

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования**



Санкт-Петербургский горный университет

КАФЕДРА ОБЩЕЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 3

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ
УНИВЕРСАЛЬНОГО МАЯТНИКА»**

Выполнил: студент гр. ТПР-22
(шифр группы)

(подпись)

/ Трунов С.Д. /
(Ф.И.О)

Проверил:

(должность)

(подпись)

/ /
(Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2023

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить ускорение свободного падения при помощи универсального маятника.

2. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Явление, изучаемое в работе. Зависимость периода колебаний универсального маятника от ускорения свободного падения.

Определения физических понятий, объектов, процессов и величин.

Математическим маятником называется материальная точка, подвешенная на невесомой, нерастяжимой нити и совершающая колебание в вертикальной плоскости под действием силы тяжести.

Физическим маятником называется абсолютно твердое тело, совершающее колебания под действием силы тяжести вокруг горизонтальной оси, не проходящей через его центр тяжести.

Ускорение свободного падения – это физическая величина, численно равная отношению силы, действующей на тело со стороны гравитационного поля, к его массе.

Период колебаний – наименьший промежуток времени, за который колебательная система возвращается в первоначальное состояние.

Приведенная длина физического маятника – длина такого математического маятника, период колебаний которого совпадает с периодом данного физического маятника.

Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы, на основании которых получены расчетные формулы. Пояснения к физическим величинам и их единицам измерения.

Период математического маятника [с]:

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

где l – длина маятника [м]; g – ускорение свободного падения [м/с²].

Период колебаний физического маятника [с]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}}$$

где J – момент инерции маятника относительно оси качаний [кг·м²]; m – его масса [кг]; l – расстояние от центра масс до оси качаний [м]; g – ускорение свободного падения [м/с²].

Приведенная длина физического маятника [м]:

$$L = \frac{J}{ml}$$

где J – момент инерции маятника относительно оси качаний [кг·м²]; m – его масса [кг]; l – расстояние от центра масс до оси качаний [м].

Метод обратного маятника основан на том, что во всяком физическом маятнике можно найти такие две точки, что при последовательном подвешивании маятника за одну или другую, период колебаний его остается одним и тем же.

Расстояние между этими точками представляет собой приведенную длину данного маятника [м]:

$$L = l_1 + l_2$$

Допустим, что нам удалось найти такое положение грузов, при котором периоды колебаний маятников T_1 и T_2 совпадают:

$$T_1 = T_2 = T = 2\pi \sqrt{\frac{J_1}{mgl_1}} = 2\pi \sqrt{\frac{J_2}{mgl_2}}$$

Отсюда следует, что:

$$J_1 = mgl_1 \frac{T^2}{4\pi^2} \text{ и } J_2 = mgl_2 \frac{T^2}{4\pi^2}$$

По теореме Штейнера:

$$J_1 = J_0 + ml_1^2 \text{ и } J_2 = J_0 + ml_2^2$$

где J_0 – момент инерции маятника относительно оси, проходящей через его центр масс и параллельной оси качаний.

С учетом формул можно записать:

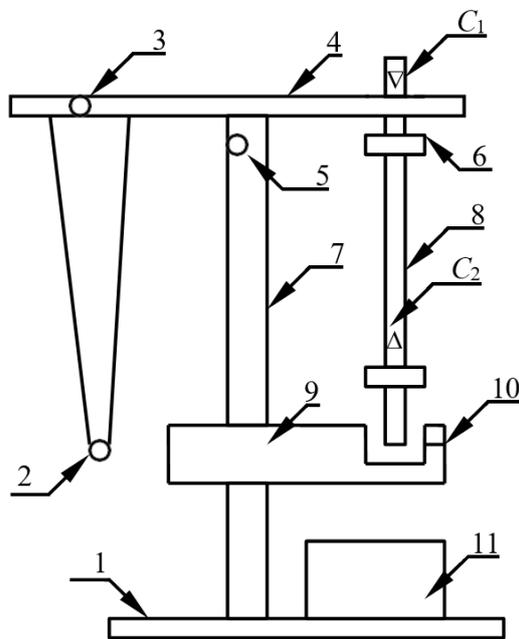
$$J_1 - J_2 = \frac{T^2 mg l_1}{4\pi^2} - \frac{T^2 mg l_2}{4\pi^2} = m(l_1^2 - l_2^2)$$

Следовательно:

$$L = l_1 + l_2 = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$$

где L – приведенная длина физического маятника [м]; l_1 и l_2 – длины маятников для двух грузов [м]; T – период физического маятника [с]; g – ускорение свободного падения [м/с²].

3. СХЕМА УСТАНОВКИ



- 1) Основание универсального маятника;
- 2) Математический маятник;
- 3) 5) Винты;
- 4) Верхний кронштейн;
- 6) Диски;
- 7) Колонка;
- 8) Обратный маятник;
- 9) Нижний кронштейн;
- 10) Фотоэлектрический датчик;
- 11) Секундомер

C_1 и C_2 – призмы.

4. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Период маятника [с]:

$$T = \frac{t}{n}$$

где t – время колебаний [с]; n – количество полных колебаний.

Ускорение свободного падения для математического маятника [м/с²]:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

где T – период математического маятника [с]; l – длина маятника [м].

Ускорение свободного падения для физического маятника [м/с²]:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

где T – период физического маятника [с]; L – приведенная длина физического маятника [м].

5. ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТЕЙ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Формулы для расчета погрешностей косвенных измерений:

Абсолютная погрешность косвенных измерений периода маятника [с]:

$$\Delta T = \frac{\Delta t}{n}$$

где Δt – погрешность измерений времени колебаний [с]; n – количество колебаний.

Абсолютная погрешность косвенных измерений ускорения свободного падения для математического маятника:

$$\Delta g_{mat} = \left| \frac{4\pi^2}{T^2} \right| \cdot \Delta l + \left| \frac{-8\pi^2 l}{T^3} \right| \cdot \Delta T$$

где Δl – погрешность измерения длины маятника [м]; l – длина маятника [м]; ΔT – абсолютная погрешность косвенных измерений периода маятника [с]; T – средний период колебаний математического маятника [с].

Абсолютная погрешность косвенных измерений ускорения свободного падения для физического маятника:

$$\Delta g_{оборотного} = \left| \frac{4\pi^2}{T^2} \right| \cdot \Delta L + \left| \frac{-8\pi^2 L}{T^3} \right| \cdot \Delta T$$

где ΔL – погрешность измерения приведенной длины маятника [м]; L – приведенная длина маятника [м]; ΔT – абсолютная погрешность косвенных измерений периода маятника [с]; T – средний период колебаний маятника [с].

6. ТАБЛИЦЫ И ВЫЧИСЛЕНИЯ

Таблица 1

Математический маятник

Номер опыта	t,с	T_i ,с	g_i	l,м
1	14,334	1.4334	9,559030	0.498
2	14,334	1.4334		
3	14,341	1.4341		
4	14,340	1.4340		
5	14,341	1.4341		
6	14,339	1.4339		
7	14,345	1.4345		
8	14,344	1.4344		
9	14,340	1.4340		
10	14,343	1.4343		

$$t_1 = 11,940 \text{ с}; t_2 = 11,951 \text{ с}; t_3 = 12,478 \text{ с} \Rightarrow \bar{t} = \frac{12,479 + 12,480 + 12,478}{3} = 12,479 \text{ с}$$

$$T_1 = \frac{\bar{t}}{n} = \frac{12,479}{10} = 1,2479 \text{ с}$$

Для призмы С2:

$$\bar{t} = 12,461 \text{ с} \Rightarrow T_2 = \frac{\bar{t}}{n} = \frac{12,461}{10} = 1,2461 \text{ с}$$

Точность равенства T_1 и T_2 :

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% = \frac{1,2479 - 1,2461}{1,2479} \cdot 100\% = 0,14\% < 0,5\%$$

Исходные данные:

Длина математического маятника $l = 0,408$ м; число $\pi = 3,1416$; количество колебаний за измерение $n = 10$; приведенная длина физического маятника $L = 0,392$ м.

Пример вычислений:

Математический маятник

$$T_i = \frac{13,512}{10} = 1,3512 \text{ с}$$

$$g_i = \frac{4 \cdot 3,1416^2 \cdot 0,408}{1,3512^2} = 8,8223 \text{ м/с}^2$$

$$\overline{g_{\text{матем}}} = \frac{8,8223 + 8,8249 + 8,8262 + 8,8249 + 8,8236 + 8,8275 + 8,8249 + 8,8262 + 8,8262 + 8,8249}{10} = 8,8264$$

Оборотный маятник

$$g_{\text{оборотно}} = \frac{4 \cdot 3,1416^2 \cdot 0,392}{1,2461^2} = 9,9665 \text{ м/с}^2$$

Погрешности прямых измерений:

$$\Delta l = 0,001 \text{ м}; \Delta L = 0,001 \text{ м}; \Delta t = 0,001 \text{ с}.$$

Погрешности косвенных измерений:

Абсолютная погрешность косвенных измерений периода маятника:

$$\Delta T = \frac{0,001}{10} = 0,0001 \text{ с}$$

Абсолютная погрешность косвенных измерений ускорения свободного падения для математического маятника:

$$\Delta g_{\text{мат}} = \left| \frac{4 \cdot 3,1416^2}{1,35098^2} \right| \cdot 0,001 + \left| \frac{-8 \cdot 3,1416^2 \cdot 0,408}{1,35098^3} \right| \cdot 0,0001 = 0,0229 \text{ м/с}^2$$

Абсолютная погрешность косвенных измерений ускорения свободного падения для физического маятника:

$$\Delta g_{\text{оборотно}} = \left| \frac{4 \cdot 3,1416^2}{1,2470^2} \right| \cdot 0,001 + \left| \frac{-8 \cdot 3,1416^2 \cdot 0,392}{1,2470^3} \right| \cdot 0,0001 = 0,0269 \text{ м/с}^2$$

7. РЕЗУЛЬТАТ И ВЫВОД

В ходе данной лабораторной работы были проделаны вычисления ускорения свободного падения при помощи универсального маятника. Для математического маятника среднее значение составило $\overline{g_{mat}} = 8,8264 \pm 0,0229 \text{ м/с}^2$, а для оборотного маятника $\overline{g_{оборотного}} = 9,9665 \pm 0,0269 \text{ м/с}^2$. Данные значения сходятся между собой с высокой точностью $\left| \frac{8,8264 - 9,9665}{8,8264} \right| \cdot 100\% = 0,13\%$ и близки к общепринятому значению ускорения свободного падения $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (хотя значение ускорения свободного падения при измерениях с математическим маятником не особо приближено к общепринятому значению g): для математического маятника отклонение составляет $\frac{9,81 - 8,8264}{9,81} \cdot 100\% = 0,1\%$, а для оборотного маятника $\left| \frac{9,81 - 9,9665}{9,81} \right| \cdot 100\% = 0,015\%$. Такие результаты свидетельствуют о высокой точности данного метода измерения ускорения свободного падения.