

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ
УКРАЇНИ**

КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН

**Методичні рекомендації
до лабораторного заняття
з навчальної дисципліни “Фізика”**

**ВИЗНАЧЕННЯ
ШВИДКОСТІ ТІЛА
ЗА ДОПОМОГОЮ
БАЛІСТИЧНОГО МАЯТНИКА**

Обговорено та затверджено на засіданні
кафедри фізико-математичних дисциплін
Протокол № ____ від _____ 201 р.

План-конспект лабораторного заняття

«Визначення швидкості тіла за допомогою балістичного маятника»

Тема заняття: Вивчення і використання законів збереження імпульсу, моменту імпульсу та закону збереження енергії для визначення швидкості тіла.

Мета заняття:

— *навчальна:* навчити використовувати знання законів динаміки для знаходження фізичних величин, пов'язаних з цими законами, зокрема моменту імпульсу тіла. Ознайомити слухачів з методами наукового пізнання на практиці;

— *виховна:* виховувати інформаційну культуру студентів, увагу, дисциплінованість, самоконтроль;

— *розвиваюча:* розвивати впізнавальний інтерес, мислення, уміння використовувати на практиці фізичні прилади. Забезпечити розвиток експериментальних умінь слухачів і навичок проведення вимірювань фізичних величин.

Тип заняття: закріплення вивченого матеріалу.

Вид заняття: лабораторна робота.

Методи навчання:

пояснювально-ілюстративний:

– більш конкретне, наочне пояснювання слухачам навчального матеріалу;

частково-пошуковий метод:

– пошук слухачами відповідей на сукупність логічних запитань з конкретної теми, спрямованих на виконання лабораторної роботи.

Опорні терміни і поняття: закон збереження імпульсу, закон збереження моменту імпульсу, закон збереження енергії.

Основні джерела інформації:

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.1.: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Техніка, 1999. – 269с., ст. 32-48, 52-62, 66-79.

2. Борисенко В. Г. Фізика. Практикум. Лабораторні роботи. Х.: НУЦЗУ, 2010. – ст. 29-36.

3. ФІЗИКА. Методичні рекомендації з організації самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни. / Борисенко В. Г., Деркач Ю.Ф., Кривцова В.І., Умеренкова К.Р. / Х.: НУЦЗУ, 2010, 63 с. (електронний варіант).

План заняття та розподіл часу

1. Організаційний етап – 5хв:
 - нагадування правил техніки безпеки для перебування в лабораторії, та під час виконання лабораторної роботи;
 - перевірка наявності запису лабораторної роботи в журналі звітів.
2. Підготовка до виконання лабораторної роботи – 10хв:
 - перевірка домашнього завдання;
 - перевірка готовності до роботи.
3. Виконання лабораторної роботи – 55хв:
 - підготовка лабораторної установки до роботи;
 - проведення прямих і непрямих вимірів, знаходження необхідних похибок вимірів, оформлення таблиць та графіків. Формулювання висновку.
4. Підведення підсумків заняття – 5хв.
5. Домашнє завдання – 5 хв



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ
ДИСЦИПЛІН

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТІЛА ЗА ДОПОМОГОЮ БАЛІСТИЧНОГО МАЯТНИКА

Укладачі:

В.Г. Борисенко, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова

Харків
2018

Мета роботи: вивчення і використання законів збереження імпульсу, моменту імпульсу та закону збереження енергії для визначення швидкості тіла.

Короткі теоретичні відомості

Повний опис фізичної системи можливий, якщо відомі динамічні закони, що описують зміну стану системи з часом. Це означає, що, знаючи закони дії сил на матеріальні точки системи, можна за допомогою рівнянь руху знайти стан системи в довільний момент часу. Але для багатьох систем динамічні закони можуть бути досить складні або невідомі. Тоді важливу роль грають закони збереження – фізичні закономірності, згідно з якими існують фізичні величини, значення яких за певних умов або в певних процесах залишається сталим, тобто не змінюється з часом. Найбільш загальними є закони збереження імпульсу, моменту імпульсу та енергії. Хоча спочатку вони були застосовані в механіці, досліди показали, що закони збереження не залежать від характеру взаємодії і можуть бути використані навіть тоді, коли характер взаємодії взагалі невідомий. Тому закони збереження стали важливим інструментом дослідження не тільки в механіці, а і в фізиці твердого тіла, атома, елементарних частинок та ін..

Закон збереження імпульсу. За визначенням імпульс \vec{p} матеріальної точки є вектор, що дорівнює добутку маси матеріальної точки m і вектора швидкості \vec{V} , тобто $\vec{p} = m\vec{V}$. Згідно з другим законом Ньютона *похідна від імпульсу матеріальної точки за часом дорівнює векторній сумі сил, що діють на матеріальну точку*

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i, \quad (3.1)$$

де індекс i нумерує сили.

Імпульсом \vec{P} системи матеріальних точок називають векторну суму імпульсів матеріальних точок, що складають систему, тобто $\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i$, де \vec{p}_i

– імпульс i -ої матеріальної точки. Матеріальні точки системи можуть взаємодіяти як між собою (ці сили взаємодії називають *внутрішніми*), так на них можуть діяти сили з боку матеріальних точок, що системі не належать (ці сили називають *зовнішніми*). Оскільки наслідком виконання третього закону Ньютона є те, що сума всіх внутрішніх сил системи дорівнює нулю, то для системи матеріальних точок рівняння руху (3.1) має вигляд

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \sum_i \vec{F}_{i, \text{зовн.}} \quad (3.2)$$

Зокрема, якщо зовнішні сили на систему не діють або $\sum_i \vec{F}_{i, \text{зовн.}} = 0$, то

така система має назву *замкнутої*. Для замкнутої системи права частина рівняння (3.2) дорівнює нулю, тобто імпульс не змінюється з часом.. Тоді очевидно, що *повний імпульс замкнутої системи зберігається в часі, тобто залишається сталим*. Це твердження є *закон збереження імпульсу для замкнутої системи*, який аналітично записується у вигляді

$$\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i = \text{const.} \quad (3.3)$$

З рівняння (3.3) випливає, що імпульси матеріальних точок або окремих частин системи можуть змінюватись із часом, але їх векторна сума (повний імпульс системи) залишається сталою в процесі руху.

Закон збереження моменту імпульсу. За визначенням *момент імпульсу* \vec{l} *матеріальної точки* відносно нерухомого початку O є вектор, що дорівнює векторному добутку радіус-вектора \vec{r} , що з'єднує початок O з матеріальною точкою i вектора імпульсу \vec{p} цієї точки, тобто

$$\vec{l} = [\vec{r}, \vec{p}]. \quad (3.4)$$

Моментом імпульсу \vec{L} *системи матеріальних точок* відносно нерухомого початку O називають векторну суму моментів імпульсів матеріальних точок, що складають систему відносно точки O , тобто $\vec{L} = \sum_i \vec{l}_i$, де \vec{l}_i – момент імпульсу i -ої матеріальної точки.

Для моменту імпульсу справедливе рівняння аналогічне рівнянню (3.2) для імпульсу, яке має назву *рівняння моментів* і записується у вигляді

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum_i \vec{M}_{i, \text{зовн.}}, \quad (3.5)$$

де вектор $\vec{M}_{i, \text{зовн.}} = [\vec{r}_i, \vec{F}_{i, \text{зовн.}}]$ – момент зовнішньої сили, що діє на i -ту матеріальну точку відносно нерухомого початку O . Отже, *похідна за часом від моменту імпульсу системи матеріальних точок відносно нерухомого початку дорівнює векторній сумі моментів усіх зовнішніх сил, відносно того ж початку*. Зокрема, для замкнутої системи права частина рівняння (3.5) дорівнює нулю. Отже, *повний момент імпульсу замкнутої системи зберігається в часі, тобто залишається сталим*. Це твердження є *закон збереження моменту імпульсу для замкнутої системи*, який аналітично записується у вигляді

$$\vec{L} = \sum_i \vec{l}_i = \text{const.} \quad (3.6)$$

Закон збереження енергії. У механіці розрізняють *потенціальні (консервативні) і непотенціальні (неконсервативні) сили*. До потенціальних відносяться сили, робота яких залежить від початкового і кінцевого положення системи і не залежить від траєкторії переходу з початкового положення в кінцеве. Наслідком цього є те, що робота потенціальних сил по замкнутій траєкторії дорівнює нулю. Прикладом таких сил є сили тяжіння. Непотенціальними є сили, робота яких залежить від траєкторії переходу. Прикладом таких сил є сили тертя та сили опору.

Сили і їх дія пов'язані з загальною мірою руху і взаємодії всіх матеріальних точок, (тіл) системи, яка має назву *енергії системи*. У механіці розрізняють *кінетичну і потенціальну енергії системи*. Частина *енергії системи, що залежить від швидкостей матеріальних точок (тіл) системи, має назву кінетичної енергії*. Кінетична енергія однієї матеріальної точки масою m , що рухається з швидкістю v , дорівнює

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (3.7)$$

Як випливає з (3.7), кінетична енергія є скалярна величина, тому кінетична енергія системи є алгебраїчною сумою кінетичних енергій її частин.

Потенціальною енергією системи називається скалярна величина, що дорівнює роботі потенціальних сил над матеріальними точками системи при переході її з даного положення в положення, де ця величина вважається рівною нулю. Вираз для потенціальної енергії залежить від характеру взаємодії. Наприклад, якщо потенціальна енергія тіла масою m на поверхні Землі приймається рівною нулю, то на висоті h вона дорівнює $E_n = mgh$, де g – прискорення вільного падіння, а потенціальна енергія стисненої (розтягнутої) пружини дорівнює $E_n = kx^2/2$, де x – зміщення з положення рівноваги, а k – жорсткість пружини.

Сума кінетичної та потенціальної енергій системи має назву *механічної енергії системи*, тобто

$$E = E_k + E_n. \quad (3.8)$$

Якщо в системі діють тільки потенціальні сили, то механічна енергія системи зберігається в часі, тобто залишається сталою. Це твердження має назву *закону збереження енергії*. Воно означає, що в такій системі зміна потенціальної енергії буде супроводжуватись її перетворенням у кінетичну і навпаки, а їх сума буде залишатись сталою. Якщо в системі діють і непотенціальні сили, то енергія системи не зберігається, а витрачається на роботу цих сил.

Опис лабораторної роботи

У даній роботі закони збереження використовуються для визначення швидкості тіла. Зовнішній вигляд роботи наведений на рис. 3.1а, а її схематичне зображення – на рис. 3.1б. Основною частиною роботи є балістичний маятник, що закріплений на штативі 1. Він являє масивне

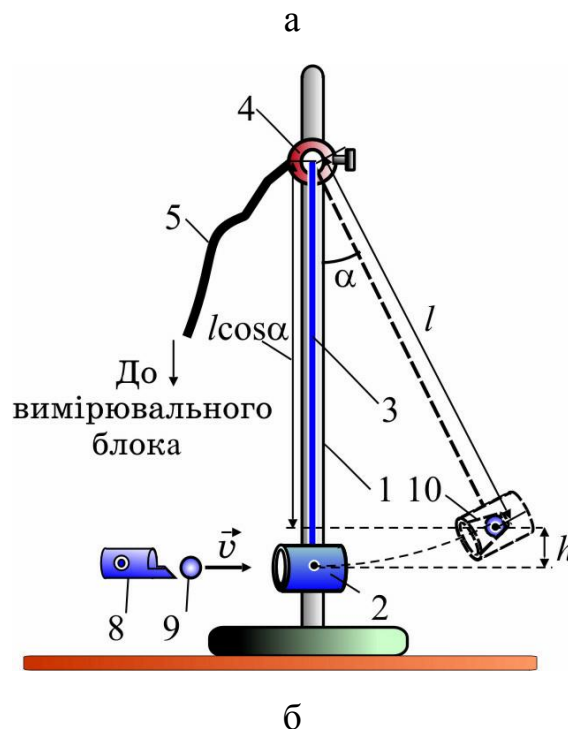
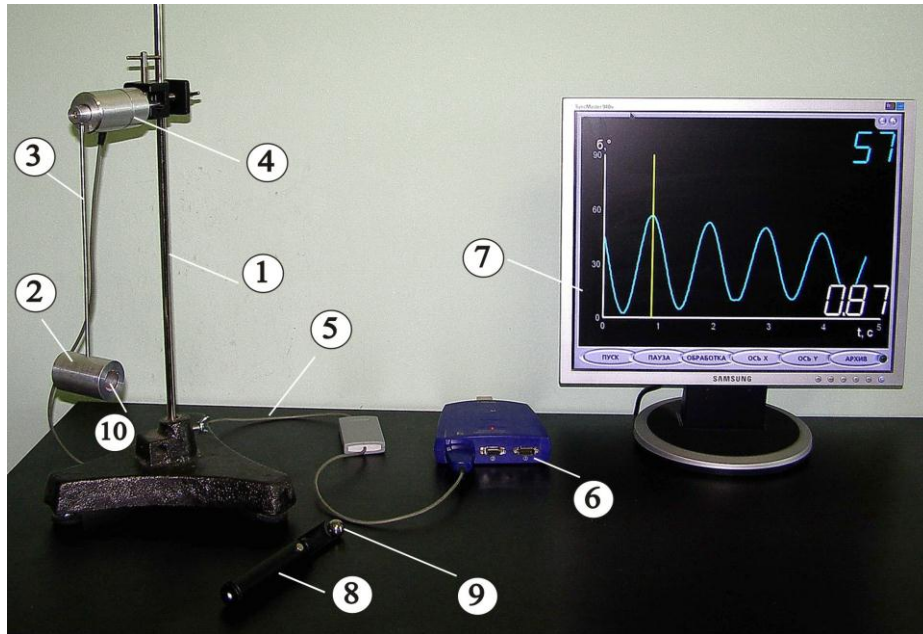


Рис.3.1. Зовнішній вигляд лабораторної роботи (а) та її схематичне зображення (б). Позначення: 1 – штатив; 2 – циліндр-пастка; 3 – тонка спиця; 4 – муфта з датчиком кута повороту; 5 – з'єднувальний кабель; 6 – вимірювальний блок; 7 – монітор; 8 – пружинний металевий пристрій; 9 – кулька; 10 – пластиковий конус.

тіло, роль якого грає циліндр-пастка 2, що закріплений на довгій тонкій спиці 3. У рівновазі циліндр-пастка знаходиться в найнижчому положенні, а спиця розміщена вертикально. При виведенні маятника з положення рівноваги спиця відхиляється на кут α від вертикалі (рис. 3.1б), величина якого вимірюється датчиком кута повороту, розміщеним всередині муфти 4 на її осі. Датчик з'єднано кабелем 5 з вимірювальним блоком 6, який сполучений з комп'ютером. Результати вимірювання відображаються на дисплеї монітора 7. Виведення маятника з положення рівноваги відбувається за допомогою метального пружинного пристрою 8, з якого виконується постріл металевою кулькою 9 в циліндр-пастку (рис. 3.1б). Після пострілу кулька застрягає в пластиковому конусі 10, що кріпиться в отворі циліндр-пастки і далі рухається разом з циліндром-пасткою. Тому доцільно розділити розгляд руху маятника на два етапи: процес зіткнення і процес підйому кульки разом з маятником до деякої висоти h .

Процес зіткнення кульки з маятником досить складний, оскільки система не є консервативною – при гальмуванні кульки в циліндрі-пастці частина кінетичної енергії кульки витрачається на роботу сил тертя. Але, якщо час зіткнення кульки з маятником малий в порівнянні з періодом коливань маятника, то маятник не встигає відхилитись настільки, щоб виникла зовнішня сила (складова сили тяжіння), яка повертає маятник до положення рівноваги. Тоді можна вважати, що в системі діють тільки внутрішні сили, і розглядати систему „куля-маятник” як замкнуту і використовувати для неї закони збереження імпульсу і моменту імпульсу. Зокрема, закон збереження імпульсу в проекціях на напрямок зіткнення можна записати у вигляді¹⁾

$$mv = (M + m)u, \quad (3.9)$$

де m , M – маси кулі і маятника відповідно; v – швидкість кулі до зіткнення; u – швидкість системи „куля-маятник” після зіткнення. Це рівняння відображає той факт, що проекція імпульсу системи до зіткнення mv дорівнює проекції імпульсу системи після зіткнення $(M + m)u$. Із (3.9) маємо

$$v = \frac{(M + m)u}{m}. \quad (3.10)$$

З рівняння (3.10) випливає, що можна знайти швидкість кулі v , якщо визначити величини m , M і u з досліду. Якщо маси кулі і циліндра-пастки визначаються простим зважуванням, то швидкість u можна знайти, використавши закон збереження енергії.

¹⁾ Легко довести, що у випадку, коли маятник можна вважати математичним (розміри тіла малі в порівнянні з довжиною спиці), рівняння, що відповідає закону збереження моменту імпульсу переходить в рівняння, що виражає закон збереження імпульсу. В загальному випадку, при зіткненні кулі з маятником, який не може вважатись математичним, необхідно користуватись законом збереження моменту імпульсу.

Дійсно, на другому етапі – процесі підйому до деякої висоти h , на систему „кулька-маятник” діють зовнішні сили: сила тяжіння величиною $(M + m)g$, та сили пружності взаємодії спиці з циліндром-пасткою. Однак ці сили є консервативними, що дозволяє використати закон збереження енергії. Окрім того, в системі діє неконсервативна сила – сила тертя в датчику кута повороту. Але вона досить мала і нею можна знехтувати. Тому можна вважати, що в системі діють лише консервативні сили і в процесі підйому виконується закон збереження енергії: кінетична енергія маятника перетворюється в його потенціальну енергію. Кінетична енергія системи після зіткнення дорівнює $E_k = (M + m)u^2/2$, а потенціальна в кінці підйому на висоті h рівна $E_n = (M + m)gh$. Тоді закон збереження має вигляд

$$\frac{(M + m)u^2}{2} = (M + m)gh, \quad (3.11)$$

звідки невідома в рівнянні (3.10) швидкість дорівнює

$$u = \sqrt{2gh}. \quad (3.12)$$

Із побудови на рис. 3.1б видно, що висота h виражається через довжину ℓ маятника, а саме

$$h = \ell - \ell \cos \alpha = \ell(1 - \cos \alpha), \quad (3.13)$$

де кут відхилення α вимірюється датчиком кута повороту. Підставивши вирази (3.12) і (3.13) в (3.10), одержимо робочу формулу для визначення швидкості кульки

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{2g(1 - \cos \alpha)}. \quad (3.14)$$

Завдання:

а) визначити максимальні кути відхилення $\alpha_{i, \max}$ балістичного маятника в декількох (5–6) дослідах;

б) за результатами дослідів розрахувати середнє значення швидкості \bar{v} кулі і похибки;

в) зробити висновки про коректність проведених вимірювань.

Порядок виконання роботи

Підготовка до вимірювань:

1. Підготуватись до роботи. Для цього необхідно зібрати установку і з'єднати вимірювальні кабелі. У вікні монітора відкрити програму „L-физика практикум”, в меню програми натиснути пункт „Выбор работы” і у вікні, що відкриється, в наведеному переліку лабораторних робіт натиснути назву „Измерение скорости баллистическим маятни-ком”. Після цього, для переходу до вимірів натиснути кнопку «Проведение измерений», що приведе до відкриття вікна виконання роботи.

Зауваження. Одним з основних етапів підготовки лабораторної роботи є налаштування датчика кута повороту. Для переведення маятника в початковий стан треба до початку вимірювань натиснути кнопку «Настройка» в меню. На екрані з'явиться показ датчика в градусах. Необхідно встановити з клавіатури такий показ датчика, щоб при відхиленні маятника від положення рівноваги на 90° вимірювальний кут не виходив за межі діапазону від -410° до $+410^\circ$ градусів. Після цього привести маятник в стан рівноваги і натиснути кнопку „Далее”. Показ датчика на екрані буде прийнятий за початок відліку. Якщо покази датчика лежать на межі діапазону і не змінюються під час руху маятника, то необхідно зробити декілька обертів маятника в той чи інший бік, доки покази датчика не почнуть змінюватись.

Проведення вимірювань:

2. Визначити масу кульки, масу маятника і довжину підвісу. Занести дані вимірів до таблиці 1.
3. Зарядити металевий пристрій, стиснувши пружину разом із штоком ліворуч до фіксації штока. Встановити в жолоб кульку, так, щоб вона дотикалась до поршня штока.
4. Натиснути в меню кнопку „Пуск”. Розташувати металевий пристрій щільно до отвору циліндра-пастки так, щоб вісь пристрою була горизонтальною, а маятник знаходився в положенні рівноваги. Натиснувши кнопку на корпусі пристрою, зробити постріл кулькою.
5. Після пострілу, в процесі коливального руху, відбувається вимірювання кута відхилення маятника через малі проміжки часу. На екрані монітора відображається (рис. 3.1a) графік залежності кута відхилення маятника від часу $\alpha(t)$. Після кількох повних коливань натиснути кнопку „Стоп”.
6. Визначити кут максимального відхилення маятника α_{\max} . Для цього за допомогою миші підвести курсор до необхідної точки на графіку залежності $\alpha(t)$ і натиснути ліву кнопку миші. На екрані через вказану точку пройде вертикальна жовта пряма (рис. 3.1a), а в верхньому куті екрана праворуч буде вказаний результат виміру α_{\max} в градусах.

7. Аналогічно до дій попереднього пункту, провести вимірювання відхилення маятника α'_{\max} в протилежний бік і занести результати виміру α_{\max} і α'_{\max} до таблиці 1.

Таблиця 1

№	M , кг	m , кг	ℓ , м	$\alpha_{i,\max}$, град	$\alpha'_{i,\max}$, град	$\bar{\alpha}_{i,\max}$, град	v_i , м/с	$\Delta v_i^2, \text{м}^2/\text{с}^2$
1.								
2.								
⋮								
5.								
							$\bar{v} =$	$\sum_i \Delta v_i^2 =$

8. Визначити середнє значення $\bar{\alpha}_{i,\max}$ і занести до таблиці 1.
 9. Визначити швидкість v_i польоту кульки за робочою формулою (3.14).
 10. Виконати дії пп. 3-9 п'ять разів і результати занести до таблиці 1.
 11. Визначити середнє значення швидкості \bar{v} і визначити похибку Δv .
 12. Зробити висновки щодо вірності визначення швидкості кульки.

Контрольні питання

1. Дати визначення імпульсу матеріальної точки, системи матеріальних точок.
2. Дати визначення моменту імпульсу матеріальної точки, системи матеріальних точок.
3. Дати визначення замкнутої системи матеріальних точок.
4. Які сили мають назву консервативних, неконсервативних?
5. Указати, які сили діють на балістичний маятник, які з них потенціальні.
6. Сформулювати закон збереження імпульсу.
7. Сформулювати закон збереження моменту імпульсу.
8. Сформулювати закон збереження енергії.
9. На якій стадії руху балістичного маятника використовується закон збереження імпульсу, а на якій закон збереження енергії?
10. Описати порядок виконання лабораторної роботи.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.1.: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Техніка, 1999. – 269с., ст. 32-48, 52-62, 66-79.
2. Физический практикум. / Под ред. В.И. Ивероновой. – М: Гос. изд-во физ.- мат. л-ры, 1962. – 956с.