

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики**

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ФТФ

Группа <u>P3213</u>	К работе допущен _____.
Студент <u>Султанов Артур Радикович</u>	Работа выполнена _____.
Преподаватель <u>Хвастунов Н.Н.</u>	Отчет принят _____.

Отчет по лабораторной работе №1.04

Исследование равноускоренного вращательного движения (маятник
Обербека)

1. Цели работы

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

2. Задачи

1. Измерение времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине.
2. Расчёт ускорения груза, углового ускорения крестовины и момента силы натяжения нити.
3. Расчёт момента инерции крестовины с утяжелителями и момента силы трения.
4. Исследование зависимости момента силы натяжения нити от углового ускорения. Проверка основного закона динамики вращения.
5. Исследование зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения. Проверка теоремы Штейнера.

3. Схема установки

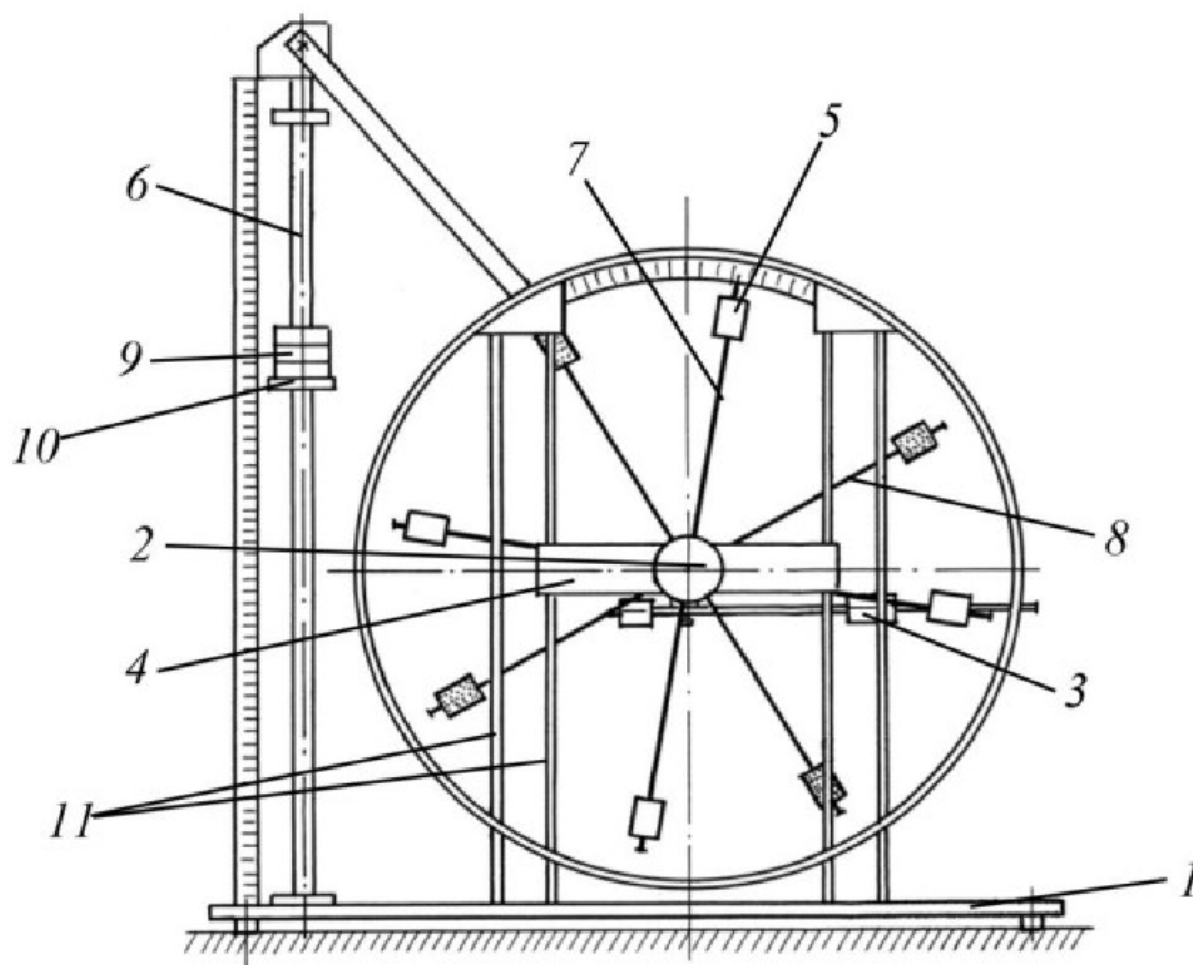


Рис. 1. Схема установки

1. Основание
2. Рукоятка сцепления крестовин
3. Устройства принудительного трения
4. Поперечина
5. Груз крестовины
6. Трубчатая направляющая
7. Передняя крестовина
8. Задняя крестовина
9. Шайбы каретки
10. Каретка
11. Система передних стоек

4. Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
-------	--------------	-------------	-----------------------	---------------------

1	Секундомер	Цифровой прибор для измерения времени	0-90 с	0,5 с
2	Линейка	Прибор для измерения расстояния (длины)	0-0,7 м	0,005 м

5. Результаты измерений

Таблица 1: Протокол измерений времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине

Масса груза, г	Обозначение	Положение утяжелителей					
		1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
$m_1 = 267$	t_1	4,74	5,04	6,10	7,39	8,56	9,35
	t_2	4,53	4,87	5,58	7,52	8,49	9,32
	t_3	4,79	5,17	5,83	7,48	8,62	9,41
	t_{cp}	4,69	5,03	5,84	7,46	8,56	9,36
$m_2 = 487$	t_1	3,09	2,97	3,49	4,33	6,33	6,79
	t_2	3,27	2,69	3,42	5,52	6,30	6,63
	t_3	3,30	3,76	4,21	5,42	6,31	6,81
	t_{cp}	3,22	3,14	3,71	5,09	6,31	6,74
$m_3 = 707$	t_1	2,70	2,97	3,49	4,33	5,13	5,68
	t_2	2,57	2,69	3,42	4,42	5,17	5,60
	t_3	3,03	3,03	3,74	4,34	5,22	5,65
	t_{cp}	2,77	2,90	3,55	4,36	5,17	5,64

$m_4 = 927$	t_1	2,73	2,96	3,15	3,70	4,79	5,23
	t_2	2,65	2,50	3,28	3,58	4,71	5,19
	t_3	2,53	2,63	3,29	3,62	4,85	5,27
	t_{cp}	2,64	2,70	3,24	3,63	4,78	5,23

1) Среднее значение t_{cp} находится по формуле:

$$t_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

Найдем среднее значение для первого ряда измерений:

$$t_{cp} = \frac{(4,74+4,53+4,79)}{3} = 4,69 \text{ с}$$

И найдем погрешность:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - \langle t \rangle_N)^2} \approx 0,113$$

6. Расчет результатов

Таблица 2

Величина	Масса груза, г	Положение утяжелителей					
		1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
$a, \text{ м/с}^2$	267	0,064	0,055	0,041	0,025	0,019	0,016
	487	0,135	0,142	0,102	0,054	0,035	0,031
	707	0,182	0,166	0,111	0,074	0,052	0,044
	927	0,201	0,192	0,133	0,106	0,061	0,051
$\varepsilon, \text{ м/с}^2$	267	2,767	2,406	1,785	1,094	0,831	0,695
	487	5,871	6,174	4,422	2,349	1,529	1,340
	707	7,933	7,238	4,830	3,202	2,277	1,914
	927	8,734	8,350	5,798	4,619	2,664	2,225
$M, \text{ Н} * \text{ м}$	267	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060

	487	0,108	0,108	0,109	0,109	0,110	0,110
	707	0,157	0,157	0,158	0,158	0,159	0,159
	927	0,205	0,205	0,207	0,207	0,208	0,208

Пример расчетов для 1 измерения:

$$a = \frac{2h}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,7}{4,69^2} = 0,063648 \text{ м/с}^2$$

$$\varepsilon = \frac{2a}{d} = \frac{2 \cdot 0,063648}{0,046} = 2,767289 \text{ м/с}^2$$

$$M = \frac{md}{2} (g - a) = \frac{0,267 \cdot 0,046}{2} (9,82 - 0,063648) = 0,059914 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Рассчитаем погрешности:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - \langle t \rangle_N)^2}$$

$$\Delta a = 0,0181$$

$$\Delta \varepsilon = 0,7867$$

$$\Delta M = 0,0001$$

Доверительные интервалы:

Таблица 3

	Интервал	
	от	до
$a_1 \pm \Delta a$	0,0455	0,0817
$a_2 \pm \Delta a$	0,0372	0,0734
$a_3 \pm \Delta a$	0,0229	0,0591
$a_4 \pm \Delta a$	0,0071	0,0433
$a_5 \pm \Delta a$	0,0010	0,0372
$a_6 \pm \Delta a$	-0,0021	0,0341

Таблица 4

	Интервал	
	от	до
$\varepsilon_1 \pm \Delta \varepsilon$	1,9806	3,5540
$\varepsilon_2 \pm \Delta \varepsilon$	1,6191	3,1925
$\varepsilon_3 \pm \Delta \varepsilon$	0,9980	2,5714
$\varepsilon_4 \pm \Delta \varepsilon$	0,3071	1,8805
$\varepsilon_5 \pm \Delta \varepsilon$	0,0440	1,6174
$\varepsilon_6 \pm \Delta \varepsilon$	-0,0919	1,4815

Таблица 5

	Интервал	
	от	до
$M_1 \pm \Delta M$	0,0598	0,0600
$M_2 \pm \Delta M$	0,0599	0,0601
$M_3 \pm \Delta M$	0,0600	0,0602

$M_4 \pm \Delta M$	0,0601	0,0603
$M_5 \pm \Delta M$	0,0601	0,0603
$M_6 \pm \Delta M$	0,0601	0,0603

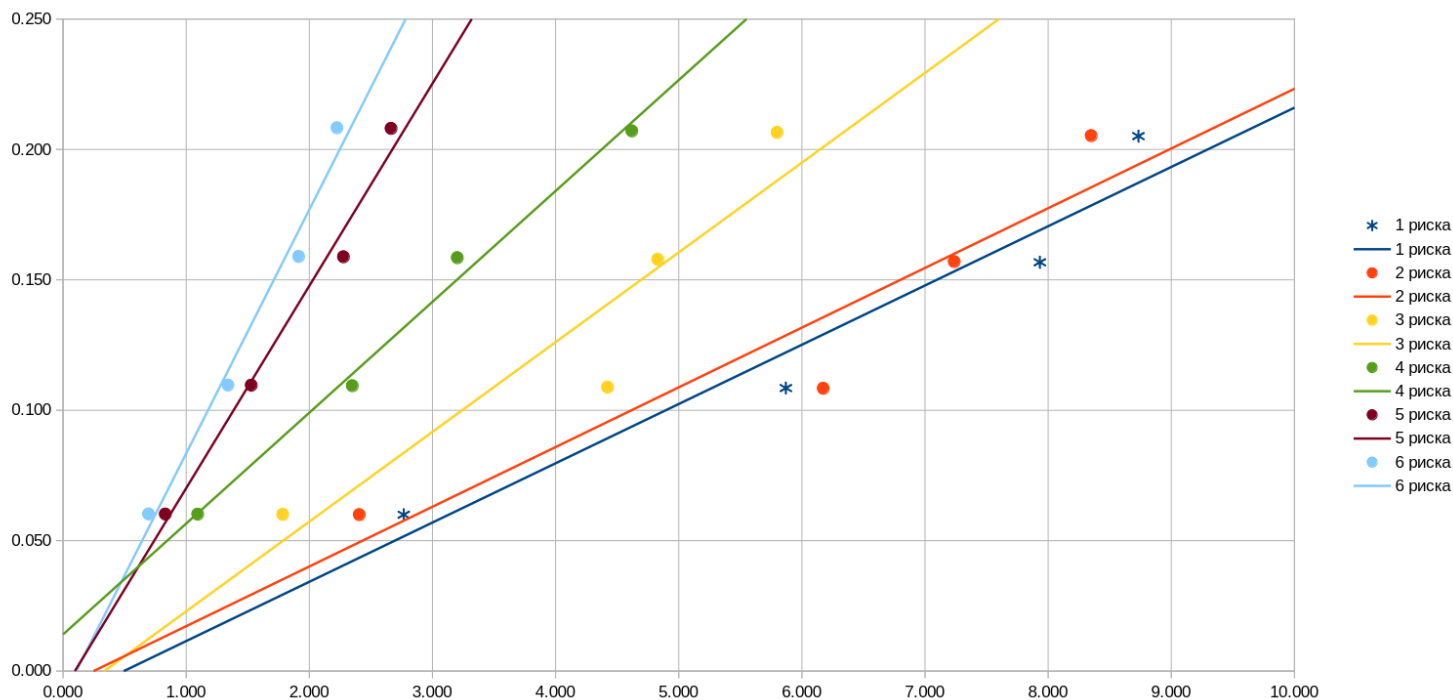


График 1. График зависимости $M(\varepsilon)$

Рассчитаем момент инерции крестовины с утяжелителями (I), момент силы трения ($M_{\text{тр}}$) и расстояние между осью вращения и центром утяжелителя:

$$M = M_{\text{тр}} + I\varepsilon$$

$$R = l_1 + (n - 1)l_o + \frac{1}{2}b$$

Таблица 6

Величина	Положение утяжелителей					
	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
$R, \text{ м}$	0,077	0,102	0,127	0,152	0,177	0,202
$R^2, \text{ м}^2$	0,005929	0,010404	0,016129	0,023104	0,031329	0,040804
$I, \text{ кг} \cdot \text{ м}$	0,0227	0,0229	0,0345	0,0425	0,0776	0,9340

$M_{\text{тр}}, \text{ Н * м}$	0,0113	0,0056	0,0118	0,0137	0,0075	0,0100
--------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Определим значения I_o и $m_{\text{ут}}$ зависимости $I = I_o + 4m_{\text{ут}}R^2$ (с помощью МНК):

$$I_o = 0,0021 \text{ Н * м}$$

$$m_{\text{ут}} = 0,55 \text{ кг}$$

Вычислим погрешности этих измерений:

$$\Delta I_o \approx 0,017$$

$$\Delta m_{\text{ут}} \approx 0,163$$

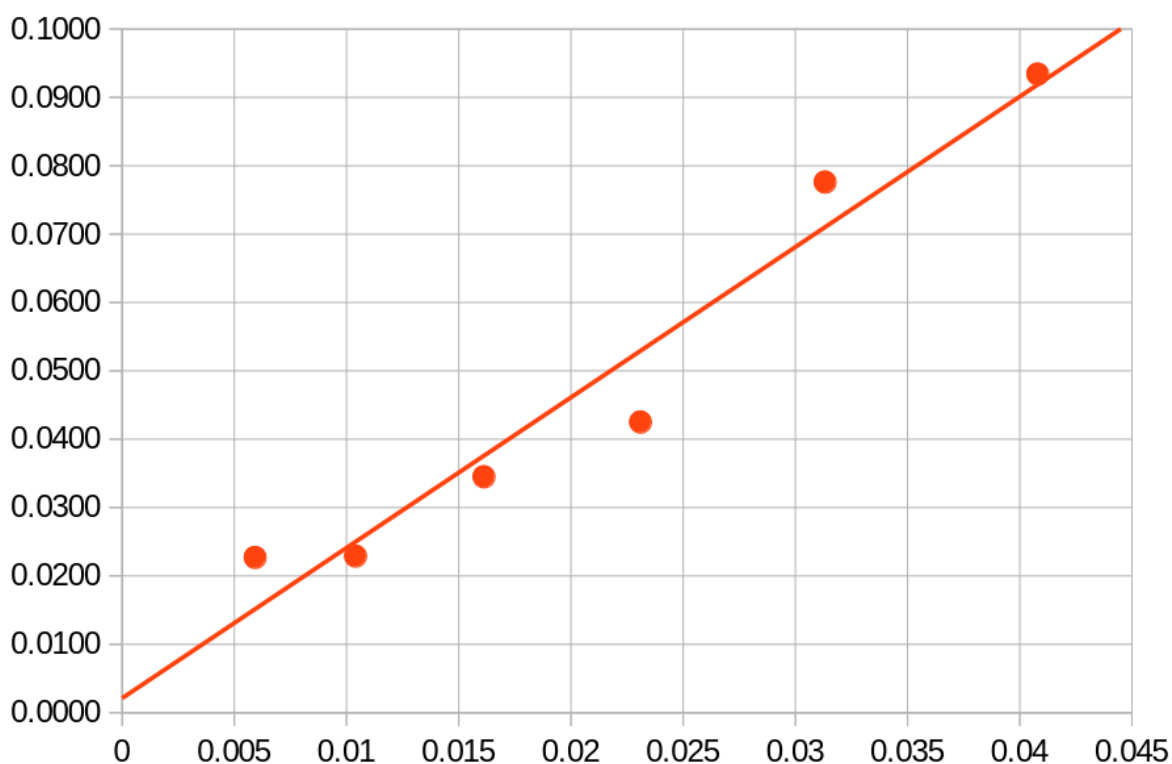


График 2. График зависимости $I(R^2)$

7. Выводы

В рамках лабораторной работы были произведены измерения времени падения груза при различных массах груза и различных положениях утяжелителей на крестовине. На основе полученных данных рассчитаны ускорение груза, угловое ускорение крестовины и момент силы натяжения

нити и построен аппроксимированный график зависимости момента от углового ускорения (по одному на каждое положение утяжелителей). Все графики, несмотря на наличие погрешностей, носят линейный характер, что подтверждает основной закон динамики вращения. После был построен график зависимости момента инерции крестовины от квадрата расстояния между осью вращения и центром утяжелителя. Таким образом, на практике проверено наличие зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения.