

Лабораторна робота 3

Дослідження зіткнення куль

Мета роботи: експериментально перевірити закон збереження механічної енергії та закон збереження імпульсу.

Обладнання:

- вимірювальна установка;
- набір куль;
- електронні ваги.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Мірою взаємодії тіл при ударі, крім ударної сили \mathbf{F} , може бути зміна її імпульсу за час удару:

$$\int_0^t \mathbf{F} dt = \mathbf{F}_{avr} \cdot t,$$

де \mathbf{F}_{avr} — середня сила удару, t — тривалість удару.

Позначивши $\Delta(m\mathbf{v})$ зміну імпульсу тіла за час удару, дістанемо з другого закону динаміки:

$$\mathbf{F}_{avr} \cdot t = \Delta(m\mathbf{v})$$

Розсіяння механічної енергії при ударі характеризується коефіцієнтом відновлення енергії ε , що визначається як відношення сумарної кінетичної енергії E'_k тіл після удару до сумарної кінетичної енергії E_k тіл до удару:

$$\varepsilon = \frac{E'_k}{E_k}. \quad (3.1)$$

Значення коефіцієнта відновлення залежить від фізичних властивостей матеріалів, форми і маси тіл, що співударяються. Для абсолютно пружного удару $\varepsilon = 1$. У цьому випадку кінетична енергія тіл до удару дорівнює кінетичній енергії тіл після удару: $E_k = E'_k$. Якщо після удару утворюється єдине тіло, то удар називають абсолютно непружним, для нього $\varepsilon < 1$.

У даній роботі розглядається центральне зіткнення куль, підвішених у вигляді маятників, при чому одна куля до удару знаходиться в спокої (тобто $\mathbf{v}_2 = 0$).

Застосовуючи до тіл, що зіткнулися, закон збереження імпульсу, можна записати:

- для пружного удару:

$$m_1 \mathbf{v}_1 = m_1 \mathbf{u}_1 + m_2 \mathbf{u}_2, \quad (3.2)$$

- для непружного удару:

$$m_1 \mathbf{v}_1 = (m_1 + m_2) \mathbf{u}, \quad (3.3)$$

де m_1, m_2 — маси куль, \mathbf{v}_1 — швидкість першої кулі до удару, \mathbf{u}_1 та \mathbf{u}_2 — швидкості першої та другої куль після удару, \mathbf{u} — спільна швидкість куль після непружного удару.

Вимірювання швидкостей куль до та після удару проводяться за допомогою спеціальної установки. Дві кулі, підвішені на біфілярних підвісах, можуть коливатися вздовж проградуйованої шкали. Перша куля може утримуватись електромагнітом, який установлюється в довільному місці правої шкали. Шкали, а також місця кріплення біфілярних підвісів можуть переміщуватись. Це необхідно для зміни

міжцентрової відстані для різних куль (у спокої кулі повинні дотикатись одна до одної). Для виготовлення непружної (пластилінової) кулі є спеціальна прес-форма.

Швидкість кулі до і після зіткнення можна визначити, знаючи висоту, з якої тіло починає рух до удару, і висоту його підйому після удару. Без урахування втрат енергії на подолання сил опору на основі закону збереження енергії маємо:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1}; \quad u_1 = \sqrt{2gh'_1}; \quad u_2 = \sqrt{2gh'_2},$$

де h_1 — висота падіння першої кулі, h'_1, h'_2 — висота підняття відповідно першої і другої кулі після зіткнення.

Оскільки на установці безпосередньо вимірюють кути, на які відскакують кулі після удару, і кут відхилення першої кулі, швидкості куль будемо визначати із співвідношень:

$$v = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_0}{2}; \quad u_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2}; \quad u_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2}, \quad (3.4)$$

де l — відстань від точки підвісу до центра куль; α_0 — кут відхилення першої кулі для завдання удару; α_1 та α_2 — кути відскоку відповідно першої і другої кулі.

3.2 Порядок виконання роботи

Нижче описані дії, які необхідно виконати для формування звіту по лабораторній роботі.

1. Перевірити вертикальність шкали вимірювальної установки та однаковість підвісів. За потреби відкорегувати положення шкали та довжину підвісу для куль.

Частина 1. Пружне зіткнення.

2. За допомогою вагів визначити маси куль для пружного зіткнення. Занести дані в таблицю 3.1.

3. Визначити *приведену довжину* для обчислень за формулами (3.4). Для цього виміряти довжину підвісу, довжину гачка та діаметр кулі. Розділити діаметр кулі на два

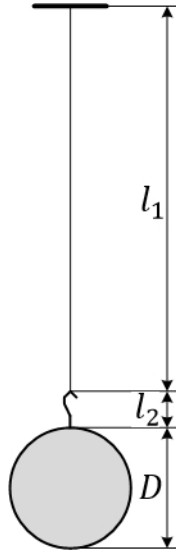


Рис. 3.1

(і отримати таким чином радіус кулі). Тоді приведена довжина буде дорівнювати

$$l = l_1 + l_2 + r,$$

де l_1 — довжина нитки (підвісу), l_2 — довжина гачка, і $r = \frac{D}{2}$ — радіус кулі (див. рис. 3.1).

4. Задати початковий кут відхилення першої кулі (до удару) α_0 . Провести серію ударів (рахуються лише прямі удари — тобто такі, при яких кулі розлітаються паралельно вимірювальній шкалі) і заповнити таблицю 3.1. В таблиці кути α_1 і α_2 — це кути відхилення відповідно першої та другої кулі після удару. Швидкості куль v_1, u_1 та u_2 розраховуються за формулами (3.4).

5. Перевірити закон збереження імпульсу для пружного удару. Для цього по експериментальним значенням за формулами (3.4) визначити швидкості v, u_1 та u_2 і порівняти їх значення із швидкостями, знайденими за допомогою

закону збереження імпульсу:

$$u'_1 = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2}; \quad u'_2 = \frac{(m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}. \quad (3.5)$$

Таблиця 3.1.

№	$m_1,$ г	$m_2,$ г	$\alpha_0,^\circ$	$\alpha_1,^\circ$	$\alpha_2,^\circ$	$v_1,$ М/с	$u_1,$ М/с	$u_2,$ М/с	ε
1									
2									
3									
4									
5									

6. За формулою

$$\varepsilon = \frac{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} + m_2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}}, \quad (3.6)$$

одержаною на основі (3.2) і (3.4) визначити коефіцієнт відновлення енергії ε для пружного удару.

Частина 2. Непружне зіткнення.

7. Виготовити дві пластилінові кулі, за розміром приблизно такі ж, як були кулі для пружного зіткнення. За допомогою вагів визначити її маси. Занести дані в таблицю 3.2.

8. Провести серію непружних ударів. Заповнити таблицю 3.2 по аналогії з таблицею 3.1. Тут α — середній кут відхилення обох куль після удару, v — швидкість першої кулі до удару, u — швидкість куль після удару.

Таблиця 3.2.

№	$m_1,$ г	$m_2,$ г	$\alpha_0,^\circ$	$\alpha,^\circ$	$v,$ М/с	$u,$ М/с	ε
1							
2							
3							
4							
5							

9. Перевірити закон збереження імпульсу для непружного удару. Для цього по експериментальним значенням знайти швидкість двох куль після непружного зіткнення:

$$u = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.7)$$

і порівняти отримане значення з отриманим за допомогою закону збереження імпульсу:

$$u' = \frac{m_1 v}{m_1 + m_2}. \quad (3.8)$$

10. За формулою

$$\varepsilon = \frac{(m_1 + m_2) \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}} \quad (3.9)$$

оцінити коефіцієнт відновлення енергії для непружного удару.

3.3 Зміст звіту

Оформлювати звіт рекомендується в наступній послідовності.

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи; обладнання, що використовується для даної роботи.
3. Результати вимірювання кутів відхилення куль та їх швидкостей при пружному зіткненні (таблиця 3.1).
4. Результати перевірки закону збереження імпульсу для пружного зіткнення.
5. Результати оцінки коефіцієнта відновлення енергії для пружного удару та його похибки. Похибку коефіцієнта відновлення енергії оцінити як випадкову похибку.
6. Результати вимірювання кутів відхилення куль та їх швидкостей при непружному зіткненні (таблиця 3.2).
7. Результати перевірки закону збереження імпульсу для непружного зіткнення.

8. Результати оцінки коефіцієнта відновлення енергії для непружного удару та його похибки. Похибку коефіцієнта відновлення енергії оцінити як випадкову похибку.
9. Висновки. Чи виконується закон збереження імпульсу у ваших дослідженнях? Чи коефіцієнт відновлення енергії пружного зіткнення дісно точно дорівнює одиниці? Наскільки менше за одиницю значення коефіцієнта відновлення енергії для непружного зіткнення? Про що може свідчити значення коефіцієнту відновлення енергії?

3.4 Контрольні запитання

1. Що таке імпульс?
2. Що таке пружне та непружне зіткнення?
3. Як формулюється закон збереження імпульсу?
4. Для яких фізичних систем справедливий закон збереження імпульсу?
5. Що таке коефіцієнт відновлення енергії?
6. Які типові значення коефіцієнту відновлення енергії для пружного та непружного зіткнення?
7. Як обчислити коефіцієнт відновлення енергії для пружного та непружного зіткнень?
8. Що таке кінетична енергія?
9. Як обчислити кінетичну енергію?