

## ТЕМА 5. ЗАКОНИ НЬЮТОНА

- Механічний рух тіл або частин тіла змінюється під час їхньої взаємодії один з одним. Унаслідок взаємодії тіла можуть набувати прискорень або деформуватись.
- Сила  $\vec{F}$  — векторна фізична величина, що є мірою взаємодії тіл. Одиниця вимірювання модуля сили в СІ — ньютон (Н):  $1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ . Модуль сили вимірюють динамометром.

Якщо до матеріальної точки прикладені кілька сил  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ , то їхню дію можна замінити дією однієї сили, що дорівнює векторній сумі всіх прикладених сил  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$  і яку називають *рівнодійною*.

- *Інертність* — це властивість тіла, яка характеризує його здатність набувати прискорення під дією певної сили. Більш інертні тіла під дією тієї самої сили набувають менших прискорень.
- *Маса тіла  $m$*  — скалярна фізична величина, що є мірою інертності тіл. Одиницею вимірювання маси у СІ є 1 кг. Масу однорідного тіла можна обчислити за формулою  $m = \rho V$ , де  $\rho$  — густина речовини, з якої виготовлене тіло (у СІ густину вимірюють у  $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Масу тіла можна виміряти зважуванням або при взаємодії з тілом відомої маси.

• *I закон Ньютона (закон інерції)*. Існують системи відліку, відносно яких тіло, що рухається поступально, зберігає свою швидкість (перебуває в спокої або рухається прямолінійно і рівномірно), коли рівнодійна всіх прикладених до тіла сил дорівнює нулю. Тобто в деяких системах відліку  $\vec{a} = 0$ , якщо  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ .

• Системи відліку, в яких тіло зберігає свою швидкість при умові, що  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ , називають *інерціальними*.

Для розрахунку практично всіх рухів поблизу земної поверхні (автомобілів, літаків, деталей машин) можна як інерціальну систему відліку вибирати систему, зв'язану із Землею. Системи відліку, що рухаються без прискорення відносно інерціальної системи, теж є інерціальними.

• Усі інерціальні системи відліку рівноправні: в усіх цих системах усі механічні явища протікають однаково. Це твердження називають *принципом відносності Галілея*.

• *II закон Ньютона*. Прискорення, якого набуває тіло при взаємодії, прямо пропорційне до рівнодійної прикладених сил, обернено пропорційне до маси тіла і має напрям рівнодійної:

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

Для розв'язування задач II закон Ньютона зручно записувати у вигляді:

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

Це рівняння називають динамічним рівнянням руху. II закон Ньютона справедливий лише в інерціальних системах відліку та для тіл, що рухаються з невеликими, порівняно зі швидкістю світла, швидкостями. II закон Ньютона також не можна застосовувати для опису руху елементарних частинок.

• *III закон Ньютона*. Сили, що виникають при взаємодії двох тіл, рівні за величиною і протилежні за напрямком:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ . Ці сили прикладені до різних тіл і мають однакову фізичну природу.

### Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** За графіком залежності  $F_x(t)$  побудуйте графік залежності  $v_x(t)$ , якщо тіло починає рухатись зі стану спокою.

Розв'язання

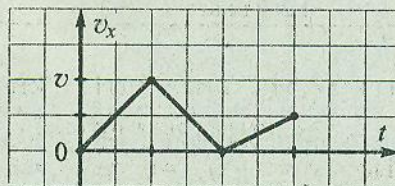
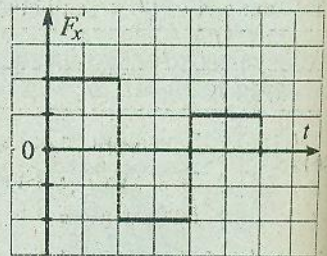
I ділянка:  $F_{x1} > 0$ , отже, швидкість тіла зростає від 0 до  $v$ .

II ділянка:  $F_{x2} < 0, |F_{x1}| = |F_{x2}|$ , тоді  $|a_1| = |a_2|$ , отже, швидкість тіла

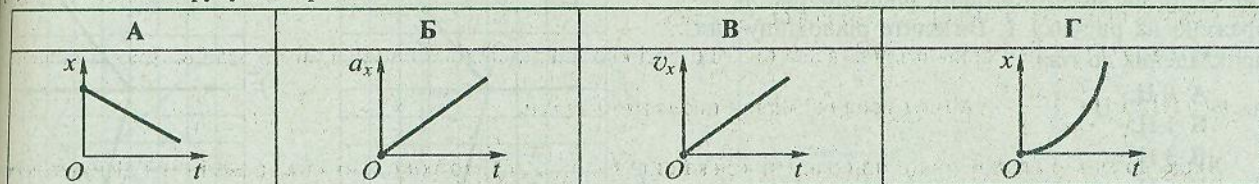
зменшується від  $v$  до 0.

III ділянка:  $F_{x3} > 0, F_{x3} = \frac{F_{x1}}{2}$ , тоді  $a_3 = \frac{a_1}{2}$  і швидкість на цій ділянці зростає від 0 до  $\frac{v}{2}$ .

Графік швидкості зображений на рисунку.



**Приклад 2 (пробне ЗНО-2016).** Декілька тіл рухаються вздовж осі  $Ox$  інерціальної системи відліку. Укажіть тіло, який відповідає руху за інерцією.



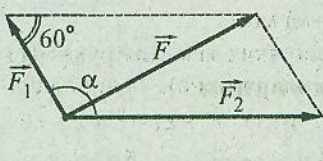
**Розв'язання**

Під час руху за інерцією тіло зберігає швидкість, тобто, рухається рівномірно і прямолінійно. Графік руху такого тіла показано на рисунку А.

Відповідь: А.

**Приклад 3.** На тіло, що має масу 2 кг, діють сили  $F_1 = 10$  Н та  $F_2 = 20$  Н, кут між якими становить  $120^\circ$ . Якого прискорення набуває тіло?

$F_1 = 10$  Н  
 $F_2 = 20$  Н  
 $\alpha = 120^\circ$   
 $m = 2$  кг  
 $a = ?$



Побудуємо векторну діаграму сил. Рівнодійна двох сил дорівнює  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ . За теоремою косинусів:

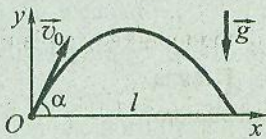
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos(180^\circ - \alpha)} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos 60^\circ} = 10\sqrt{3} \text{ (Н)}$$

За II законом Ньютона:  $a = \frac{F}{m} = 5\sqrt{3} \left( \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right) \approx 8,7 \left( \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right)$ .

Відповідь: 8,7 м/с<sup>2</sup>.

**Приклад 4.** З якою мінімальною силою має вдарити футболіст по м'ячу, щоб той пролетів відстань 50 м? Маса м'яча становить 500 г, тривалість удару — 20 мс. Опором повітря знехтуйте.

$l = 50$  м  
 $m = 0,5$  кг  
 $t = 0,02$  с  
 $F_{\min} = ?$



М'яч після удару футболіста рухається під кутом до горизонту. Дальність польоту м'яча дорівнює  $l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ . Звідси  $v_0 = \sqrt{\frac{gl}{\sin 2\alpha}}$ .

Прискорення, якого набуває м'яч під час удару  $a = \frac{v_0}{t}$ . За II законом Ньютона  $F = ma = \frac{mv_0}{t} = \frac{m}{t} \sqrt{\frac{gl}{\sin 2\alpha}}$ .

Прикладена до м'яча сила буде мінімальною, якщо  $\sin 2\alpha = 1$ . Тоді  $F_{\min} = \frac{m}{t} \sqrt{gl} = 250$  (Н).

$$[F_{\min}] = \frac{\text{кг}}{\text{с}} \cdot \sqrt{\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot \text{М}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{М}}{\text{с}^2} = \text{Н}$$

Відповідь: 250 Н.

**Приклад 5 (пробне ЗНО-2009).** Визначте модуль результуючої всіх сил, які діють на автомобіль, якщо маса автомобіля дорівнює 800 кг, а рівняння його руху —  $x = 2 + 3t + 4t^2$ .

| А      | Б      | В     | Г      |
|--------|--------|-------|--------|
| 3200 Н | 6400 Н | 800 Н | 2100 Н |

$x = 2 + 3t + 4t^2$ . З рівняння руху визначимо проєкції прискорення:  $a_x = 8$  м/с<sup>2</sup>.

$m = 800$  кг. За II законом Ньютона  $F_x = ma_x = 6400$  (Н).

$F_x = ?$  Відповідь: Б

**Приклад 6 (ЗНО-2012).** Яка з характеристик руху обов'язково залишається незмінною під час переходу від однієї інерціальної системи відліку до іншої?

| А           | Б         | В             | Г           |
|-------------|-----------|---------------|-------------|
| Прискорення | Швидкість | Напрямок руху | Переміщення |

**Розв'язання**

Прискорення тіла відносно нерухомої системи відліку (Землі) дорівнює  $\vec{a}_{т,н} = \vec{a}_{т,р} + \vec{a}_{р,н}$ , де  $\vec{a}_{т,р}$  — прискорення тіла в рухомій системі відліку,  $\vec{a}_{р,н}$  — прискорення рухомої системи відносно нерухомої. Оскільки прискорення інерціальної системи відліку відносно Землі  $\vec{a}_{р,н} = 0$ , то  $\vec{a}_{т,н} = \vec{a}_{т,р}$ . Отже, при переході з однієї ІСВ до іншої зберігається прискорення тіла.

Відповідь: А.