

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

**ВИВЧЕННЯ ПРУЖНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО
УДАРУ КУЛЬ**

Роботу виконав: студент(ка)

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (курс, група)

»————» _____ 20 р.

Роботу прийняв:

_____ (прізвище та ініціали викладача)

_____ (посада)

Оцінка:

за знання теорії _____ (оцінка, бал)

за провед. експер. _____ (оцінка, бал)

підсумкова _____ (оцінка, бал)

_____ (дата і підпис викладача)

Лабораторна робота № 7

**ВИВЧЕННЯ ПРУЖНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО
УДАРУ КУЛЬ**

Мета роботи: вивчення законів збереження енергії та імпульсу при абсолютно пружньому зіткненні тіл, визначення сили та часу співудару металевих куль.

Прилади і матеріали: лабораторна установка для визначення пружного співудару куль, міліметрова лінійка.

Теоретичні відомості

Прикладом застосування законів збереження імпульсу та механічної енергії для розв'язання реальної фізичної задачі є удар абсолютно пружних тіл.

Удар – це зіткнення двох або більше тіл, коли взаємодія продовжується дуже короткий час. При ударі в тілах виникають значні внутрішні сили, що зовнішніми силами, які діють на тіла, можна знехтувати. Це дозволяє розглядати ці тіла як замкнуту систему і застосовувати до неї закони збереження.

Абсолютно пружним називається удар, при якому механічна енергія сукупності тіл, що співударяються, не перетворюється в інші види енергії.

Швидкості куль після їхнього співудару можна визначити за допомогою законів збереження імпульсу та енергії:

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2, \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}, \end{cases} \quad (1)$$

де m_1, m_2 – маси куль, \vec{v}_1, \vec{v}_2 – швидкості куль до співудару, \vec{u}_1, \vec{u}_2 – після співудару.

Удар називається центральним, якщо тіла до удару рухаються вздовж прямої, що проходить через їх центри мас. У випадку центрального удару куль їх швидкості до співудару і після нього спрямовані вздовж цієї прямої. Тоді вектори \vec{v} и \vec{u} мож-

на замінити їх проекціями v і u на вказану пряму. Враховуючи це, перепишемо систему рівнянь (1) у вигляді

$$\begin{cases} m_1(v_1 - u_1) = m_2(u_2 - v_2), \\ m_1(v_1^2 - u_1^2) = m_2(u_2^2 - v_2^2). \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки при зіткненні куль їх швидкості змінюються, тобто $v_1 \neq u_1$, $u_2 \neq v_2$, друге рівняння системи (2) можна розділити на перше. Використавши для другого рівняння формулу $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$, одержимо

$$v_1 + u_1 = v_2 + u_2. \quad (3)$$

Це рівняння розглядаємо сумісно з першим рівнянням системи (2):

$$\begin{cases} m_1(v_1 - u_1) = m_2(u_2 - v_2), \\ v_1 + u_1 = v_2 + u_2. \end{cases} \quad (4)$$

Рішення цієї системи має вигляд:

$$u_1 = \frac{2m_2v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}, \quad (5)$$

$$u_2 = \frac{2m_1v_1 - (m_1 - m_2)v_2}{m_1 + m_2}. \quad (6)$$

Коли маси тіл однакові ($m_1 = m_2$), з рівнянь (5) і (6) випливає, що $u_1 = v_2$ і $u_2 = v_1$, тобто тіла обмінюються швидкостями. Коли друге тіло нерухоме ($v_2 = 0$), перше тіло після удару зупиняється, а друге тіло буде рухатися зі швидкістю першого тіла v_1 .

Розглянемо абсолютно пружий центральний удар двох однакових кульок ($m_1 = m_2 = m$), які висять на нитках однакової довжини. Відстань точки підвісу від центру кулі означимо буквою l .

Відхилимо кулю 1 на нитці від вертикалі на певний кут та відпустимо (рис. 1). У нижній точці вона буде рухатися зі швидкі-

стю v_1 , котру можна знайти із закона збереження енергії. Куля 1, яка відхилена від положення рівноваги на кут α , має у гравітаційному полі Землі потенціальну енергію $W_n = mgh$, де h – висота, на яку вона підіймається, g – прискорення вільного падіння. Ця енергія при повертанні кулі в положення рівноваги перетворюється у кінетичну енергію: $W_n = W_k = \frac{mv_1^2}{2}$, звідки

$$v_1 = \sqrt{2gh}. \quad (7)$$

На рис. 1 видно, що $h = l - AB$. Оскільки $AB = l \cos \alpha$, то

$$h = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Підставивши в формулу (7), одержимо

$$v_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (8)$$

Повернувшись у положення рівноваги, куля 1 передає свій імпульс кулі 2 (рис. 2) і зупиняється, а куля 2 починає рухатися. Імпульс, який вона одержала від першої кулі під час удару, $\Delta p = m \Delta v = m v_1$. Відповідно до другого закона Ньютона $F = \frac{dp}{dt}$ можна знайти

середню силу удару:

$$\langle F \rangle = \frac{m \Delta v}{\Delta t} = \frac{m v_1}{\tau}, \quad (9)$$

де $\tau = \Delta t$ – час зіткнення куль.

Час зіткнення куль вимірюється на лабораторній установці, схема якої наведена на рис. 2. Дві однакових сталевих кулі підвішені на гнучких ізольованих провідниках таким чином, що у

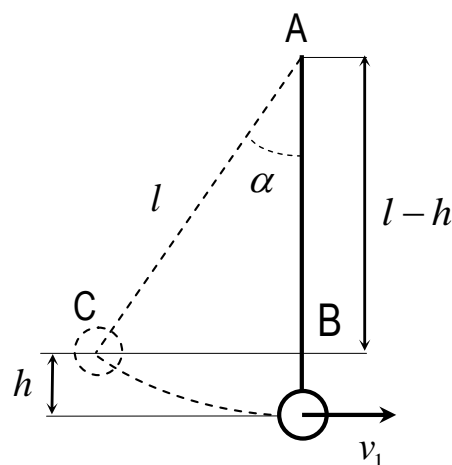


Рис. 1

стані спокою вони висять майже торкаючись одна одну (зазор між ними становить 1 – 3 мм). Кулі можна відхиляти на різні кути та утримувати їх у крайньому лівому та крайньому правому положеннях за допомогою електромагнітів M_1 та M_2 , які вмикаються перемикачем T_3 .

За допомогою перемикача T_1 кулі можуть бути з'єднані з конденсатором C , резистором R та балістичним гальванометром Γ . Якщо кулі з'єднати послідовно з зарядженим конденсатором, то конденсатор за час зіткнення куль буде розряджатися через

гальванометр. Час розрядки і час зіткнення куль тотожні ($\tau = \Delta t$), а час розрядки визначається за формулою

$$\tau = RC \ln \frac{q_0}{q_0 - q}, \quad (10)$$

де C – ємність конденсатора, R – опір в колі конденсатора, q_0 – заряд конденсатора перед зіткненням куль, q – заряд, який пройшов через гальванометр за час зіткнення куль.

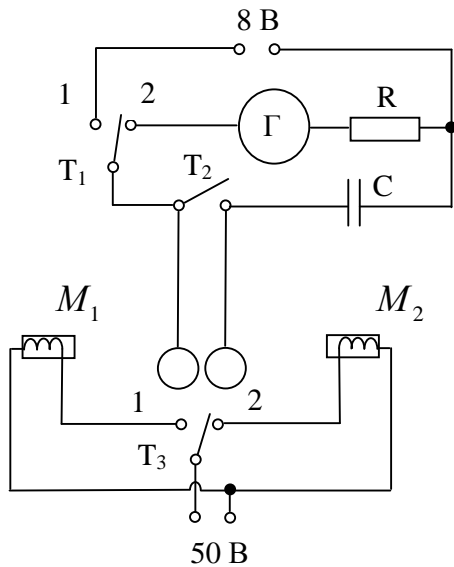


Рис. 2

Заряд конденсатора q_0

та заряд q визначаються балістичним гальванометром. (Балістичний гальванометр вимірює кількість заряду, який пройшов через нього за час протікання короткого імпульсу струму). Відхилення стрілки гальванометра – число поділок шкали n – буде пропорційно кількості заряду q :

$$q_0 = \beta n_0, \quad q = \beta n,$$

де β – коефіцієнт пропорційності.

Підставляючи ці вирази у формулу (10), отримуємо для часу розрядки конденсатора, тобто часу зіткнення куль:

$$\tau = RC \ln \frac{n_0}{n_0 - n}. \quad (11)$$

Послідовність виконання роботи

1. Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним нижче (табл. 7.1).
2. Для зарядки конденсатора C перемикач T_1 поставити в положення 1 та замкнути тумблер T_2 .
3. Перевести перемикач T_1 в положення 2. Тоді відбудеться повний розряд конденсатора C через гальванометр. Виміряти максимальне відхилення стрілки гальванометра n_0 за його шкалою.
4. Провести три – п'ять дослідів, що описані в п. 2 і 3, і знайти середнє значення показів гальванометра $\langle n_0 \rangle$. Перед кожним вимірюванням конденсатор треба заряджати не менш як 5 – 10 секунд.
5. Знову зарядити конденсатор, як вказано в пункті 2. Перемикач T_3 з нейтрального положення перевести в положення 1, замикаючи ним коло електромагніту M_1 . Підвести до цього електромагніту кулю 1, яка буде ним утримуватися на деякій висоті, яка відповідає куту α .
6. Розімкнути тумблер T_2 , а перемикач T_1 перевести в положення 2. Оминаючи нейтральне положення, перевести перемикач T_3 в положення 2, замикаючи ним коло електромагніту M_2 і розмикаючи коло електромагніту M_1 .

Куля 1, звільнившись від електромагніта M_1 , ударяє кулю 2. В момент співудару куль замикається коло конденсатора C , який частково розряджається через гальванометр. Кількість електрики, яка протікає по його колу, вимірюється відхиленням стрілки гальванометра на n поділок за шкалою.

Куля 2 після співудару почне рухатися, досягне електромагніту M_2 і буде утримуватися ним. (Електромагніт M_2 використовується для запобігання повторного зіткнення куль).

7. Провести 5 разів досвід з розрядкою конденсатора через кулі, повторюючи п.2 та п.6. Записати показання гальванометра n в таблицю. Знайти середнє значення $\langle n \rangle$ та по формулі (11) визначити час зіткнення куль τ . (Значення R і C вказані на установці).
8. Перемикачі T_1 і T_3 перевести в нейтральне положення, тим самим відключаючи коло конденсатора та електромагніти від джерел напруги.
9. Виміряти довжину нитки s , діаметр кулі d та знайти відстань центра кулі $l = s + \frac{d}{2}$ від точки підвісу.
10. Виміряти кут α відхілення нити від положення рівноваги та згідно з формулою (8) знайти швидкість v_1 кулі 1 в момент удара.
11. Згідно з формулою (9) знайти середню силу удара $\langle F \rangle$.
12. Проаналізувати результати і зробити висновки.
13. Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Як визначається імпульс матеріальної точки (тіла)?
2. Сформулюйте другий закон Ньютона. Що таке імпульс сили?
3. Сформулюйте закон збереження імпульсу. Для яких співударів тіл він виконується?
4. Що називається кінетичною енергією матеріальної точки (тіла)?

5. Дайте визначення консервативних сил. Які сили називаються консервативними? Наведіть приклади консервативних сил. Дайте визначення потенціальної енергії тіла.
6. Сформулюйте закон збереження енергії в механіці.
7. Найдіть швидкість тіла, що впало з висоти h . Порівняйте одержану формулу з формулою (8) для швидкості кулі на нитці.
8. Дайте визначення пружного удару. Який удар називається центральним?
9. Найдіть швидкості двох куль після їхнього центрального абсолютно пружного співудару.
10. Що таке балістичний гальванометр? Для чого він призначений?

Звіт за виконану роботу

1. Робочі формули:

$$\tau = RC \ln \frac{n_0}{n_0 - n} \quad - \text{ час зіткнення,}$$

$$v_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2} \quad - \text{ швидкість кулі,}$$

$$\langle F \rangle = \frac{m \Delta v}{\Delta t} = \frac{m v_1}{\tau} \quad - \text{ середня сила удару.}$$

- 1.1. Величини, що вимірюються:

$$n_0, n \text{ — показання гальванометра,} \quad [n_0] = [n] = 1,$$

$$\alpha \text{ — кут початкового відхилення,} \quad [\alpha] = \text{град,}$$

$$l \text{ — довжина провідника,} \quad [l] = \text{м,}$$

$$m \text{ — маса кулі,} \quad [m] = \text{кг.}$$

1.2. Табличні величини:

$$g = 9.81 \text{ м/с}^2 - \text{ прискорення вільного падіння.}$$

1.3. Величини, що обчислюються:

$$t - \text{ час зіткнення,} \quad [t] = \text{с};$$

$$v - \text{ швидкість кулі,} \quad [v] = \text{м/с};$$

$$\langle F \rangle - \text{ середня сила удару,} \quad [F] = \text{Н.}$$

2. Результати експерименту:

Таблиця 7.1

№ досл.	n_0	n	α	l	m	R	C
	под. шкали		град	м	кг	Ом	Ф
1							
2							
3							
4							
5							
$\langle \rangle$							

Результати експерименту підтверджую

(дата і підпис викладача)

3. Обробка результатів експерименту:

$$\langle n_0 \rangle = \frac{n_{01} + n_{02} + n_{03} + n_{04} + n_{05}}{5} = \quad ,$$

$$\langle n \rangle = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5}{5} = \quad ,$$

$$\tau = RC \ln \frac{\langle n_0 \rangle}{\langle n_0 \rangle - \langle n \rangle} = \quad ,$$

$$\langle v_1 \rangle = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2} = \quad ,$$

$$\langle F \rangle = \frac{m \langle v_1 \rangle}{\tau} = \quad .$$

4. Висновки:
