
Группа 1.4

К работе допущен _____

Студенты Рязанов Н. С., Ткачев Д. В.

Работа выполнена _____

Преподаватель Хвастунов Н. Н.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.05

Исследование колебаний физического маятника

1. Цель работы:

1) Изучение характеристик затухающих колебаний физического маятника.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

- 1) Измерение периода затухающих колебаний.
- 2) Определение зависимости амплитуды затухающих колебаний физического маятника от времени.
- 3) Определение зависимости периода колебаний от момента инерции физического маятника.
- 4) Определение преобладающего типа трения.
- 5) Определение экспериментальной и теоретической приведенных длин маятника при его разных конфигурациях.

3. Рабочие формулы и исходные данные:

- $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}$ – период колебаний физического маятника
- $l_{\text{пр}} = \frac{I}{ml} = \frac{l_0}{ml} + l$ – приведенная длина физического маятника
- $\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$ – логарифмический декремент затухания
- $A(t = nT) = A_0 e^{-n\lambda}$ – зависимость амплитуды колебаний от ширины зоны застоя
- $R = l_1 + (n - 1)l_0 + \frac{b}{2}$ – расстояние центра груза от оси вращения
- $I_{\text{гр}} = m_{\text{гр}}(R_{\text{верх}}^2 + R_{\text{ниж}}^2 + 2R_{\text{бок}}^2)$ – момент инерции грузов

4. Измерительные приборы:

Таблица 0. Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Погрешность δ_i
1	Шкала	60°	1°/дел.	1°
2	Линейка	-	0,01 с	5 мс

5. Схема установки:

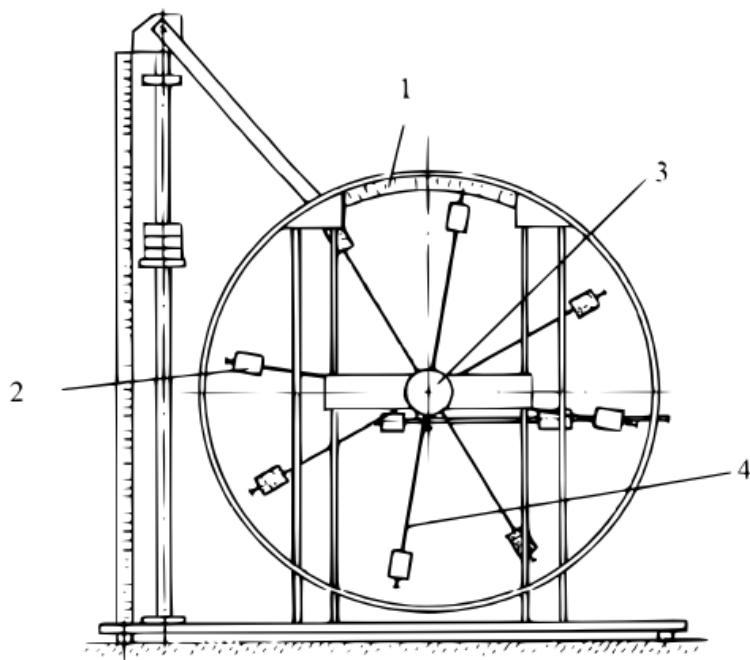


Рисунок 1. Схема установки

- 1) Шкала
- 2) Груз
- 3) Рукоятка сцепления
- 4) Передняя крестовина

6. Результаты прямых измерений и их обработка:

Таблица 1. Протокол измерений времени 10 колебаний маятника

№	$t, \text{с}$
1	16,86
2	16,90
3	16,79

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{16,86 + 16,9 + 16,79}{3} = 16,85 \text{ с}$$

$N = 10$

$$T = \frac{\bar{t}}{N} = \frac{16,85}{10} = 1,685 \text{ с}$$

Таблица 2. Протокол измерений времени разных амплитуд отклонений маятника

Время	Амплитуда отклонения	25°	20°	15°	10°	5°
	$t_1, \text{с}$	32,07	73,06	118,25	175,75	252,04
	$t_2, \text{с}$	34,43	74,74	123,03	187,51	252,50
	$t_3, \text{с}$	35,04	77,12	124,44	180,9	249,01
	$\bar{t}, \text{с}$	33,85	74,97	121,91	181,39	251,18

$$\bar{t}(25^\circ) = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{32,07 + 34,43 + 35,04}{3} = 33,85 \text{ с}$$

$$\bar{t}(20^\circ) = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{73,06 + 74,74 + 77,12}{3} = 74,97 \text{ с}$$

$$\bar{t}(15^\circ) = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{118,25 + 123,03 + 124,44}{3} = 121,91 \text{ с}$$

$$\bar{t}(10^\circ) = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{175,75 + 187,51 + 180,9}{3} = 181,39 \text{ с}$$

$$\bar{t}(5^\circ) = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{252,04 + 252,50 + 249,01}{3} = 251,18 \text{ с}$$

Таблица 3. Протокол измерений времени 10 колебаний маятника при разных положениях боковых грузов

Положение боковых грузов	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$\bar{t}, \text{с}$	$T, \text{с}$
1 риска	15,34	15,17	15,23	15,25	1,525
2 риски	16,24	16,16	15,95	16,12	1,612
3 риски	17,05	17,01	17,03	17,03	1,703
4 риски	17,99	17,88	18,23	18,03	1,803
5 рисок	19,23	19,72	19,36	19,44	1,944
6 рисок	20,35	20,31	20,37	20,34	2,034

Расчеты для 1 риски (для остальных аналогично):

$$T(1 \text{ риска}) = \frac{\bar{t}}{N} = \frac{15,25}{10} = 1,525 \text{ с}$$

7. Расчет результатов косвенных измерений:

Таблица 4. Результаты расчетов амплитуды в момент времени

$t, \text{с}$	$A, {}^\circ$	$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right)$
0	30	0
33,85	25	-0,182
74,97	20	-0,405
121,91	15	-0,693
181,39	10	-1,099
251,18	5	-1,792

$$\beta = \frac{-\sum_{i=1}^5 t_i \ln(A_i/A_0)}{\sum_{i=1}^5 t_i^2} = 0,0061 \text{ с}^{-1} \text{ — коэффициент затухания}$$

$$\theta = \frac{1}{\beta} = 163,93 \text{ с} \text{ — время релаксации}$$

Таблица 5. Результаты расчетов полного момента инерции и теоретической приведенной длины физического маятника

Риски	1	2	3	4	5	6
$R_{\text{верх}}, \text{м}$			0,077			
$R_{\text{ниж}}, \text{м}$			0,202			
$R_{\text{бок}}, \text{м}$	0,077	0,102	0,127	0,152	0,177	0,202
$I_{\text{гр}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,024	0,028	0,032	0,038	0,045	0,052
$I, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,032	0,036	0,040	0,046	0,053	0,060
$l_{\text{пр эксп}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,578	0,646	0,721	0,808	0,939	1,028
$l_{\text{пр теор}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,556	0,619	0,701	0,800	0,917	1,052

Расчеты для 1 риски (для остальных аналогично):

$$I_{\text{гр1}} = m_{\text{гр}}(R_{\text{верх}}^2 + R_{\text{ниж}}^2 + 2R_{\text{бок}}^2) = 0,408 \cdot (0,077^2 + 0,202^2 + 2 \cdot 0,077^2) = 0,024 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I_1 = I_{\text{гр1}} + I_0 = 0,024 + 0,008 = 0,032 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$l_{\text{пр эксп 1}} = \frac{T_1^2 g}{4\pi^2} = \frac{1,525^2 \cdot 9,81}{4 \cdot 3,14^2} = 0,578 \text{ м}$$

$$l_{\text{пр теор 1}} = \frac{I_1}{ml} = \frac{0,032}{0,057} = 0,556 \text{ м}$$

9. Графики:

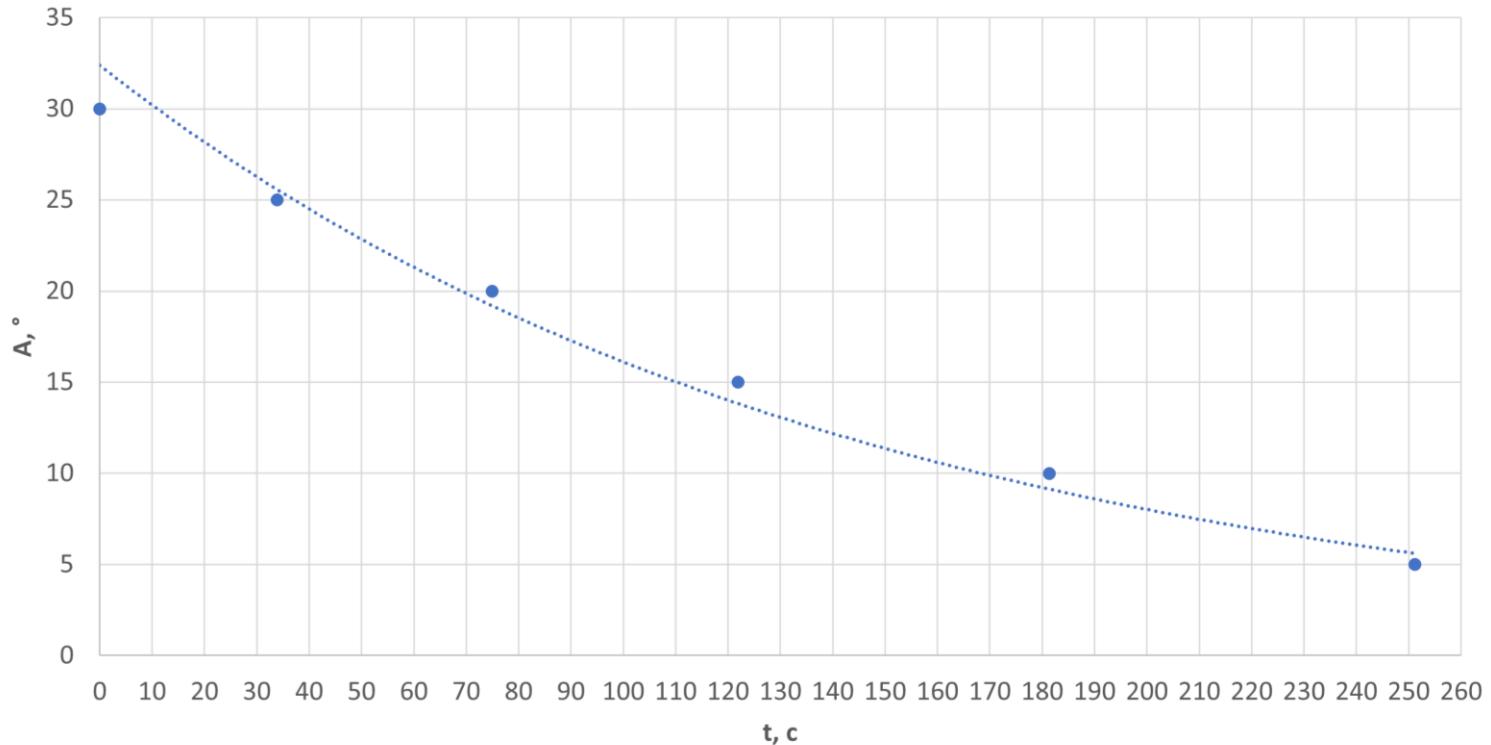


Рисунок 2. График зависимости амплитуды A от времени t

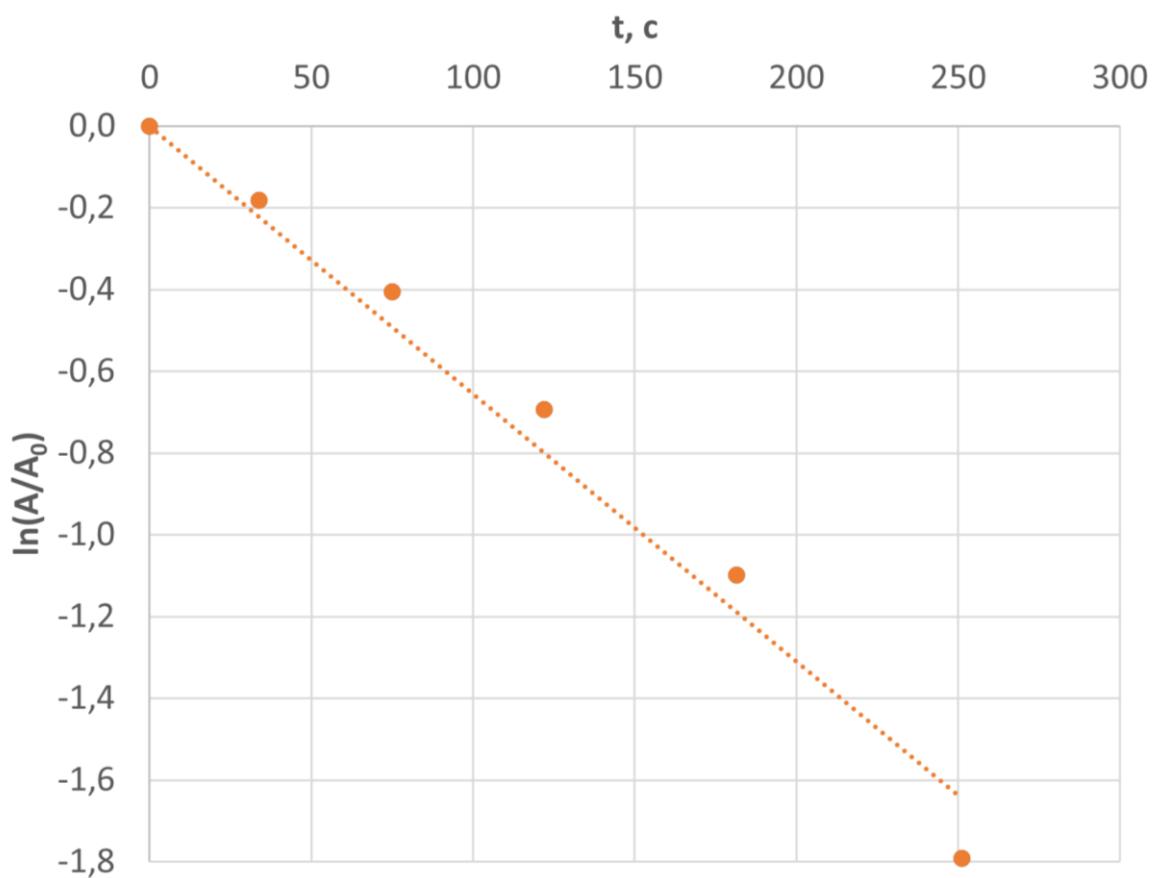


Рисунок 3. График зависимости логарифма отношения амплитуд от времени t

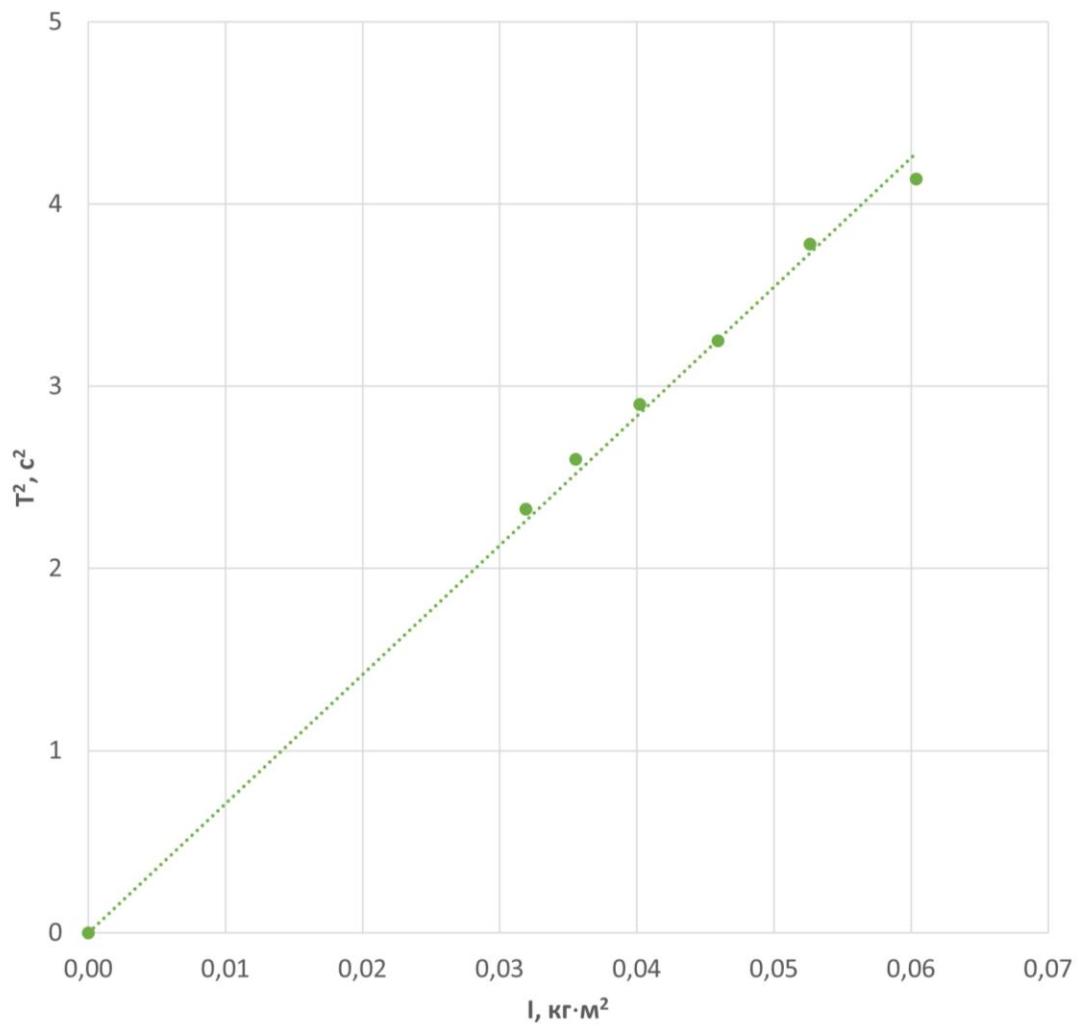


Рисунок 4. График зависимости квадрата периода T от момента инерции I

10. Окончательные результаты:

Риски	1	2	3	4	5	6
$I_{\text{пр эксп}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,578	0,646	0,721	0,808	0,939	1,028
$I_{\text{пр теор}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,556	0,619	0,701	0,800	0,917	1,052

11. Выводы и анализ результатов работы:

В ходе выполнения лабораторной работы были экспериментально изучены характеристики затухающих колебаний физического маятника. Составленный график зависимости амплитуды колебаний от времени имеет экспоненциальный вид, соответственно в колебаниях преобладало вязкое трение, а не сухое.