

Группа Р3110

К работе допущен ДМ

Студент Лысенко Д.С.

Работа выполнена ДМ

Преподаватель Коробков М.П.

Отчет принят

Дата и время измерения: 24.10.2020 13:28

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.07V

Маттник Максвелла

1. Цель работы. Изучение динамики тороидального маятника Максвелла. Проверка выполнения закона сохранения энергии маятника с учетом потерь на трение и трение. Определение момента инерции маятника Максвелла.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

Рассчитать центральный момент инерции маятника Максвелла и сравнить с теоретическим.

Построить и проинтерпретировать графики зависимостей.

3. Объект исследования.

Маттник Максвелла

4. Метод экспериментального исследования.

Прямые и косвенные измерения

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$I_c = (a-1) m r^2$$

$$E_{\text{полн}} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}}$$

$$I_{\text{теор}} = m R^2$$

$$v = \frac{2r}{t}$$

$$E_{\text{кин}} = \frac{1}{2} m \left( \frac{I_c}{m r^2} + 1 \right) \cdot v^2$$

$$E_{\text{пот}} = m g H, \text{ где } H = L - \Delta h_i$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	<u>Счетчик</u>	<u>цифровой</u>	<u>0-9999,9 мс</u>	<u>0,1 мс</u>
2				
3				
4				

## 7. Схема установки

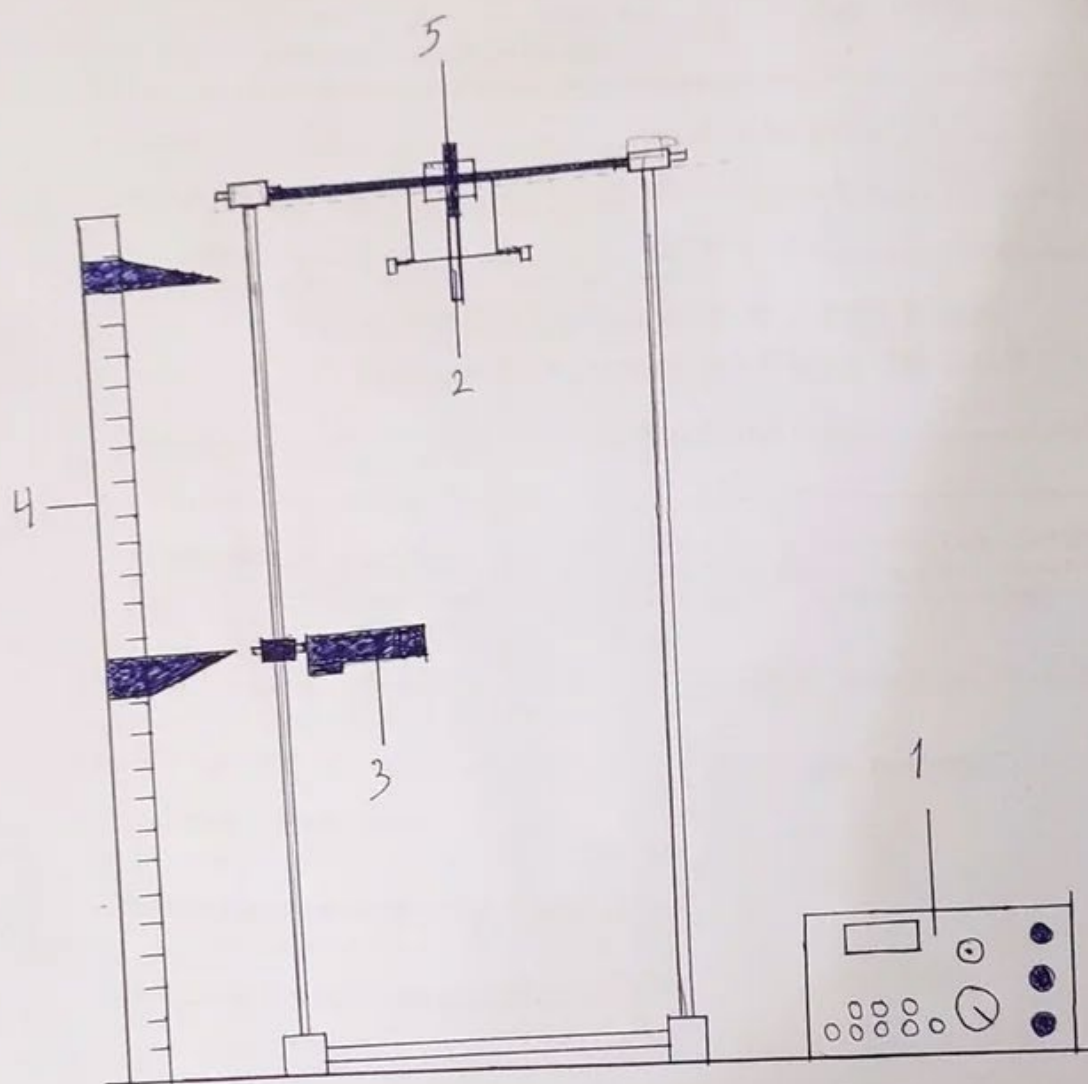


Рисунок 1. Схема лабораторного стенда.

1. Цифровой счетчик
2. Колесо
3. Пластина с фотосенсибилизатором
4. Вертикальная шкала
5. Пульсированная установка

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

Рассчитаем среднее время спуска маятника для каждой высоты (для примера возьмем  $h = 20$  см):

$$\langle t \rangle = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_i = \frac{1}{5} (2614,9 + 2611,9 + 2614,3 + 2612,5 + 2612,7) = 2613,26 \text{ мс}$$

$$\Delta h_i = h_i - h_0 = 20 \text{ см} - 10 \text{ см} = 10 \text{ см}$$

Найдем величину  $\frac{1}{2} g \langle t \rangle^2$  (так же, для примера возьмем  $h = 20$  см):

$$\frac{1}{2} g \langle t \rangle^2 = \frac{1}{2} 9,82 * 2613,26^2 = 33,53 \text{ м}$$

$h_0 = 10 \text{ см}$	$h_i$						
	20 см	30 см	40 см	50 см	60 см	70 см	80 см
$t_1, \text{ мс}$	2614,9	3715,8	4559,9	5268,1	5899,2	6452,4	6982,7
$t_2, \text{ мс}$	2611,9	3717,4	4561,6	5264,2	5888,9	6460,6	6971,3
$t_3, \text{ мс}$	2614,3	3718,9	4562,8	5270,2	5888,9	6463,2	6979,9
$t_4, \text{ мс}$	2612,5	3716,8	4561,9	5271,3	5897,3	6457,3	6978,1
$t_5, \text{ мс}$	2612,7	3714,5	4563,3	5271,2	5896,3	6462,5	6978,5
$\Delta h_i, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$\langle t \rangle, \text{ мс}$	2613,26	3716,68	4561,9	5269	5894,12	6459,2	6978,1
$\frac{1}{2} g \langle t \rangle_i^2, \text{ м}$	33,53	67,826	102,182	136,313	170,577	204,85	239,087

Таблица 1. Результаты прямых измерений (I) и их обработка

Найдем мгновенную скорость (для примера возьмем  $t_i$ ):

$$v_{1.1} = \frac{2r}{t_i} = \frac{2 * 0,0025}{0,0816} = 0,095 \text{ м/с}$$

$h_0 = 10 \text{ см}$	$h_i$						
	20 см	30 см	40 см	50 см	60 см	70 см	80 см
$t_1, \text{ мс}$	52,6	37,3	30,4	26,5	23,6	21,5	19,9
$t_2, \text{ мс}$	81,6	44,3	33,7	28,3	25	22,5	20,9
$t_3, \text{ мс}$	81,4	44,5	33,9	28,7	25,2	22,6	20,8
$v_1, \text{ м/с}$	0,095	0,134	0,164	0,189	0,212	0,233	0,251
$v_2, \text{ м/с}$	0,061	0,113	0,148	0,177	0,2	0,222	0,239
$v_3, \text{ м/с}$	0,061	0,112	0,147	0,174	0,198	0,221	0,240

Таблица 2. Результаты прямых измерений (II) и их обработка

## 9. Результаты косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Найдем угловой коэффициент  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i X_i}{\sum_{i=1}^N X_i^2} = 341,184$$

Вычислим центральный момент инерции маятника Максвелла:

$$I_c = (\alpha - 1)mr^2 = (341,184 - 1)0,47 * 0,0025^2 = 0,0009 \text{ кг} * \text{м}^2$$

Рассчитаем теоретический момент инерции маятника:

$$I_{\text{теор}} = mR^2 = 0,47 * 0,065^2 = 0,00199 \text{ кг} * \text{м}^2$$

Посчитаем кинетическую, потенциальную и полную энергии маятника ( $v_1, h_1$ ):

$$E_{\text{кин},1.1} = \frac{1}{2} m \left( \frac{I_c}{mr^2} + 1 \right) v_i^2 = \frac{1}{2} 0,47 \left( \frac{0,0009}{0,47 * 0,0025^2} + 1 \right) 0,095^2 = 0,724 \text{ Дж}$$

$$E_{\text{пот}} = mgH = 0,47 * 9,82(1 - 0,1) = 4,153 \text{ Дж}$$

$$E_{\text{полн},1.1} = E_{\text{кин},1.1} + E_{\text{пот}} = 4,153 + 0,724 = 4,877 \text{ Дж}$$

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

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \alpha X_i)^2}{(N - 1) \sum_{i=1}^N X_i^2}} = 0,28$$

$$\Delta\alpha = 2 * \sigma_\alpha = 2 * 0,28 = 0,56; \varepsilon = 0,16\%$$

Погрешность  $I_c$  посчитаем через частные производные:

$$\Delta z = \sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial a} \Delta a \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial b} \Delta b \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial c} \Delta c \right)^2 + \dots}$$

$$\Delta I_c = 0,000027; \varepsilon = 2,72\%$$

## 11. Графики.

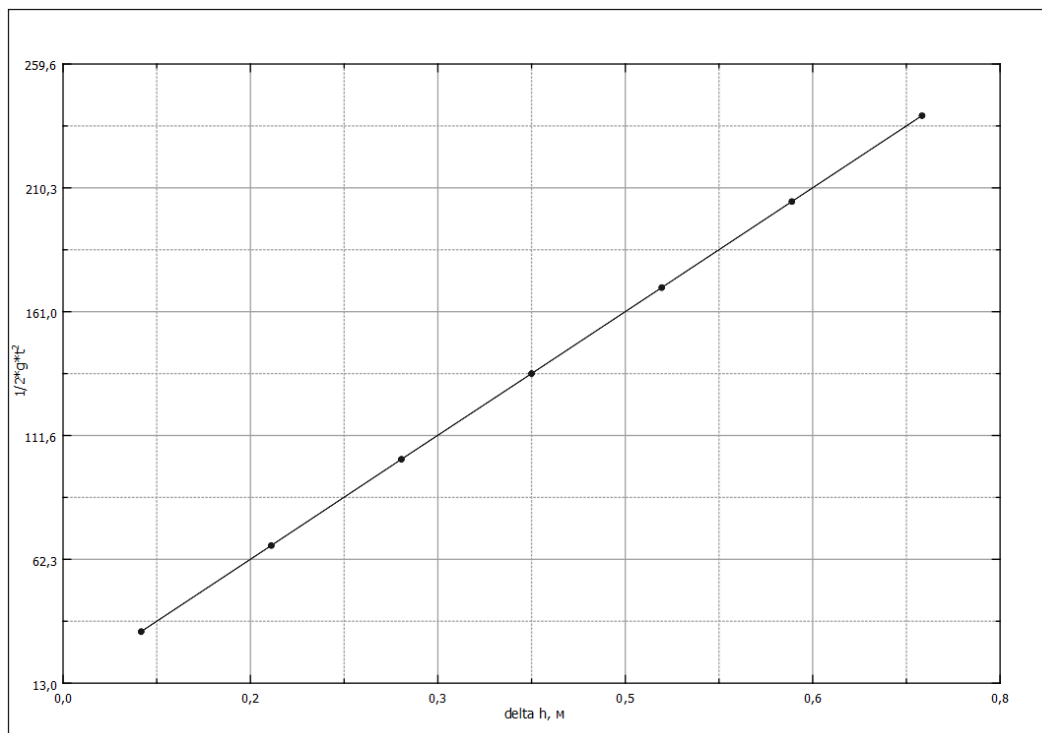


Рисунок 1. График зависимости  $\frac{1}{2} g(t)^2$  от  $\Delta h$

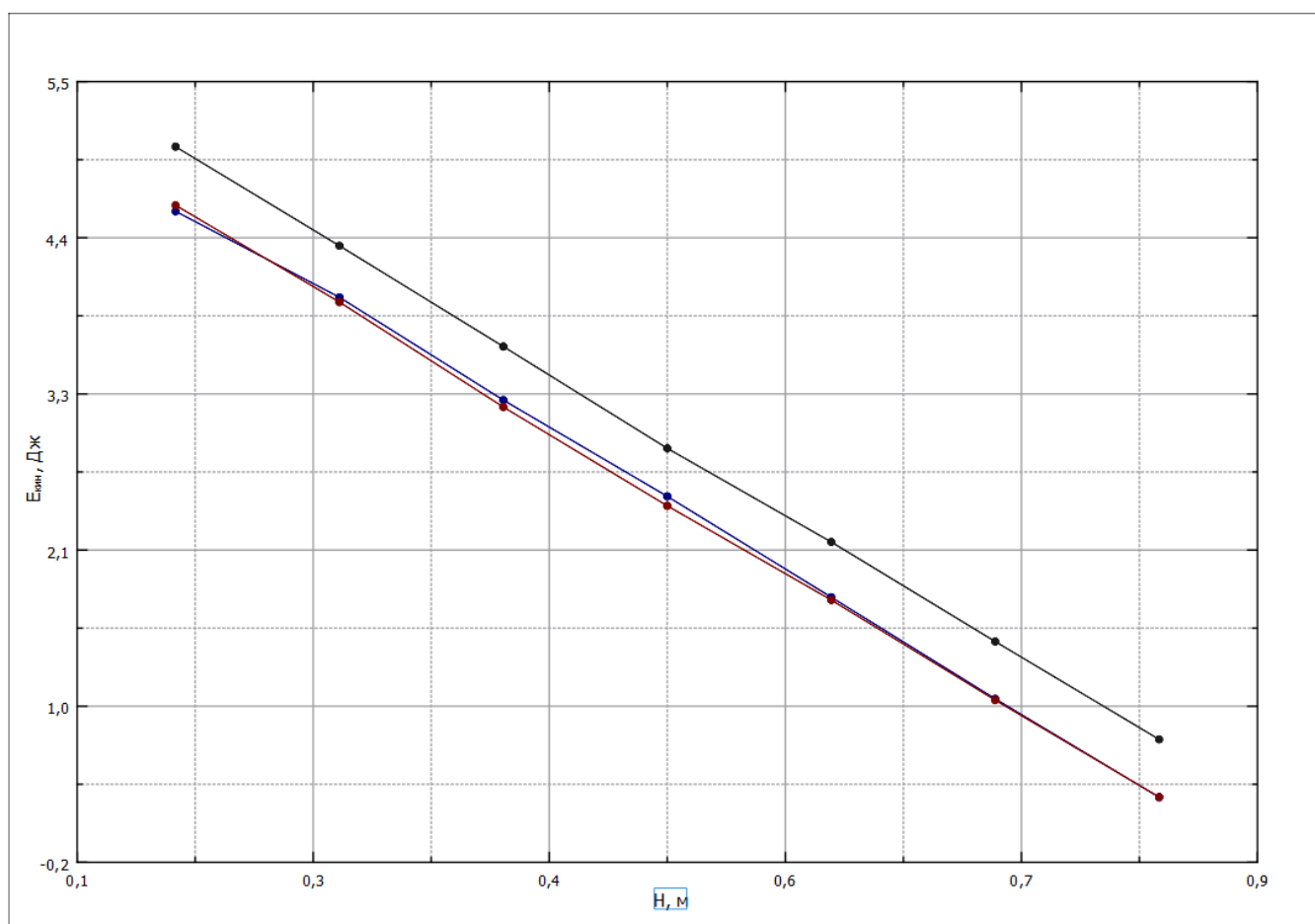


Рисунок 2. Графики зависимостей кинетической энергии от высоты  $H$



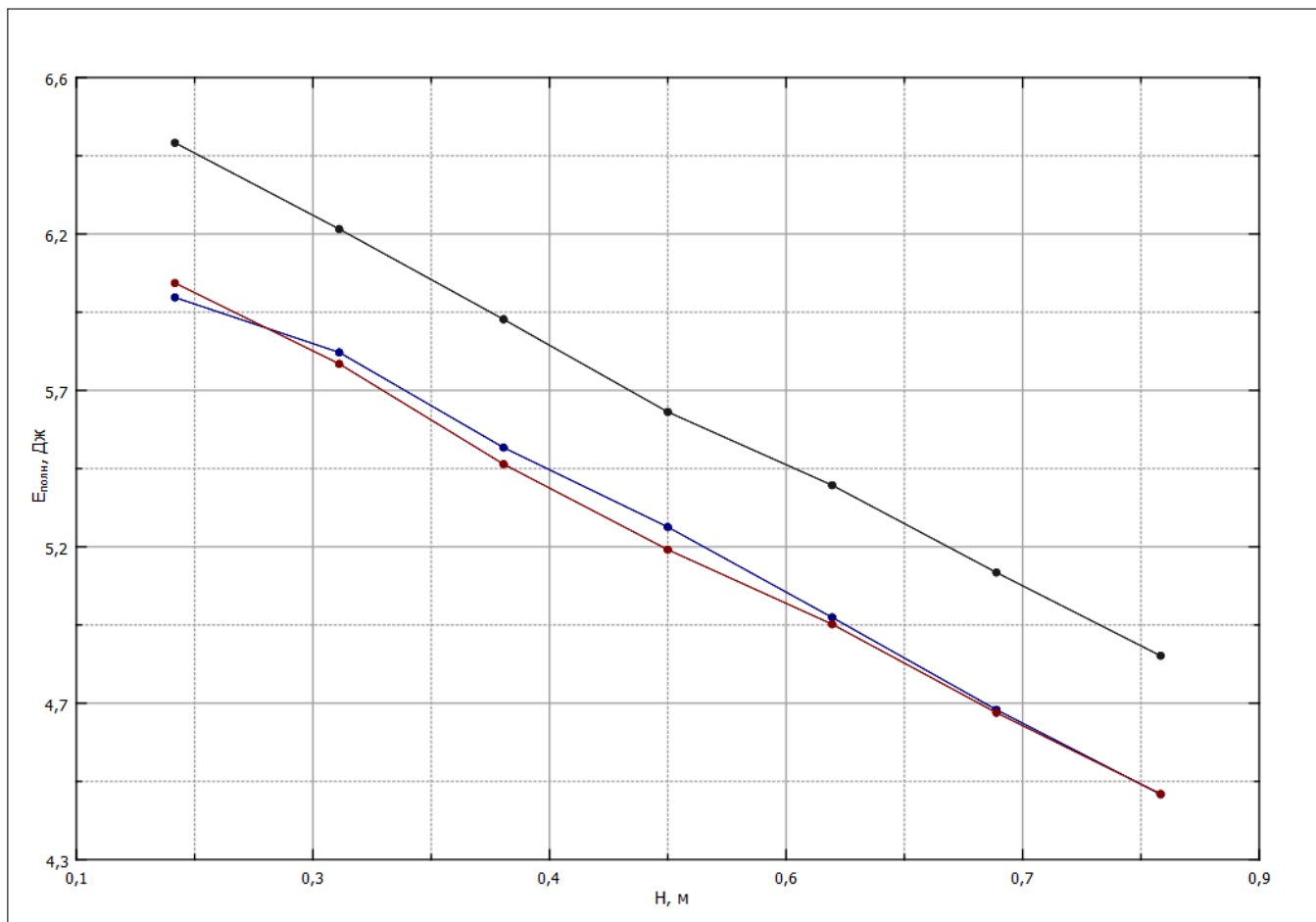


Рисунок 3. Графики зависимостей полной энергии от высоты  $H$

## 12. Окончательные результаты.

$$I_c = (0,0009 \pm 0,000027), \varepsilon = 2,72\%$$

## 13. Выводы.

В ходе выполнения лабораторной работы пришел к выводу, что зависимости кинетической и полной энергии от высоты  $H$  являются линейными – это доказывают графики 2 и 3. Однако, по графику 3 видно, что закон сохранения энергии маятника не сохраняется – если бы он сохранялся, тогда графики были бы параллельны оси  $H$ .

Предположительно, это связано с тем, что в самой модели виртуальной установки есть какая-то алгоритмическая ошибка (возможно, неправильно измеряется мгновенное время). Также точки графика  $t_1$  меньше на одно и то же постоянное значение. Это связано с тем, что при проходе нижней точки маятника меняет направление движения и при этом теряется часть кинетической энергии.