

Группа Р3110
Студент Лебедев Вадим Антонович
Преподаватель Коробков Максим Петрович

Дата и время измерений 27.12.2020 16:05
Работа выполнена _____
Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.07V Маятник Максвелла

1. Цель работы.

- 1) Изучение динамики плоского движения твердого тела на примере маятника Максвелла.
- 2) Проверка выполнения закона сохранения энергии маятника с учетом потерь на отражение и трение.
- 3) Определение центрального осевого момента инерции маятника Максвелла.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- 1) Измерение, с помощью виртуальной установки, интервалов времени необходимые для прохождения различных промежутков расстояния.
- 2) Нахождение величины $\frac{1}{2}g\langle t \rangle^2$, построение графика зависимости $\frac{1}{2}g\langle t \rangle^2$ от Δh и нахождение коэффициента данной зависимости (α).
- 3) Нахождение центрального момента инерции и сравнение полученного значения с теоретическим.
- 4) Найти кинетическую и полную энергию в моменты трех прохождений одной из заранее установленных точек и построить графики зависимости кинетической и полной энергии от высоты положения маятника относительно стола для трех моментов времени.

3. Объект исследования.

Маятник Максвелла.

4. Метод экспериментального исследования.

Многократные прямые измерения, построение графиков зависимостей и сравнение полученных величин с теоретическими значениями. .

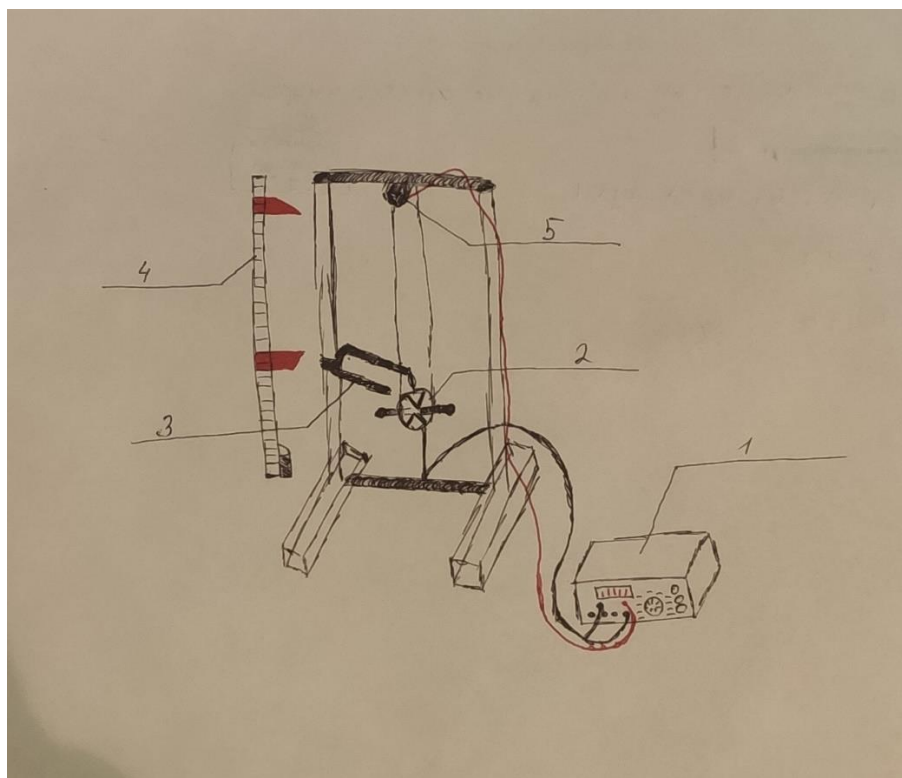
5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$I_c = mr^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right); h = \frac{at^2}{2}; \vartheta = \frac{2h}{t}; E_{\text{кин}} = \frac{1}{2} m \left(\frac{I_c}{mr^2} \right) \cdot \vartheta^2; E_{\text{пот}} = mgh; E_{\text{кин}} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}}$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Цифровой счетчик	Измерительный прибор	0 – 10000мс	0,1мс
2	Линейка	Мера	0-100см	0,5 мм

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).



1. Цифровой счетчик.
2. Колесо.
3. Рамка с фотоэлементами.
4. Вертикальная линейка.
5. Пусковой механизм.

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Таблица №1 (измерения представлены в миллисекундах, кроме последней строки)

h_0	h_i						
10	20	30	40	50	60	70	80
t_1	2611,2	3716,3	4559,6	5271,1	5896,5	6452,3	6978,3
t_2	2613,1	3712,6	4562,5	5265,6	5897,3	6454,2	6980,5
t_3	2612,9	3713,2	4558,3	5268,4	5889,5	6459,3	6979,1
t_4	2611,9	3716,1	4562,7	5266,8	5892,1	6453,2	6981,9
t_5	2614,7	3716,1	4560,9	5271,6	5896,5	6459,2	6975,8
Δh_i	10	20	30	40	50	60	70
t_{cp}	2612,76	3714,86	4560,8	5268,7	5894,38	6455,64	6979,12
$\frac{1}{2} g \langle t \rangle^2$	33,51817	67,75891	102,1324	136,2977	170,5916	204,6257	239,1568

$$t_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i; \Delta h_i = h_i - h_0$$

$$\frac{1}{2} g \langle t \rangle^2 = \frac{9,82 * \left(\frac{2612,76}{1000} \right)^2}{2} = 33,51817$$

Таблица №2(измерения представлены в миллисекундах, кроме строк ϑ_i)

$h_0(\text{см})$	h_i						
10	20	30	40	50	60	70	80
t_1	53,4	37,5	30,7	26,2	23,9	21,6	19,8
t_2	80,9	44	33,8	28,4	25,1	22,5	20,7
t_3	81,9	44,2	34	28,7	25,3	22,9	20,6
ϑ_1	0,093632959	0,13333	0,162866	0,19084	0,209205	0,231481	0,252525
ϑ_2	0,061804697	0,113636	0,147929	0,176056	0,199203	0,222222	0,241546
ϑ_3	0,061050061	0,113122	0,147059	0,174216	0,197628	0,218341	0,242718

$$\vartheta_i = \frac{2r}{t_i} = \frac{2 \cdot 0,0025}{53,4 \cdot 0,001} = 0,0936$$

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов)

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i X_i}{\sum_{i=1}^N X_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^7 \frac{1}{2} g(t)_i^2 \Delta h_i}{\sum_{i=1}^7 \Delta h_i^2}$$

$$= \frac{(33,51 \cdot 10 \cdot 0,01) + (67,75 \cdot 20 \cdot 0,01) + (102,13 \cdot 30 \cdot 0,01) + (136,29 \cdot 40 \cdot 0,01) + (170,59 \cdot 50 \cdot 0,01) + (204,62 \cdot 60 \cdot 0,01) + (239,15 \cdot 70 \cdot 0,01)}{(10^2 \cdot 0,01^2) + (20^2 \cdot 0,01^2) + (30^2 \cdot 0,01^2) + (40^2 \cdot 0,01^2) + (50^2 \cdot 0,01^2) + (60^2 \cdot 0,01^2) + (70^2 \cdot 0,01^2)} = 341,1$$

$$I_c = (\alpha - 1)mr^2 = 0,001$$

$$I_{\text{теор}} = mR^2 = 0,002$$

Таблица №3

H_i	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
$E_{\text{кин},1}$	0,702765077	1,42505	2,126258	2,919376	3,508301	4,295218	5,111664
$E_{\text{кин},1}$	0,306193271	1,035112	1,75412	2,484597	3,180865	3,958473	4,676834
$E_{\text{кин},1}$	0,298761673	1,025766	1,733544	2,432926	3,130773	3,821393	4,722351
$E_{\text{пот}}$	4,15386	3,69232	3,23078	2,76924	2,3077	1,84616	1,38462
$E_{\text{полн},1}$	4,856625077	5,11737	5,357038	5,688616	5,816001	6,141378	6,496284
$E_{\text{полн},2}$	4,460053271	4,727432	4,9849	5,253837	5,488565	5,804633	6,061454
$E_{\text{полн},3}$	4,452621673	4,718086	4,964324	5,202166	5,438473	5,667553	6,106971

$$E_{\text{кин}} = \frac{1}{2} m \left(\frac{I_c}{mr^2} + 1 \right) \cdot \vartheta^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,47 \cdot \left(\frac{0,001}{0,47 \cdot (0,0025)^2} + 1 \right) \cdot 0,0936^2 = 0,702765077$$

$$E_{\text{пот}} = mgH = 0,47 \cdot 9,82 \cdot 0,9 = 4,15386$$

$$E_{\text{полн},i} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = 4,15386 + 0,702765077$$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений)

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \alpha X_i)^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N X_i^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 \left(\frac{1}{2} g(t)_i^2 - \alpha \Delta h_i \right)^2}{(7-1) \sum_{i=1}^7 \Delta h_i^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,35052954 + 0,21305 + 0,03933 + 0,02054 + 0,00163 + 0,00128 + 0,14834}{6 \cdot (0,01 + 0,04 + 0,09 + 0,16 + 0,25 + 0,36 + 0,49)}}$$

$$= 0,303689;$$

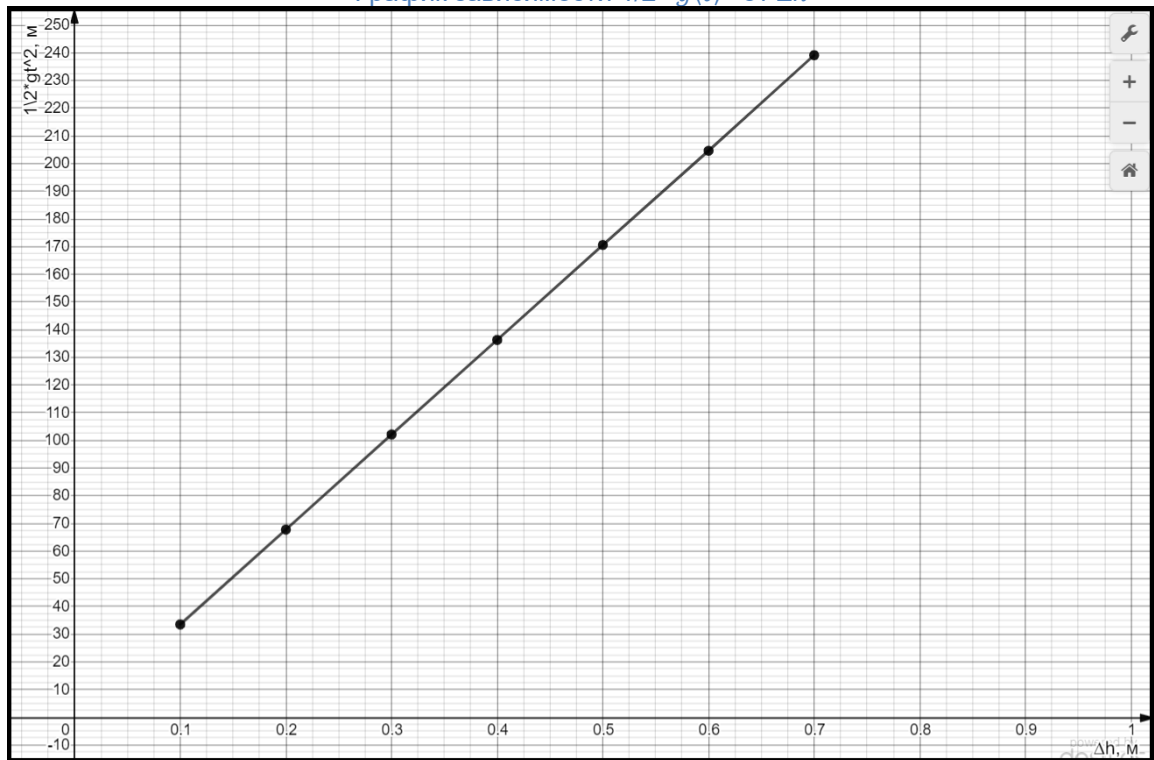
$$\Delta_{\alpha} = 2\sigma_{\alpha} = 0,606; \delta_{\alpha} = \frac{\Delta_{\alpha}}{\alpha} = \frac{0,606}{341,1} \cdot 100\% = 0,17\%$$

$$\frac{\Delta_{I_c}}{I_c} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\alpha}}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_m}{m}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{\Delta_r}{r}\right)^2} = 0,082$$

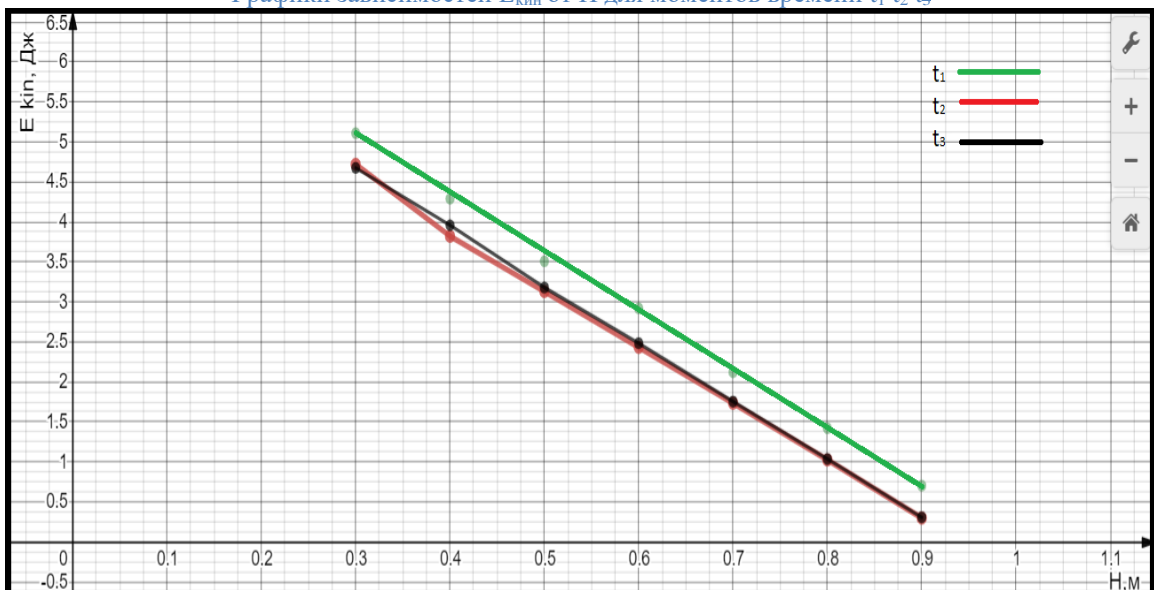
$$\Delta_{I_c} = \frac{\Delta_{I_c}}{I_c} \cdot I_c = 0,000082; \delta_{I_c} = \frac{\Delta_{I_c}}{I_c} \cdot 100\% = 8,2\%$$

11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2)

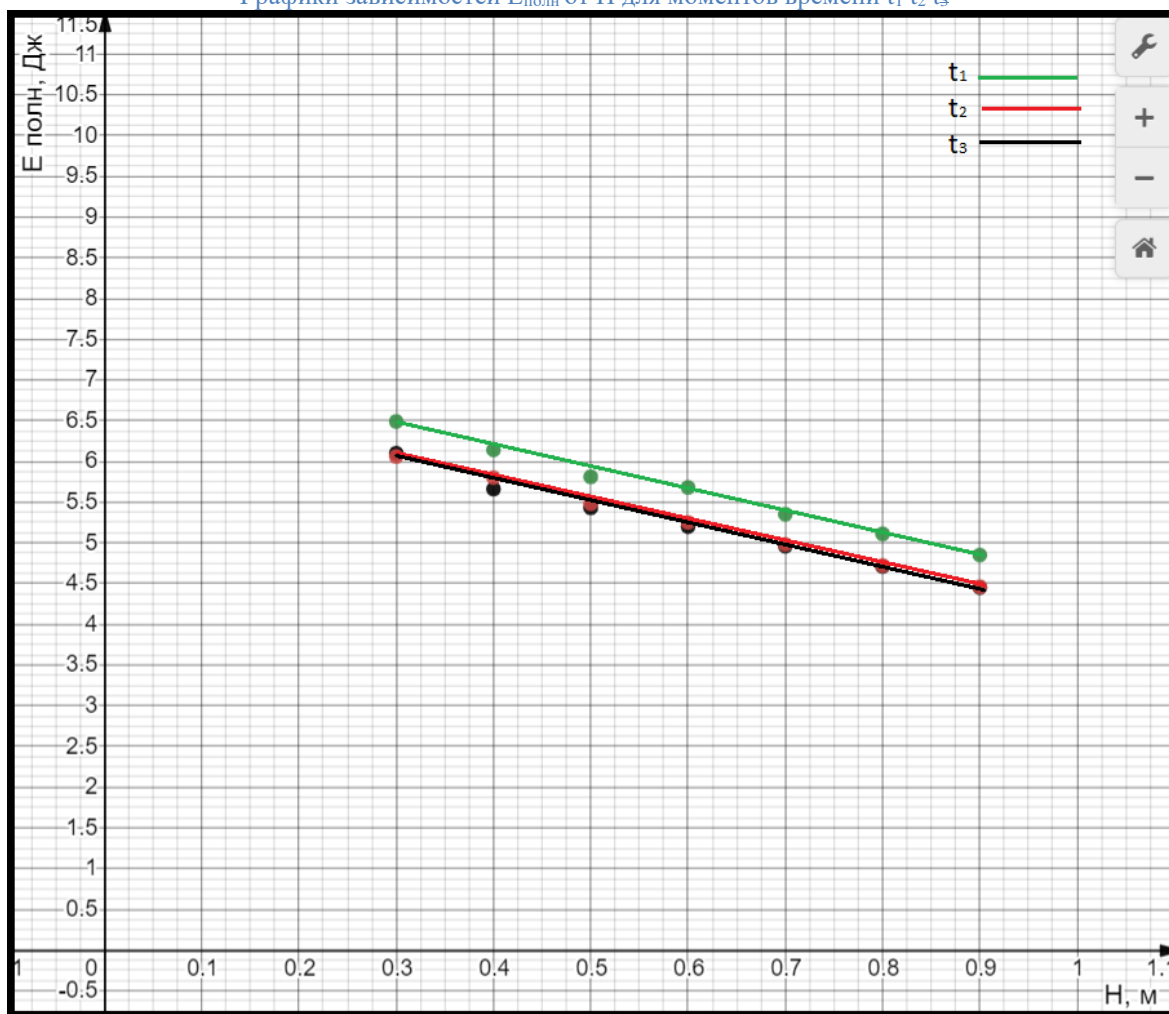
График зависимости $1/2 * g(t)^2$ от Δh



Графики зависимостей $E_{кин}$ от H для моментов времени t_1 t_2 t_3



Графики зависимостей $E_{\text{полн}}$ от H для моментов времени t_1 t_2 t_3



12. Окончательные результаты.

1) $I_c = 0,00100 \pm 0,000082 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $\delta_{I_c} = 8,2\%$;

2) $\frac{I_c}{I_{\text{теор}}} = 0,5$;

3) Графики зависимостей $E_{\text{кин}}(H)$ и $E_{\text{полн}}(H)$ для t_1 , t_2 и t_3 .

13. Выводы и анализ результатов работы.

1) В результате эксперимента мы получили значение момента инерции маятника, которое отличается от рассчитанного значения в 0,5 раз, из-за того, что в полученном значении предполагается, что вся масса маховика сосредоточена на его внешней поверхности.

2) Не смотря на значения H графики кинетической и полной энергии при t_2 и t_3 практически не отличаются (в пределах погрешности). График при t_1 находится выше графиков t_2 и t_3 на определенное постоянное значение, которое не зависит от H .