

## Лабораторна робота № 4

### ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ ТА ЕНЕРГІЇ ПРИ УДАРІ

#### Теорія методу та опис експериментальної установки

Удар - це такий процес короткочасної взаємодії тіл, за якого відбуваються значні зміни швидкостей цих тіл. При центральному ударі швидкості тіл, що взаємодіють, напрямлені вздовж прямої, яка з'єднує їх центри мас.

Абсолютно пружним називається удар, за якого зберігається механічна енергія системи тіл, що взаємодіють.

Абсолютно непружним називається удар, при якому після взаємодії тіла рухаються як одне ціле (з однаковою швидкістю).

Розсіяння механічної енергії при ударі характеризується коефіцієнтом відновлення механічної енергії  $K$ , який визначається як відношення сумарної кінетичної енергії  $E_K$  тіл після удару до сумарної кінетичної енергії  $E_{II}$  тіл до удару:

$$K = E_K / E_{II} \quad (4.1)$$

Цей коефіцієнт залежить від пружних властивостей взаємодіючих тіл: для абсолютно пружного удару  $K = 1$ , у реальних випадках  $K < 1$ .

Імпульсом тіла називається векторна фізична величина, яка дорівнює добутку маси тіла на його швидкість. Імпульс системи ттл дорівнює векторній сумі імпульсів усіх тіл, що входять у систему. Згідно з законом збереження імпульсу, повний імпульс замкненої системи тіл залишається незмінним:

$$P = \sum_{i=1}^n m_i V_i = \text{const} \quad (4.2)$$

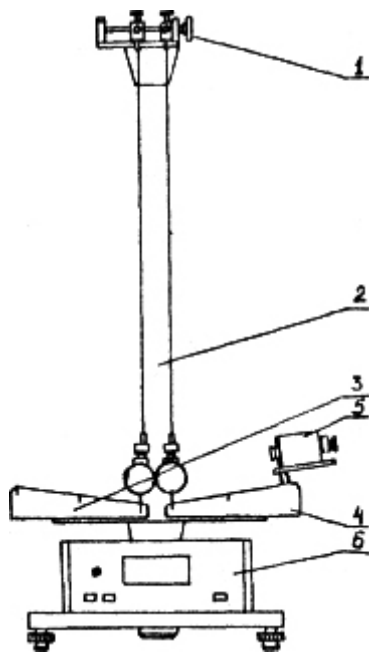
Використовуючи закон збереження імпульсу до системи двох тіл: для центрального пружного удару, отримаємо:

$$m_1 V_{01} + m_2 V_{02} = m_1 V_1 + m_2 V_2; \quad (4.3)$$

для центрального абсолютно непружного удару маємо:

$$m_1 V_{01} + m_2 V_{02} = (m_1 + m_2) V; \quad (4.4)$$

де  $V_{01}$ ,  $V_{02}$  - швидкості тіл безпосередньо перед ударом;  $V_1$ ,  $V_2$  - швидкості тіл після пружного удару;  $V$  - спільна швидкість тіл після абсолютно непружного удару.



У даній роботі для дослідження центрального удару двох куль застосовується експериментальна установка (рис .4.1), яка складається а вертикального стояка (2), на верхньому кінці якого закріплені кронштейни (1), до яких на струмопровідних нитках підвішені сталеві кулі. У нижній частині стояка розміщені дві шкали (3) та (4), за якими вимірюють кути відхилення куль від положення рівноваги: за правою - початковий кут відхилення правої кулі, а за лівою - кут відхилення лівої кулі після співудару куль. На правій шкалі змонтовано електромагніт, який утримує праву кулю в обраному початковому положенні. Електронний секундомір (6) використовується для вимірювання часу взаємодії куль.

Рис. 4.1

Швидкість куль, що входять до формул (4.3) та (4.4) закону збереження імпульсу, можна обчислити, нехтуючи опором повітря, через найбільшу висоту підняття кулі, користуючись законом збереження механічної енергії:

$$mgh = mV^2/2 \quad (4.5)$$

Виражаючи висоту  $h$  підняття кулі через довжину  $l$  нитки підвісу та кут її відхилення від положення рівноваги  $\alpha$ , отримаємо:

$$h = l(1 - \cos\alpha) = 2l \sin^2(\alpha/2).$$

Враховуючи отриманий результат у формулі (4.5), після незначних перетворень маємо

$$V = \sqrt{gl} \sin(\alpha/2), \quad (4.6)$$

де  $V$  – швидкість кулі;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $l$  – довжина нитки підвісу;  $\alpha$  – найбільший кут відхилення нитки підвісу від положення рівноваги.

Отримана формула може бути використана для експериментального визначення швидкостей куль до та після удару.

#### Завдання 1. Визначення коефіцієнта відновлення енергії при пружному ударі.

Як було вказано раніше, коефіцієнт відновлення механічної енергії під час удару можна визначити за формулою (4.1), яка для випадку пружного удару двох куль за умовою відсутності руху лівої кулі до удару ( $V_{02} = 0$ ) може бути записана у такому вигляді:

$$K = \frac{\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2}}{\frac{m_1 V_{01}^2}{2}}.$$

Використовуючи в отриманій формулі вираз (4.6), матимемо:

$$K = \frac{m_1 \sin^2(\alpha_1/2) + m_2 \sin^2(\alpha_2/2)}{m_1 \sin^2(\alpha_0/2)}, \quad (4.7)$$

де  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  - найбільші кути відхилення ниток підвісу відповідно правої та лівої куль від положення рівноваги після удару;  $\alpha_0$  - початковий кут відхилення нитки підвісу правої кулі від положення рівноваги.

#### Порядок виконання роботи

1. Визначити маси  $m_1$  та  $m_2$  куль, після чого закріпити кулі на підвісах так, щоб праворуч знаходилась куля меншої маси. За необхідності виконати центрування куль.

2. Натиснути кнопку "Сеть". При цьому засвічуються лампочки шкали цифрової індикації часу та вмикається електромагніт. Відхилити праву кулю на кут  $\alpha_0$  до фіксації її електромагнітом.

3. Натиснути кнопку "Сброс". При цьому на шкалі цифрової індикації часу повинні з'явитись нульові покази.

4. Натиснути кнопку "Пуск". При цьому коло живлення електромагніта розмикається, права куля починає рухатись, відбувається удар двох куль. На індикаторі електронного секундоміра фіксується час співудару куль.

5. Виміряти кути відхилення правої  $\alpha_1$  та лівої  $\alpha_2$  кулі після їх першого співудару.
6. Повторити вимірювання за пп. 2-5 не менше 5 разів. Результати вимірювань занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Номер досліджу	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\langle \alpha_1 \rangle$	$\alpha_2$	$\langle \alpha_2 \rangle$	$K$

7. Повторити вимірювання за пп.2-6 для іншого значення початкового кута відхилення правої кулі.
8. Після закінчення експерименту відключити установку тумблером "Сеть".

#### Обробка результатів вимірювань

1. Для кожного значення початкового кута відхилення  $\alpha_0$  правої кулі обчислити середні значення кутів  $\alpha_1$ , та  $\alpha_2$  відхилення куль після удару.
2. За формулою (4.7) обчислити значення коефіцієнта відновлення механічної енергії  $K$  під час удару для кожного значення кута  $\alpha_0$ .
3. Оцінити похибку результатів вимірювання (за вказівкою викладача).

#### Контрольні запитання

1. Дати визначення імпульсу тіла і системи тіл. Сформулювати закон збереження імпульсу.
2. Дати визначення понять абсолютно пружного та абсолютно непружного ударів.
3. Записати закон збереження імпульсу:
  - а) для пружного центрального удару двох куль;
  - б) для абсолютно непружного центрального удару двох куль.
4. Записати закон збереження механічної енергії для абсолютно пружного центрального удару двох куль. Як оцінити частку механічної енергії, яка переходить в інші її форми при непружному ударі двох куль?
5. Дати визначення-коефіцієнта відновлення механічної енергії. Від чого залежить його значення?
6. Вивести формулу для обчислення коефіцієнта відновлення механічної енергії при пружному ударі.
7. Вивести формулу для визначення середньої сили взаємодії куль при пружному ударі.
8. Як експериментальне перевірити закон збереження імпульсу при пружному та непружному ударах?