


§ 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.

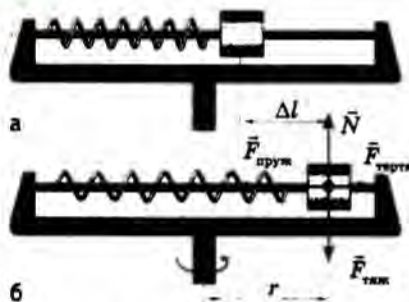


Рис. 18.1. Дослід зі встановлення другого закону Ньютона за допомогою відцентрової машини: а — поки машині не надано обертання, пружина залишається нерозтягнутою й сила пружності пружини, що діє на циліндр, дорівнює нулю; б — після початку обертання пружина розтягується й на циліндр починає діяти сила пружності пружини, надаючи йому доцентрового прискорення

Для експерименту скористаємося циліндром, надітим на стрижень відцентрової машини, та пружиною, один кінець якої прикріплено до циліндра, а другий — до рами машини (рис. 18.1, а).

Під час обертання на циліндр діють чотири сили: сила пружності $\vec{F}_{\text{пруж}}$ пружини, сила тертя $\vec{F}_{\text{тертя}}$ циліндра об вісь машини, сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ та сила нормальної реакції опори \vec{N} (рис. 18.1, б). Сила тяжіння скомпенсована силою реакції опори, а отвір і стрижень добре відшліфовані та змащені, тому силою тертя циліндра об стрижень можна знехтувати. Таким чином, можна з достатньою точністю стверджувати, що в даному випадку причина прискорення циліндра — тільки сила пружності, значення якої легко визначити за видовженням Δl пружини: $F_{\text{пруж}} = k\Delta l$, де k — жорсткість пружини.

Дослід показує: чим швидше обертається машина, тим більше видовжується пружина. При цьому у скільки разів збільшується сила пружності пружини, у стільки ж разів збільшується доцентрове прискорення, якого набуває циліндр у результаті дії цієї сили. Таким чином, *прискорення тіла прямо пропорційне прикладеній до цього тіла силі*:

$$a \sim F.$$

Досліди з циліндрами різної маси дають такий результат: за незмінної сили пружності (видовження пружини не змінюється) прискорення, якого набуває циліндр, зменшується у стільки ж разів, у скільки разів збільшується маса циліндра. Отже, *прискорення, якого набуває тіло внаслідок дії даної сили, обернено пропорційне масі цього тіла*:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

В інерціальних системах відліку при будь-якій взаємодії виконуються співвідношення: $a \sim F$ і $a \sim \frac{1}{m}$. Об'єднавши ці співвідношення й узявши до уваги, що напрямком прискорення тіла завжди збігається з напрямком сили, у результаті дії якої це прискорення набуте ($\vec{a} \uparrow \vec{F}$), сформулюємо **другий закон Ньютона**:

Прискорення, якого набуває тіло внаслідок дії сили, прямо пропорційне цій силі та обернено пропорційне масі тіла:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Цей вираз можна записати і для модулів:

$$a = \frac{F}{m}, \text{ і для проекцій: } a_x = \frac{F_x}{m}; a_y = \frac{F_y}{m}; a_z = \frac{F_z}{m}.$$

2 Що впливає з другого закону Ньютона

Наслідки із другого закону Ньютона

1. Прискорення визначається силою, яка діє на тіло (сила — причина прискорення). Змінення сили приводить до змінення прискорення, а не навпаки.
2. Якщо на тіло одночасно діють кілька сил, то у формулі, яка є математичним записом другого закону Ньютона, силу слід розуміти як рівнодійну \vec{F} усіх сил, прикладених до тіла: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ (рис. 18.2). У цьому випадку другий закон Ньютона можна записати так:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}, \text{ або } \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}.$$

Останньою формулою зручно користуватися для розв'язування задач.

3. Напрямок прискорення руху тіла завжди збігається з напрямком рівнодійної сил, прикладених до тіла.
4. Якщо сили, що діють на тіло, скомпенсовані, тобто $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$, то $\vec{a} = 0$ (рис. 18.3). Таким чином, закон інерції можна сформулювати так: *тіло перебуває у стані спокою або рухається з постійною швидкістю ($\vec{a} = 0$), якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю.*
5. Тіло рухається рівноприскорено тільки в тому випадку, якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, не змінюється з часом.

Справді, оскільки $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, а $m = \text{const}$, то

$$\vec{a} = \text{const}, \text{ якщо } \vec{F} = \text{const}.$$

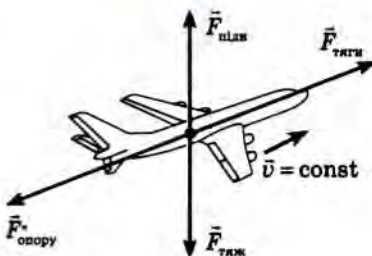
6. На підставі другого закону Ньютона встановлюється одиниця сили: якщо маса тіла дорівнює 1 кг, а прискорення, якого набуває тіло в результаті дії сили, дорівнює 1 м/с², то з рівності $F = ma$ маємо, що сила дорівнює одиниці сили — 1 Н (1 Н = 1 кг · 1 м/с²).



Рис. 18.2. Сила \vec{F} — рівнодійна сили тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$, сили нормальної реакції опори \vec{N} і сили тертя ковзання $\vec{F}_{\text{тертя ковзання}}$, що діють на лижника під час спуску з гори. Сила \vec{F} викликає прискорення \vec{a} лижника



а



б

Рис. 18.3. Якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю, то тіло перебуває у стані спокою (а) або рухається з постійною швидкістю (б)

3 Чому другий закон Ньютона називають основним законом динаміки

Другий закон Ньютона дозволяє встановити причини багатьох механічних явищ, за його допомогою можна розв'язати більшість практичних задач на рух тіл. Другий закон Ньютона дозволяє розв'язати основну задачу механіки — визначити положення тіла в будь-який момент часу. Справді, знаючи масу тіла та сили, що діють на нього, легко визначити прискорення цього тіла. Знаючи ж залежність прискорення тіла від часу та початкові умови руху (початкову швидкість, початкові координати тіла), можна визначити координати і швидкість руху тіла в будь-який момент часу.

1 Підбиваємо підсумки

Другий закон Ньютона — основний закон динаміки. Цей закон виконується тільки в інерціальних СВ: прискорення \vec{a} , якого набуває тіло під дією сили \vec{F} , прямо пропорційне цій силі та обернено про-

порційне масі m тіла: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Наслідки із другого закону Ньютона:

1) сила — причина прискорення; прискорення визначається силою, а не навпаки;

2) якщо на тіло одночасно діють кілька сил ($\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$),

то другий закон Ньютона можна записати так: $\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}$, або

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a};$$

3) напрямок прискорення завжди збігається з напрямком рівнодійної сил, прикладених до тіла;

4) якщо сили, що діють на тіло, скомпенсовані, то тіло перебуває в спокої або рухається з постійною швидкістю (якщо $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$, то $\vec{a} = 0$);

5) тіло рухається рівноприскорено тільки в тому випадку, якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, не змінюється з часом;

6) одиниця сили (ньютон) встановлюється на підставі другого закону Ньютона: $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2$.

Контрольні запитання

1. Від яких чинників залежить прискорення тіла? Опишіть дослід, що встановлює цю залежність. 2. Сформулюйте другий закон Ньютона, запишіть його математичний вираз. 3. Чому другий закон Ньютона називають основним законом динаміки? 4. Що можна сказати про напрямок сили та прискорення, якого ця сила надає тілу? 5. Як записати другий закон Ньютона, якщо на тіло діють кілька сил? 6. Сформулюйте закон інерції, спираючись на другий закон Ньютона. 7. Якою є умова рівноприскореного руху тіла?

Вправа № 13

1. Як напрямлена рівнодійна сил, прикладених до автомобіля, коли він розганяється на горизонтальній ділянці дороги? 2. Чи можна виходячи з формули $\vec{F} = m\vec{a}$ стверджувати, що сила, яка діє на тіло, залежить від маси цього тіла та прискорення, якого надає тілу дана сила?

3. Тіло масою 2 кг, яке рухається на південь, змінює швидкість свого руху внаслідок дії постійної сили 10 Н, направленої на схід. Визначте модуль і напрямок прискорення тіла.
4. Кулька масою 200 г закріплена на невагомому стрижні й рівномірно рухається по колу радіусом 10 см (див. рисунок). Які сили діють на кульку? Куди направлена їхня рівнодійна? Визначте її значення, якщо кулька здійснює 10 обертів за 5 с.
5. На тіло масою 5 кг діють дві взаємно перпендикулярні сили: 9 Н і 12 Н. Визначте прискорення цього тіла.
6. Під дією сили 15 кН тіло рухається прямолінійно так, що його координата змінюється за законом: $x = -200 + 9t - 3t^2$. Визначте масу цього тіла.

