

## Лабораторна робота № 1-1

# Вивчення теорії обробки результатів вимірювань у фізичній лабораторії на прикладі математичного маятника

Мета роботи: набути навичок побудови гістограми, вивчити обробку результатів прямих вимірювань.

Прилади та пристрой: математичний маятник, секундомір.

### 1.1. Теоретичні відомості

У фізиці маятником вважають таке тверде тіло, яке коливається під дією сили тяжіння навколо нерухомої точки або осі. Розрізняють математичний і фізичний маятники.

Математичним маятником називають ідеалізовану систему, що складається з невагомої нерозтяжної нитки довжини  $l$ , на якій підвішена матеріальна точка масою  $m$ , що може коливатися відносно точки підвісу О (рис.1.1). Достатньо коректним наближенням до математичного маятника служить невелика важка куля, підвішена на довгій тонкій малорозтяжній нитці.

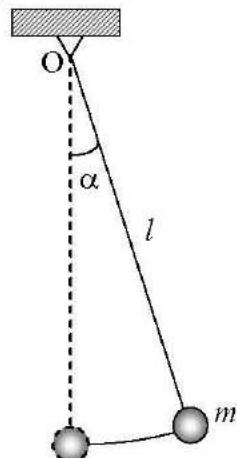


Рис. 1.1

За малих кутів відхилення від положення рівноваги і при настільки малому терпі, що ним можна знехтувати, математичний маятник здійснює гармонічні коливання, період яких визначається довжиною  $l$  маятника та прискоренням вільного падіння  $g$ :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Період коливань маятника може бути обчисленний за формулою або виміряний дослідним шляхом за допомогою годинника. Вимірювання періоду коливань математичного маятника за допомогою секундоміра – це прямі вимірювання. При їх здійсненні на одержані результати впливають різноманітні фактори, тому ці результати є тільки певним наближенням до істинного значення. Найкращім наближення до істинного можна одержати, вимірювши період декілька разів і визначивши середнє значення періоду  $\langle T \rangle$ . Ступінь наближення оцінюють, обчисливши похибки.

Для успішного виконання цієї роботи попередньо необхідно ознайомитися з коротким викладом “Теорії похибок і обробки результатів вимірювань у фізичній лабораторії”.

## 1.7. Опис установки та метод вимірювання

Установка є важкою кулею, яка підвішується на малорозтяжному дроті, довжина якого набагато більша за розміри кулі. Час вимірюють електронним секундоміром з точністю до 0,001 с.

Вимірюючи час  $\Delta t_i$  п'яти повних коливань, значення періоду коливань отримуємо за формулою:

$$T_i = \frac{\Delta t_i}{5}. \quad (1.1)$$

Для того, щоб коливання можна було вважати гармонічними (такими, що відбуваються за законом косинуса чи синуса), маятник слід відхиляти на невеликі кути (блізько  $4^\circ$ ).

## 1.8. Послідовність виконання роботи

- Підготувати таблиці, аналогічні табл.1.1 та табл.1.2, які показані нижче. (При можливості таблиці готуються в програмі MS Excel при цьому можна скласти формули для обчислень величин згідно із формулами, які наведені нижче таблиць).
- Привести маятник у коливний рух. Секундоміром виміряти час п'яти коливань, записати результат з точністю до 0,01 с в табл.1.1.

**Виконати 50 таких вимірювань.**

Одержані результати також записати в перші 50 рядків таблиці 1.2.

- Виконати ще одну серію з 50-ти вимірювань; дані заносити до табл.1.2, починаючи з рядка 51.
- Записати дані про секундомір:  $\delta$  (ціна поділки) =.....

## 1.4. Обробка результатів вимірювань

- Розрахувати з точністю до 0,001 с за формулою (1.1) період коливань для кожного з 50-ти вимірювань. Результати розрахунків занести до табл. 1.1.

- Обчислити середнє значення періоду  $\langle T \rangle = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{50} T_i}{n}$  і занести його в таблицю.

- Обчислити відхилення кожного значення періоду від середнього значення  $\Delta T_i = T_i - \langle T \rangle$  та його квадрат. Результати занести в таблицю.
- Дії з пунктів 1 – 3 виконати для даних таблиці 1.3.

Усі розрахунки вести з точністю до 0,001 с.

5. За даними таблиць 1.1 та 1.3 підрахувати  $\Delta n$ , кількість відхилень  $\Delta T_i$ , які попадають у вузькі інтервали рівної ширини 0,01 с, від -0,10 с до +0,10 с. Одержані значення занести до таблиць 1.2 (50 вимірювань) та 1.4 (100 вимірювань)

6. Підрахувати відносну кількість значень  $\Delta n/n$ , що потрапили до кожного з інтервалів (1,2,3,...20.), розділивши  $\Delta n$  табл. 1.2 на  $n = 50$ , а  $\Delta n$  табл. 1.4 на  $n = 100$ . Результати занести до табл. 1.5.

7. Побудувати гістограми для серій з 50-ти і 100-та вимірювань. На вертикальній осі гістограми відкладається значення  $\Delta n/n$ , а на горизонтальній осі – значення випадкової величини відхилень  $\Delta T_i$  за інтервалами. Зразок гістограми для  $n = 50$  зображеній на рис.1.2.

8. Обчислити вибірковий стандарт середнього (середню квадратичну похибку середнього)  $S_{\langle T \rangle}$  для  $n = 50$  і  $n = 100$  за формулою:

$$S_{\langle T \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle T \rangle - T_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta T_i^2}{n(n-1)}}$$

10. Обчислити сумарне стандартне відхилення, зумовлене систематичними похибками, за формулою

$$\sigma_{\langle T \rangle \Sigma} = \frac{\sigma_{\langle \Delta T \rangle}}{m} = \frac{\delta}{m\sqrt{12}}$$

де  $\delta$  – ціна поділки секундоміра,  $m = 5$  (кількість коливань).

11. Перевірити виконання правила трьох сигм та записати кінцевий результат відповідно до вказівок розділу «Теорія похибок і обробка результатів вимірювань у фізичній лабораторії». Для розрахунків скористатися даними табл. 1.1 та 1.3.

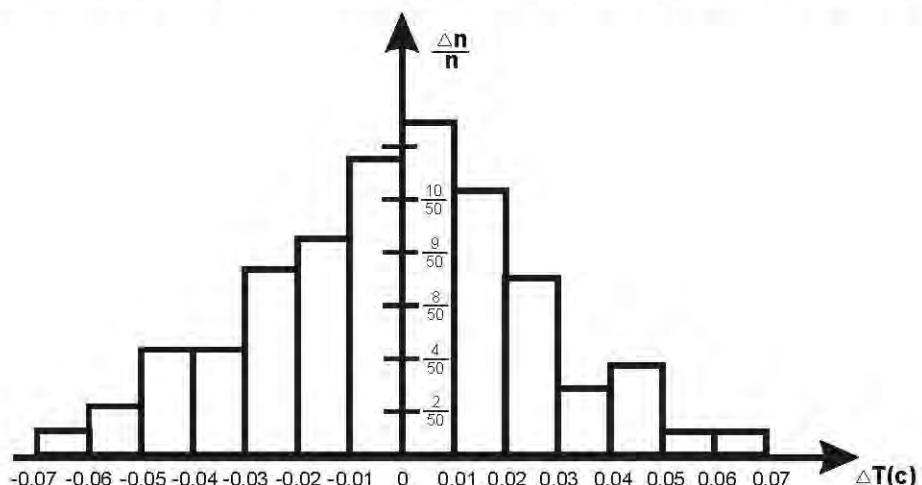


Рис. 1.2

Таблиця 1.1 (для  $n = 50$ )

№ п/п	Час 5-ти коливань $\Delta t$ , с	Період $T = \frac{\Delta t}{5}$ , с	$\Delta T_i = T_i - \langle T \rangle$ , с	$\Delta T_i^2$ , с <sup>2</sup>
1				
2				
3				
4				
5				
6				

№ п/п	Час 5-ти коливань $\Delta t$ , с	Період $T = \frac{\Delta t}{5}$ , с	$\Delta T_i = T_i - \langle T \rangle$ , с	$\Delta T_i^2$ , с <sup>2</sup>
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
		$\sum_{i=1}^{50} T_i =$		$\sum_{i=1}^{50} \Delta T_i^2 =$
		$\langle T \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{50} T_i}{50} =$		$\frac{\sum_{i=1}^{50} \Delta T_i^2}{50} =$

Таблиця 1.2

$-0,10 < \Delta T < -0,09$	$-0,09 < \Delta T < -0,08$	$-0,08 < \Delta T < -0,07$	$-0,07 < \Delta T < -0,06$	$-0,06 < \Delta T < -0,05$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
$-0,05 < \Delta T < -0,04$	$-0,04 < \Delta T < -0,03$	$-0,03 < \Delta T < -0,02$	$-0,02 < \Delta T < -0,01$	$-0,01 < \Delta T < -0,0$
<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$0,0 < \Delta T < 0,01$	$0,01 < \Delta T < 0,02$	$0,02 < \Delta T < 0,03$	$0,03 < \Delta T < 0,04$	$0,04 < \Delta T < 0,05$
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
$0,05 < \Delta T < 0,06$	$0,06 < \Delta T < 0,07$	$0,07 < \Delta T < 0,08$	$0,08 < \Delta T < 0,09$	$0,09 < \Delta T < 0,10$
<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>

Таблиця 1.3 (для  $n=100$ )

№ п/п	Час 5-ти коливань $\Delta t$ , с	Період $T = \frac{\Delta t}{5}$ , с	$\Delta T_i = T_i - \langle T \rangle$ , с	$\Delta T_i^2$ , с <sup>2</sup>
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				

№ п/п	Час 5-ти коливань $\Delta t$ , с	Період $T = \frac{\Delta t}{5}$ , с	$\Delta T_i = T_i - \langle T \rangle$ , с	$\Delta T_i^2$ , с <sup>2</sup>
88				
89				
90				
91				
92				
93				
94				
95				
96				
97				
98				
99				
100				
		$\sum_{i=1}^{50} T_i =$		$\sum_{i=1}^{50} \Delta T_i^2 =$
		$\langle T \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{100} T_i}{100} =$		$\frac{\sum_{i=1}^{100} \Delta T_i^2}{100} =$

Таблиця 1.4

$-0,10 < \Delta T < -0,09$	$-0,09 < \Delta T < -0,08$	$-0,08 < \Delta T < -0,07$	$-0,07 < \Delta T < -0,06$	$-0,06 < \Delta T < -0,05$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
$-0,05 < \Delta T < -0,04$	$-0,04 < \Delta T < -0,03$	$-0,03 < \Delta T < -0,02$	$-0,02 < \Delta T < -0,01$	$-0,01 < \Delta T < 0,0$
<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$0,0 < \Delta T < 0,01$	$0,01 < \Delta T < 0,02$	$0,02 < \Delta T < 0,03$	$0,03 < \Delta T < 0,04$	$0,04 < \Delta T < 0,05$
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
$0,05 < \Delta T < 0,06$	$0,06 < \Delta T < 0,07$	$0,07 < \Delta T < 0,08$	$0,08 < \Delta T < 0,09$	$0,09 < \Delta T < 0,10$
<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>

Таблиця 1.5

Результати обчислень похибок:

$S_{\langle r \rangle} =$	$\sigma_{\langle r \rangle \Sigma} =$
---------------------------	---------------------------------------

Остаточний результат:

Довірча ймовірність.....

Коефіцієнт Стьюдента.....

$T = ..... \pm ..... \text{с.}$

## Контрольні запитання

1. Що називають математичним маятником?
2. Які коливання називаються гармонічними?
3. Назвіть типи вимірювань та наведіть класифікацію похибок вимірювань.
4. Як будується гістограма?
5. Що таке вибіркове середнє результатів прямих вимірювань?
6. Виведіть формулі для  $\sigma_{\langle g \rangle \Sigma}$  і  $S_{\langle g \rangle}$ .
7. Сформулюйте закон всесвітнього тяжіння. За якою формулою обчислюється прискорення вільного падіння  $|g|$  у даній роботі?

## Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.1. "Техніка", – К.,1999.
7. Савельев И. В. Курс общей физики. В 8 т. Т.1.– М. : Наука, 1977.
8. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 1. – М. : Наука, 1974.
4. Руководство к лабораторным занятиям по физике /Под ред. Л.Л. Гольдина . – М.: Наука, 1978.
5. Сквайрс Дж. Практическая физика.– М.: Мир, 1971.
6. Диденко Л.Г., Керженцев В.В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. – М.: Изд. МГУ, 1977.