

**Лабораторная работа 1.04 «Изучение
равноускоренного вращательного
движения»**

Группа: Р3114
Студент: Гиниятуллин Арслан Рафаилович
Преподаватель: Куксова Полина Алексеевна
Работа выполнена: 28.04.2022
К работе допущен:
Отчёт принят:

1 Цель работы

1. Проверка основного закона динамики вращения.
2. Проверка зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения.

2 Задачи, решаемые при выполнении работы

1. Измерить время падения груза при разной массе груза и радиусом положения утяжелителей на крестовине.
2. Найти среднее время падения гири для всех масс гири и при всех положениях утяжелителей на крестовине.
3. Рассчитать ускорение a груза, угловое ускорение ε крестовины и момент силы M натяжения нити.
4. Построить график зависимости на основе результатов измерений.

3 Объект исследования

- Маятник Обербека.
- Равноускоренное вращательное движение.

4 Метод экспериментального исследования

Провести многократные косвенные и прямые измерения времени опускания грузов различных масс, связанных со ступицей крестовины, в зависимости от положения утяжелителей на осях крестовины.

5 Используемые формулы

1. $a = \frac{2h}{t^2}$, где h - расстояние пройденное грузом за время t от начала движения
2. $\varepsilon = \frac{2a}{d}$, где d - диаметр ступицы
3. $M = \frac{md}{2}(g - a)$, где d - диаметр ступицы
4. $I\varepsilon = M - M_{\text{тр}}$, где I_0 - сумма моментов инерции крестовины без утяжелителей, M - момент силы трения.
5. $I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2$, $m_{\text{ут}}$ - масса утяжелителя, R - радиус между центром крестовины и центром утяжелителя
6. $M = M_{\text{ут}} + I\varepsilon$
7. $R = l_1 + (n - 1)l_0 + \frac{1}{2}b$, где l_1 - расстояние от оси вращения до первой риски; n - номер риски, на которой установлены утяжелители; l_0 - расстояние между соседним рисками; b - размер утяжелителя вдоль спицы

6 Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Шкала	Механический	0 - 0.7 м	0.0005 м
2	Секундомер	Цифровой	0 - 10 с	0.01 с

Таблица 1: Измерительные приборы

7 Схема установка

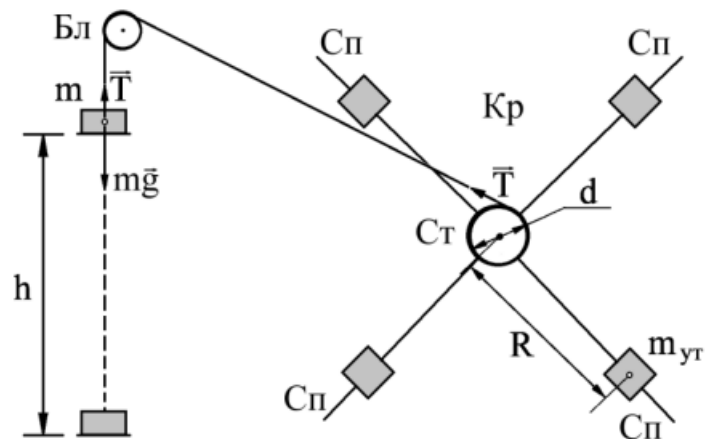


Рис. 1: Схема измерительного стенда

Наименование	Величина	Значение	Погрешность	Единица измерения
Масса шайбы	m_1	220	0.5	г
Расстояние первой риски от оси	l_1	57	0.5	мм
Расстояние между рисками	l_0	25	0.2	мм
Диаметр груза на крестовине	b	40	0.5	мм

Таблица 2: Исходные данные

8 Результаты прямых измерений и их обработки

Масса груза, г	Положение утяжелителей					
	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
m_1	4.00	4.68	5.26	6.12	7.47	8.11
	4.05	4.50	5.83	6.42	7.35	8.52
	3.89	4.03	5.35	6.15	7.39	8.32
	3.98	4.70	5.48	6.23	7.40	8.32
m_2	2.86	3.34	3.76	4.66	5.66	6.72
	2.99	3.56	3.98	4.60	5.46	6.84
	2.93	3.51	3.69	4.72	5.39	6.76
	2.93	3.47	3.81	4.66	5.50	6.77
m_3	2.45	2.81	3.36	3.71	4.39	5.57
	2.40	2.85	3.33	3.69	4.59	5.80
	2.44	2.82	3.39	3.81	4.66	5.72
	2.43	2.86	3.36	3.74	4.55	5.69
m_4	2.02	2.40	3.04	3.27	3.77	4.43
	2.11	2.47	3.24	3.32	3.82	4.37
	2.07	2.83	3.29	3.31	3.80	4.39
	2.07	2.47	3.26	3.30	3.80	4.42

Таблица 3: Протокол измерений времени падения груза при разной массе груза и разным положении утяжелителей на крестовине

9 Расчёт результатов косвенных измерений

		1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
m_1	a	0.088	0.063	0.047	0.037	0.026	0.02
	ε	3.826	2.739	2.043	1.609	1.13	0.87
	M	49.241	49.368	49.449	49.499	49.555	49.585
m_2	a	0.163	0.116	0.096	0.063	0.046	0.031
	ε	7.087	5.043	4.174	2.739	2	1.348
	M	97.724	98.199	98.402	98.736	98.908	99.06
m_3	a	0.237	0.171	0.124	0.096	0.068	0.043
	ε	10.304	7.435	5.391	4.174	2.957	1.87
	M	145.462	146.464	147.178	147.603	148.028	148.407
m_4	a	0.327	0.229	0.132	0.128	0.097	0.072
	ε	14.217	9.957	5.739	5.565	4.217	3.13
	M	192.128	194.112	196.075	196.156	196.783	197.289

Таблица 4: Значение ускорения, углового ускорения, момента силы для каждой риски

	R, м	R^2 , м ²	I кг * м ²
1 риска	0.077	0.005929	13.819
2 риска	0.102	0.010404	20.055
3 риска	0.127	0.016129	35.942
4 риска	0.152	0.023104	36.636
5 риска	0.177	0.031329	47.653
6 риска	0.202	0.040804	63.199

Таблица 5: Расчет радиусов и моментов инерции для каждой риски

1. $a = \frac{2h}{t^2}; h = 0,7\text{М}; t = 3,98\text{с}$
 - $a = \frac{2 \cdot 0,7}{3,98^2} = 0,088\text{М}/\text{с}^2$
2. $\varepsilon = \frac{2a}{d}; d = 0,046\text{М}; a = 0,088\text{М}/\text{с}^2$
 - $\varepsilon = \frac{2 \cdot 0,088}{0,046} = 3,826\text{рад}/\text{с}^2$
3. $M = \frac{md(g-a)}{2}; a = 0,088\text{М}/\text{с}^2; m = 220\text{г}; d = 0,046\text{м}$
 - $M = \frac{220 \cdot 0,088 \cdot (9,81 - 0,088)}{2} = 49,241\text{Н} \cdot \text{м}$
4. $R_n = l_1 + l_0 \cdot (n-1) + \frac{1}{2}b; l_1 = 0,057\text{М}; l_0 = 0,025\text{М}; b = 0,04\text{М}$
 - $R_1 = 0,077\text{М}$
 - $R_1^2 = 0,005929\text{М}^2$
 - $R_2 = 0,102\text{М}$
 - $R_2^2 = 0,010404\text{М}^2$
 - $R_3 = 0,127\text{М}$
 - $R_3^2 = 0,016129\text{М}^2$
 - $R_4 = 0,152\text{М}$
 - $R_4^2 = 0,023104\text{М}^2$
 - $R_5 = 0,177\text{М}$
 - $R_5^2 = 0,031329\text{М}^2$
 - $R_6 = 0,202\text{М}$
 - $R_6^2 = 0,040804\text{М}^2$

10 Расчёт погрешностей измерений

1. $t_{1\text{ср}} = 3,98\text{с}$
 - $S_{t_{1\text{ср}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t^2)}{n(n-1)}} = 0,05\text{М}; n = 3\text{шт}$
 - $\Delta_{\bar{t}_1} = t_{0,95,3} \cdot S_{t_{1\text{ср}}} = 4,3 \cdot 0,05 = 0,215\text{с}$
 - $\Delta_t = \sqrt{\Delta_{\bar{t}_1}^2 + (\frac{2}{3} \cdot 0,2 \cdot t_{1\text{ср}})^2} = 0,573\text{с}$
 - $\varepsilon_{t_{1\text{ср}}} = \frac{\Delta_t}{t_{1\text{ср}}} \cdot 100\% = \frac{0,573}{3,98} \cdot 100\% = 14,4\%$
 - $t = (3,98 \pm 0,573)\text{с}, \varepsilon_t = 14,4\%; \alpha = 0,95$
2. $a = \frac{2h}{t^2}; h = (0,7 \pm 0,01)\text{М}; t = (3,98 \pm 0,573)\text{с}$
 - $\Delta_a = \sqrt{(\frac{\delta a}{\delta h} \cdot \Delta_h)^2 + (\frac{\delta a}{\delta t} \cdot \Delta_t)^2} = \sqrt{(\frac{2}{3,98^2} \cdot 0,01)^2 + (\frac{-2 \cdot 0,7}{3,98^2} \cdot 0,573)^2} = 0,0127\text{М}/\text{с}^2$
 - $\varepsilon_a = \frac{\Delta_a}{a} \cdot 100\% = \frac{0,0127}{0,088} \cdot 100\% = 14,4\%$
 - $a = (0,088 \pm 0,0127)\text{М}/\text{с}^2, \varepsilon_a = 14,4\%, \alpha = 0,95$
3. $\varepsilon = \frac{2a}{d}; d = (0,046 \pm 0,0005)\text{М}; a = (0,088 \pm 0,0127)\text{М}/\text{с}^2$
 - $\Delta_\varepsilon = \sqrt{(\frac{\delta \varepsilon}{\delta a} \cdot \Delta_a)^2 + (\frac{\delta \varepsilon}{\delta d} \cdot \Delta_d)^2} = \sqrt{(\frac{2}{0,046} \cdot 0,0127)^2 + (\frac{-2 \cdot 0,088}{0,046^2} \cdot 0,0005)^2} = 0,55\text{рад}/\text{с}^2$
 - $\varepsilon_\varepsilon = \frac{\Delta_\varepsilon}{\varepsilon} \cdot 100\% = \frac{0,55}{3,826} \cdot 100\% = 14,4\%$
 - $\varepsilon = (3,826 \pm 0,55)\text{рад}/\text{с}^2, \varepsilon_\varepsilon = 14,4\%, \alpha = 0,95$
4. $M = \frac{md(g-a)}{2}, d = (0,046 \pm 0,0005)\text{М}, a = (0,088 \pm 0,0127)\text{М}/\text{с}^2, m = (220 \pm 0,5)\text{г}$
 - $\Delta_M = \sqrt{(\frac{\delta M}{\delta a} \cdot \Delta_a)^2 + (\frac{\delta M}{\delta m} \cdot \Delta_m)^2 + (\frac{\delta M}{\delta d} \cdot \Delta_d)^2} =$
 $\sqrt{(\frac{220 \cdot 0,046}{2} \cdot 0,0127)^2 + (\frac{0,447}{2} \cdot 0,5)^2 + (\frac{2138}{2} \cdot 0,0005)^2} = 0,55\text{Н} \cdot \text{м}$
 - $\varepsilon_m = \frac{\Delta_M}{M} \cdot 100\% = \frac{0,55}{49,241} \cdot 100\% = 1,1\%$
 - $M = (49,241 \pm 0,55)\text{Н} \cdot \text{М}, \varepsilon_M = 1,1\%, \alpha = 0,95$

11 Графики

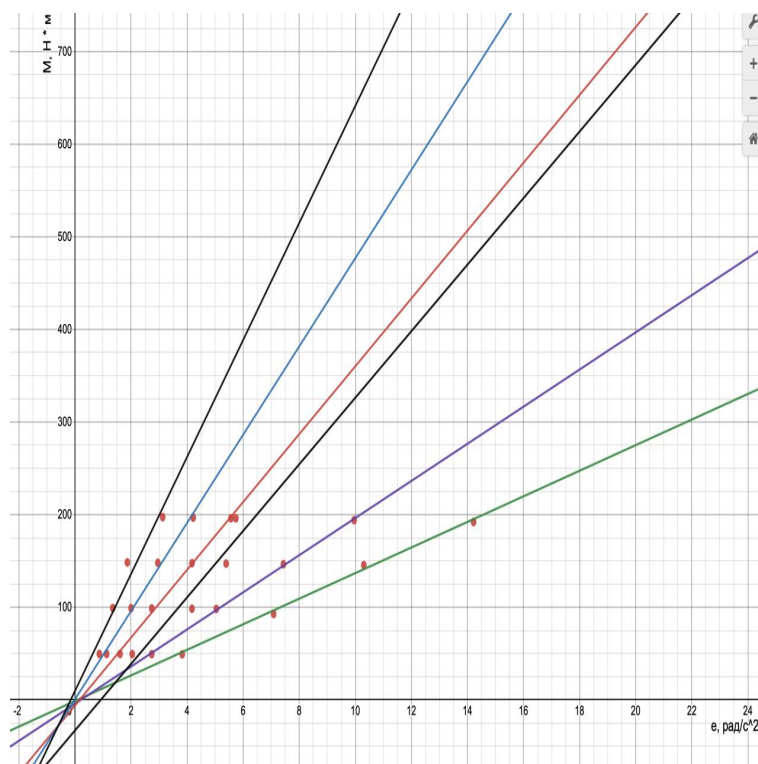


Рис. 2: График зависимости $M(\varepsilon)$

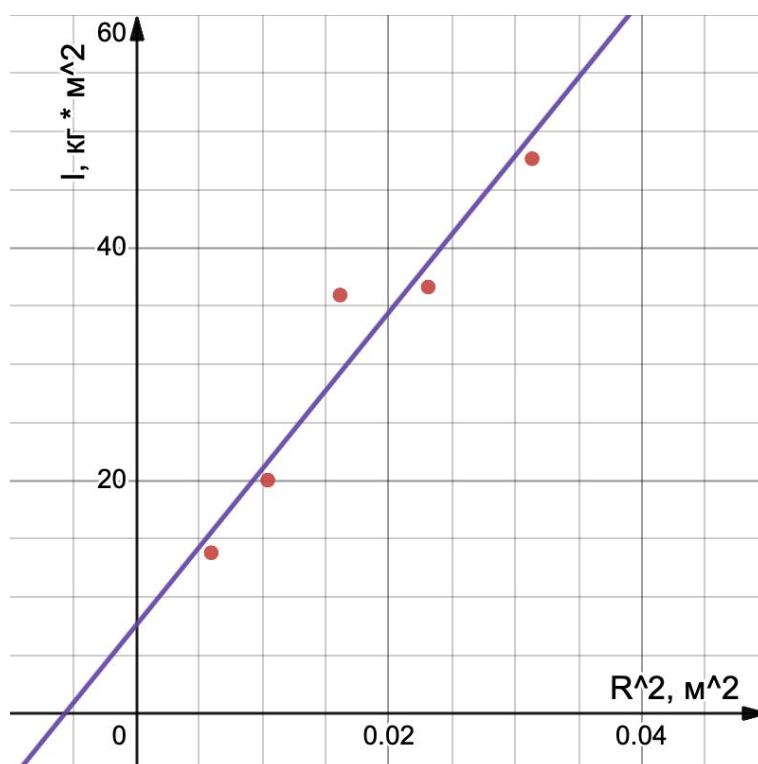


Рис. 3: График зависимости $I(R^2)$

12 Окончательные результаты

1. $t = (3,98 \pm 0,573)\text{с}, \varepsilon_t = 14,4\%, \alpha = 0,95$
2. $a = (0,088 \pm 0,0127)\text{м/с}^2, \varepsilon_a = 14,4\%, \alpha = 0,95$
3. $\varepsilon = (3,826 \pm 0,55)\text{рад/с}^2, \varepsilon_\varepsilon = 14,4\%, \alpha = 0,95$
4. $M = (49,241 \pm 0,55), \varepsilon_m = 1,1\%, \alpha = 0,95$
5. $m_{\text{ут}} = (335,9 \pm 32,5), \varepsilon_m = 9,7\%, \alpha = 0,95$
6. $I = 7,6 + 1340R^2$
7. $I_0 = (7,621 \pm 3,2), \varepsilon_{I_0} = 42\%, \alpha = 0,95$

13 Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы было измерено время падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине. Было найдено среднее время падения груза, рассчитано ускорение a , угловое ускорение ε крестовины и момент силы M натяжения нити. Для каждого положения утяжелителей было найдено расстояние МНК были найдены зависимости $M(\varepsilon)$ и $I(R^2)$ и построены графики этих зависимостей с намешением точек из косвенных измерений.