

РАБОЧИЙ ПРОТОКОЛ И ОТЧЁТ  
по лабораторной работе №1.05  
«Исследование колебаний физического маятника»

**Выполнил:**

Хороших Дмитрий - Р3217

**Преподаватель:**

Хуснутдинова Наира

Рустемовна

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Результаты измерений и их обработка</b>	<b>4</b>
2.1	Прямые измерения . . . . .	4
2.2	Косвенные измерения и обработка результатов . . . . .	6
2.2.1	Определение доминирующего типа трения . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Вывод</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Приложение</b>	<b>9</b>

# 1. Введение

## 1. Цель работы:

Изучить характеристики затухающих колебаний физического маятника.

## 2. Задачи:

1. Измерить период затухающих колебаний.
2. Определить зависимость амплитуды затухающих колебаний физического маятника от времени.
3. Определить зависимость периода колебаний от момента инерции физического маятника.
4. Определить преобладающий тип трения.
5. Определить экспериментальную и теоретическую приведённые длины маятника при его разных конфигурациях.

## 3. Объект исследования:

Стенд лаборатории механики (Маятник Обербека)

## 4. Схема установки:

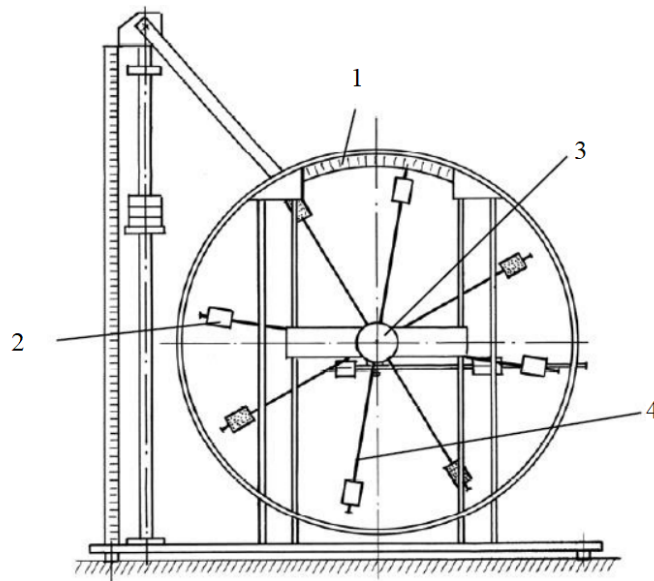


Рис. 1.1: Стенд лаборатории механики

1. Шкала 2. Груз 3. Рукоятка сцепления 4. Передняя крестовина

## 5. Метод экспериментального исследования:

Многократный прямой замер времени затухания колебаний и их периода.

## 6. Рабочие формулы:

Период физического и математического маятника, их связь через приведённую длину:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{l_{\text{пр}}}{g}} \quad (1)$$

Связь логарифма отношения амплитуд с коэффициентом затухания:

$$\ln \frac{A}{A_0} = -\beta t \quad (2)$$

Полный момент инерции:

$$I = I_0 + m_{\text{гр}} (R_{\text{верх.}}^2 + R_{\text{ниж.}}^2 + 2R_{\text{бок.}}^2) \quad (3)$$

## 7. Измерительные приборы:

№ п/п	Наименование	Тип	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер смартфона	Электронный	0 - 999.99 сек	0.01 сек
2	Шкала	Ручной	$-30^\circ - 30^\circ$	$1^\circ$

## 8. Параметры установки:

Параметр	Значение
Масса груза на крестовине	$408.0 \pm 0.5\text{г}$
Расстояние первой риски от оси	$57.0 \pm 0.5\text{мм}$
Расстояние между рисками	$25.0 \pm 0.2\text{мм}$
Высота груза на крестовине	$40.0 \pm 0.5\text{мм}$

# 2. Результаты измерений и их обработка

## 2.1. Прямые измерения

Измерим время десяти ( $N = 10$ ) колебаний маятника при положении боковых грузов на 3-й риске и начальном отклонении в  $30^\circ$ :

$t_1, \text{с}$	$t_1, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_{\text{ср}}, \text{с}$	$T, \text{с}$
17.93	17.80	17.98	17.90	1.79

Таблица 1: Результаты измерения времени 10 колебаний

Измерим время, когда амплитуда отклонения маятника от равновесного положения будет равна  $25^\circ, 20^\circ, 15^\circ, 10^\circ, 5^\circ$ , при положении боковых грузов на 3-й риске и начальном отклонении в  $30^\circ$ :

Амплитуда откл.	$25^\circ$	$20^\circ$	$15^\circ$	$10^\circ$	$5^\circ$
Время					
$t_1, \text{с}$	37.47	87.33	142.36	209.50	311.79
$t_2, \text{с}$	43.19	87.64	137.17	200.88	301.37
$t_3, \text{с}$	48.70	98.66	150.23	219.46	311.31
$t_{\text{ср}}, \text{с}$	43.12	91.21	143.25	209.95	308.16
$\Delta t, \text{с}$	13.94	16.02	16.32	23.08	14.60

Таблица 2: Результаты измерений времени до достижения амплитуд отклонения.

Также измерим время десяти ( $N = 10$ ) колебаний маятника при различных расстояниях боковых грузов от центра (от 1-й до 6-й риски):

Число рисок	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_{\text{ср}}, \text{с}$	$T, \text{с}$	$\Delta T, \text{с}$
1	16.19	16.07	16.06	16.1067	1.6107	0.0180
2	17.02	16.72	17.03	16.9233	1.6923	0.0437
3	18.02	18.12	18.00	18.0467	1.8047	0.0160
4	19.37	19.12	19.39	19.2933	1.9293	0.0374
5	20.73	20.52	20.63	20.6267	2.0627	0.0261
6	21.92	22.09	21.83	21.9467	2.1947	0.0328

Таблица 3: Результаты измерений времени 10-ти колебаний при различных положениях боковых грузов.

## 2.2. Косвенные измерения и обработка результатов

Используя результаты измерений зависимости амплитуды от времени, представленные в таблице 2, построим график зависимости амплитуды колебаний от времени  $A(t)$ :

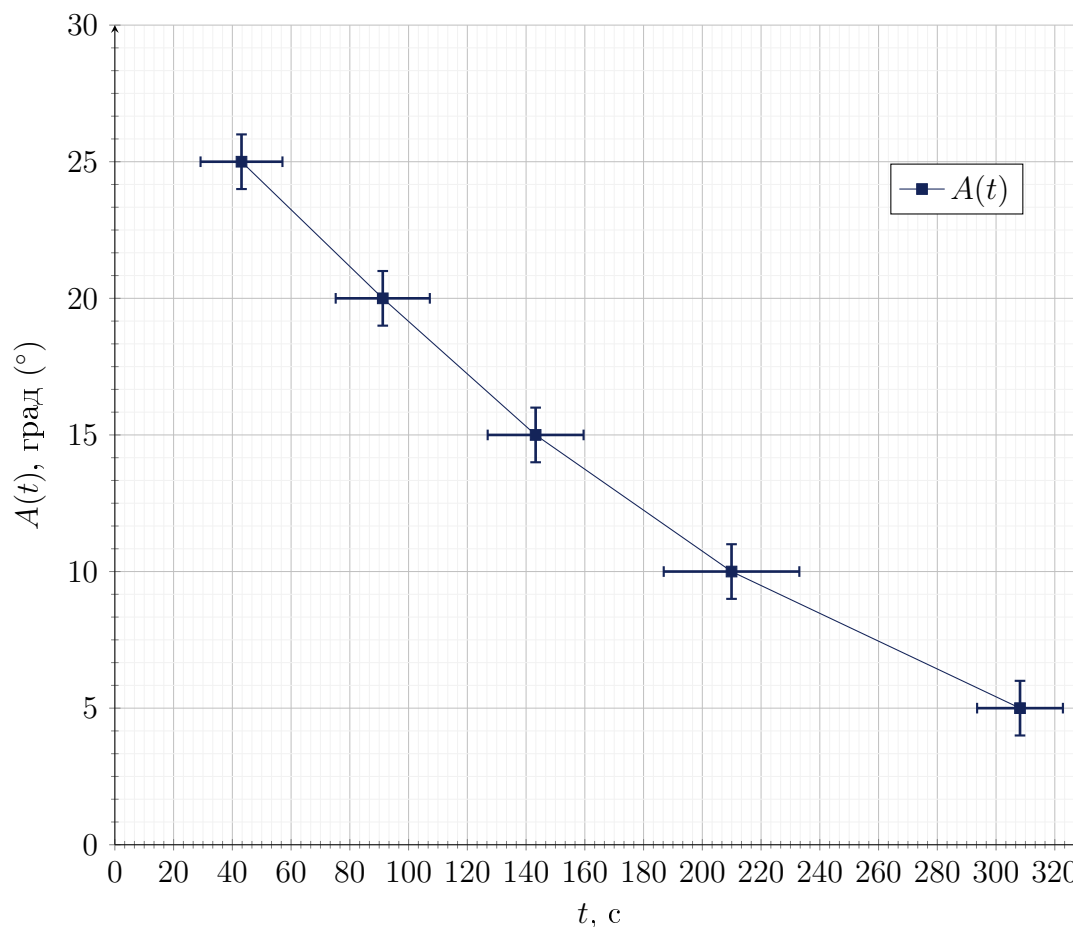


Рис. 2.1: График зависимости угловой амплитуды колебаний маятника  $A$  от времени  $t$ .

### 2.2.1. Определение доминирующего типа трения

Подробнее рассмотрим график 2.1. Заметим, что амплитуда колебаний уменьшается не линейно, а по более сложной функции, напоминающей экспоненту (за каждые 50 секунд амплитуда уменьшается примерно в 1.25 раз). Такое затухание свойственно **вязкому трению**.

Для определения степени влияния вязкого трения на затухания колебаний аппроксимируем график  $\ln \frac{A}{A_0} = -\beta t$  по МНК и найдём коэффициент затухания  $\beta$ :

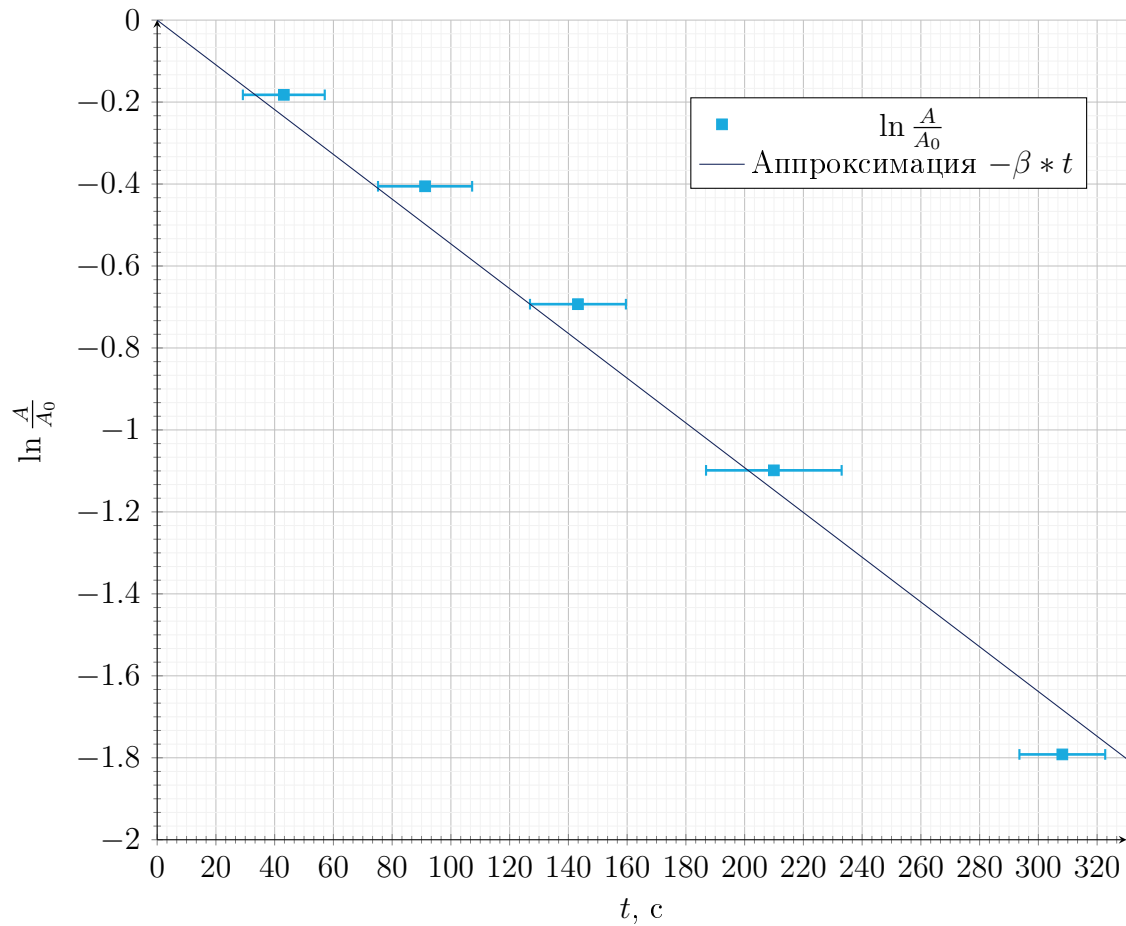


Рис. 2.2: График зависимости логарифма отношения амплитуд от времени.

При аппроксимации коэффициента затухания получаем:

$$\beta \approx 0.00546 \pm 0.0004 \text{ сек}^{-1}$$

И время затухания:

$$\tau = \frac{1}{\beta} \approx 183.12 \text{ сек}$$

Вычислим расстояния центров грузов от оси а также их моменты инерции. К тому же, найдём полный момент инерции физического маятника  $I$ :

Риски	1	2	3	4	5	6
$R_{\text{верх}}, \text{ мм}$	77.00					
$\Delta R_{\text{верх}}, \text{ мм}$	0.56					
$R_{\text{ниж}}, \text{ мм}$	202.00					
$\Delta R_{\text{ниж}}, \text{ мм}$	1.15					
$R_{\text{бок}}, \text{ мм}$	77.00	102.00	127.00	152.00	177.00	202.00
$\Delta R_{\text{бок}}, \text{ мм}$	0.56	0.59	0.69	0.82	0.98	1.15
$I_{\text{гр}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0.0239	0.0276	0.0322	0.0379	0.0446	0.0524
$I, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0.0319	0.0356	0.0402	0.0459	0.0526	0.0604
$\Delta I, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004
$l_{\text{пр эксп}}, \text{ мм}$	643.99	710.95	808.46	924.02	1056.15	1195.65
$l_{\text{пр теор}}, \text{ мм}$	625.03	696.56	788.08	899.58	1031.06	1182.53

Таблица 4: Приведённые длины и промежуточные значения.

Построим график  $T^2(I)$  и, аппроксимируя его прямой по МНК, найдём произведение  $ml$ :

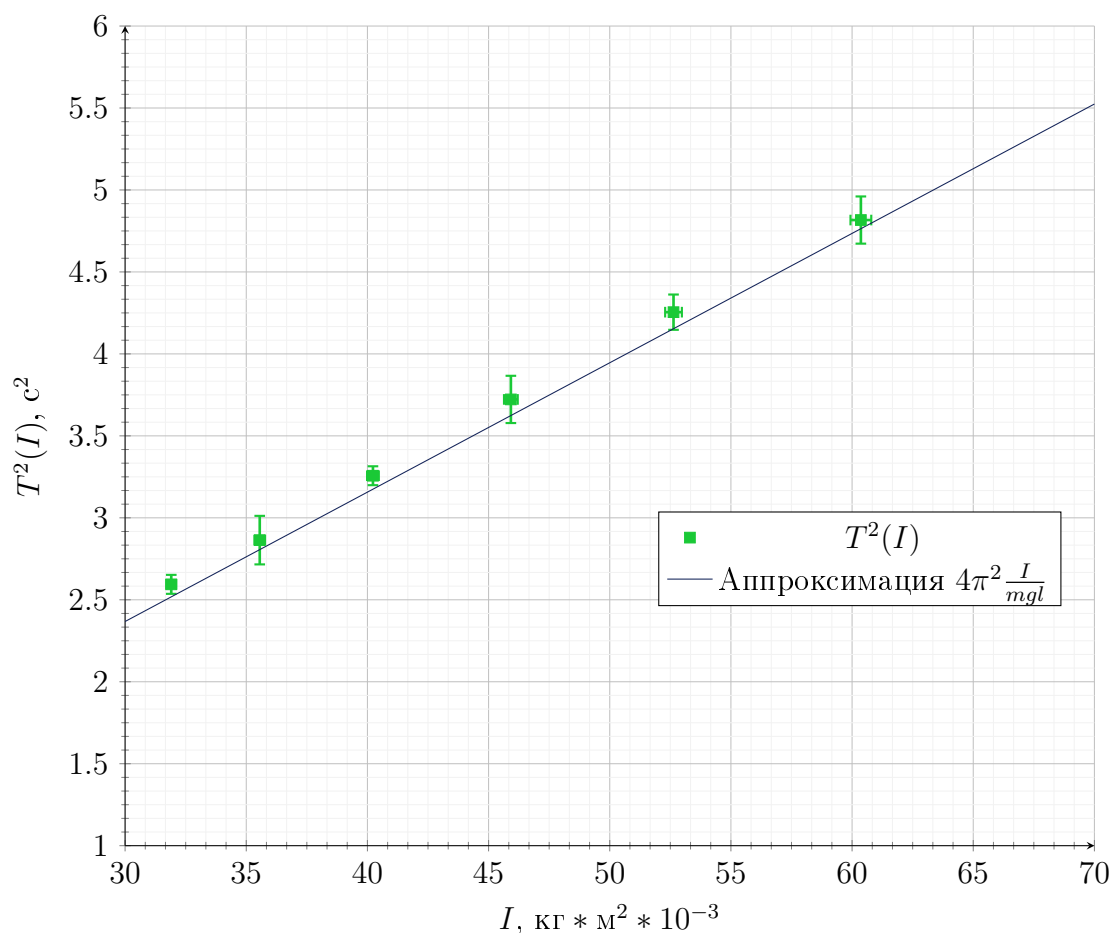


Рис. 2.3: График зависимости квадрата периода от момента инерции.

Воспользовавшись МНК, получаем:

$$4\pi^2 \frac{I}{mgl} \approx 78.91$$

$$ml \approx 0.051 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

Предположив, что основная масса маятника сосредоточена в грузах на спицах, найдём из полученного значения  $ml$  расстояние до оси вращения от центра масс  $l_{\text{теор.}}$ :

$$l_{\text{теор.}} = \frac{ml}{4 * m_{\text{груз}}} = 31.3 \text{ мм}$$

По периодам колебаний найдём экспериментальную приведённую длину  $l_{\text{пр.}}$  и, используя рассчитанное  $l_{\text{теор.}}$ , найдём  $l_{\text{пр. теор.}}$ . Внесём полученные значения в таблицу 4.

### 3. Вывод

Таким образом, в ходе выполнения лабораторной работы удалось, измерив время затухания и периоды колебаний маятника при различных конфигурациях боковых грузов:

1. Определить, что преобладающим типом трения в процессе затухания является - **вязкий тип трения**.

На рисунке 2.1 легко видеть, что амплитуда колебаний затухает по экспоненциальному закону, что свойственно не сухому, а вязкому типу трения.



2. Проверить, что приведённая длина, полученная экспериментальным путём, близка к приведённой длине теоретической.

При этом с возрастанием расстояния боковых грузов от центра и, соответственно, возрастанием момента инерции маятника, приведённая длина увеличивается.

## 4. Приложение

Проект этой лабораторной работы, содержащий файлы с Python-кодом, использованным для вычислений и исходные TeX-файлы доступен по - ссылке.