

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»
Кафедра фізики

Джеренова А. В.
Федун В. І.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ СИЛИ ТЯЖІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЕРТАЛЬНОГО МАЯТНИКА

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи № 91
по курсу «Фізика»
для студентів усіх спеціальностей
всіх форм навчання

Маріуполь
2019

Визначення прискорення сили тяжіння за допомогою обертового маятника: методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 91 з курсу «Фізика» для студентів усіх спеціальностей всіх форм навчання / уклад. : А. В. Джеренова, В. І. Федун. - Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. - 10 с.

Містить короткі теоретичні відомості з механічних коливань, зокрема, коливань обертового маятника, і експериментальне визначення прискорення сили тяжіння. Посібник рекомендується як для студентів очної так і заочної форми навчання.

Укладачі:

А.В.Джеренова, ст. викладач
В.І.Федун, ст. викладач

Рецензент

О.В.Цветкова, канд. фіз.-матем. наук, доцент

Затверджено

на засіданні кафедри фізики,
протокол № 9 від 21 січня 2019 р

Затверджено методичною комісією
факультету інформаційних технологій,
протокол № 7 від 18 березня 2019 р.

©ДВНЗ «ПДТУ», 2019

©А.В.Джеренова, 2019

1 ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Мета роботи: вивчити один з методів визначення прискорення сили тяжіння, в якому використовується обертальний маятник, і експериментально визначити чисельне значення цього прискорення.

При підготовці до виконання лабораторної роботи необхідно: Вивчити теорію за темами «кінематика коливального руху», «диференціальне рівняння коливального руху» [1, 2]. Ознайомитись з методикою експерименту, знати виведення розрахункової формули. Повторити теорію обробки результатів прямих і непрямих вимірювань в фізичних експериментах [3]. Відповісти на контрольні питання.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Під дією сили тяжіння до Землі всі тіла падають з однаковим відносно поверхні Землі прискоренням, яке прийнято позначати буквою g . Це прискорення, яке має назву прискорення вільного падіння або прискорення сили тяжіння, визначається як відношення ваги тіла, тобто сили, з якою тіло діє на підвіс або опір, до його маси в інерційній системі відліку.

Прискорення вільного падіння g залежить від географічної широти, а також від висоти над рівнем моря – з віддаленням від поверхні Землі воно зменшується.

Нормальним вважається значення g , виміряне на широті 45° на рівні моря і дорівнює:

$$g = 9,8665 \text{ м} / \text{с}^2$$

На практиці для визначення g застосовують статистичні і динамічні методи. Статистичні методи засновані на спостереженні показань гравіметричних ваг різного типу. Серед динамічних найбільш поширеним є метод маятника. В основу

цього методу покладено явище залежності періоду коливань маятників від прискорення вільного падіння.

У загальному випадку період коливань фізичного або математичного маятника можна представити у вигляді:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{g}}, \quad (2.1)$$

де I - довжина нитки для математичного маятника або приведена довжина L - для фізичного. Приведена довжина фізичного маятника дорівнює довжині деякого уявного математичного маятника, період якого дорівнює періоду даного фізичного маятника.

Приведену довжину фізичного маятника можна обчислити за формулою:

$$L = \frac{I}{ma}, \quad (2.2)$$

де I – момент інерції маятника відносно точки підвісу, m - маса маятника, a – відстань між точкою підвісу маятника і його центром ваги.

За теоремою Штейнера:

$$I = I_0 + ma^2, \quad (2.3)$$

Тоді

$$L = \frac{I_0 + ma^2}{ma}, \quad (2.4)$$

де I_0 – момент інерції маятника відносно вісі, що проходить через його центр ваги паралельно вісі коливань.

Наведену довжину фізичного маятника можна визначити практичним шляхом, як відстань між точкою підвісу маятника і його точкою коливання. Ці дві точки лежать на одній прямій з центром ваги маятника, перебуваючи по різні боки від нього, і мають властивість пов'язаності, тобто якщо, повернувши маятник, його центр коливань зробити точкою підвісу, то колишня точка підвісу стає центром коливання і таким чином період коливання маятника зберігає колишнє значення. Отже, в маятнику можна знайти дві вісі, відносно яких він буде коливатися з одним і тим же періодом, а відстань між цими вісями дорівнюватиме L – приведений довжині маятника. Маятники, засновані на такому принципі, отримали назву обертальних. Їх конструкційні деталі бувають дуже різноманітними.

Вимірюючи період T і приведену довжину L маятника, можна з формули (2.1) знайти прискорення сили тяжіння

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}, \quad (2.5)$$

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

У даній лабораторній роботі використовується обертальний маятник у вигляді плоскої пластини особливої форми (див. рис. 3.1), яка здатна здійснювати коливання відносно двох вісів. Для цього пластина має дві опорні призми P_1 і P_2 . Для спостереження коливань маятника його підвішують послідовно ребром тієї або іншої призми на сталевий стрижень, укріплений на міцному штативі.

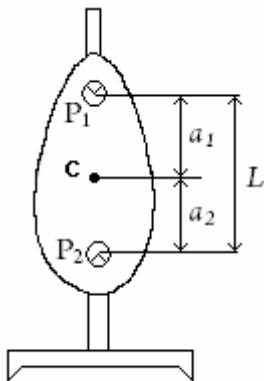


Рисунок 3.1 – Обертальний маятник

Якщо відстань між ребрами призми – L , а істинний період маятника, що має таку приведену довжину – T , то в дійсності ми при спостереженні коливань близько обох вісів отримаємо декілька різних періодів T_1 і T_2 , яким будуть відповідати деякі приведені довжини L_1 і L_2 , що відрізняються від L . Напишемо відповідні співвідношення:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{L_1}{g}}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{L_2}{g}}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}.$$

Звівши в квадрат і ділячи останню рівність на кожне з попередніх, знайдемо:

$$LT_1^2 = L_1T^2 \quad \text{та} \quad LT_2^2 = L_2T^2. \quad (3.1)$$

Позначимо a_1 та a_2 відстань від центру ваги маятника до вісей коливання. Використовуючи теорему Штейнера, напишемо для наведених довжин L_1 і L_2 наступні співвідношення:

$$L_1 = \frac{I_1}{a_1 m} = \frac{I_0 + a_1^2 m}{a_1 m} = \frac{I_0}{a_1 m} + a_1;$$
$$L_2 = \frac{I_2}{a_2 m} = \frac{I_0}{a_2 m} + a_2;$$

підставивши ці значення L_1 , L_2 і $L = a_1 + a_2$ у рівняння (3.1), отримаємо:

$$(a_1 + a_2)T_1^2 = (a_1 + \frac{l_0}{a_1 m})T^2;$$

$$(a_1 + a_2)T_2^2 = (a_2 + \frac{l_0}{a_2 m})T^2$$

Виключаючи звідси $\frac{l_0}{m}$, отримаємо:

$$a_1 T_1^2 - a_2 T_2^2 = (a_1 - a_2)T^2,$$

звідки

$$T^2 = \frac{a_1 T_1^2 - a_2 T_2^2}{a_1 - a_2} \quad (3.2)$$

Підставимо вираз (3.2) у рівняння (2.5) та знайдемо вираз для визначення прискорення сили тяжіння:

$$g = \frac{4\rho^2 L (a_1 - a_2)}{a_1 T_1^2 - a_2 T_2^2} \quad (3.3)$$

Це рівняння дозволяє достатньо просто і з необхідним ступенем точності знайти величину прискорення сили тяжіння при наближеній рівності періодів коливань обертового маятника.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

*Прилади й приладдя: обертовий маятник, секундомір.
Розрахункова формула:*

$$g = \frac{4\rho^2 L (a_1 - a_2)}{a_1 T_1^2 - a_2 T_2^2} \quad (4.1)$$

де L – відстань між ребрами призми; a_1 і a_2 – відстані центра тяжіння маятника від вісей коливання; T_1 і T_2 – періоди коливань маятника.

1. Підвісьте маятник на штатив ребром однієї з опорних призми, відхиливши від положення рівноваги на деякий кут φ , надайте йому коливання невеликої амплітуди. Не рекомендується вибирати значення $\varphi > 8^\circ$, тому що при таких амплітудах коливання не будуть гармонічними. Визначте час t_1 50-ти коливань і результати занесіть до таблиці 4.1. Дослідження повторіть 3 рази.

Таблиця 4.1 – Таблиця вимірювань та розрахунків

	t_1 , с	T_{1i} , с	$(T_{1i} - \langle T_1 \rangle)^2$	t_2 , с	T_{2i} , с	$(T_{2i} - \langle T_2 \rangle)^2$
1						
2						
3						
Ср.	–			–		

2. Визначте період T_1 коливань за формулою:

$$T_1 = \frac{t_1}{N_1}, \text{ де } N_1 = 50.$$

3. Переверніть маятник і повторіть пункт 1.

4. Визначте період T_2 коливань за формулою:

$$T_2 = \frac{t_2}{N_2}, \text{ де } N_2 = 50.$$

5. Знайдіть середнє значення $\langle T_1 \rangle$ і $\langle T_2 \rangle$ з точністю до другого знаку після коми. Визначте похибку вимірювань ΔT_1 і ΔT_2 за схемою обробки прямих вимірювань [3].

6. Виміряйте відстань L між ребрами призми.

7. Знайдіть положення центра інерції пластини маятника, урівноважив його на вісі перпендикулярній лінії з'єднувальної призми. Визначте значення a_1 і a_2 . Не забудьте про те, що $a_1 + a_2 = L$. Враховуючи спосіб визначення a_1 і a_2 , виберіть похибку $\Delta a = 0,5$ см.

8. Розрахуйте значення прискорення сили тяжіння за формулою (4.1). Похибку вимірювань Δg визначте як для непрямих вимірювань [3].

9. Визначте відносну похибку експериментального значення, порівнявши його з теоретичним (див. стор. 4).

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дайте визначення: математичний, фізичний, обертальний маятники.

2. Запишіть рівняння коливального руху фізичного маятника.

3. Що називається приведеною довжиною фізичного маятника?

4. Як експериментальним шляхом можна визначити приведену довжину фізичного маятника?

5. Сформулюйте теорему Штейнера.

6. Від чого залежить прискорення сили тяжіння?

7. Опишіть методику визначення прискорення сили тяжіння в даній роботі, виведіть розрахункову формулу.

8. Як визначається період фізичного маятника?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Савельев И. В. Курс физики / В. Савельев. - М.: Гл.редакция физ.-мат.литературы, 1989. - 352 с.

2. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова.- М.: Высш. шк., 1990. - 478 с
3. Математические методы обработки результатов физических измерений: методические указания по выполнению лабораторного практикума по курсу «Физика» для студентов всех специальностей всех форм обучения / Сост. В.И. Федун. - Мариуполь: ПГТУ, 2017 - 31 с.