

Взаємодія тіл. Імпульс. Закон збереження імпульсу

Замкнена система тіл

Система тіл – це декілька тіл, що взаємодіють одне з одним.

Внутрішні сили системи – це сили, які характеризують взаємодію тіл системи між собою.

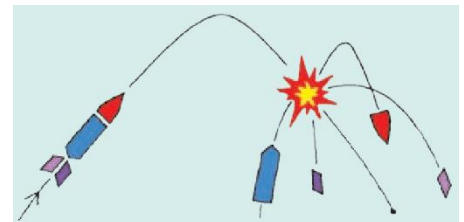
Замкнена система тіл (ізолювана) – це така система тіл, на яку не діють зовнішні сили, а будь-які зміни стану системи є результатом дії внутрішніх сил.

- Чи можливо на Землі знайти замкнену систему тіл?

На Землі неможливо знайти замкнену систему тіл: на будь-яке тіло діє сила тяжіння, будь-який рух тіл супроводжується тертям. Тому на практиці систему тіл вважають замкненою, якщо *зовнішні сили, які діють на систему, зрівноважені або набагато менші від внутрішніх сил системи.*

- Яку систему можна вважати замкненою (незамкненою)?

Під час вибуху феєрверка зовнішні сили, що діють на його «осколки» (сила тяжіння та сила опору), у багато разів менші від сил, з якими «осколки» відштовхуються, тому під час вибуху систему тіл «осколки» можна вважати замкненою. А от після вибуху притяганням Землі й опором повітря нехтувати не можна і система тіл «осколки» буде незамкненою.



Якщо людина штовхає ядро, стоячи на легкорухомому візку, то систему тіл «людина на візку – ядро» можна вважати замкненою, адже силу тяжіння зрівноважує сила нормальної реакції опори, а сила тертя кочення є незначною. Якщо ж людина штовхає ядро, стоячи на землі, то система тіл «людина – ядро» є незамкненою, бо сила тертя є порівнянною із силою взаємодії людини і ядра.



Імпульс тіла

Пригадаємо.

Формула для визначення прискорення: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$

Другий закон Ньютона: $\vec{F} = m\vec{a}$

$$\vec{F} = \frac{m(\vec{v} - \vec{v}_0)}{t} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

Імпульс тіла – це векторна фізична величина, яка дорівнює добутку маси тіла на швидкість його руху.

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$\vec{p}$ – імпульс тіла

m – маса тіла

$\vec{v}$ – швидкість руху тіла

Одиниця імпульсу тіла в СІ – **кілограм-метр за секунду**:

$$[p] = 1 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

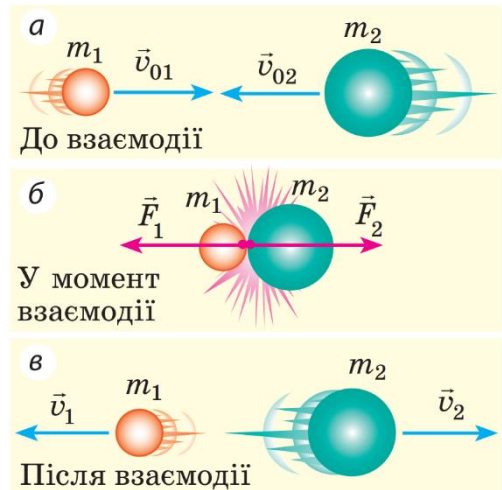
Закон збереження імпульсу

Розглянемо взаємодію двох тіл масами m_1 і m_2 .

Тіла утворюють замкнену систему й рухаються зі швидкостями $\vec{v}_{01}$ і $\vec{v}_{02}$ відповідно.

У результаті взаємодії, яка триває певний інтервал часу t , обидва тіла змінюють швидкість свого руху до $\vec{v}_1$ і $\vec{v}_2$.

Система замкнена, тому причиною зміни швидкості руху кожного тіла є тільки сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$ – внутрішні сили системи. Відповідно до третього закону Ньютона ці сили рівні за модулем і протилежні за напрямком: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$



Запишемо для кожного тіла другий закон Ньютона:

$$\vec{F}_1 t = m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01} \quad \vec{F}_2 t = m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}$$

$$\vec{F}_1 t = -\vec{F}_2 t$$

$$m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01} = -(m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02})$$

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Закон збереження імпульсу:

У замкненій системі тіл векторна сума імпульсів тіл до взаємодії дорівнює векторній сумі імпульсів тіл після взаємодії.

Закон збереження імпульсу (будь-яка кількість тіл):

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} + \dots + m_n \vec{v}_{0n} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$$

n – кількість тіл системи

Із виявами закону збереження імпульсу ми постійно маємо справу в природі, техніці, побуті:

- рух більярдних куль після удару одна об одну;
- віддача відбійного молотка.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

1. Визначте імпульс космічного корабля масою 10 т, що рухається по орбіті зі швидкістю 7,8 км/с.

Дано:

$$m = 10 \text{ т} = 10^4 \text{ кг}$$

$$v = 7,8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

$$= 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$p = ?$$

Розв'язання

$$p = mv$$

$$[p] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$p = 10^4 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 7,8 \cdot 10^7 \left(\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{Відповідь: } p = 7,8 \cdot 10^7 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2. Яка маса мопеда, якщо його імпульс дорівнює 1200 кг·м/с за швидкості руху 15 м/с?

Дано:

$$p = 1200 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m = ?$$

Розв'язання

$$p = mv \Rightarrow m = \frac{p}{v}$$

$$[m] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \text{кг} \quad m = \frac{1200}{15} = 80 \text{ (кг)}$$

$$\text{Відповідь: } m = 80 \text{ кг.}$$

3. З якою швидкістю мав би рухатися легковий автомобіль, маса якого 1,5 т, щоб у нього був такий самий імпульс, як у вантажівки масою 9 т, що рухається зі швидкістю 54 км/год?

Дано:

$$m_a = 1,5 \text{ т}$$

$$= 1500 \text{ кг}$$

$$m_b = 9 \text{ т}$$

$$= 9000 \text{ кг}$$

$$v_b = 54 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_a = ?$$

Розв'язання

$$p_a = p_b \Rightarrow m_a v_a = m_b v_b$$

$$v_a = \frac{m_b v_b}{m_a} \quad [v_a] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_a = \frac{9000 \cdot 15}{1500} = 90 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{Відповідь: } v_a = 324 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

3. Сталева куля рухається зі швидкістю 1 м/с, а алюмінієва куля такого самого радіуса – зі швидкістю 4 м/с. Яка з куль має більший імпульс?

Дано:

$$v_c = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_a = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$r_c = r_a = r$$

$$\rho_c = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_a = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\frac{p_a}{p_c} = ?$$

Розв'язання

$$\frac{p_a}{p_c} = \frac{m_a v_a}{m_c v_c} = \frac{\rho_a V_a v_a}{\rho_c V_c v_c} = \frac{\rho_a \frac{4}{3} \pi r^3 v_a}{\rho_c \frac{4}{3} \pi r^3 v_c} = \frac{\rho_a v_a}{\rho_c v_c}$$

$$\frac{p_a}{p_c} = \frac{2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \approx 1,4$$

$$\text{Відповідь: імпульс алюмінієвої кулі більший за імпульс сталевих кулі в 1,4 рази.}$$