

Группа: 101.1

К работе допущен: 26.09.2025 г.

Студент: Пухов Евгений

Работа выполнена: 10.10.2025 г.

Преподаватель: Ефремова Е. А.

Отчёт принят:

Лаборант: Василькова Е.

## Рабочий протокол и отчёт по лабораторной работе № 4

### «Физический маятник»

---

#### 1. Цель работы

Изучить гармонические колебания на примере движения физического маятника.  
Определить момент инерции физического маятника по исследуемым колебаниям.

#### 2. Объект исследования

Физический маятник.

#### 3. Задачи, решаемые при выполнении работы

- Провести многократные опыты с использованием физического маятника (с двумя грузами одинаковой массы на разных расстояниях от произвольной точки).
- Вычислить соответствующие расстояниям периоды колебаний  $T(r_i)$
- Построить зависимость  $T^2(r^2)$
- Вычислить значение момента инерции маятника в начальном положении; расстояние от оси вращения до центра масс.
- Сравнить полученные для разных расстояний моменты инерции и построить график зависимости  $J(r^2)$

#### 4. Схема установки

Экспериментальная установка состоит из следующих компонентов:

1. Физический маятник (см. Рис. 1)
2. Секундомер

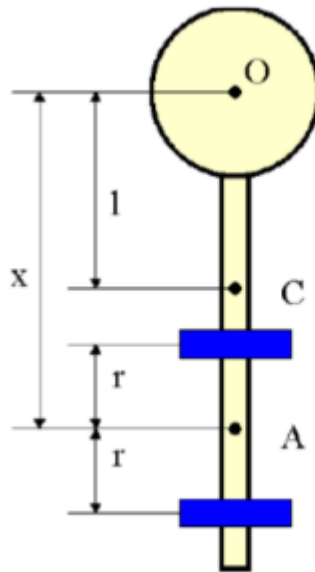


Рис. 1: Физический маятник

## 5. Измерительные приборы

Прибор	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
Секундомер	Цифровой	0-20 s	0.01 s
Весы	Цифровой	0-200 g	0.05 g
Линейка	Аналоговый	0-10 sm	0.25 sm

## 6. Метод экспериментального исследования

Проведение многократных измерений времени 10 полных колебаний маятника.

## 7. Рабочие формулы

Момент инерции маятника при положении грузов  $m$  в одной точке:

$$J_A = 2mr_K^2 \quad (1)$$

расстояние от оси вращения до центра масс

$$l = \frac{4\pi^2 J_A}{gMT^2} \quad (2)$$

Момент инерции физического маятника

$$I_t = J_A + 2mr^2 \quad (3)$$

$$I_e = \frac{Mgl}{4\pi^2} T^2 \quad (4)$$

## 8. Результаты прямых измерений и их обработки

r, sm	T, s
1.00	1.120
5.00	1.128
7.35	1.135
10.50	1.160

Табл. 2: Результаты измерений периодов  $T$  колебаний маятника для соответствующих расстояний  $r$

## 9. асчет результатов косвенных измерений

По Результатам прямых измерений была построена Экспериментальная зависимость  $T^2 = f(r^2)$ . Заметим, что график представляет собой линейную функцию

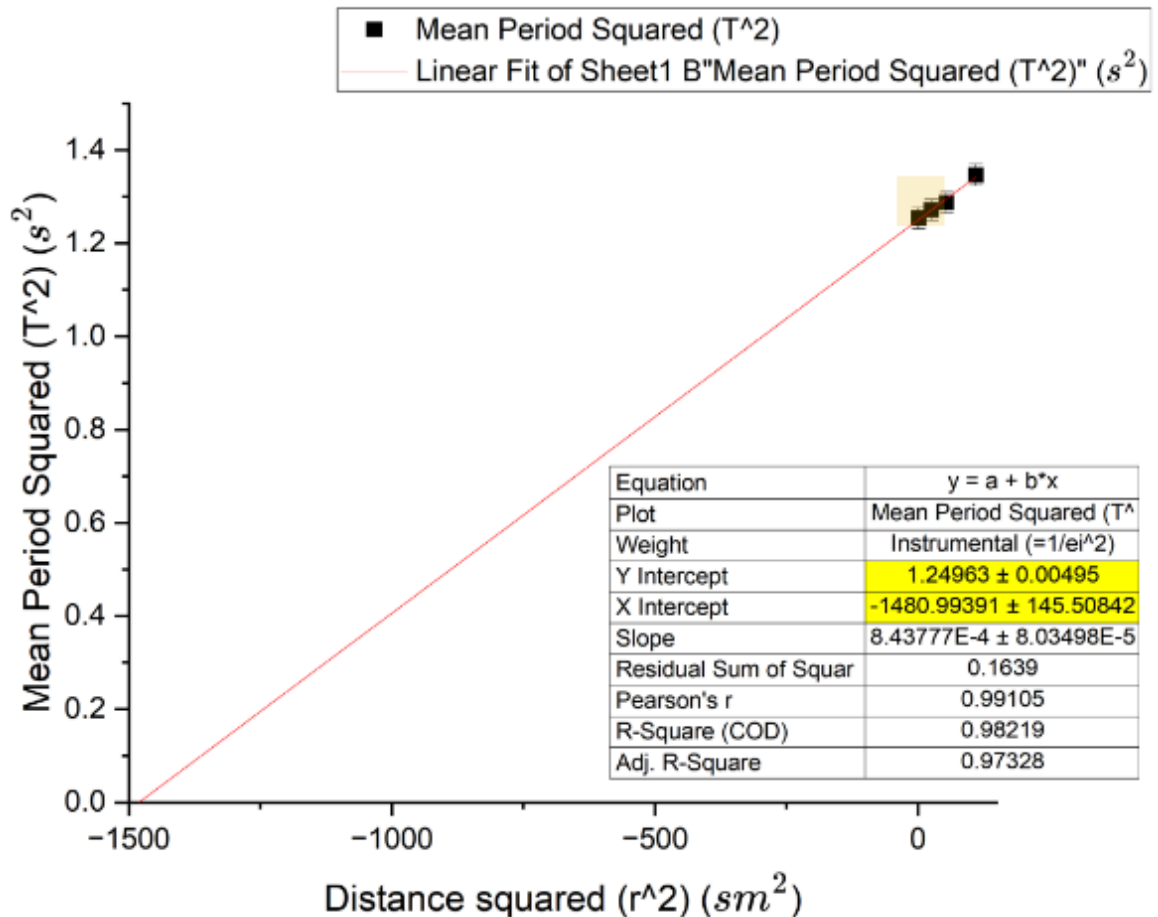


Рис. 2: График зависимости  $T^2 = f(r^2)$

экстраполировав зависимость до точки пересечения с осью абсцисс, мы можем установить значение расстояния  $r_0^2 = (1480 \pm 150)$ , при котором  $T^2 = 0$ , а следовательно мы можем найти  $J_A$ :

$$J_A = 2mr_0^2 \quad (5)$$

вычислив получаем  $J_A = 146964 \text{ g} \cdot \text{sm}^2$

Экстраполировав зависимость до пересечения с осью ординат получим значение  $T_0^2 = (1.249 \pm 0.005)s^2$  при котором  $r^2 = 0$ , а значит мы можем найти длину по формуле

$$l = \frac{4\pi^2 J_A}{gMT_0^2}$$

вычислив значение получаем  $J_A = 14.4081 \text{ sm}$

Давайте теперь получим зависимость момента инерции от квадрата расстояния используя формулы (3) и (4)

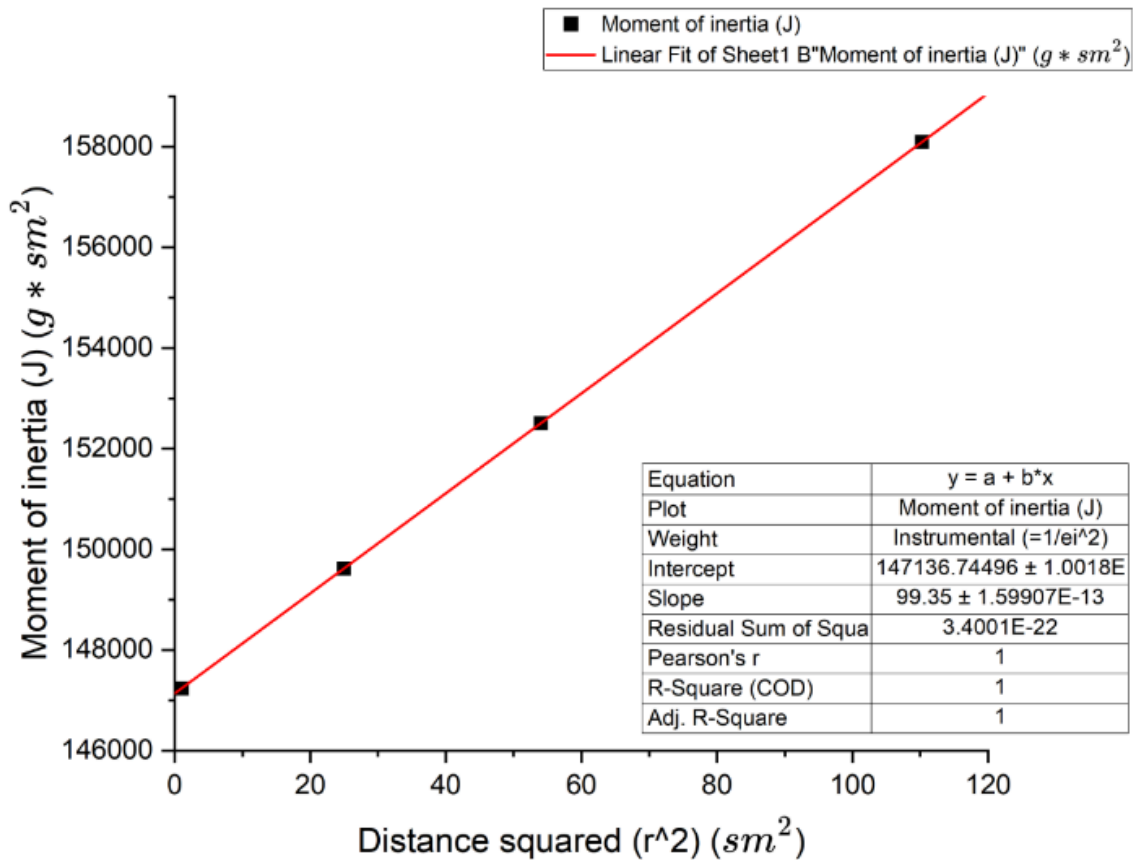


Рис. 3: График зависимости  $J(r^2)$

## 10. Расчет Погрешностей

Расчет погрешностей прямых измерений

$\Delta T_i = \sqrt{\sigma_i^2 + \delta T_{\text{inst}}^2}$  Где  $\sigma_i$  - СКО,  $\delta T_{\text{inst}}^2$  - приборная погрешность для  $i$  эксперимента.

Полная погрешность дополнительных Велечина  $\Delta m = 0.05 \text{ g}$

$\Delta x = 0.25 \text{ sm}$

Расчет погрешности косвенных измерений

Погрешность  $\Delta J$  :

$$\Delta J = \sqrt{\left(\frac{\partial J}{\partial m} \Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial J}{\partial r} \Delta r\right)^2}$$

$$\Delta J = \sqrt{(2r^2 \Delta m)^2 + (4mr \Delta r)^2}$$

$$\Delta J = \sqrt{(2 \cdot 38.47^2 \cdot 0.05)^2 + (4 \cdot 19.65 \cdot 1480 \cdot 12.25)^2} = 37041 \text{ g} \cdot \text{sm}^2$$

Погрешность  $\Delta M$ :

$$\Delta M = \sqrt{(\Delta m_1)^2 + (\Delta m_2)^2 + (\Delta m_3)^2}$$

$$\Delta M = \sqrt{3(0.05)^2} = 0.087 \text{ g}$$

Погрешность  $\Delta l$

$$\Delta l = \sqrt{\left(\frac{\partial l}{\partial J} \Delta J\right)^2 + \left(\frac{\partial l}{\partial M} \Delta M\right)^2 + \left(\frac{\partial l}{\partial T^2} \Delta T^2\right)^2}$$

$$\Delta l = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{gMT^2} \Delta J\right)^2 + \left(\frac{4\pi^2 J}{g(-M^2)T^2} \Delta M\right)^2 + \left(\frac{4\pi^2 J}{gM(-(-T^2)^2)} \Delta T^2\right)^2}$$

$$\Delta l = 1.802 \text{ см}$$

## 11. Окончательные Результаты

$$J = (0.15 \pm 0.04) \cdot 10^6 \text{ g} \cdot \text{см}^2$$

$$l = (14.4 \pm 1.2) \text{ см}$$

## 12. Выводы и Анализ результатов

В ходе выполнения лабораторной работы удалось экспериментально установить, что квадрат периода колебаний линейно зависит от расстояния между грузами и выбранной фиксированной точкой, расположенной ниже центра масс на стержне. На основе полученных данных стало возможным определить такое расстояние между грузами и этой точкой, при котором период колебаний обращался бы в нуль, а также — наоборот — найти период, соответствующий нулевому расстоянию между грузами. Это, в свою очередь, позволило вывести выражение для вычисления момента инерции маятника с грузами относительно точки А, а также определить расстояние от оси вращения до центра масс системы. Кроме того, была установлена и подтверждена экспериментально линейная зависимость момента инерции маятника от расстояния между грузами и точкой А на стержне.

Анализ погрешностей показал, что точность измерений оказалась недостаточной: относительные погрешности момента инерции и координаты центра масс имеют один порядок с их реальными значениями. Для повышения точности эксперимента требуется более аккуратное измерение расстояния между грузами. В частности, можно нанести шкалу непосредственно на стержень, вместо использования отдельной линейки.

