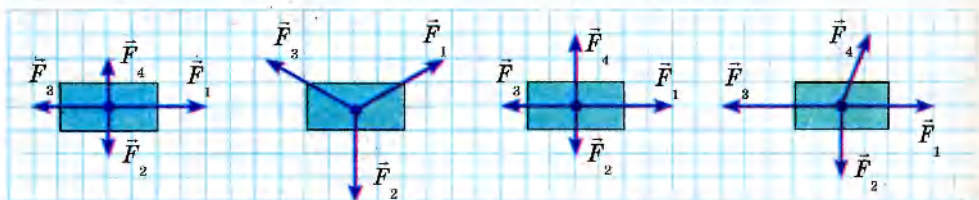
Рівнодійна сила — це сила, яка діє на тіло так само, як декілька сил, що діють одночасно; вона дорівнює геометричній сумі сил, які діють на дане тіло: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$.

Контрольні запитання

1. Що є причиною прискорення тіла? 2. Які види взаємодій ви знаєте? 3. Наведіть приклади явищ, у яких визначальною є гравітаційна взаємодія; електромагнітна взаємодія. 4. Дайте визначення сили. У яких одиницях її вимірюють? 5. Що потрібно знати, щоб визначити силу? 6. Дайте визначення рівнодійної сили.

Вправа № 13

- Чи можна сказати, що дія одних тіл на інші є причиною їхнього руху?
- На парашутиста в повітрі діють дві сили: сила притягання Землі, напрямком якої збігається з напрямком руху парашутиста і яка дорівнює 90 Н, і сила опору повітря, яка напрямлена проти руху парашутиста і теж дорівнює 90 Н. Знайдіть рівнодійну цих сил. Опишіть характер руху парашутиста.
- Модуль рівнодійної сил, які діють на тіло у взаємно перпендикулярних напрямках, дорівнює 13 Н. Модуль однієї з цих сил дорівнює 12 Н. Чому дорівнює модуль другої сили?
- На рисунку зображені сили, що діють на чотири тіла. Перенесіть рисунок до зошита. Для кожного випадку визначте графічно рівнодійну сил, з'ясуйте, чи має тіло прискорення. Свою відповідь обґрунтуйте.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема. Вимірювання сил.

Мета: виміряти за допомогою динамометра силу тяжіння й силу тертя ковзання; переконатися на досліді, що рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює векторній сумі цих сил.

Обладнання: штатив із двома муфтами та лапками; дерев'яна лінійка; дерев'яний брусок масою 300–400 г із гачком на торці; фанерна дошка з трьома вбитими цвяхами; дві нитки завдовжки 40–45 см (на обох кінцях однієї з ниток зроблено петлі); кнопки; два аркуші паперу; трикутник; динамометр.

Теоретичні відомості

Виміряти силу означає зрівноважити її відомою силою. З курсу фізики 8-го класу ви знаєте, що прилад для вимірювання сили — динамометр. Дія динамометра зазвичай ґрунтується на порівнянні вимірюваної сили із силою пружності пружини динамометра. Найпростіший лабораторний динамометр (рис. 1) являє собою дерев'яну або пластикову панель із нанесеною шкалою. До невеликого виступу 1 панелі прикріплена пружина 2, вільний кінець якої має покажчик 3 і дротяний повідець 4 із гачком на кінці.

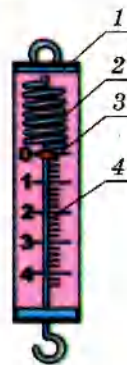


Рис. 1

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

1. Ознайомтеся із будовою та принципом дії динамометра.
2. Визначте ціну поділки та межі вимірювання шкали динамометра.

III Експеримент

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

Дослід 1. Підвісьте брусок до гачка динамометра та виміряйте вагу P бруска.

Дослід 2. За допомогою кнопок закріпіть на дошці аркуш паперу. Зберіть установку, як показано на рис. 2. На аркуші паперу позначте положення вузлика й нарисуйте лінії, уздовж яких розташовані нитки. За допомогою динамометра виміряйте сили T_1 і T_2 натягу ниток. Для цього:

- 1) зніміть зі цвяха одну з петель, надягніть її на гачок динамометра й, притискаючи динамометр до дошки, відтягніть нитку так, щоб розташування ниток і вузлика точно збіглося з початковим;
- 2) запишіть показ динамометра;
- 3) повторіть вимірювання для другої половини нитки, запишіть показ динамометра;
- 4) зніміть аркуш паперу.

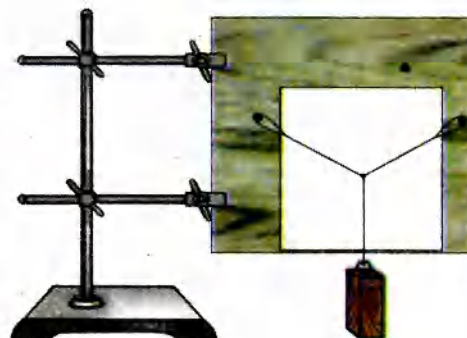


Рис. 2

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА

Дослід 3. Повторіть дії, описані в досліді 2, надягнувши одну з петель нитки на третій цвях і таким чином розташувавши нитки під іншим кутом.

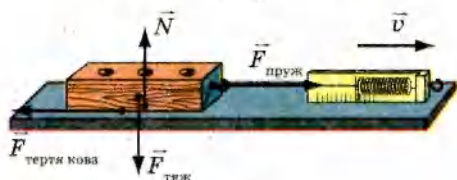


Рис. 3

Дослід 4. Покладіть брусок на дерев'яну лінійку. Виміряйте модуль сили тертя ковзання $F_{\text{тертя ковз}}$, що діє на брусок: зачепивши брусок за гачок динамометра, якомога рівномірніше переміщуйте брусок уздовж лінійки (рис. 3). Оскільки брусок рухається рівномірно прямолінійно, то дії сил скомпенсовані, отже, $F_{\text{тертя ковз}} = F_{\text{пруж}}$.

Номер досліду	Вага бруска P , Н	Модуль сили тертя ковзання $F_{\text{тертя ковз}}$, Н	Модуль сили натягу нитки		Модуль рівнодійної сил T_1 і T_2 F , Н
			T_1 , Н	T_2 , Н	
1	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—

Опрацювання результатів експерименту

- Для дослідів 1 і 4 виконайте пояснювальні рисунки, на яких у певному масштабі покажіть сили, які діють на брусок. Укажіть вибраний вами масштаб.
- На аркушах паперу, знятих з фанери, накресліть в певному масштабі вектори сил \vec{T}_1 і \vec{T}_2 , прикладених до вузлика. Знайдіть за правилом паралелограма рівнодійну цих сил. Порівняйте модулі та напрямки рівнодійної сил натягу ниток і ваги бруска. Закінчіть заповнення таблиці.
- Скориставшись формулою $\Delta F = \sqrt{\Delta F_{\text{прил}}^2 + \Delta F_{\text{вип}}^2}$, визначте абсолютну похибку вимірювань ваги та сили тертя ковзання ($\Delta P = \Delta F_{\text{тертя ковз}} = \Delta F$) (досліди 1 і 4). Оскільки в даному випадку ви проводили *тільки одне вимірювання*, випадкова похибка становитиме половину ціни поділки шкали динамометра.
- Подайте результати вимірювань ваги та сили тертя ковзання в такому вигляді: $P = P_{\text{вимір}} \pm \Delta F$, $F_{\text{тертя ковз}} = F_{\text{тертя ковз. вимір}} \pm \Delta F$.
- Визначте інтервали, в яких містяться істинні значення модулів виміряних сили тертя ковзання й ваги бруска; позначте їх на числовій осі.

□ Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Зробіть висновок, у якому зазначте, яку фізичну величину ви вимірювали, які результати отримали, у чому переконалися на досліді; вкажіть, що може спричинити можливу розбіжність результатів вимірювань ваги бруска й рівнодійної сил натягу ниток.

+ Творче завдання

Продумайте й запишіть план проведення експерименту з визначення рівнодійної двох сил; напрямлених у протилежні боки. Проведіть експеримент, виконайте пояснювальний рисунок, запишіть результати експерименту.

§ 17. ІНЕРТНІСТЬ. МАСА ТІЛА

? Із повсякденного життя ви добре знаєте, що зміна швидкості руху тіла залежить не тільки від сили, яка діє на тіло. Якщо до м'яча та слона прикласти однакову силу, то очевидно, що швидкість слона зміниться менше (у будь-якому разі для зміни його швидкості потрібно більше часу). Тобто різним тілам властиво порізнному відгукуватися на ту саму дію. Про те, що це за властивість і яка фізична величина її характеризує, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

1 Як тіла змінюють швидкість свого руху

Щоб змінити швидкість руху будь-якого тіла, обов'язково потрібен час — швидкість не може змінюватися миттєво. Так, перш ніж зрушити валізу з місця, ми якийсь час діємо на неї рукою; куля під дією порохових газів набуває певної швидкості за час руху всередині дула; автомобіль зупиняється не миттєво, а через якийсь час.

Властивість тіла, яка полягає в тому, що для зміни швидкості руху тіла потрібен деякий час, називають **інертністю**.

Якщо на два різних тіла діяти з однаковою силою, то для певної зміни швидкості руху більш інертного тіла потрібно більше часу, ніж для такої самої зміни швидкості руху тіла, яке має меншу інертність (у наведеному вище прикладі слон інертніший за м'яч). Це означає, що в результаті дії даної сили більш інертне тіло набуває меншого прискорення, ніж менш інертне.

2 Що таке маса тіла та які властивості вона має

Для зміни швидкості будь-якого тіла потрібен час, тобто будь-яке тіло має інертність. Ця властивість тіла характеризується *інертною масою*. У той же час будь-яке тіло має властивість гравітаційно взаємодіяти з іншими тілами. Ця властивість тіла характеризується *гравітаційною масою*. Зараз експериментально встановлено, що *інертна маса тіла дорівнює його гравітаційній масі*. Тому далі будемо говорити просто про масу тіла.

Маса m — фізична величина, яка є мірою інертності та мірою гравітації тіла.*

* Маса є також мірою енергії — детальніше про це йтиметься далі.

Одиниця маси в СІ — **кілограм** (кг). 1 кг дорівнює масі міжнародного еталона кілограма.

Основні властивості маси

1. *Маса тіла — величина інваріантна:* вона не залежить від вибору СВ. Наприклад, маса пасажирів в потязі, що рухається, дорівнює його масі на пероні.
2. *Маса тіла не залежить від швидкості руху тіла.* Ця властивість маси є наслідком її інваріантності.
3. *Маса тіла — величина адитивна:* маса тіла дорівнює сумі мас усіх частинок, із яких складається тіло, а маса системи тіл дорівнює сумі мас тіл, що утворюють систему. Наприклад, маса авторучки дорівнює сумі мас молекул, з яких вона складається, і сумі мас її деталей.
4. *У класичній механіці виконується закон збереження маси:* у ході будь-яких процесів у системі тіл загальна маса системи залишається незмінною; маса тіла не змінюється під час його взаємодії з іншими тілами.

На перший погляд, перелічені властивості маси є очевидними, однак, щоб їх довести, був потрібен цілий ряд серйозних експериментальних і теоретичних досліджень.

3 Як виміряти масу тіла

Виміряти масу тіла означає порівняти її з масою еталона (з масою тіла, масу якого взято за одиницю). Один із найпоширеніших способів прямого вимірювання маси тіла — зважування. Оскільки маса — міра гравітації, то тіла, які мають рівну масу, однаково притягаються до Землі.

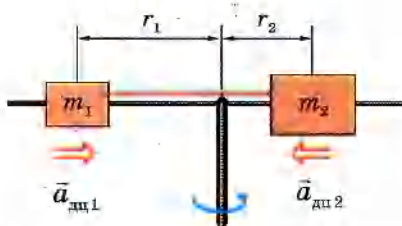


Рис. 17.1. Вимірювання прискорень, яких набувають тіла в результаті взаємодії. Два циліндри масами m_1 і m_2 наділи на стрижень відцентрової машини, зв'язали ниткою й розкрутили. Ковзаючи вздовж стрижня, кожний циліндр зупинився на певній відстані від осі обертання (відповідно r_1 і r_2). Дослід показує, що за будь-якої частоти обертання $\frac{a_{ц1}}{a_{ц2}} = \frac{m_2}{m_1}$

Зважування — один із найзручніших способів вимірювання маси, однак не універсальний. Як, наприклад, виміряти масу молекули або масу Місяця, адже покласти ці об'єкти на ваги неможливо? У таких випадках використовують той факт, що маса — міра інертності. Під час будь-якої взаємодії двох тіл відношення їхніх мас обернено пропорційне відношенню модулів прискорень, набутих тілами в результаті цієї взаємодії (рис. 17.1):

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1}{a_2}$$

Таким чином, якщо маса одного з тіл (наприклад m_1) відома, а масу другого тіла (m_2) потрібно визначити, то, вимірявши прискорення, набуті цими тілами в результаті взаємодії, можна обчислити масу другого тіла:

$$m_2 = \frac{m_1 a_1}{a_2}$$

Підбиваємо підсумки

Властивість тіла відгукуватися певним прискоренням на дію називають інертністю. Інертність — властивість тіла, яка полягає в тому, що для зміни швидкості руху тіла потрібен деякий час.

Маса m — фізична величина, яка є мірою інертності та мірою гравітації тіла. Одиниця маси в СІ — кілограм (кг).

Виміряти масу тіла означає порівняти її з масою тіла, масу якого взято за одиницю. Способи вимірювання маси тіла: зважування; за відношенням прискорень, набутих цим тілом і тілом відомої маси в результаті взаємодії.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення інертності. 2. Обґрунтуйте, чому можна стверджувати, що слон інертніший за м'яч. 3. Що таке маса тіла? Яка одиниця маси в СІ? 4. Пригадайте, що являє собою еталон маси. 5. Назвіть основні властивості маси. 6. Що означає виміряти масу тіла? Які способи вимірювання маси ви знаєте?

Вправа № 14

- Наведіть приклади пар тіл, одне з яких більш інертне, ніж друге (наприклад: Земля більш інертна, ніж Місяць; стіл більш інертний, ніж стілець).
- Сталевий візок, рухаючись зі швидкістю 4 м/с, зіткнувся з нерухомим алюмінієвим візком і після цього продовжив свій рух зі швидкістю 1 м/с. Якої швидкості набув у результаті зіткнення алюмінієвий візок, якщо його маса в три рази менша, ніж сталевого візка?
- Два циліндри — мідний і дерев'яний (дубовий) — зв'язали ниткою й розкрутили на відцентровій машині. При цьому виявилось, що мідний циліндр розташувався на відстані 8 см від осі обертання. Якою є довжина нитки, якщо об'єми циліндрів однакові?

Експериментальне завдання

Підвісьте на тонкій нитці тягар, знизу прикріпіть таку саму нитку (див. рисунок). Повільно тягніть нижню нитку доти, доки верхня нитка не обірветься. Повторіть дослід, але цього разу за нижню нитку різко смикніть. Поясніть одержані результати, зробіть висновки.

**§ 18. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА**

Ми вже багато разів говорили про геніального англійського вченого Ісаака Ньютона. За свої наукові заслуги він навіть одержав лицарське звання й титул лорда. «Природа для нього була відкритою книгою, яку він читав без зусиль», — писав про цього вченого Альберт Ейнштейн. У роботі «Математичні начала натуральної філософії» (1687) Ньютон сформулював «аксіоми руху» — їх тепер називають *законами Ньютона*. Про другий закон Ньютона — основний закон динаміки — йтиметься в цьому параграфі.

Другий закон Ньютона

У результаті дії на тіло деякої сили тіло набуває прискорення, значення якого залежить від маси цього тіла. З'ясуємо експериментально, якою залежністю пов'язані сила, прискорення та маса тіла.