

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ
УКРАЇНИ**

КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН

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

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ
ЗА ДОПОМОГОЮ
МАТЕМАТИЧНОГО ТА ФІЗИЧНОГО МАЯТНИКІВ**

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

План-конспект лабораторного заняття «ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ФІЗИЧНОГО МАЯТНИКІВ»

Тема заняття: Вивчення коливальних процесів та використання їх закономірностей для визначення прискорення вільного падіння.

Мета заняття:

— *навчальна:* навчити використовувати знання законів коливальних процесів для знаходження прискорення вільного падіння тіл. 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: математичний маятник, фізичний маятник, період колювання, оптоелектронний датчик.

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. 70-77, 209-214, 219-223.

2. 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).

3. Опис лабораторної роботи (див. далі).

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 ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИЧНОГО ТА МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКІВ

Укладачі:

В.Г. Борисенко, В.І. Кривцова, О.М.Кудін,
К.Р. Умеренкова

Харків
2019

Мета роботи. Вивчення коливальних процесів та використання їх закономірностей для визначення прискорення вільного падіння.

Короткі теоретичні відомості.

В коливальних системах власна частота і період гармонічних коливань залежать від властивостей системи й визначаються через її характеристики. Розглянемо наведені нижче приклади таких коливальних систем.

Математичний маятник. Це матеріальна точка масою m , що підвішена в полі сил тяжіння на невагомій, нерозтяжній нитці довжиною l_M (рис. 10.1, а). За відсутності сил тертя й малій амплітуді коливань маятник здійснює гармонічні коливання. Період власних коливань математичного маятника дорівнює

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_M}{g}}, \quad (10.1)$$

де g – прискорення вільного падіння. Отже, період коливань математичного

маятника не залежить від його маси.

Якщо виміряти довжину l_M маятника і період T коливань, то можна визначити прискорення вільного падіння за одержаним з (10.1) виразом

$$g = 4\pi^2 \frac{l_M}{T^2}. \quad (10.2)$$

Фізичний маятник. Це тверде тіло, що коливається в полі сил тяжіння навколо нерухомої горизонтальної осі O' (точки підвісу), яка не проходить через його центр інерції O (рис. 10.1, б). За умови малої амплітуди і

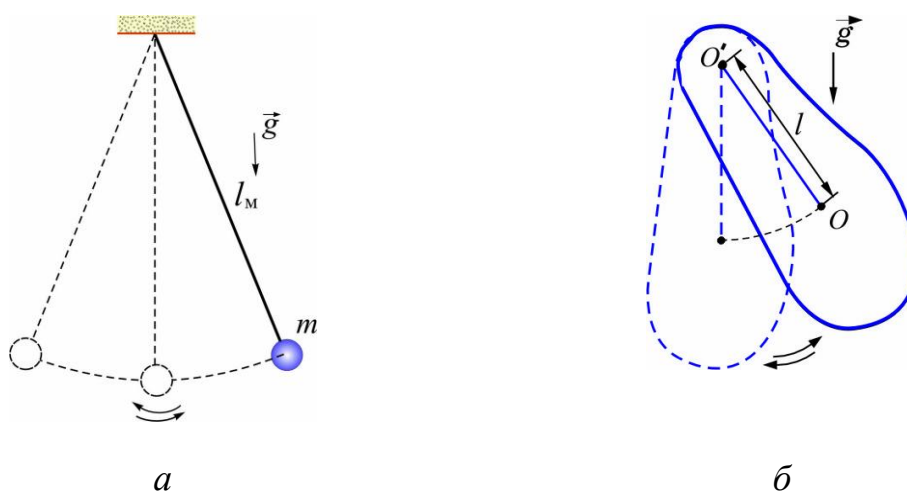


Рис. 10.1. Математичний (а) та фізичний (б) маятники

відсутності сил тертя ці коливання є гармонічними і період їх власних коливань дорівнює

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{\text{зв}}}{g}}, \quad (10.3)$$

де $l_{\text{зв}}$ – зведена довжина фізичного маятника, тобто довжина математичного маятника з періодом коливань, рівним періоду коливань даного фізичного маятника. Вона визначається співвідношенням

$$l_{\text{зв}} = \frac{I}{ml}, \quad (10.4)$$

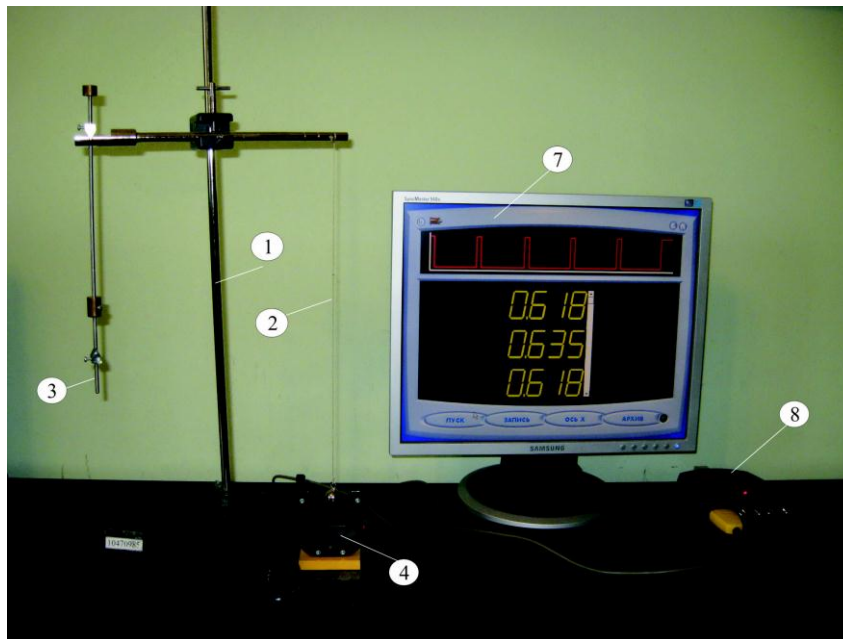
де I – момент інерції маятника відносно осі коливань (точки підвісу); m – маса фізичного маятника; l – відстань від осі коливань до центру мас. З (10.3) можна знайти вираз для визначення прискорення вільного падіння

$$g = 4\pi^2 \frac{l_{\text{зв}}}{T^2}, \quad (10.5)$$

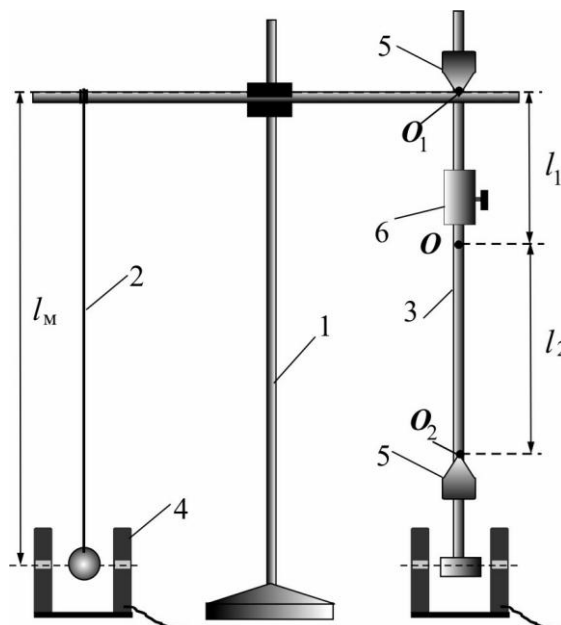
аналогічний виразу (10.2). Однак, якщо період T фізичного маятника вимірюється безпосередньо, то $l_{\text{зв}}$ можна або обчислити, вимірявши розміри і масу маятника, або виміряти безпосередньо, використавши так званий *оборотний маятник*.

Опис лабораторної роботи

Для визначення прискорення вільного падіння використовується установка, зовнішній вигляд якої наведений на рис. 10.2, а, а схематичне зображення – на рис. 10.2, б. В ній на штативі 1 розміщені математичний маятник 2 та оборотний маятник 3. За допомогою оптоелектронного датчика 4 вимірюється час між двома найближчими проходженнями маятника через положення рівноваги, тобто половина періоду коливань. Сигнал з датчика поступає на електронний блок 8, де аналоговий сигнал перетворюється в цифровий і відображається на моніторі 7.



a



б

Рис. 10.2. Зовнішній вигляд (а) лабораторної роботи та її схематичне зображення (б):

1 – штатив; 2 – математичний маятник; 3 – фізичний маятник;
4 – оптоелектронний датчик; 5 – призми; 6 – тягарець; 7 – монітор;
8 – електронний блок

Якщо вимірювання прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника виконується легко – вимірюється довжина l_M маятника та період T і обчислюється g за виразом (10.2), то у випадку оборотного маятника треба знати його будову і враховувати деякі додаткові обставини.

Оборотний маятник 3 (рис. 10.2, б) – це фізичний маятник, в якому на циліндричному стрижні розташовані дві трикутні призми 5, через основи призм проходять дві осі обертання O_1 і O_2 які розташовано по різні боки від центру мас системи O . На циліндричному стрижні розміщений рухомий тягарець 6, переміщенням якого вздовж стрижня можна регулювати положення центру мас O оборотного маятника. Оборотний маятник регулюють таким чином, щоб період його коливань на одній призмі дорівнював періоду його коливань на іншій призмі.

Виведемо формулу періоду коливань оборотного маятника. Згідно з теоремою Штейнера момент інерції I маятника відносно довільної осі обертання дорівнює

$$I = I_0 + ml^2, \quad (10.6)$$

де I_0 – момент інерції відносно паралельній їй осі обертання, що проходить крізь центр мас O , m – маса маятника, l – відстань від осі обертання до центра мас. Після підстановки (10.6) в (10.4) і далі в (10.3) формула для періоду коливань фізичного маятника приймає вигляд:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ml^2}{mgl}}. \quad (10.7)$$

Оскільки оборотний маятник має однакові періоди коливань на обох призмах (осях), то можна записати:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ml_1^2}{mgl_1}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ml_2^2}{mgl_2}}, \quad (10.8)$$

де l_1 і l_2 – відстань від центра мас маятника до ребра першої і другої призми відповідно.

Підведемо обидва рівняння в (10.8) до квадрату, помножимо кожне з них на знаменник правих частин і одержимо

$$\begin{aligned} T^2 mgl_1 &= 4\pi^2 (I_0 + ml_1^2), \\ T^2 mgl_2 &= 4\pi^2 (I_0 + ml_2^2). \end{aligned}$$

Віднявши від першого рівняння друге і скоротивши на m знаходимо

$$T^2 g (l_1 - l_2) = 4\pi^2 (l_1^2 - l_2^2). \quad (10.9)$$

Якщо в (10.9) $l_1 \neq l_2$, тобто маємо несиметричність розташування призм відносно центра мас маятника, то скоротивши на $(l_1 - l_2)$, одержимо

$$T^2 g = 4\pi^2(l_1 + l_2). \quad (10.10)$$

Оскільки призми розташовано по різні боки від центра мас, то $l_1 + l_2 = l_{зв}$, де $l_{зв}$ – відстань між відповідними ребрами призм (осями коливань). З останнього співвідношення період коливань оборотного маятника дорівнює

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{зв}}{g}}. \quad (10.11)$$

З (10.11) одержимо формулу (10.5) для визначення g .

Підкреслимо, що у випадку $l_1 = l_2$ (симетричне розташування осей коливань відносно центра мас маятника), формули (10.11) і (10.12) використовувати не можна. В цьому випадку період коливань залежить не тільки від $l_{зв}$ і g , але і від моменту інерції маятника.

Отже вимірявши відстань $l_{зв}$ між відповідними ребрами призм і період T можна, використавши вираз (10.12), обчислити g за допомогою оборотного маятника.

Завдання:

а) за даними результатів вимірювань довжин математичного і фізичного (оборотного) маятників і їх середніх періодів коливань визначити значення прискорення вільного падіння;

б) визначити похибки значень прискорення вільного падіння, розрахованого з допомогою обох маятників;

в) порівняти значення цих похибок і пояснити причину в їх різниці.

Порядок виконання роботи.

1. Для проведення вимірів за допомогою обох маятників на стояку штатива затискається переклада з прорізами для фіксації маятників (рис. 9.3).

2. Закріпити математичний 2 та оборотний 3 маятники на перекладі та встановити датчики 4 як показано на рис. 10.3. При русі маятники повинні перекривати промінь світла в оптоелектронному датчику. Необхідно, щоб оптична вісь датчика приблизно збігалася з положенням рівноваги маятника. Висота розташування осі маятника регулюється переміщенням перекладки зі скобою по вертикальному стояку штатива.

3. Вибрати пункт меню «Вимірювання прискорення вільного падіння» і натиснути на екрані кнопку «Проведення вимірювань».

Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника

4. Відхилити математичний маятник від положення рівноваги так, щоб площина його коливань була перпендикулярна до площини корпусу датчика та відпустити його для здійснення коливань. При русі маятник повинен перекривати промінь світла в оптоелектронному датчику.

5. Натиснути кнопку «Пуск» для початку реєстрації даних.

6. Після здійснення маятником п'яти повних коливань запис даних припиняється, на екрані залишаються значення напівперіодів коливань. Відмінність в показах $(T/2)_1$ і $(T/2)_2$ пояснюється тим, що оптична вісь оптоелектронного датчика не збігається точно з положенням рівноваги маятника.

7. Визначити період малих коливань математичного маятника. З цією метою провести заміри періоду при різних амплітудах коливань і визначити величину початкового відхилення, при якому період перестає залежати від амплітуди. Занести дані для півперіодів $(T/2)_1$ і $(T/2)_2$ малих коливань, які одержані в декількох дослідах, в таблицю 1.

8. Визначити відстань l від центра кульки до точки підвісу і теж занести в таблицю 1.

Математичний маятник

Таблиця 1

$l, \text{ м}$	$(T/2)_1, \text{ с}$	$(T/2)_2, \text{ с}$	$T, \text{ с}$	$T_{\text{ср}}, \text{ с}$

В таблиці $T = (T/2)_1 + (T/2)_2$ □ повний період коливань математичного маятника, $T_{\text{ср}}$ □ середнє значення періоду коливань.

Визначення прискорення вільного падіння за допомогою оборотного маятника

9. Оборотний маятник установлюється у проріз таким чином, щоб площина його коливань була перпендикулярна напрямку прорізу. Оскільки дослід проводиться з використанням того ж самого комп'ютера, що й дослід з математичним маятником, для початку запису даних достатньо натиснути кнопку «Пуск».

10. Подібно до математичного маятника визначте амплітуди коливань, за яких їх ще можна вважати малими.

11. Переконайтеся, що призми маятника встановлені так, що періоди його коливань на обох призмах однакові. З цією метою виміряйте період його малих коливань на одній з призм, потім переверніть маятник і виміряйте період його малих коливань на іншій. Якщо періоди коливань на обох призмах, будуть різними, то переміщенням тягарця 6 і призми 5 вздовж стержня підберіть таке їх положення, щоб періоди співпадали.

12. Внесіть значення півперіодів малих коливань, одержаних в декількох експериментах в таблицю 2. Заміряйте відстань між вістрями призми маятника ($l_{зв}$) і також впишіть в таблицю 2.

Оборотний маятник

Таблиця 2

$l_{зв}$, м	$(T/2)_1$, с	$(T/2)_2$, с	T , с	$T_{сер}$, с

11. Покладіть маятник горизонтально на якийсь предмет (наприклад, ребро лінійки) і знайдіть приблизно положення центра мас – точку, спираючись на яку, маятник буде в рівновазі. Перевірте, щоб виконувалась умова $l_1 \neq l_2$.

12. За даними таблиць 1 і 2, одержаними для математичного і оборотного маятників, і використовуючи співвідношення (10.2) і (10.5) визначте прискорення вільного падіння.

13. Визначте похибку в обох випадках. Поміркуйте, за яких причин оборотний маятник дає суттєво більш високу точність вимірювання g . Порівняйте отримане значення прискорення вільного падіння з метрологічним значенням для даної місцевості.

Контрольні питання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Дайте визначення коливального руху. Які коливання називаються гармонічними?
3. Запишіть рівняння гармонічних коливань і дайте визначення фізичних величин, що входять в це рівняння.
3. Що являють собою математичний та фізичний маятники?
3. За якої умови коливання математичного маятника можна віднести до гармонічних?
4. Обґрунтуйте як і від чого залежить період коливань математичного маятника.
5. Обґрунтуйте як і від чого залежить період коливань фізичного маятника.
6. Які фізичні маятники відносять до оборотних? Як і від чого залежить період коливань оборотного маятника?
7. З яких елементів складається лабораторна установка і яке їх призначення?
8. Опишіть порядок виконання лабораторної роботи.

Рекомендована література.

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.1.: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Техніка, 1999. – 269с., ст. 70-77, 209-214, 219-223.
2. И.В. Савельев. Курс общей физики. т.2. – М.: Наука, 1989, §§ 93, 94.