

§ 36. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Уперше закон збереження енергії у фізиці застосували німецькі фізики *Юліус Роберт Маєр* (1814–1878) і *Герман Людвіг Гельмгольц* (1821–1894). Ідеї вчених, сприйняті спочатку скептично, виявилися настільки зручними для розв'язування практичних задач, що невдовзі набули широкого застосування в усіх галузях фізики. Сьогодні ви познайомитеся із законом збереження енергії в механіці та побачите, наскільки його знання спрощує розв'язування задач.

Закон збереження повної механічної енергії

Часто тіло (система тіл) має і потенціальну, і кінетичну енергію водночас. Так, літак у польоті має потенціальну енергію (оскільки взаємодіє із Землею) і кінетичну (оскільки рухається). Система тіл «тятима лука — стріла» під час пострілу має потенціальну енергію, тому що тятима натягнута, а стріла стиснута, і має кінетичну енергію, оскільки тіла системи перебувають у русі. Отже, є доцільним введення поняття *повної механічної енергії*.

Повна механічна енергія системи тіл — сума кінетичної і потенціальної енергій системи:

$$W = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}$$

Повна механічна енергія системи тіл визначається взаємним розташуванням тіл (або частин тіл) та швидкістю їхнього руху.

Розглянемо замкнену систему тіл, які взаємодіють одне з одним тільки консервативними силами (силами тяжіння або силами

пружності). Згідно з теоремою про потенціальну енергію робота, виконувана цими силами, дорівнює зміні потенціальної енергії системи, взятій із протилежним знаком: $A = -(W_{\text{п}} - W_{\text{п}0})$. (1)

З іншого боку, відповідно до теореми про кінетичну енергію, цю саму роботу можна знайти зі співвідношення: $A = W_{\text{к}} - W_{\text{к}0}$. (2)

Зрівнявши праві частини рівностей (1) і (2), маємо:

$$-(W_{\text{п}} - W_{\text{п}0}) = W_{\text{к}} - W_{\text{к}0}, \text{ або } W_{\text{к}0} + W_{\text{п}0} = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}.$$

Остання рівність являє собою математичний запис **закону збереження повної механічної енергії**:

У замкненій системі тіл, які взаємодіють тільки консервативними силами, повна механічна енергія залишається незмінною (зберігається):

$$W_{\text{к}0} + W_{\text{п}0} = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}$$

Закон збереження повної механічної енергії одержаний із законів Ньютона (що справджуються для опису руху та взаємодії макротіл), однак має ширшу ділянку застосування: повна механічна енергія зберігається й для систем мікрочастинок, для яких закони Ньютона незастосовні.

2 Взаємне перетворення потенціальної і кінетичної енергій у механічних процесах

Той факт, що сума потенціальної і кінетичної енергій залишається незмінною, свідчить: *якщо в замкненій системі тіл роботу виконують тільки консервативні сили, то на скільки зменшується потенціальна енергія системи, на стільки ж збільшується її кінетична енергія, і навпаки*. Тобто в процесі виконання роботи відбувається *перетворення* одного виду механічної енергії на інший.

Нехай пружне тіло, наприклад, м'яч, кинуте вертикально вгору. Під час руху вгору швидкість руху м'яча зменшується, відповідно, зменшується і його кінетична енергія

$\left(W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} \right)$, потенціальна ж енергія

м'яча, навпаки, збільшується, тому що збільшується висота його підняття ($W_{\text{п}} = mgh$). Сягнувши деякої висоти h_{max} , м'яч зупиняється і потім під дією сили тяжіння починає рух униз. Якщо в процесі падіння м'яч не зазнає опору повітря, то він сягне поверхні Землі з тією самою швидкістю руху, яку мав на початку підняття. У момент зіткнення із Землею *вся* кінетична енергія м'яча перейде в потенціальну енергію деформованих тіл (м'яча і Землі). Якщо деформації пружні, то практично миттєво *вся* потенціальна енергія системи перейде в кінетичну енергію руху м'яча, але швидкість руху м'яча буде вже напрямлена вгору, від Землі. Далі рух тіла повториться в тому самому порядку.

Це взаємне перетворення двох видів механічної енергії для тіла, яке рухається без тертя під дією притягання Землі, зручно описувати

за допомогою графіків залежності $W_{\text{п}}(h)$, $W_{\text{к}}(h)$, $W(h)$, які наводять на одному рисунку (рис. 36.1). Зверніть увагу: у даному випадку потенціальна та кінетична енергії лінійно залежать від висоти, повна ж енергія залишається незмінною.

Аналогічно за допомогою графіків можна описати й процес перетворення енергії в системі «тіло — пружина» (рис. 36.2).

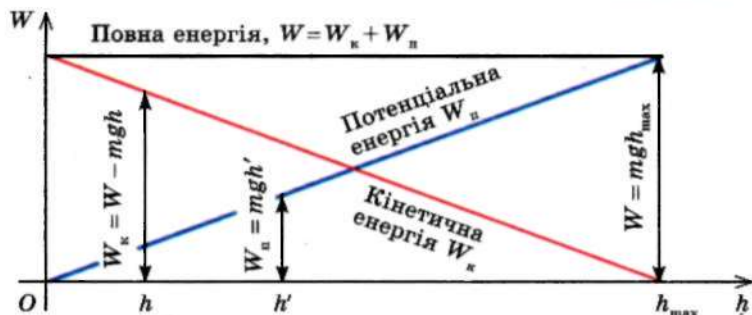


Рис. 36.1. Графіки залежності енергії від висоти підняття для тіла, яке рухається поблизу поверхні Землі. Під час збільшення висоти підняття тіла від 0 до h_{max} його потенціальна енергія збільшується, а кінетична зменшується. Під час зменшення висоти підняття тіла від h_{max} до 0 кінетична енергія тіла збільшується, а потенціальна зменшується. Повна енергія тіла залишається постійною

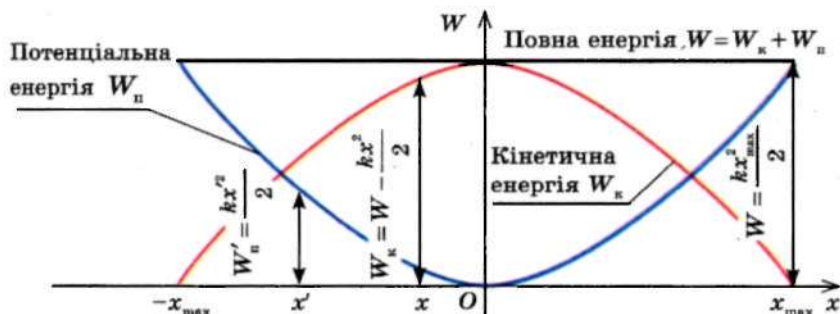


Рис. 36.2. Графіки залежності енергії системи «тіло — пружина» від деформації пружини. Під час збільшення деформації пружини (пружина розтягується від 0 до x_{max} або стискається від 0 до $-x_{\text{max}}$) потенціальна енергія пружини збільшується, а кінетична енергія тіла зменшується; під час зменшення деформації пружини збільшується кінетична енергія тіла, а потенціальна енергія пружини зменшується. Повна механічна енергія системи не змінюється

Чи зберігається енергія, якщо в системі є тертя

Закон збереження повної механічної енергії передбачає перетворення кінетичної енергії на потенціальну й навпаки. При цьому повна механічна енергія залишається незмінною.

Перетворення одного виду механічної енергії на інший спостерігається скрізь. Камінь падає з вершини гори — потенціальна енергія каменя перетворюється на кінетичну. Легкоатлет, розігнавшись, перестрибує через планку — його кінетична енергія перетворюється на потенціальну і далі знову на кінетичну. Однак чи зберігається при

цьому повна механічна енергія? Чи підскочить камінь, який упав із гори, на ту саму висоту, з якої впав? Чи дорівнюватиме швидкість руху легкоатлета в момент приземлення тій, що була на початку стрибка? Наш досвід підказує, що ні. Річ у тім, що закон збереження повної механічної енергії виконується тільки в тому випадку, якщо в системі відсутнє тертя. Однак у природі не існує рухів, які не супроводжувалися б тертям. А оскільки сила тертя завжди напрямлена проти руху тіла, то в процесі руху вона виконує від'ємну роботу, при цьому повна механічна енергія системи буде зменшуватися, а робота сили тертя дорівнюватиме:

$$A_{\text{тертя}} = W_0 - W,$$

де $A_{\text{тертя}}$ — робота сили тертя; W_0 — механічна енергія системи на початку спостереження; W — механічна енергія системи наприкінці спостереження.

Втрати енергії спостерігаються й у випадку непружного удару тіла об землю. Коли камінь стикається з поверхнею Землі, у ньому виникають необоротні пластичні деформації, він утрачає практично всю свою кінетичну енергію й процес його руху припиняється. Чи означає це, що в разі наявності тертя або в разі непружної деформації повна енергія безслідно зникає? Здавалося б, так. Однак вимірювання показують, що і в процесі тертя, і в разі непружного удару температура тіл, що взаємодіють, збільшується, тобто збільшується їхня внутрішня енергія. Отже, кінетична енергія не зникає, а перетворюється на внутрішню енергію — як самого тіла, так і тіл, які з ним взаємодіяли.

Енергія нікуди не зникає й нізвідки не з'являється: вона лише перетворюється з одного виду на інший, передається від одного тіла до іншого.



Учимося розв'язувати задачі

За допомогою закону збереження механічної енергії значно простіше визначати кінематичні величини, ніж якщо безпосередньо застосовувати рівняння кінематики й закони динаміки Ньютона. Розглянемо приклад.

Задача. Тіло кинуте зі швидкістю v_0 під кутом α до горизонту. Визначте максимальну висоту h_{max} підняття тіла і модуль його швидкості v_1 на висоті h ($h_1 < h_{\text{max}}$). Опором повітря знехтувати.

Дано:

v_0

α

$h_0 = 0$

h_1

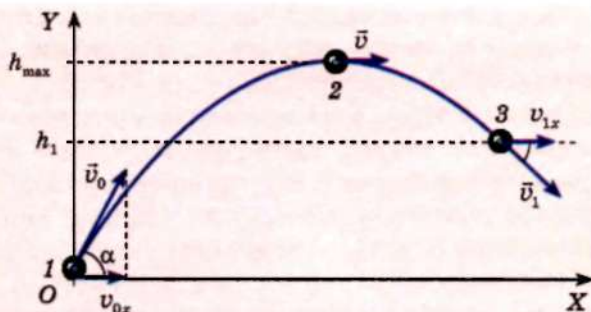
g

$h_{\text{max}} — ?$

$v_1 — ?$

Аналіз фізичної проблеми. Для розв'язання задачі виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зазначимо положення тіла і напрямок швидкості його руху:

- 1) на початку руху тіла;
- 2) на максимальній висоті h_{max} ;
- 3) на деякій висоті h_1 .



Оскільки опір повітря відсутній, то можна скористатися законом збереження енергії. Пригадаємо, що під час руху тіла під дією сили тяжіння проекція швидкості на горизонтальну вісь OX не змінюється: $v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$. У верхній точці траєкторії швидкість руху тіла напрямлена горизонтально, тому $v_x = v$.

Пошук математичної моделі, розв'язання. Для кожного положення тіла запишемо вираз для розрахунку повної механічної енергії:

$$1: W = \frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{mv^2}{2};$$

$$2: W = \frac{mv^2}{2} + mgh_{\max} = \frac{mv_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + mgh_{\max};$$

$$3: \bar{W} = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1.$$

Оскільки повна механічна енергія зберігається, маємо дві рівності:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + mgh_{\max}; \quad \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1.$$

Помноживши обидві рівності на 2 та скоротивши на m , знайдемо невідомі величини:

$$v_0^2 = v_0^2 \cos^2 \alpha + 2gh_{\max} \Rightarrow 2gh_{\max} = v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha \Rightarrow$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 (1 - \cos^2 \alpha)}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g};$$

$$v_0^2 = v_1^2 + 2gh_1 \Rightarrow v_1^2 = v_0^2 - 2gh_1 \Rightarrow v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2gh_1}.$$

Відповідь: максимальна висота підняття тіла: $h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$;

модуль швидкості руху на висоті $h_1 < h_{\max}$: $v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2gh_1}$.



Підбиваємо підсумки

Повна механічна енергія системи тіл — сума кінетичної і потенціальної енергій системи: $W = W_k + W_n$.

У замкненій системі тіл, які взаємодіють тільки консервативними силами, повна механічна енергія зберігається: $W_{k0} + W_{n0} = W_k + W_n$.

Якщо в системі наявна сила тертя (неконсервативна сила), то повна механічна енергія системи не зберігається, тому що частина механічної енергії перетворюється на внутрішню.



Контрольні запитання

1. Що називають повною механічною енергією системи? 2. Виведіть закон збереження повної механічної енергії. 3. Наведіть приклади перетворення потенціальної енергії тіла на кінетичну та навпаки. 4. За яких умов виконується закон збереження механічної енергії? 5. Наведіть приклади, коли повна механічна енергія не зберігається. Що можна сказати в цьому випадку про повну енергію системи?



Вправа № 31

Розв'язуючи задачі, опором повітря знехтуйте.

1. Пружинний пістолет заряджають кулькою та стріляють угору. Які при цьому відбуваються перетворення енергії?
2. Ви напевне чули про таке грізне й небезпечне явище природи, як сель у горах (потік каміння та грязі). Чому при цьому важкі валуни можуть набирати величезної швидкості? Зважте на роль грязі.
3. Тіло, що доти перебувало в стані спокою, падає з висоти 20 м. На якій висоті швидкість руху тіла дорівнюватиме 10 м/с? З якою швидкістю тіло впаде на землю?
4. Тіло кинуте з висоти 30 м вертикально вгору зі швидкістю 10 м/с. На якій висоті кінетична енергія тіла дорівнюватиме потенціальній?
5. До горизонтальної пружини прикріплено візок масою 0,5 кг. Визначте максимальну швидкість руху візка по столу, якщо жорсткість пружини 250 Н/м, а максимальна деформація пружини 4 см. Тертя візка об стіл не враховуйте.
6. Пружину жорсткістю 40 Н/м підвішено вертикально. До її нижнього кінця прикріплено тіло масою 800 г. Пружину відтягають униз на 15 см і відпускають. На яку висоту підніметься після цього тіло? Визначте максимальну швидкість руху тіла.

§ 37. ПРУЖНИЙ І АБСОЛЮТНО НЕПРУЖНИЙ УДАРИ



Багато хто з вас бачив або сам проводив такий дослід. На тонких сталевих стрижнях підвішено п'ять кульок (рис. 37.1). Якщо першу кульку відвести вбік і відпустити, то остання почне рухатись і відхилиться приблизно на такий самий кут, на який було відхилено першу кульку. Повертаючись, остання кулька вдарить систему з решти чотирьох кульок, після чого знову відхилиться перша кулька, а потім усе повториться. При цьому середні кульки залишаються практично нерухомими. Цей дослід легко пояснити, якщо скористатися законом збереження енергії та законом збереження імпульсу.



1 Чим пружний удар відрізняється від непружного



Удар (зіткнення) — це короткочасна взаємодія тіл, у ході якої вони безпосередньо торкаються одне одного.

У момент удару тіла змінюють швидкості свого руху. Оскільки систему тіл, що стикаються, цілком можна вважати замкненою

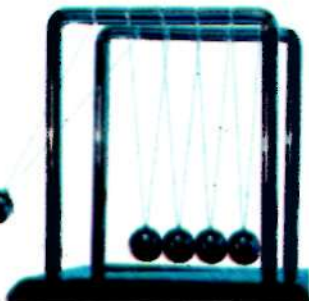


Рис. 37.1. Пристрій для демонстрації пружного зіткнення кульок

(під час удару внутрішні сили системи в багато разів більші за зовнішні сили), під час удару виконується закон збереження імпульсу.

Зіткнення тіл відбувається так. Після моменту дотику тіла продовжують зближуватись і тому деформуються. Виникає пара сил пружності, які надають кожному тілу деякого прискорення (рис. 37.2). У результаті швидкості руху тіл змінюються і в якийсь момент стають рівними. У цей момент тіла припиняють зближуватись, а сили пружності сягають максимального значення. У результаті дії сил пружності тіла починають віддалятися одне від одного і деформації тіл зменшуються.

До і після удару потенціальні енергії тіл дорівнюють нулю. Повна механічна енергія W_0 тіл на початку удару й повна механічна енергія W тіл наприкінці удару дорівнюють сумі кінетичних енергій цих тіл:

$$W_0 = \frac{m_1 v_{01}^2}{2} + \frac{m_2 v_{02}^2}{2}; \quad W = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}.$$

Якщо після зіткнення сумарна кінетична енергія зберігається ($W_0 = W$), то таке зіткнення називають **пружним ударом**. Якщо після зіткнення сумарна кінетична енергія не зберігається ($W_0 > W$), то таке зіткнення називають **непружним ударом**.

Ми розглянемо дві моделі ударів — **абсолютно neprужний удар** і **пружний удар**.

Абсолютно neprужний удар — зіткнення тіл, у результаті якого тіла рухаються як єдине ціле (рис. 37.3).

До абсолютно neprужних ударів можна віднести зіткнення метеорита із Землею, удар під час падіння грудки глини на землю, зіткнення кулі та ящика з піском, захоплення нейтрона ядром Урану в процесі ядерної реакції тощо. У разі абсолютно neprужного удару тіла зазнають neprужної деформації. При цьому кінетична енергія тіл, що рухаються, частково або повністю переходить у внутрішню енергію.

Якщо два тіла масами m_1 і m_2 , що рухаються зі швидкостями \vec{v}_{01} і \vec{v}_{02} відповідно, зазнають абсолютно neprужного удару, то їхню швидкість \vec{v} після удару можна визначити, скориставшись законом збереження імпульсу: $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = (m_1 + m_2) \vec{v}$,

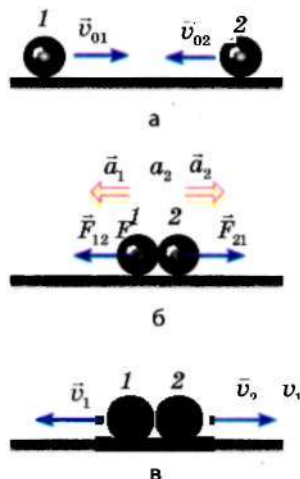


Рис. 37.2. Виникнення сил і прискорень під час удару двох кульок: а — система до удару; б — система під час удару; в — система після удару

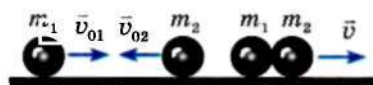


Рис. 37.3. Після абсолютно neprужного удару тіла масами m_1 і m_2 рухаються як єдине тіло масою $m = m_1 + m_2$.

РОЗДІЛ 3. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

звідки $\bar{v} = \frac{m_1 \bar{v}_{01} + m_2 \bar{v}_{02}}{m_1 + m_2}$. Кінетична енергія системи при цьому зменшується ($\Delta W_k = W_k - W_{k0}$).

Пружний удар — зіткнення тіл, за якого деформація тіл виявляється оборотною, тобто повністю зникає після припинення взаємодії.

Ідеально пружних ударів у реальному житті не існує. Однак існують удари, дуже близькі до пружного. Зіткнення бильярдних кульок, удар футбольного м'яча об бетонну стіну, удари сталевих кульок у наведеному вище досліді — усі ці удари можна вважати пружними.

2 Як рухаються тіла після пружного удару

Оскільки під час пружного удару виконується закон збереження імпульсу і зберігається сумарна кінетична енергія, одночасно справджуються дві рівності:

$$\begin{cases} m_1 \bar{v}_{01} + m_2 \bar{v}_{02} = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2, \\ \frac{m_1 v_{01}^2}{2} + \frac{m_2 v_{02}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \end{cases} \times 2 \Rightarrow \begin{cases} m_1 \bar{v}_{01} + m_2 \bar{v}_{02} = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2, \\ m_1 v_{01}^2 + m_2 v_{02}^2 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2. \end{cases} \quad (1)$$

Якщо відомі маси кульок, що стикаються, і швидкості їхніх рухів до удару, то, розв'язавши одержану систему, визначимо швидкості руху кульок після удару. Розв'язання даної системи в загальному вигляді — доволі складне й кропітке завдання, тому розглянемо лише кілька часткових випадків.

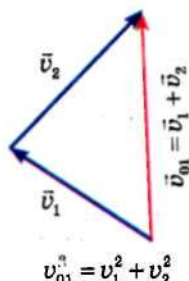


Рис. 37.4. Якщо до удару одна з однакових кульок рухалася

Випадок 1. Маси кульок, що стикаються, однакові ($m_1 = m_2 = m$), друга кулька до удару перебувала у спокої ($v_{02} = 0$). У цьому випадку система (1) набуде вигляду:

$$\begin{cases} m \bar{v}_{01} = m \bar{v}_1 + m \bar{v}_2, \\ m v_{01}^2 = m v_1^2 + m v_2^2. \end{cases}$$

Скоротивши обидва рівняння системи на m , маємо:

$$\begin{cases} \bar{v}_{01} = \bar{v}_1 + \bar{v}_2, \\ v_{01}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$$

Перше рівняння одержаної системи показує, що вектори \bar{v}_{01} , \bar{v}_1 і \bar{v}_2 утворюють трикутник, друге рівняння показує, що цей трикутник прямокутний (рис. 37.4). Це означає

Удар називають **центральним**, якщо швидкості руху кульок до і після удару напрямлені вздовж прямої, що проходить через центри цих кульок.

Нехай дві кульки однакової маси рухаються назустріч одна одній зі швидкостями \vec{v}_{01} і \vec{v}_{02} , напрямленими вздовж лінії, що сполучає центри кульок (рис. 37.5).

Знайдемо швидкості руху \vec{v}_1 і \vec{v}_2 кульок після удару. Оскільки маси тіл однакові ($m_1 = m_2 = m$), то після скорочення на m система (1)

набуває вигляду:
$$\begin{cases} \vec{v}_{01} + \vec{v}_{02} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2, \\ v_{01}^2 + v_{02}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$$

Напрямимо вісь OX у бік руху першої кульки та знайдемо проекції векторного рівняння системи на цю вісь: $v_{01x} = v_{01}$; $v_{02x} = -v_{02}$; $v_{1x} = -v_1$; $v_{2x} = v_2$. У результаті

маємо:
$$\begin{cases} v_{01} - v_{02} = -v_1 + v_2, \\ v_{01}^2 + v_{02}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$$

Перегрупуємо доданки; розкладемо обидві частини другого рівняння на співмножники:

$$\begin{cases} v_{01} + v_1 = v_{02} + v_2, \\ v_{01}^2 - v_1^2 = v_{02}^2 - v_2^2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} v_{01} + v_1 = v_{02} + v_2, \\ (v_{01} + v_1)(v_{01} - v_1) = (v_{02} + v_2)(v_2 - v_{02}). \end{cases}$$

Розділимо почленно друге рівняння системи на перше:
$$\begin{cases} \vec{v}_{01} + \vec{v}_1 = \vec{v}_{02} + \vec{v}_2, \\ v_{01} - v_1 = v_2 - v_{02}. \end{cases}$$

Віднімемо від першого рівняння останньої системи друге: $2v_1 = 2v_{02} \Rightarrow v_1 = v_{02}$; склавши рівняння цієї системи, маємо: $2v_{01} = 2v_2 \Rightarrow v_2 = v_{01}$.

Таким чином, у результаті **центрального пружного удару кульки однакової маси «обмінюються» швидкостями**.

Якщо при цьому кулька 1 рухалася з деякою швидкістю \vec{v}_{01} , а кулька 2 перебувала у спокої ($v_{02} = 0$), то після зіткнення кулька 1 зупиниться ($v_1 = 0$), а кулька 2 почне рухатися зі швидкістю \vec{v}_{01} ($\vec{v}_2 = \vec{v}_{01}$). Це твердження легко перевірити на простому досліді (рис. 37.6).

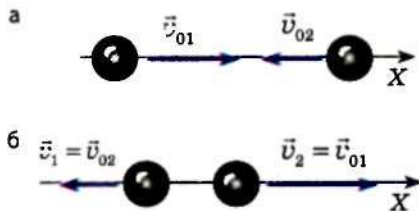


Рис. 37.5. Центральний пружний удар двох кульок однакової маси: а — система до удару; б — система після удару

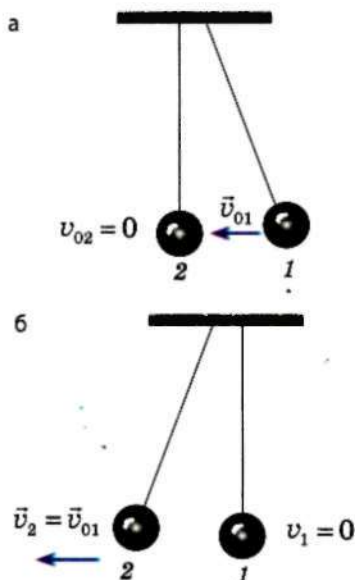


Рис. 37.6. У результаті центрального пружного удару кульок однакової маси кулька, яка рухалася, зупиняється, а нерухома набуває швидкості тієї кульки, яка рухалася: а — система до удару; б — система після першого удару

! Підбиваємо підсумки

Удар (зіткнення) — це короткочасна взаємодія тіл, у ході якої тіла безпосередньо торкаються одне одного.

Абсолютно непружний удар — зіткнення тіл, у результаті якого тіла рухаються як єдине ціле. У разі непружного удару кінетична енергія системи не зберігається і виконується закон збереження імпульсу: $m_1\bar{v}_{01} + m_2\bar{v}_{02} = m_1\bar{v} + m_2\bar{v}$.

Пружний удар — зіткнення тіл, за якого деформація тіл виявляється оборотною, тобто повністю зникає після припинення взаємодії. У разі пружного удару виконується закон збереження імпульсу

і зберігається кінетична енергія системи:
$$\begin{cases} m_1\bar{v}_{01} + m_2\bar{v}_{02} = m_1v_1 + m_2v_2, \\ \frac{m_1v_{01}^2}{2} + \frac{m_2v_{02}^2}{2} = \frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2}. \end{cases}$$

? Контрольні запитання

1. Що таке удар? **2.** Який удар називають абсолютно непружним? Наведіть приклади. **3.** Чому під час непружного удару не виконується закон збереження енергії? **4.** Який удар вважають пружним? Наведіть приклади. **5.** Чи виконується в разі пружного удару закон збереження енергії? закон збереження імпульсу? **6.** Що можна сказати про швидкості руху тіл однакової маси після пружного удару?

✎ Вправа № 32

- Поясніть дослід, про який ішлося на початку параграфа (див. рис. 37.1).
- Нерухома кулька набула швидкості в результаті пружного удару з рухомою кулькою такої самої маси. У скільки разів ця швидкість більша за швидкість, яку набула б кулька внаслідок непружного удару?
- Кулька масою 200 г, яка рухається зі швидкістю 4 м/с, стикається з кулькою такої ж маси, яка рухається назустріч їй зі швидкістю 1 м/с. Вважаючи удар центральним і пружним, визначте швидкості руху кульок після удару.
- Об нерухому кульку масою 20 г ударяється кулька масою 30 г, яка рухається зі швидкістю 5 м/с. Визначте швидкості руху кульок після удару, вважаючи удар центральним пружним.
- * Якою є маса кульки, якщо внаслідок пружного центрального удару об нерухому кульку масою 1 кг швидкість її руху зменшилася від 4 до 2 м/с? Розгляньте два можливі випадки.

р Експериментальне завдання

Покладіть на аркуш монету та обведіть її олівцем. Щиглем стовхніть на неї іншу монету такого ж номіналу так, щоб удар не був центральним. Проведіть лінії руху монет, виміряйте кут між напрямками їхнього руху. Повторіть дослід, домігшись цього разу центрального удару. Поясніть одержані результати. Відомо, що цей дослід краще проводити з шашками на шахівниці. Чому?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3 «ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ»

1. У розділі 3 ви познайомилися з важливими законами фізики — законами збереження.
2. Ви дізналися, як можна сформулювати *другий закон Ньютона «мовою» імпульсу*:

Зміна імпульсу тіла дорівнює імпульсу сили, яка діє на тіло:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F}t$$

Імпульс тіла
 $\vec{p} = m\vec{v}$

Імпульс сили
 $\vec{F}t$

3. Ви усвідомили сутність закону збереження імпульсу:

У замкненій системі тіл геометрична сума імпульсів усіх тіл, які належать системі, залишається постійною після будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \text{const}$$

4. Ви дізналися про *реактивний рух*, про його прояви в природі та застосування в техніці.

Реактивний рух — це рух, який виникає внаслідок відділення з певною швидкістю від тіла будь-якої його частини

5. Ви пригадали такі фізичні величини, як *механічна робота* й *потужність*:

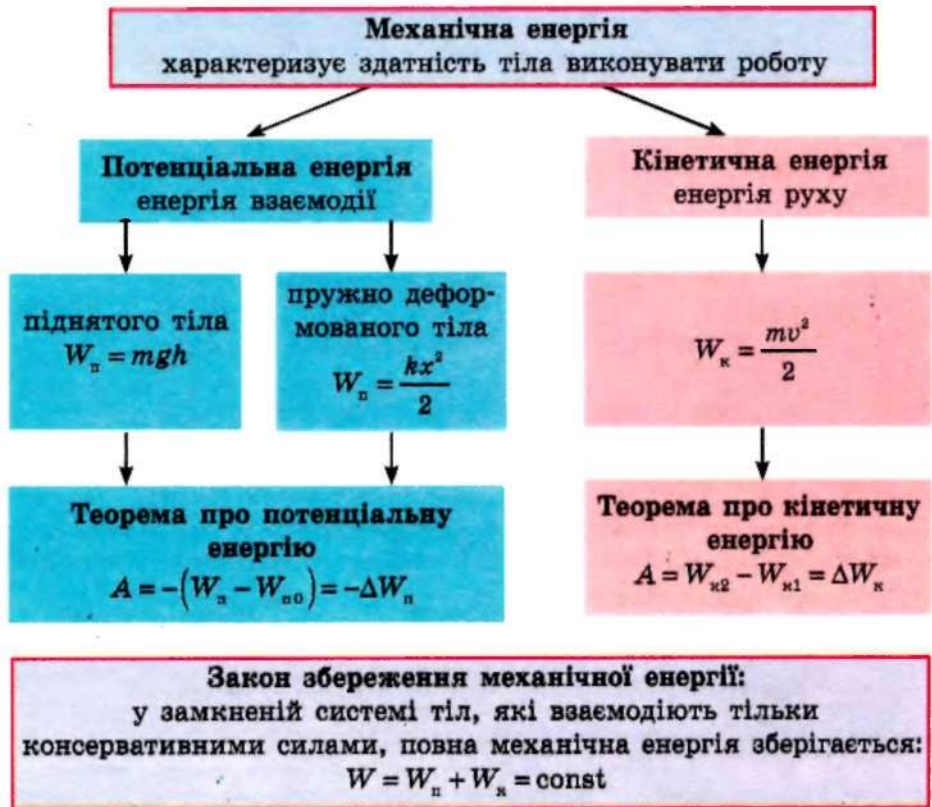
Механічна робота

міра дії сили на тіло:
 $A = Fscos\alpha$

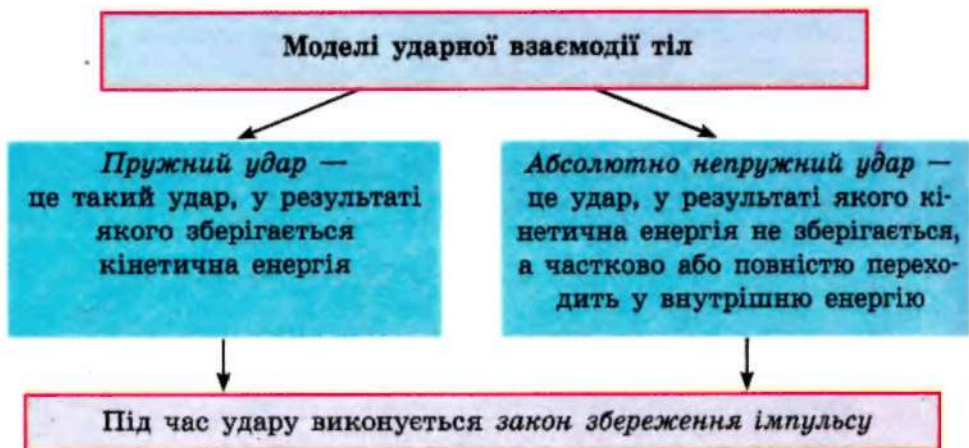
Потужність

швидкість виконання роботи:
 $P = \frac{A}{t} = F_x v$

6. Ви пригадали класифікацію видів механічної енергії, дізналися про закон збереження механічної енергії.



7. Ви навчилися досліджувати удар двох тіл:



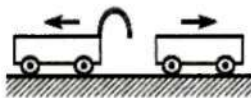
ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 3 «ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ»

Завдання 1–12 містять тільки одну правильну відповідь.

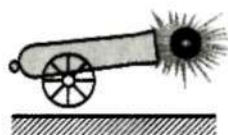
- (1 бал) Який вираз визначає імпульс тіла?
 а) $\vec{v}t$; б) $m\vec{a}$; в) $m\vec{v}$; г) $\vec{F}t$.
- (1 бал) Яка одиниця потужності в СІ?
 а) ват; в) кінська сила;
 б) джоуль; г) ньютон.
- (1 бал) Яка фізична величина є векторною?
 а) потужність; в) повна енергія;
 б) механічна робота; г) імпульс.
- (2 бали) У якому випадку кінетична енергія тіла не змінюється?
 а) камінь падає зі скелі;
 б) автомобіль зупиняється перед світлофором;
 в) парашутист рівномірно опускається на землю;
 г) куля пробиває дерев'яну дошку.
- (2 бали) У якому випадку систему тіл не можна вважати замкнутою?



а



в



б



г

- (2 бали) Пружно деформована пружина в системі «тіло — пружина» виконала роботу 16 Дж. Яке твердження є правильним?
 а) потенціальна енергія пружини збільшилася на 16 Дж;
 б) кінетична енергія тіла збільшилася на 16 Дж;
 в) повна енергія системи зменшилася на 16 Дж;
 г) кінетична енергія тіла зменшилася на 16 Дж.
- (2 бали) Тіло тричі перемістили з висоти h_1 на висоту h_2 , причому щоразу по іншій траєкторії (рис. 1). У якому випадку робота сили тяжіння найбільша?
 а) у випадку 1; в) у випадку 3;
 б) у випадку 2; г) робота сили тяжіння однакова.

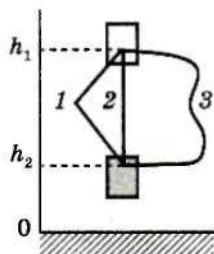


Рис. 1

8. (2 бали) Які фізичні величини не змінюються внаслідок пружного удару двох тіл?
 а) швидкості руху тіл;
 б) кінетичні енергії тіл;
 в) імпульси тіл;
 г) кінетична енергія та імпульс системи тіл.
9. (2 бали) Тіло масою 1 кг рухається з постійним прискоренням 2 м/с^2 . Чому дорівнює зміна імпульсу тіла за 3 с?
 а) $1 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $1,5 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $6 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $9 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
10. (3 бали) Під дією двох взаємно перпендикулярних сил 6 Н і 8 Н тіло переміщується на 2 м у напрямку рівнодійної сили. Чому дорівнює робота рівнодійної сили?
 а) 12 Дж; б) 16 Дж; в) 20 Дж; г) 28 Дж.
11. (3 бали) Тіла масами 2 кг і 3 кг рухаються назустріч одне одному зі швидкостями 5 м/с і 4 м/с відповідно. Яким буде модуль швидкості цих тіл після абсолютно непружного зіткнення?
 а) 0; б) 0,4 м/с; в) 4,4 м/с; г) 11 м/с.
12. (3 бали) Пружина жорсткістю 600 Н/м розтягнута на 5 см. Яку роботу потрібно виконати, щоб додатково розтягти пружину ще на 5 см?
 а) 0,3 Дж; б) 2,25 Дж; в) 7,5 Дж; г) 22,5 кДж.
13. (3 бали) Тіло масою 1 кг вільно падає з висоти 5 м. На якій висоті кінетична енергія тіла дорівнюватиме його потенціальній енергії? Якою буде швидкість руху тіла на цій висоті?
14. (4 бали) Тіло масою 0,2 кг, яке рухається зі швидкістю 12 м/с, наздоганяє тіло масою 0,4 кг, яке рухається зі швидкістю 3 м/с. Визначте кількість теплоти, що виділиться внаслідок абсолютно непружного удару цих тіл.

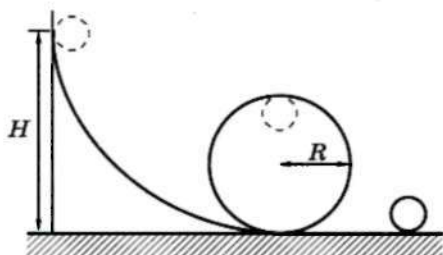


Рис. 2

15. (5 балів) З якої мінімальної висоти H має скочуватися кулька (рис. 2), щоб пройти «мертву петлю» радіусом R ? Зверніть увагу: мінімальну швидкість руху кульки у верхній точці «петлі» можна знайти з умови, що на мить сила реакції опори в цій точці стане дорівнювати нулю.

Зверіть ваші відповіді з наведеними наприкінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.