

Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический
университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук

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

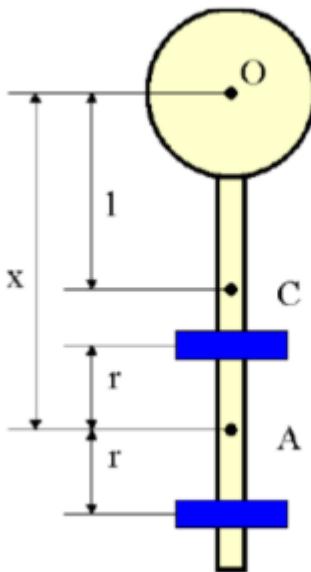


Рис. 1: Физический маятник

5. Измерительные приборы

Прибор	Тип прибора	Изпользуемый 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

$$l = \frac{4\pi^2 J_A}{g M T^2} \quad (2)$$

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. расчет результатов косвенных измерений

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

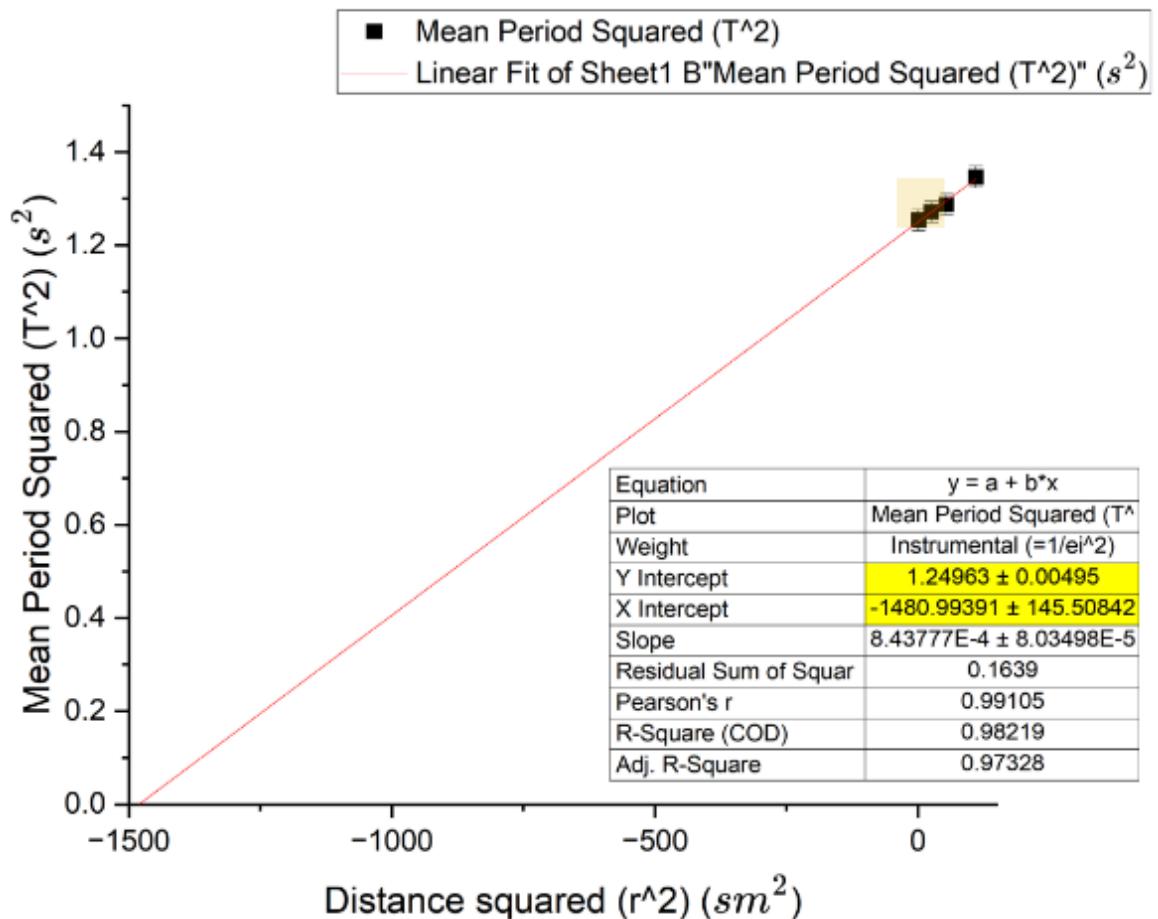


Рис. 2: График зависимости $T^2 = f(r^2)$

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 $T_0^2 = (1.249 \pm 0.005)\text{s}^2$ при котором $r^2 = 0$, а значит мы можем найти длину по формуле

$$l = \frac{4\pi^2 J_A}{g M T_0^2}$$

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

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

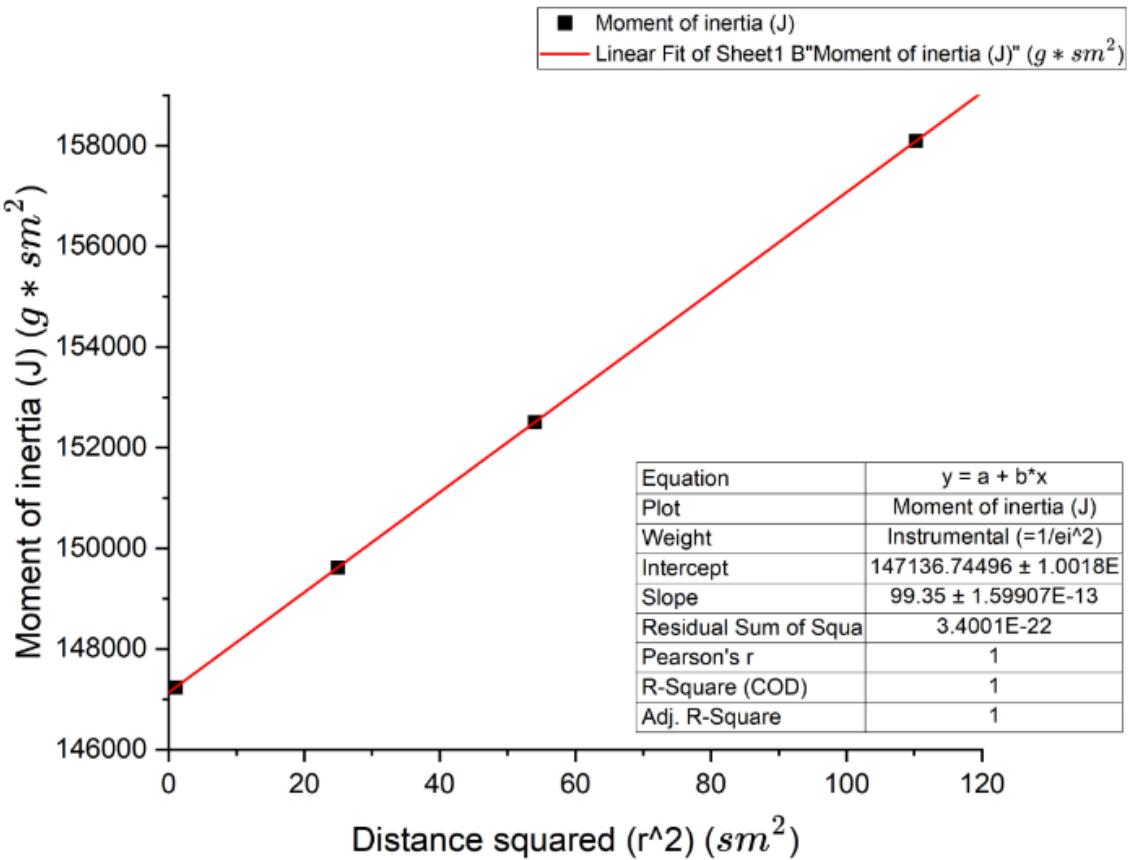


Рис. 3: График зависимости $J(r^2)$

10. Расчет Погрешностей

Расчет погрешностей прямых измерений

$\Delta T_i = \sqrt{\sigma_i^2 + \delta T_{\text{inst}}^2}$ Где σ_i - СКО, δT_{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 ΔJ :

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

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

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

Погрешность ΔM :

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

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

Погрешность Δl

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

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

$$\Delta l = 1.802 \text{ sm}$$

11. Окончательные Результаты

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

$$l = (14.4 \pm 1.2) \text{ sm}$$

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.

