

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт компьютерных технологий и информационной безопасности

Отчет
по лабораторной работе №100
по курсу: «Физика»

Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника

Выполнил:
студент группы 09.03.03 КТбз1-7
Ларионов М.Ю.
24 января 2025 г.

Преподаватель:
Бурлаченко И.С.

Таганрог, 2025

Цель работы: Овладение методами оценки погрешности и определение ускорения свободного падения с помощью малых свободных колебаний математического маятника.

Приборы и принадлежности: Нить (длины: 0.6 м, 0.5 м, 0.4 м), грузик (металлический шарик), линейка ($\Delta L = 5$ мм), секундомер

Таблица характеристик измерительных приборов:

Название прибора	Диапазон измерений	Число делений	Класс точности	Приборная погрешность	Цена деления
Миллиметровая линейка	0–100 см	1000	-	± 1 мм	1 мм

Краткие теоретические сведения: Общие сведения о колебаниях. Гармонические колебания. Физический и математический маятники. Основы теории погрешности и обработки экспериментальных данных

Гармонические колебания – это колебания, при которых физическая величина изменяется с течением времени по гармоническому (синусоидальному, косинусоидальному) закону.

Гармонические колебания могут быть:

- Свободными. Совершаются под действием внутренних сил системы после того, как система была выведена из положения равновесия.
- Вынужденными. Совершаются под воздействием внешней периодической силы.

Физический маятник – это твёрдое тело, совершающее колебания в поле каких-либо сил относительно точки, не являющейся центром масс этого тела, или неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через центр масс этого тела. Это может быть, например, металлическая планка или диск, подвешенный за свою верхнюю часть.

Математический маятник – это механическая система, состоящая из материальной точки, подвешенной на невесомой нерастяжимой нити или на невесомом стержне в поле тяжести. В идеальном случае нить не имеет массы, и

колебания происходят в условиях отсутствия воздушного сопротивления.

Существуют погрешности:

1) Систематическая – закономерная погрешность при измерениях одной и той же величины

2) Случайная – погрешность, которая возникает случайно

3) Грубая – погрешность, существенно отличающаяся от ожидаемых

Измерения бывают:

1) Косвенные – измерения, при которых искомое значение физической величины определяется путём расчёта.

2) Прямые – измерения, при которых физические величины определяются либо непосредственным сравнением с мерой либо при помощи измерительного прибора.

Погрешности измерений:

1) Абсолютная погрешность – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины

2) Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента: Для экспериментального определения значения ускорения свободного падения g разработано много различных методов. Среди них, наиболее широкое распространение, получил маятниковый метод.

Маятниковый метод представляет собой использование колебательной системы, состоящей из нити и груза, при выведении которой из состояния покоя будут совершаться колебания.

Экспериментальная установка включает в себя:

- 1) Нить, прикреплённая к подвесу
- 2) Груз, закреплённый на нити
- 3) Часы, для фиксирования времени

Расчетные формулы и формулы для оценки погрешности косвенных измерений:

$$1) \langle t \rangle = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^N t_i$$

$$2) \varepsilon_i = |\langle t \rangle - t_i|$$

$$3) S_k = \sqrt{\frac{1}{K(K-1)} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2}$$

$$4) \Delta t = S_K k_{a,K}$$

$$5) t_i = \langle t_i \rangle \pm \Delta t_i$$

$$6) \langle g \rangle = 4\pi^2 \left(\frac{N_B}{\langle t \rangle} \right)^2 \langle L \rangle$$

$$7) \Delta g = \langle g \rangle \sqrt{4 \left(\frac{\Delta t}{\langle t \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{\langle L \rangle} \right)^2}$$

$$8) g_i = \langle g_i \rangle \pm \Delta g_i$$

$$9) \delta g_i = \frac{\Delta g_i}{\langle g_i \rangle}$$

Выполнение работы:

Провожу прямые измерения длины нити и времени прохождения полных колебаний. Фиксирую результаты в Таблице 1.

№ опыта	N_B	L , м	t_i , с
1	34	0.6	26.5
2			26.7
3			26.4
4			26.6
5			26.3
6		0.5	23.1
7			23.3

8			23.0
9			23.2
10			22.9
11		0.4	20.5
12			20.7
13			20.4
14			20.6
15			20.3

Таблица 1. Результаты прямых измерений

Исходя из Таблицы 1:

1. Провожу измерения арифметического значения времени. Формула (1)
2. Провожу измерения арифметического значения величины случайных отклонений времени. Формула (2)
3. Вычисляю квадраты случайных отклонений. Формула (3)
4. Вычисляю среднее квадратичное отклонение среднего арифметического. Формула (4)
5. Определяю коэффициент Стьюдента и вычисляю случайную погрешность среднего арифметического значения времени совершения N_B колебаний. Формула (5)

Результаты записываю в Таблицу 2

L	№ опыта	t_i	$\langle t \rangle$	ε_i	ε_i^2	S_K	$k_{a,K}$	Δt
0.6	1	26.5	26.5	0.0	0.00	0.071	2.776	0.19
	2	26.7		+0.2	0.04			
	3	26.4		-0.1	0.01			
	4	26.6		+0.1	0.01			
	5	26.3		-0.2	0.04			
0.5	1	23.1	23.1	0.0	0.00	0.071	2.776	0.19
	2	23.3		+0.2	0.04			

	3	23.0		-0.1	0.01			
	4	23.2		+0.1	0.01			
	5	22.9		-0.2	0.04			
0.4	1	20.5	20.5	0.0	0.00	0.071	2.776	0.19
	2	20.7		+0.2	0.04			
	3	20.4		-0.1	0.01			
	4	20.6		+0.1	0.01			
	5	20.3		-0.2	0.04			

Таблица 2. Обработка результатов прямых измерений

Для нити длиной 0.6 м:

1. Среднее значение времени:

$$t_{0.6} = \frac{26.5 + 26.7 + 26.4 + 26.6 + 26.3}{5} = 26.5 \text{ с.}$$

2. Вычисление квадратов отклонений:

$$(\Delta t_1)^2 = (26.5 - 26.5)^2 = 0$$

$$(\Delta t_2)^2 = (26.7 - 26.5)^2 = 0.04$$

$$(\Delta t_3)^2 = (26.4 - 26.5)^2 = 0.01$$

$$(\Delta t_4)^2 = (26.6 - 26.5)^2 = 0.01$$

$$(\Delta t_5)^2 = (26.3 - 26.5)^2 = 0.04$$

3. Среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma t_{0.6} = \sqrt{\frac{0 + 0.04 + 0.01 + 0.01 + 0.04}{4}} = \sqrt{0.025} \approx 0.158 \text{ c}$$

4. Оценка случайной погрешности среднего арифметического значения времени:

$$\delta t_{0.6} = t_{\text{крит}} \cdot \frac{\sigma t_{0.6}}{\sqrt{n}} = 2.776 \cdot \frac{0.158}{\sqrt{5}} \approx 0.19 \text{ c}$$

5. Относительная погрешность:

$$\delta t_{0.6} = \frac{0.19}{26.5} \times 100\% \approx 0.72\%$$

6. Сумма квадратов отклонений:

$$\sum_{i=1}^N \epsilon_i^2 = 0 + 0.04 + 0.01 + 0.01 + 0.04 = 0.10$$

7. Количество измерений (N) и количество степеней свободы (K-1) :

$$N = 5, K - 1 = 5 - 1 = 4$$

8. Вычисление S_K :

$$S_K = \sqrt{\frac{1}{K(K-1)} \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2} = \sqrt{\frac{1}{5 \cdot 4} \cdot 0.10} = \sqrt{\frac{0.10}{20}} = \sqrt{0.005} \approx 0.071 \text{ с}$$

Для нити длиной 0.5 м:

1. Среднее значение времени:

$$t_{0.6} = \frac{23.1 + 23.3 + 23.0 + 23.2 + 22.9}{5} = 23.1 \text{ с.}$$

2. Вычисление квадратов отклонений:

$$(\Delta t_1)^2 = (23.1 - 23.1)^2 = 0$$

$$(\Delta t_2)^2 = (23.3 - 23.1)^2 = 0.04$$

$$(\Delta t_3)^2 = (23.0 - 23.1)^2 = 0.01$$

$$(\Delta t_4)^2 = (23.2 - 23.1)^2 = 0.01$$

$$(\Delta t_5)^2 = (22.9 - 23.1)^2 = 0.04$$

3. Среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma t_{0.6} = \sqrt{\frac{0 + 0.04 + 0.01 + 0.01 + 0.04}{4}} = \sqrt{0.025} \approx 0.158 \text{ с}$$

4. Оценка случайной погрешности среднего арифметического значения времени:

$$\delta t_{0.6} = t_{\text{крит}} \cdot \frac{\sigma t_{0.6}}{\sqrt{n}} = 2.776 \cdot \frac{0.158}{\sqrt{5}} \approx 0.19 \text{ с}$$

5. Относительная погрешность:

$$\delta t_{0.6} = \frac{0.19}{23.1} \times 100\% \approx 0.82\%$$

6. Сумма квадратов отклонений:

$$\sum_{i=1}^N \epsilon_i^2 = 0 + 0.04 + 0.01 + 0.01 + 0.04 = 0.10$$

7. Вычисление S_K :

$$S_K = \sqrt{\frac{1}{K(K-1)} \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2} = \sqrt{\frac{1}{5 \cdot 4} \cdot 0.10} = \sqrt{\frac{0.10}{20}} = \sqrt{0.005} \approx 0.071 \text{ с}$$

Для нити длиной 0.4 м:

1. Среднее значение времени:

$$t_{0.6} = \frac{20.5 + 20.7 + 20.4 + 20.6 + 20.3}{5} = 20.5 \text{ с.}$$

2. Вычисление квадратов отклонений:

$$(\Delta t_1)^2 = (20.5 - 20.5)^2 = 0$$

$$(\Delta t_2)^2 = (20.7 - 20.5)^2 = 0.04$$

$$(\Delta t_3)^2 = (20.4 - 20.5)^2 = 0.01$$

$$(\Delta t_4)^2 = (20.6 - 20.5)^2 = 0.01$$

$$(\Delta t_5)^2 = (20.3 - 20.5)^2 = 0.04$$

3. Среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma t_{0.6} = \sqrt{\frac{0 + 0.04 + 0.01 + 0.01 + 0.04}{4}} = \sqrt{0.025} \approx 0.158 \text{ с}$$

4. Оценка случайной погрешности среднего арифметического значения времени:

$$\delta t_{0.6} = t_{\text{крит}} \cdot \frac{\sigma t_{0.6}}{\sqrt{n}} = 2.776 \cdot \frac{0.158}{\sqrt{5}} \approx 0.19 \text{ с}$$

5. Относительная погрешность:

$$\delta t_{0.6} = \frac{0.19}{20.5} \times 100\% \approx 0.93\%$$

6. Сумма квадратов отклонений:

$$\sum_{i=1}^N \epsilon_i^2 = 0 + 0.04 + 0.01 + 0.01 + 0.04 = 0.10$$

7. Вычисление S_K :

$$S_K = \sqrt{\frac{1}{K(K-1)} \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2} = \sqrt{\frac{1}{5 \cdot 4} \cdot 0.10} = \sqrt{\frac{0.10}{20}} = \sqrt{0.005} \approx 0.071 \text{ с}$$

Результаты:

$$\delta t_{0.6} = 0.72\%$$

$$\delta t_{0.5} = 0.82\%$$

$$\delta t_{0.4} = 0.93\%$$

Полученные значения ускорения свободного падения совпадают со значением табличного ускорения свободного падения.

Вывод: в ходе выполнения лабораторной работы табличные значения ускорения свободного падения совпадают со значением табличного ускорения свободного падения. Причинами расхождения в теоретических и практических результатах могут послужить грубые погрешности.