

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИКА»
«ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ КУЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ
КРУТИЛЬНО-БАЛІСТИЧНОГО МАЯТНИКА»
(РОЗДІЛ «МЕХАНІКА І МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА»)
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ

КРЕМЕНЧУК 2011

Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни «**Фізика**» «Визначення швидкості кулі за допомогою крутильно-балістичного маятника» (розділ «Механіка і молекулярна фізика») для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання

Укладач: старш. викл. О.І.Лисенко

Рецензент д.т.н., проф. О.І.Єлізаров

Кафедра фізики

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол №_____ від _____

Заступник голови методичної ради _____доц. С.А.Сергієнко

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1-2

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ КУЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ КРУТИЛЬНО-БАЛІСТИЧНОГО МАЯТНИКА

ТЕМА РОБОТИ Закони збереження

МЕТА РОБОТИ Вивчення законів збереження, практичне застосування законів збереження до удару тіл, експериментальне визначення швидкості кулі.

ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Крутильно-балістичний маятник з освітлювачем і шкалою, повітряна рушниця, кулі до рушниці, терези з різновагами, лінійка, секундомір, додатковий тягар до крутильно-балістичного маятника, калькулятор.

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Для визначення швидкості швидко-рухомого тіла серед інших методів застосовується метод крутильно-балістичного маятника. Коливання маятника збуджуються в наслідок удару швидко-рухомої кулі.

Розглянемо основні закономірності механічного удару тіл. Будемо вважати, що маси двох тіл, які співударяються - m_1 і m_2 . швидкості тіл до удару V_1 і V_2 , швидкості тіл після удару U_1 і U_2 . На підставі багатьох експериментів Ньютон встановив, що для кожного матеріалу співударних тіл співвідношення

$$e = \frac{|U_1 - U_2|}{|V_1 - V_2|}$$

що називається коефіцієнтом відновлювання матеріалу, залишається сталим. Для всіх реальних матеріалів $0 < e < 1$, наприклад, для скла $e=0,94$, для свинцю $e=0,20$, для пластиліну $e=0$.

Гранична допустимі випадки: $e=0$ і $e=1$ відповідають абсолютно непружному та абсолютно пружному ударам.

При абсолютно непружному ударі обидва тіла після співударяння рухаються разом. Швидкість абсолютно непружних тіл після удару $U=U_1+U_2$ можна визначити за законом збереження імпульсу :

$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = (m_1 + m_2) \vec{U}, \quad U = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2}$$

При абсолютно непружному ударі частина кінетичної енергії тіл переходить у внутрішню енергію:

$$\Delta U = A = \frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) U^2,$$

Абсолютно пружний удар - це удар тіл, виготовлених з матеріалу з $e=1$. Швидкість тіл після удару можна визначити із системою рівнянь, які виражають закони збереження імпульсу і механічної енергії :

$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = m_1 \vec{U}_1 + m_2 \vec{U}_2,$$

$$\frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 = \frac{1}{2} m_1 U_1^2 + \frac{1}{2} m_2 U_2^2$$

Розв'язок системи рівнянь дає наступні формули для післяударних швидкостей:

$$U_1 = \frac{2m_2 V_2 + (m_1 - m_2)V_1}{m_1 + m_2},$$

$$U_2 = \frac{2m_1 V_1 + (m_2 - m_1)V_2}{m_1 + m_2}$$

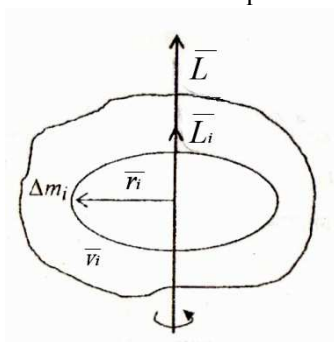


Рис. 1

В цій лабораторній роботі особливо важливо правильно застосувати закон збереження моменту імпульсу. Момент імпульсу твердого тіла, яке має вісь обертання, визначається за формулою:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^n (r_i \Delta m \vec{v}_i) = J \vec{\omega}$$

де J - момент інерції тіла відносно осі обертання ;

$\vec{\omega}$ - вектор кутової швидкості тіла.

$$\sum_{i=1}^n J_i \vec{\omega}_i = const,$$

де n - кількість тіл ізольованої системи.

2 МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ.

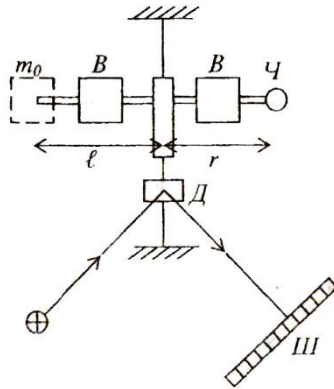


Рис. 2

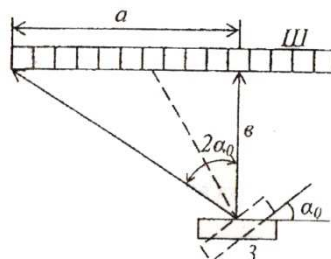
Крутильно - балістичний маятник являє собою хрестоподібну систему тягарців закріплену на розтягнутій пружній нитці (рис. 2). Головний внесок у момент інерції вносять два тягарця $З$. На одному плечі маятника закріплені чашу $Ч$, у яку після пострілу влучає куля. Кут повороту маятника вимірюється за допомогою освітлювача 0 , дзеркала $Д$ і шкали $Ш$. До співударяння з кулею маятник перебуває в стані спокою, куля масою m летить з швидкістю V і влучає в чашу $Ч$ на відстані r від осі обертання. Момент імпульсу системи до удару mVr , після удару маятник набуває коливального руху з початковою кутовою швидкістю ω_0 . За законом збереження моменту імпульсу:

$$mVr = (J + J) \omega_0.$$

Оскільки після удару момент інерції J кулі відносно осі маятника набагато менший за момент інерції J маятника, то швидкість кулі дорівнює:

$$V = \frac{J \omega_0}{mr}$$

Величини m і r визначаються прямими вимірами, величини J і ω_0 - непрямыми.



Після удару коливання маятника відбуваються за гармонічним законом

$$a = a_0 \cos \frac{2\pi}{T} t,$$

де a - кут повороту маятника в момент часу

a_0 - максимальний кут повороту,

T - період коливань.

Кутова швидкість коливань маятника:

$$\omega = \frac{da}{dt} = -a_0 \frac{2\pi}{T} \sin \frac{2\pi}{T} t$$

Максимальне значення кутової швидкості:

$$\omega_0 = a_0 \frac{2\pi}{T}$$

Із рис. 3 бачимо, що поворот дзеркала Д на кут a_0 викликає зміщення променя по шкалі Ш на кут $2a_0$, причому

$$\operatorname{tg} 2a_0 = \frac{a}{b},$$

де a - максимальне відхилення променя по шкалі, b - відстань від шкали до дзеркала.

Відносна похибка вимірювань кутової швидкості:

$$E_1 = \frac{\Delta\omega_0}{\omega_0} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta T}{T}$$

Період коливань крутильно-балістичного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{K}}$$

де J - момент інерції маятника, K - коефіцієнт пружності нитки, на якій підвішують маятник. Якщо на маятник насадити додатковий тягарець масою m_0 на відстані l від осі обертання, то період коливань зміниться:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J + m_0 l^2}{K}}$$

Розв'язуючи обидва рівняння, одержимо:

$$J = \frac{m_0 l^2}{(T_1 / T)^2 - 1}$$

Оскільки періоди коливань T_1 і T відрізняються незначно, відносна похибка вимірювання моменту інерції може бути визначена за наближеною формулою :

$$E_2 = \frac{\Delta J}{J} = \frac{\Delta m_0}{m_0} + 2\left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta T_1}{T_1}\right)$$

Відносна похибка визначення швидкості кулі:

$$E = \frac{\Delta V}{V} = E_1 + E_2 + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta r}{r}$$

3 ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За допомогою терезів і різноважків визначити масу додаткового тягарця m_0 та кулі m , результат зважування записати числом з трьома значущими цифрами. За абсолютні похибки виміру m та m_0 взяти похибки одиничного вимірювання.
2. Увімкнути освітлювач шкали і перевірити установку нуля. Установка нуля виконується переміщенням шкали приладу. Для зарядки повітряної рушниці натиснути вниз розміщений з лівого боку її фіксатор, відхилити прилад рушниці до упору вниз, вставити у ствол кулю і встановити прилад у робоче положення. Виконати постріл і одночасно з цим запустити секундомір. Відміряти по шкалі максимальне відхилення променя a і виміряти тривалість $t=10-20$ повних коливань. Обчислити період коливань $T = t/n$, де n - число коливань. За абсолютну похибку виміру величини a взяти похибку одиничного виміру. Абсолютна похибка ΔT дорівнює подвоєній номінальній похибці шкали секундоміра, поділеній на число коливань.
3. Лінійкою виміряти відстань b від дзеркала маятника до шкали. Абсолютну похибку Δb визначити як похибку одиничного вимірювання. За формулою (5) обчислити $tg2a_0$ і далі знайти a_0 в радіанах.
4. За формулою (4) обчислити максимальне значення кутової швидкості ω_0 і за формулою (6) - відносну похибку вимірювання кутової швидкості.
5. Насадити на плече маятника додатковий тягарець m_0 , виміряти лінійкою відстань l . Абсолютна похибка Δl дорівнює похибці одиничного виміру. Відхилити маятник з тягарцем на кут, що відповідає відхиленню променя по шкалі a і за допомогою секундоміра виміряти тривалість 10-20 повних коливань. Період коливань маятника з тягарцем T_1 і ΔT_1 знайти так само, як і для маятника без додаткового тягарця.
7. За формулою (7) і (8) обчислити момент інерції маятника і відносну похибку його вимірювання.
6. Лінійкою виміряти відстань r від центра чашки Ч до вісі маятника, абсолютну похибку Δr беруть такою, що дорівнює похибці одиничного виміру.

За формулою (2) обчислити швидкість кулі, за формулою (8) - відносну похибку її вимірювання.

8. Результати роботи занести до табл. 1

Таблиця 1

Величина	m_0 , кг	m , кг	a , м	v , м	l , м	r , м	T , с	T_1 , с	ω_0 , с ⁻¹	J , кг·м ²	V , м/с
Значення величини											
Абсолютна похибка величини											
Відносна похибка величини											

Зміст звіту: назва і номер лабораторної роботи, рисунок приладу (див. рис.1.), розрахункові формули, таблиця результатів роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається коефіцієнтом відновлення матеріалу при ударі тіл?
2. Сформулюйте закон збереження імпульсу для замкненої системи тіл.
3. Який удар називається абсолютно непружним?
Застосуйте закон збереження імпульсу до прямого центрального абсолютно пружного удару двох тіл.
4. Сформулюйте закон збереження механічної енергії для замкненої системи тіл.
5. Який удар називається абсолютно пружним ?
Складіть рівняння законів збереження для абсолютно пружного удару двох тіл.
6. Виведіть формулу післяударних швидкостей для двох тіл при прямому центральному абсолютно пружному ударі.
7. Що називається моментом імпульсу матеріальної точки та моментом імпульсу тіла, яке має вісь обертання ?
8. Сформулюйте закон збереження моменту імпульсу для замкненої системи тіл ?
9. Поясніть, як застосовується закон збереження моменту імпульси в даній лабораторній роботі.
10. Дві кулі масою 2кг і 5кг, які рухаються відповідно зі швидкостями 3 м/с і 2м/с, беруть участь у прямому центральному абсолютно пружному ударі.
Визначити швидкості куль після удару для двох випадків :
а) кулі рухались в одному напрямку;
б) кулі рухались назустріч одна одній.

11. Визначте збільшення внутрішньої енергії куль після удару за умовою попередньої задачі для обох випадків.
12. По невеликому шматку м'якого заліза, який лежить на наковальні масою 300кг, вдаряє молот масою 8кг. Визначіть коефіцієнт корисної дії. Удар вважати абсолютно непружним.
13. Молот масою 1000кг вдаряє по сваї масою 200кг. Визначте коефіцієнт корисної дії удару, якщо удар абсолютно непружний. Зміною потенціальної енергії сваї знехтувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кортнев А.В. Практикум по физике - М.:Высш. школа, 1971.
2. Яворский Б.М. й др. Курс физики - М.:Высш. школа, 1973.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи з навчальної дисципліни «**Фізика**» «Визначення швидкості кулі за допомогою крутильно-балістичного маятника» (розділ «Механіка і молекулярна фізика») для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання

Укладач: старш. викл. О.І.Лисенко

Відповідальний за випуск зав. кафедри фізики О.І.Єлізаров

Підп. до др. _____. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ

Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600