

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ФТФ

Группа P3110	Дата и время измерений 06.01.2021 21:40
Студент Цыпандин Николай	Работа выполнена 07.01.2021
Преподаватель Коробков М.П.	Отчет принят

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

1. Цель работы

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

2. Задачи, решаемые при выполнении работы

- Измерение, с помощью виртуальной установки, интервалов времени необходимые для прохождения различных промежутков расстояния.
- 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).
- Нахождение центрального момента инерции и сравнение полученного значения с теоретическим.
- 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

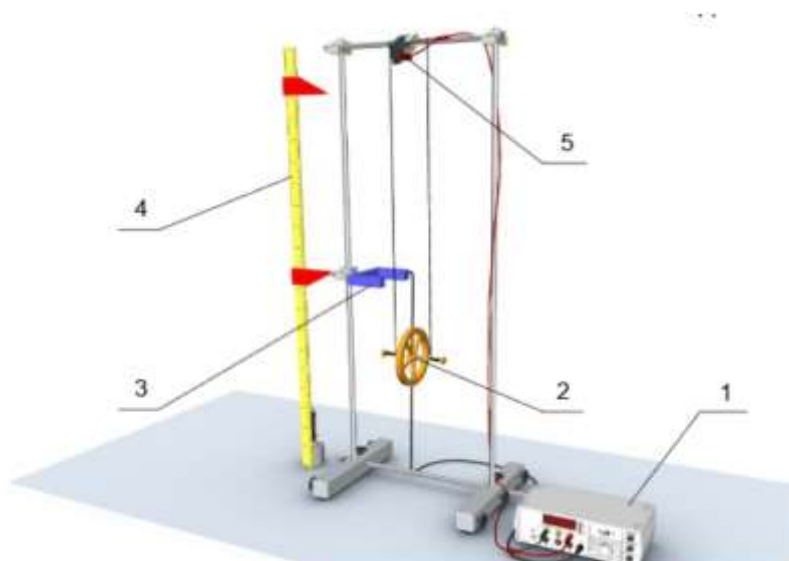


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

1. Цифровой счетчик
2. Колесо (масса $m = 370$ г, радиус оси $r = 2,0$ мм, радиус маховика $R = 65$ мм)
3. Рамка с фотоэлементами
4. Вертикальная линейка
5. Пусковой механизм

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

Таблица №1: Результаты прямых измерений (I) и их обработка

$h_0 = 0,1, \text{ м}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$t_1, \text{ мс}$	2612,2	3713,7	4559,6	5273,1	5896,5	6459,9	6978,3
$t_2, \text{ мс}$	2613,1	3712,6	4560,8	5265,3	5897,3	6455,2	6984,3
$t_3, \text{ мс}$	2612,9	3719,7	4558,3	5268,4	5889,5	6459,3	6979,1
$t_4, \text{ мс}$	2611,9	3717,8	4560,1	5266,8	5896,3	6453,2	6981,9
$t_5, \text{ мс}$	2616,1	3716,1	4562,1	5271,6	5896,5	6459,2	6971,9
$\Delta h_i, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$\langle t \rangle, \text{ с}$	2,613	3,716	4,560	5,269	5,895	6,457	6,979
$g\langle t \rangle^2/2$	33,531	67,800	102,105	136,315	170,640	204,735	239,155

$$t_{cp} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \right); t_{cp1} = \frac{13,065}{5} = 2,613 \text{ с}$$

$$\Delta h_i = h_i - h_0$$

$$\frac{1}{2} g \langle t \rangle^2 = \frac{9,82 * (2,613)^2}{2} = 33,531$$

Таблица №2: Результаты прямых измерений (II) и их обработка

$h_0 = 0,1, \text{ м}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$t_1, \text{ мс}$	52,9	37,3	30,7	26,5	23,9	21,6	19,9
$t_2, \text{ мс}$	81,1	44,1	33,8	28,5	25,1	22,5	20,7
$t_3, \text{ мс}$	81,6	44,4	34	28,7	25,3	22,9	20,8
$v_1, \text{ м/с}$	0,0756	0,1072	0,1303	0,1509	0,1674	0,1852	0,2010
$v_2, \text{ м/с}$	0,0493	0,0907	0,1183	0,1404	0,1594	0,1778	0,1932
$v_3, \text{ м/с}$	0,0490	0,0901	0,1176	0,1394	0,1581	0,1747	0,1923

$$\vartheta_1 = \frac{2r}{t_1} = \frac{2 * 0,002}{52,9 * 0,001} = 0,0756, \text{ где } r - \text{ радиус оси равный } 2 \text{ мм}$$

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

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

$$= \frac{(33,531 * 10 * 0,01) + (67,800 * 20 * 0,01) + (102,105 * 30 * 0,01) + (136,315 * 40 * 0,01) + (170,640 * 50 * 0,01) + (204,735 * 60 * 0,01) + (239,155 * 70 * 0,01)}{(10^2 * 0,01^2) + (20^2 * 0,01^2) + (30^2 * 0,01^2) + (40^2 * 0,01^2) + (50^2 * 0,01^2) + (60^2 * 0,01^2) + (70^2 * 0,01^2)} = 341,2$$

$$I_c = (\alpha - 1)mr^2 = (340,2) * 0,37 * (0,002)^2 = 0,640 * 10^{-3}$$

$$I_{\text{теор}} = mR^2 = 0,37 * (0,065)^2 = 1,563 * 10^{-3}$$

Таблица №3

Н _i , м	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Е _{кин,1}	0,458	0,921	1,360	1,826	2,244	2,748	3,237
Е _{кин,2}	0,125	0,423	0,720	1,012	1,305	1,624	1,919
Е _{кин,3}	0,124	0,417	0,711	0,998	1,285	1,568	1,901
Е _{пот}	3,270	2,907	2,543	2,180	1,817	1,453	1,090
Е _{полн,1}	3,728	3,828	3,904	4,006	4,061	4,201	4,327
Е _{полн,2}	3,395	3,330	3,263	3,192	3,122	3,078	3,009
Е _{полн,3}	3,394	3,324	3,255	3,178	3,101	3,022	2,991

$$E_{\text{кин}1} = \frac{1}{2} m \left(\frac{I_c}{mr^2} + 1 \right) \cdot v^2 = \frac{1}{2} * 0,37 * \left(\frac{0,00064}{0,37 * (0,002)^2} + 1 \right) * 0,0756^2 = 0,458$$

$$E_{\text{пот}1} = mgH = 0,37 * 9,82 * 0,9 = 3,27$$

$$E_{\text{полн}1} = E_{\text{пот}1} + E_{\text{кин}1} = 3,27 + 0,458 = 3,728$$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных)

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

$$= \sqrt{\frac{0,344169787 + 0,18884 + 0,061 + 0,02353 + 0,00296 + 0,00101 + 0,11245}{6 * (0,01 + 0,04 + 0,09 + 0,16 + 0,25 + 0,36 + 0,49)}} = 0,296$$

$$\Delta_\alpha = 2\sigma_\alpha = 0,592$$

$$\delta_\alpha = \frac{\Delta_\alpha}{\alpha} = \frac{0,592}{341,2} \cdot 100\% = 0,17\%$$

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

$$\Delta_{I_c} = \frac{\Delta_{I_c}}{I_c} \cdot I_c = 0,000082$$

$$\delta_{I_c} = \frac{\Delta_{I_c}}{I_c} \cdot 100\% = 12,8\%$$

11.Графики

График 1.

График зависимости $g_{\langle t \rangle}^2/2$ от Δh

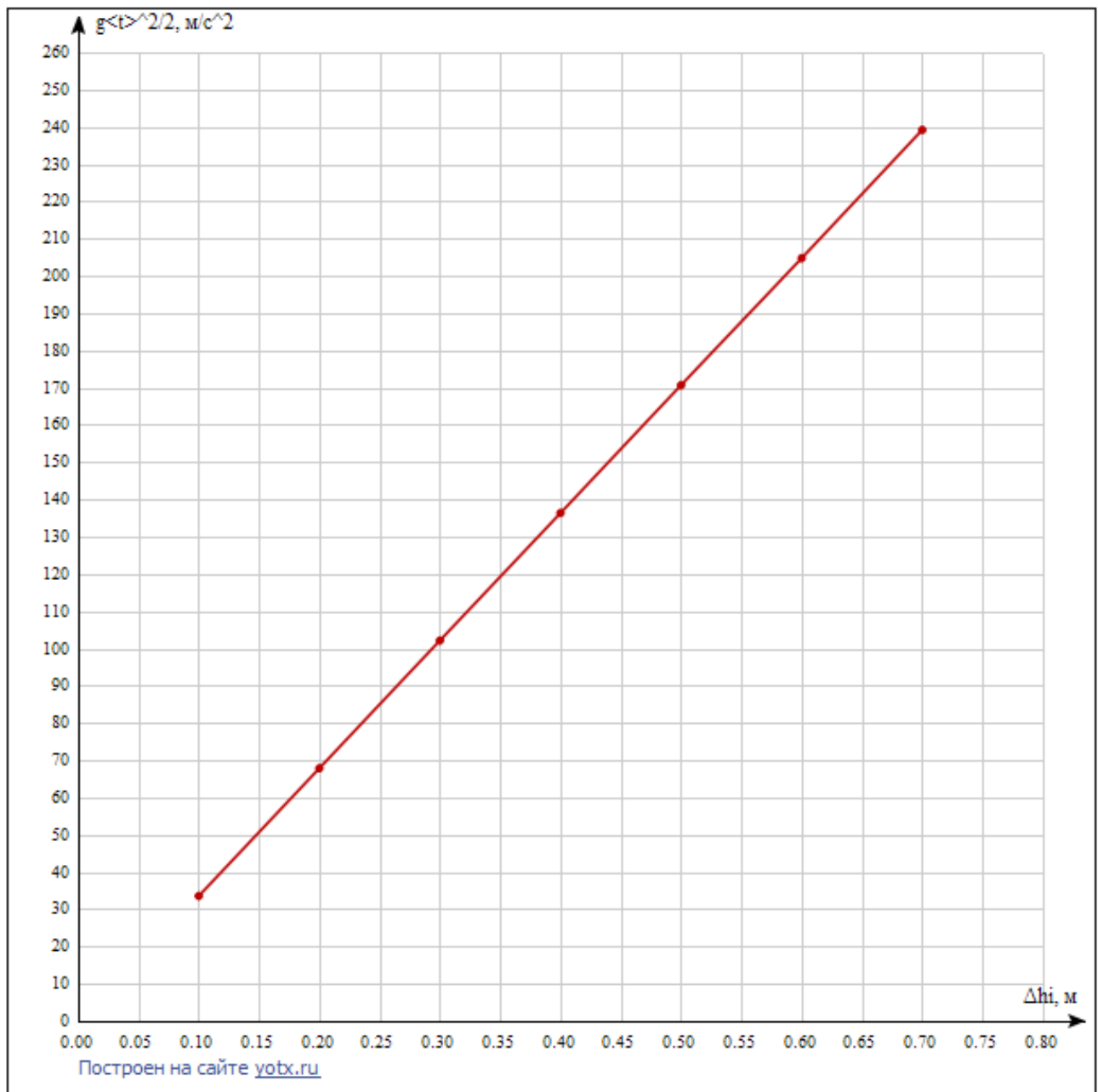
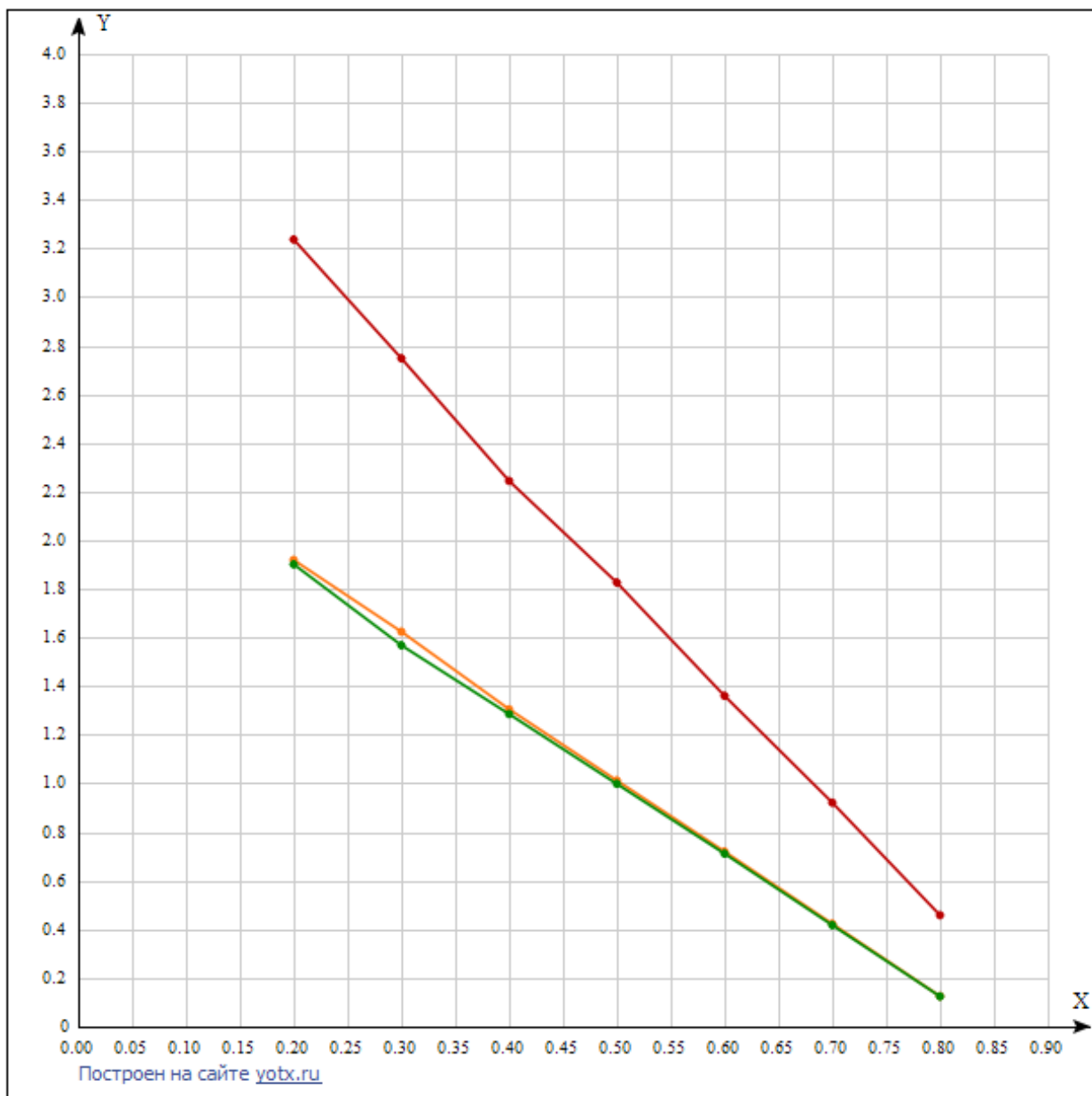


График 2.

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



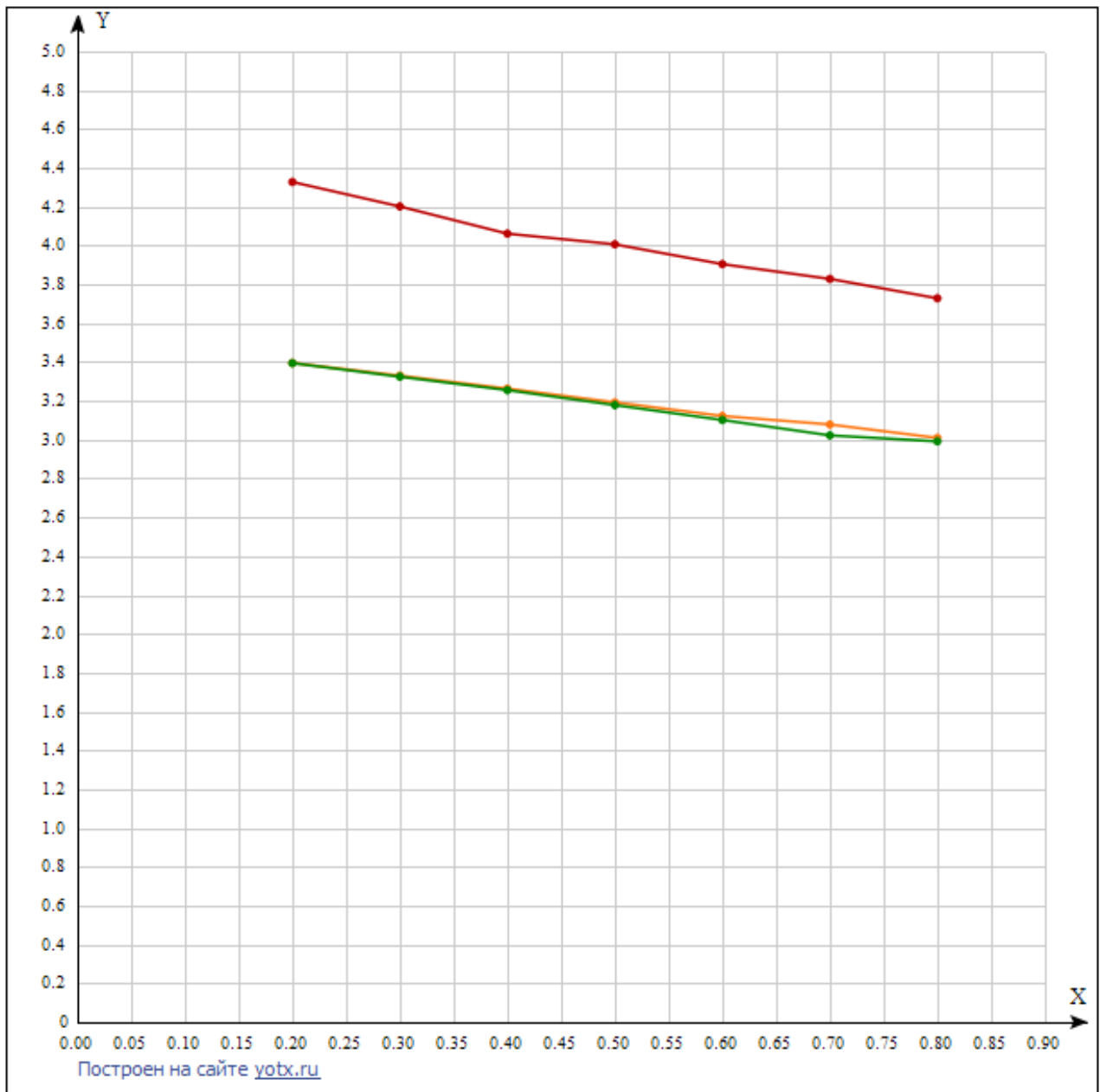
Красный – t_1

Оранжевый – t_2

Зеленый – t_3

График 3.

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



Красный – t_1

Оранжевый – t_2

Зеленый – t_3

$$E_{\text{кин}1,t1} = \frac{1}{2} m \left(\frac{I_c}{mr^2} + 1 \right) \cdot v^2 = \frac{1}{2} * 0,37 * \left(\frac{0,00064}{0,37*(0,002)^2} + 1 \right) * 0,0756^2 = 0,458$$

$$E_{\text{пот}1,t1} = m g H = 0,37 * 9,82 * 0,9 = 3,27$$

$$E_{\text{полн}1,t1} = E_{\text{пот}1,t1} + E_{\text{кин}1,t1} = 3,27 + 0,458 = 3,728$$

Наклон графика объясняется тем, что кинетическая энергия ($E_{\text{кин}}$) сильно убывает по росту H , интенсивнее чем возрастание потенциальной энергии ($E_{\text{пот}}$) по росту H , а кинетическая энергия, в свою очередь, растет из-за роста мгновенной скорости (v_i) по росту H (можно убедиться, взглянув на таблицу №2), так еще и мгновенная скорость стоит в квадрате в формуле вычисления

Кинетической энергии. Этим и объясняется поведение графика зависимости $E_{\text{полн}}$ от H , его наклон, знак углового коэффициента. Для t_2 и t_3 , ситуация аналогична.

12. Окончательные результаты

- $I_c = 0,000640 \pm 0,000082 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $\delta_{I_c} = 12,8\%$
- Значение момента инерции маятника I_c , его абсолютная и относительная погрешность. $\frac{I_c}{I_{\text{теор}}} = 0,41$
- Результат сравнения экспериментального и расчетного значения момента инерции.
- 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

- В результате эксперимента мы получили значение момента инерции маятника, которое отличается от рассчитанного значения в 0,41 раз, из-за того, что в полученном значении предполагается, что вся масса маховика сосредоточена на его внешней поверхности.
- 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 .

14. Дополнительные задания

15. Выполнение дополнительных заданий