

Группа ФИЗ-1 Э БИТ 1.2.1 К работе допущены _____

Студенты Суханкулиев Мухаммет
Шкляев Артем Романович Работа выполнена _____

Преподаватель Иванов Виктор Юрьевич Отчет принят _____

Рабочий протокол и 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, решаемые при выполнении работы.

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. Объект исследования.

Вращательное движение.

4. Метод экспериментального исследования.

Исследование с использованием экспериментальной установки.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Данные установки:

Масса каретки	$(47,0 \pm 0,5) \text{ г}$
Масса шайбы	$(220,0 \pm 0,5) \text{ г}$
Масса грузов на крестовине	$(408,0 \pm 0,5) \text{ г}$
Расстояние первой риски от оси	$(57,0 \pm 0,5) \text{ мм}$
Расстояние между рисками	$(25,0 \pm 0,2) \text{ мм}$
Диаметр ступицы	$(46,0 \pm 0,5) \text{ мм}$
Диаметр груза на крестовине	$(40,0 \pm 0,5) \text{ мм}$
Высота груза на крестовине	$(40,0 \pm 0,5) \text{ мм}$

Рабочие формулы:

Второй закон Ньютона:

$$ma = mg - T$$

Ускорение:

$$a = \frac{2h}{t^2}$$

Угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{2a}{d}$$

Момент силы натяжения нити:

$$M = \frac{md}{2}(g - a)$$

$$M = M_{\text{тр}} + I\varepsilon$$

Теорема Штейнера:

$$I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2$$

Расстояние между осью вращения и центром утяжелителя:

$$R = l_1 + (n - 1)l_0 + \frac{1}{2}b$$

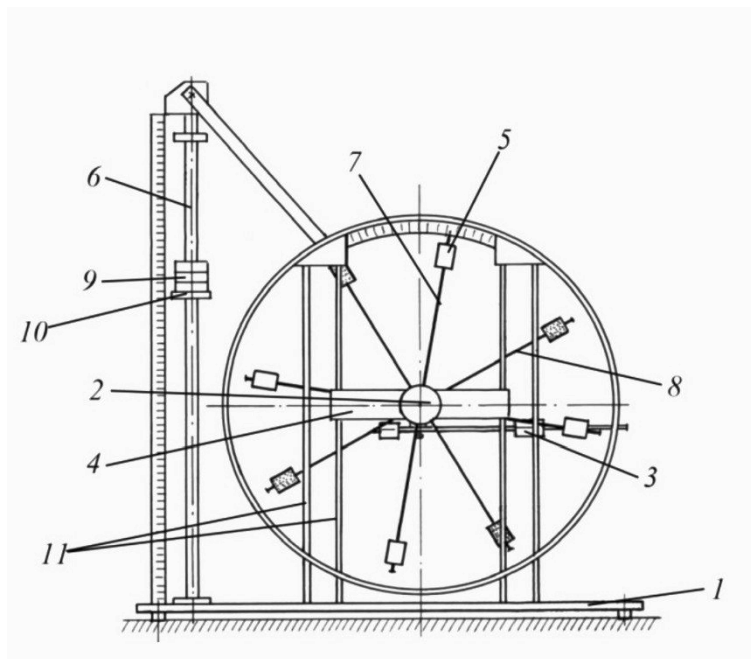
Также формулы из «Обработка экспериментальных данных» (см. список использованных источников).

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер	Электронный	0–12 с	0,05 с

7. Схема установки

Экспериментальная установка



Стенд лаборатории механики (общий вид)

В состав установки входят:

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

8. Результаты прямых измерений и их обработки.

<i>Масса груза, г</i>	<i>Положение утяжелителей</i>					
	<i>1 риска</i>	<i>2 риска</i>	<i>3 риска</i>	<i>4 риска</i>	<i>5 риска</i>	<i>6 риска</i>
220,0	t_1 5,21	5,88	6,57	7,93	9,09	9,9
	t_2 5,54	6,03	6,45	8,36	9,14	10
	t_3 5,25	6,16	6,46	8,36	9,3	10,24
	t_{cp} 5,333	6,023	6,493	8,217	9,177	10,047
440,0	3,41	4,2	4,7	5,77	6,34	7,33
	3,55	4,3	4,96	5,69	6,46	6,99
	3,36	4,35	4,86	5,74	6,23	6,96
	3,44	4,283	4,84	5,733	6,343	7,093
660,0	2,89	3,3	3,85	4,52	5,03	5,85
	2,77	3,57	3,64	4,32	5,27	5,77
	3	3,29	3,83	4,35	5,32	5,78
	2,887	3,387	3,773	4,397	5,207	5,8
880,0	2,62	2,97	3,4	3,81	4,54	4,93
	2,68	2,96	3,49	3,93	4,34	5,03
	2,34	3,09	3,37	3,88	4,4	5,02
	2,547	3,007	3,42	3,873	4,427	4,993

9. Расчет результатов косвенных измерений.

<i>Положение утяжелителей</i>	<i>Масса груза, г</i>	$\alpha, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$\varepsilon, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$M, \text{Н} \cdot \text{м}$
<i>1 риска</i>	220	0,049	2,14	0,049
	440	0,118	5,144	0,098
	660	0,168	7,305	0,146
	880	0,216	9,385	0,194
<i>2 риска</i>	220	0,039	1,678	0,049
	440	0,076	3,318	0,099
	660	0,122	5,307	0,147
	880	0,155	6,733	0,195
<i>3 риска</i>	220	0,033	1,444	0,049
	440	0,06	2,598	0,099
	660	0,098	4,275	0,147
	880	0,12	5,204	0,196
<i>4 риска</i>	220	0,021	0,902	0,05
	440	0,043	1,852	0,099
	660	0,072	3,149	0,148
	880	0,093	4,057	0,197
<i>5 риска</i>	220	0,017	0,723	0,05
	440	0,035	1,513	0,099
	660	0,052	2,245	0,148
	880	0,071	3,106	0,197
<i>6 риска</i>	220	0,014	0,603	0,05
	440	0,028	1,21	0,099
	660	0,042	1,809	0,148
	880	0,056	2,441	0,197

Находим $M_{\text{тр}}$ и I Методом наименьших квадратов

	<i>1 риска</i>	<i>2 риска</i>	<i>3 риска</i>	<i>4 риска</i>	<i>5 риска</i>	<i>6 риска</i>
$I, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,02	0,028	0,037	0,045	0,062	0,081
$M_{\text{тр}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	0,002	0,002	-0,003	0,01	0,005	0,001

	<i>1 риска</i>	<i>2 риска</i>	<i>3 риска</i>	<i>4 риска</i>	<i>5 риска</i>	<i>6 риска</i>
$R, \text{м}$	0,077	0,102	0,127	0,152	0,177	0,202
$R^2, \text{м}^2$	0,006	0,01	0,016	0,023	0,031	0,041
$I, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,02	0,028	0,037	0,045	0,062	0,081

Находим I_0 и $m_{\text{ут}}$ Методом наименьших квадратов

$I_0, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$m_{\text{ут}}, \text{кг}$
0,009	0,426

10. Расчет погрешностей измерений.

1) Расчёт погрешностей первого значения t_{cp} :

Оценка Среднего квадратичного отклонения t :

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,104$$

$\Delta_{ux} = 0,05 \text{ с}$; $t_{a,n} = 4,302653$ (коэфф. Стьюдента при $\alpha=0,95$)

Случайная погрешность t :

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{a,n} \cdot S_{\bar{x}} = 0,447$$

Абсолютная погрешность t :

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta_{\bar{x}})^2 + \left(\frac{2}{3} \Delta_{ux}\right)^2} = 0,449$$

Относительная погрешность t :

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% = 8,41\%$$

Абсолютная погрешность t_{cp} :

$$\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \cdot \Delta_a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \cdot \Delta_b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} \cdot \Delta_c\right)^2 + \dots} = 0,2745$$

Относительная погрешность первого t_{cp} :

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta_z}{\bar{z}} \cdot 100\% = 5,147\%$$

2) Расчёт погрешностей первых значений a , ε , M :

Относительная погрешность первого a :

$$\varepsilon_z = \sqrt{\left(\frac{\delta \ln z}{\delta a} \cdot \Delta_a\right)^2 + \left(\frac{\delta \ln z}{\delta b} \cdot \Delta_b\right)^2 + \left(\frac{\delta \ln z}{\delta c} \cdot \Delta_c\right)^2 + \dots} \cdot 100\% = 10,57\%$$

Абсолютная погрешность первого a :

$$\Delta_z = \frac{\bar{Z} \cdot \varepsilon_z}{100\%} = 0,005$$

Относительная погрешность первого ε :

$$\varepsilon_\varepsilon = 8,45\%$$

Абсолютная погрешность первого ε :

$$\Delta_\varepsilon = 0,181$$

Относительная погрешность первого M :

$$\varepsilon_M = 8,37\%$$

Абсолютная погрешность первого M :

$$\Delta_M = 0,004$$

$$a = 0,049 \pm 0,005 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \varepsilon_a = 10,57\%; \alpha = 0,95$$

$$\varepsilon = 2,14 \pm 0,181 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \varepsilon_\varepsilon = 8,45\%; \alpha = 0,95$$

$$M = 0,049 \pm 0,004 \text{ Н} \cdot \text{м}; \varepsilon_M = 8,37\%; \alpha = 0,95$$

3) Расчёт погрешностей I_0 , m_{yT} :

$$d_i = y_i - (a + bx_i)$$

$$\sum d_i^2 = 0,87$$

$$D = \sum (x_i - \bar{x})^2 = 0,000866$$

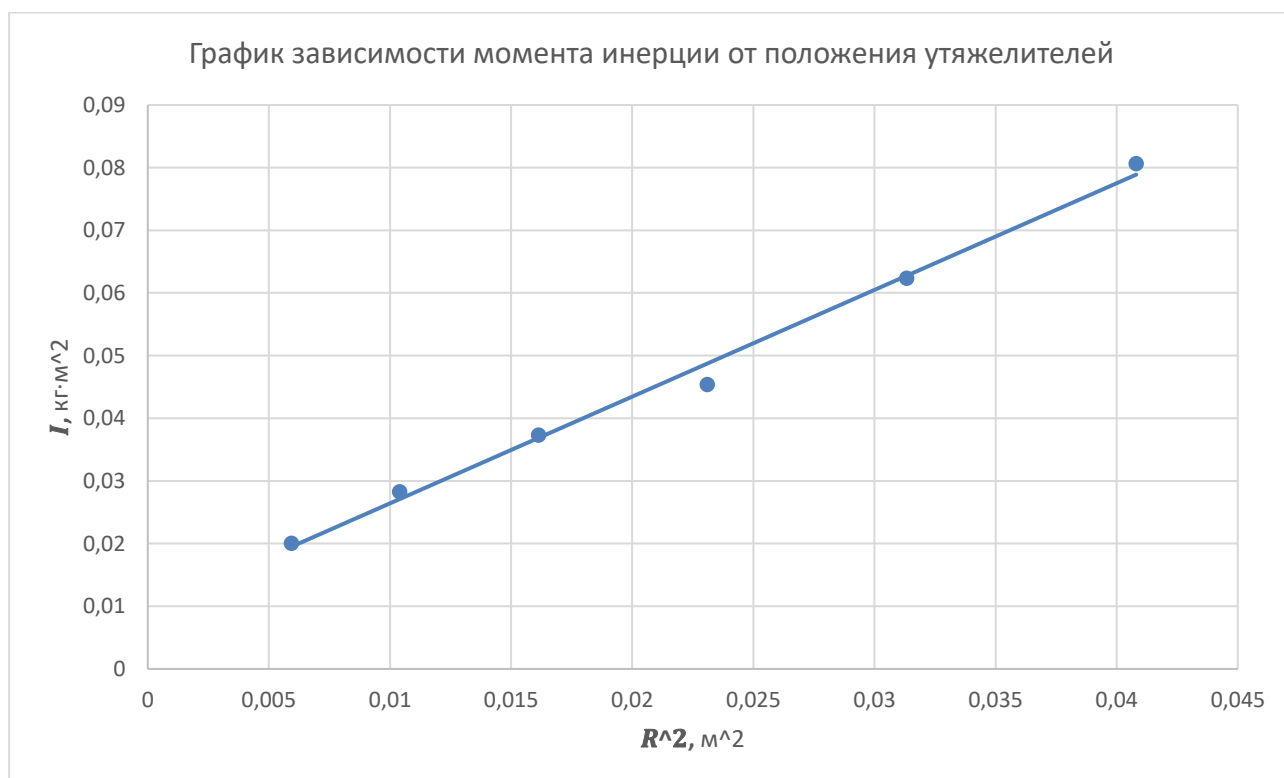
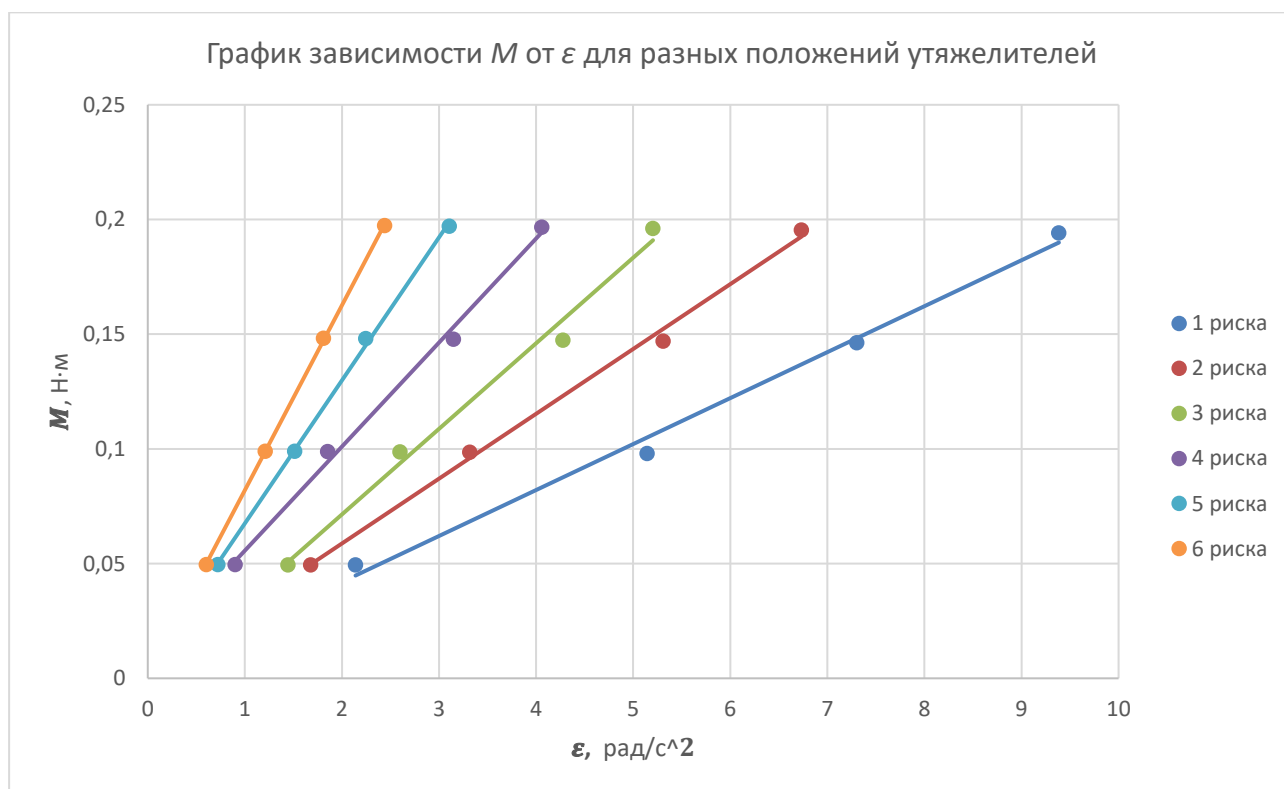
$$S_b^2 = \frac{1}{D} \cdot \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 0,000129$$

$$S_a^2 = \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{D}\right) \cdot \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 0,000000864$$

$$\Delta_{I_0} = 2S_a = 0,0019$$

$$\Delta_{m_{\text{yT}}} = 2S_b = 0,023$$

11. Графики.



12. Окончательные результаты.

$$a = 0,049 \pm 0,005 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \varepsilon_a = 10,57\%; \alpha = 0,95$$

$$\varepsilon = 2,14 \pm 0,181 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \varepsilon_\varepsilon = 8,45\%; \alpha = 0,95$$

$$M = 0,049 \pm 0,004 \text{ Н} \cdot \text{м}; \varepsilon_M = 8,37\%; \alpha = 0,95$$

$$I_0 = 0,009 \pm 0,002 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$m_{\text{ут}} = 0,426 \pm 0,023 \text{ кг}$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В результате лабораторной работы были проведены многократные измерения, с помощью которых был проверен основной закон динамики вращательного движения, отражающего зависимость момента инерции от положения утяжелителей относительно оси вращения. На основе этого была проверена теорема Штейнера, что момент инерции относительно произвольной оси равен сумме момента инерции относительно оси, параллельной данной и проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями. После обработки всех полученных результатов измерений было установлено соответствие истинного значения массы утяжелителя его значению, полученному экспериментальным путём.

14. Дополнительные задания.

Контрольные вопросы

1. Что такое инерция?
2. Как в данной лабораторной работе угловое ускорение зависит от линейного ускорения груза?
3. Как звучит основной закон динамики вращательного движения?
4. О чём говорит теорема Штейнера?
5. Моменты каких сил участвуют в основном законе динамики вращательного движения для данной работы?
6. Как изменятся параметры установки, если увеличить расстояние утяжелителей от оси?
7. Что такое момент инерции? Как его можно найти?
8. Что такое момент силы? Как его можно найти?
9. В каких единицах измеряется момент инерции? В каких единицах измеряется момент силы?
10. Как изменятся параметры установки, если увеличить массу утяжелителей?

15. Выполнение дополнительных заданий.

1. Инерция — это свойство тела сохранять свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют внешние силы, или изменять свое состояние движения под действием внешних сил.
2. В данной лабораторной работе угловое ускорение крестовины зависит от линейного ускорения груза:

$$\varepsilon = \frac{2a}{d}$$

Угловое ускорение прямо пропорционально линейному ускорению груза и обратно пропорционально расстоянию между осью вращения и линией движения груза.

3. Основной закон динамики вращательного движения, также известный как второй закон Ньютона для вращательного движения, звучит следующим образом:
“Момент внешних сил, действующих на тело, равен произведению момента инерции тела на его угловое ускорение.”:

$$M = I \cdot \varepsilon$$

4. Теорема Штейнера, также известная как теорема о переносе, говорит о том, как изменяется момент инерции твердого тела при переносе оси вращения:

$$I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2$$

Теорема Штейнера позволяет учесть смещение оси вращения относительно центра масс при расчете момента инерции.

5. Момент силы натяжения нити (M): это сила, которая действует на груз, подвешенный на нити.

Момент силы трения ($M_{\text{тр}}$): это сила, которая противодействует вращению крестовины. В данной работе она учитывается при расчете общего момента сил, действующих на крестовину.

Момент инерции (I): это мера инертности тела при вращательном движении. Момент инерции зависит от распределения массы тела относительно оси вращения (I_0 - момент инерции крестовины без утяжелителей).

6. Момент инерции (I): Момент инерции увеличится, так как он прямо пропорционален квадрату расстояния от оси вращения до массы (утяжелителя).

Угловое ускорение (ε): Угловое ускорение уменьшится, так как оно обратно пропорционально моменту инерции.

Момент силы натяжения нити (M): Момент силы натяжения нити увеличится, так как он прямо пропорционален расстоянию от оси вращения до линии, по которой движется груз.

7. Момент инерции — это физическая величина, характеризующая инертность тела при вращательном движении вокруг некоторой оси. Он зависит от массы тела и от распределения этой массы относительно оси вращения.

В реальных условиях момент инерции часто определяют экспериментально или используют теорему Штейнера для переноса оси вращения.

8. Момент силы — это величина, характеризующая вращательное воздействие силы на тело. Он определяет, насколько сильно данная сила может заставить тело вращаться вокруг некоторой оси.

В данной лабораторной работе момент силы определяется как произведение силы натяжения нити на расстояние от оси вращения до линии, по которой движется груз. Это расстояние равно половине расстояния между утяжелителями на крестовине.

$$M = \frac{md}{2}(g - a)$$

9. Момент инерции измеряется в единицах $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ (килограмм-метр в квадрате), что отражает его физический смысл как меру инертности тела при вращении вокруг оси.

Момент силы измеряется в единицах $\text{Н} \cdot \text{м}$ (ньютон-метр), что отражает его физический смысл как меру вращательного воздействия силы на тело. Это аналогично работе, которую сила выполняет при перемещении тела на определенное расстояние, но применяется к вращательному движению.

10. Момент инерции (I): Момент инерции увеличится, так как он прямо пропорционален массе утяжелителей.

Угловое ускорение (ε): Угловое ускорение уменьшится, так как оно обратно пропорционально моменту инерции.

Момент силы натяжения нити (M): Момент силы натяжения нити увеличится, так как он прямо пропорционален массе утяжелителей.

Список использованных источников

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики.— 8-е изд., стер. — М.: Издательский центр "Академия 2009.
2. Курепин В.В., Баранов И. В. Обработка экспериментальных данных: Методические указания к лабораторным работам. – СПб, 2003.—57 с.