

Университет ИТМО
Учебный центр общей физики ФТФ

Лабораторная работа 1.07
«Изучение движения маятника Максвелла»

Группа: Р3114
Студент: Гиниятуллин Арслан Рафаилович
Преподаватель: Куксова Полина Алексеевна
Работа выполнена: 26.05.2022
К работе допущен:
Отчёт принят:

2022

1 Цель работы

Определение момента инерции твердого тела на основе законов равноускоренного движения

2 Задачи, решаемые при выполнении работы

1. Исследовать вращательное движение тел
2. Рассчитать момент инерции с помощью набора формул
3. Рассчитать погрешность определения I
4. Оценить величину момента инерции маятника Максвелла, заключив, что вся масса маятника сосредоточена в диске
5. Сравнить моменты инерции, полученные разными способами

3 Объект исследования

Равноускоренное вращательное движение на примере маятника Максвелла

4 Метод экспериментального исследования

Многократное измерение полупериода колебаний маятника Максвелла и фиксирование разницы высот

5 Используемые формулы

1. Момент инерции маятника через измеряемые величины:

$$I = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right)$$

где h - начальная высота, на которую поднят маятник, r - радиус оси маятника

2. Момент инерции маятника (Формула с учётом потери энергии):

$$I = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h} \cdot \frac{h_1}{h+h_1} - 1\right)$$

где h_1 - высота, на которую поднялся маятник.

3. Момент инерции маятника, если считать, что вся его масса сосредоточена в маховике:

$$I = \frac{mR^2}{2}$$

где R - радиус маятника

4. Относительная погрешность момента инерции:

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

5. Относительная погрешность постоянной А:

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(2\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h_1}{h_1}\right)^2}$$

6. Погрешность прямых однократных измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha, n} S_x$$

$$\Delta_x = \sqrt{\Delta_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{2}{3}\Delta_{\text{их}}\right)^2}$$

6 Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Штангенциркуль	Измерительный	0–100 мм	0,02 мм
2	Линейка	Измерительный	0–700 мм	0,5 мм
3	Секундомер	Цифровой	0-2 с	0,0005 с

Таблица 1: Измерительные приборы

7 Схема установки

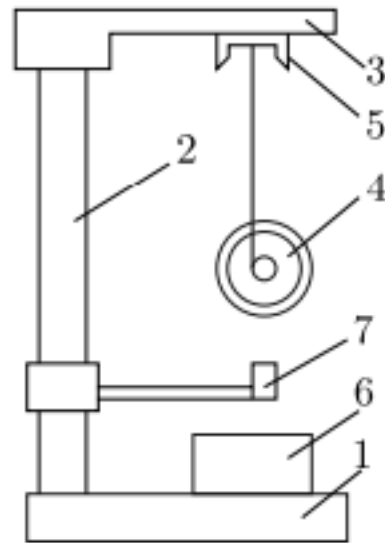


Рис. 2. Схема лабораторной установки

1. Основание стенда
2. Опорная колонка
3. Кронштейн
4. Маятник Максвелла
5. Фиксирующий электромагнит
6. Электронный секундомер
7. Фотоэлектрический датчик

8 Результаты прямых измерений и их обработки

№ п/п	h , см	h_1 , см	t , с
1	39	36,7	1,380
2	39	37,0	1,406
3	39	37,1	1,382
4	39	37,2	1,389
5	39	36,8	1,400

Таблица 2: Результаты прямых измерений

- h – высота, с которой начинается движение маятник
- h_1 – высота, на которую поднялся маятник после первого удара t – время спуска маятника
- $m = 0,127$ кг – масса маятника
- $D = 8,61$ см – диаметр маховика
- $d = 2r = 0,99$ см – диаметр оси

9 Расчёт результатов косвенных измерений

$$t_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 1.3918 \text{ с}$$

$$h_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i = 36.96 \text{ см}$$

$$I_1 = mr^2 \left(\frac{gt_{\text{cp}}^2}{2h} - 1 \right) = 7.27 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I_2 = mr^2 \left(\frac{gt_{\text{cp}}^2}{2h} \cdot \frac{h_{\text{cp}}}{h+h_{\text{cp}}} - 1 \right) = 6.83 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I = \frac{mR^2}{2} = 1.18 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

10 Расчёт погрешностей измерений

1. $t_{\text{cp}} = 1.392 \text{ с}$

- Вычислим оценку среднего квадратичного отклонения

$$S_{t_{\text{cp}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t)^2}{n(n-1)}} = 5.23 \cdot 10^{-3} \text{ с}; n = 5 \text{ шт}$$

- Вычислим доверительный интервал случайной погрешности

$$\Delta_{t_{\text{cp}}}^- = t_{0.95,5} \cdot S_{t_{\text{cp}}} = 0.015 \text{ с}$$

- Вычислим абсолютную погрешность измерений

$$\Delta_h = \sqrt{\Delta_{t_1}^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot 0,2 \cdot t_{1\text{cp}} \right)^2} = 0.015 \text{ с}$$

- Вычислим относительную погрешность измерений

$$\varepsilon_{t_{1\text{cp}}} = \frac{\Delta_t}{t_{1\text{cp}}} \cdot 100\% = 1.045\%$$

- $t = (1.392 \pm 0.015) \text{ с}, \varepsilon_h = 1.045\%; \alpha = 0,95$

2. $h_{\text{cp}} = 0.3696 \text{ с}$

- Вычислим оценку среднего квадратичного отклонения

$$S_{h_{\text{cp}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h)^2}{n(n-1)}} = 0.927 \cdot 10^{-3} \text{ м}; n = 5 \text{ шт}$$

- Вычислим доверительный интервал случайной погрешности

$$\Delta_{h_{\text{cp}}}^- = t_{0.95,5} \cdot S_{h_{\text{cp}}} = 2.57 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

- Вычислим абсолютную погрешность измерений

$$\Delta h = \sqrt{\Delta_{h_1}^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot 0,2 \cdot h_{\text{ср}}\right)^2} = 0.0026 \text{ с}$$

- Вычислим относительную погрешность измерений

$$\varepsilon_{h_{\text{ср}}} = \frac{\Delta_t}{h_{\text{ср}}} \cdot 100\% = 0.7\%$$

- $h = (0.3696 \pm 0.0026) \text{ с}, \varepsilon_t = 0.7\%; \alpha = 0,95$

$$3. \Delta h = A \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2} = 0.19$$

$$4. \Delta A = A \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2} = 0.19$$

$$5. \Delta I = I \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2} = 0.141 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

11 Окончательные результаты

$$I_1 = 7.27 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I_2 = 6.83 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I = (6.83 \cdot 10^{-1} \pm 0.141 \cdot 10^{-5}) \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\varepsilon = 2.06\% \quad \alpha = 0.95$$

Экспериментальное и расчётное значения отличаются, причём экспериментальное больше расчётного $I_1 > I_2$

12 Выводы и анализ результатов работы.

Определил момент инерции твердого тела на основе законов равноускоренного движения тремя разными способами: с учетом потерь энергии в системе за счет трения, а также неупругих процессов, связанных с растяжением нити, без учета данных потерь и, считая, что вся масса маятника сосредоточена в диске. В результате расчетов получил, что расчетное значение момента инерции маятника намного больше экспериментальных значений момента маятника. Это происходит из-за того, что при расчете мы считаем, что вся масса сосредоточена в диске, вследствие чего отдаленные части оси маховика перемещаются на диск и момент инерции системы увеличивается.

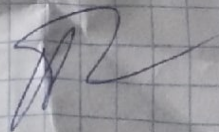
Сорчи Морат Р3115

№	h, см	h, см	z, с
1		36,7	1,38
2		37	1,406
3		37,1	1,382
4		37,2	1,389
5	39	36,8	1,402

$$D = 8,61$$

$$m = 0,177 \text{ кг}$$

$$J = 0,29$$



15.05.22