

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.

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/с^2 .

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).

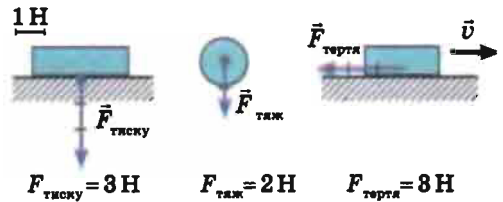


Рис. 16.1. Сила повністю визначена, якщо задано її модуль, напрямок, точку прикладення

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).

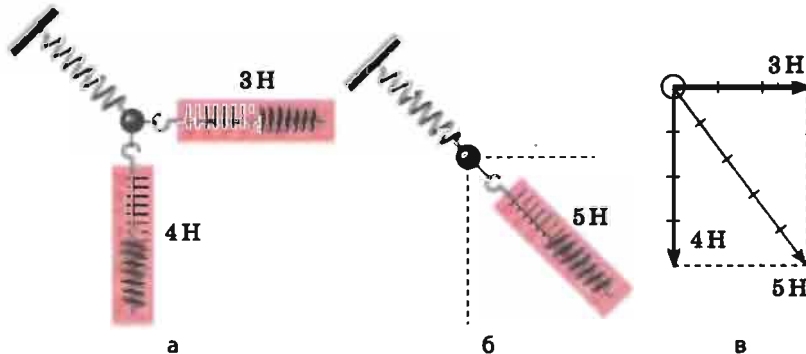


Рис. 16.2. Сили 3 Н і 4 Н, напрямлені під кутом 90° одна до одної (а), діють на пружину так само, як сила 5 Н (б). У цьому випадку сила 5 Н — рівнодійна сил 3 Н і 4 Н (в)

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.

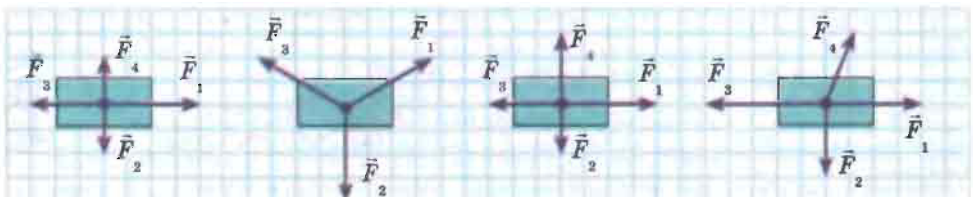
Рівнодійна сила — це сила, яка діє на тіло так само, як декілька сил, що діють одночасно; вона дорівнює геометричній сумі сил, які діють на дане тіло: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$.

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

1. Чи можна сказати, що дія одних тіл на інші є причиною їхнього руху?
2. 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.
3. 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?
4. 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.



■ 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 по-різному 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.

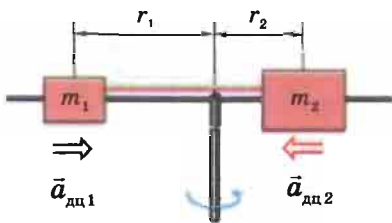


Рис. 17.1. Вимірювання прискорень, яких набувають тіла в результаті взаємодії. Два циліндри масами m_1 і m_2 наділи на стрижень відцентрової машини, зв'язали ниткою й розкрутили. Ковзаючи вздовж стрижня, кожний циліндр зупинився на певній відстані від осі обертання (відповідно r_1 і r_2). Дослід показує, що за будь-якої частоти обертання $\frac{a_{\text{ак1}}}{a_{\text{ак2}}} = \frac{m_2}{m_1}$

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.