

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе №9

**«Изучение законов вращательного движения
на маятнике Обербека»**

Студент(ка) _____

Группа _____

Преподаватель _____

Дата _____

1. Расчетные формулы:

1.1. Момент силы натяжения нити

$$M = \frac{\langle d \rangle m}{2} \left(g - \frac{2h_1}{\langle t \rangle^2} \right),$$

где $\langle d \rangle =$ _____;
 $m = m_0 + Nm_n =$ _____;
 $N = 0, 1, 2, 3, 4$ (число перегрузков); $h_1 =$ _____;
 $g =$ _____;
 $\langle t \rangle =$ _____.

1.2. Угловое ускорение маятника

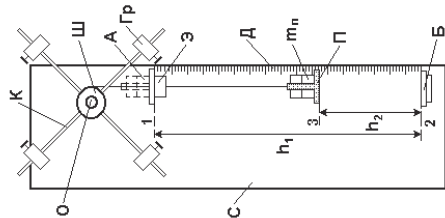
$$\varepsilon = \frac{4h_1}{\langle d \rangle \cdot \langle t \rangle^2}.$$

1.3. Момент инерции маятника (используется в задаче 2)

$$\langle I \rangle = \frac{m \langle d \rangle^2}{4h_1} \left(g \langle t \rangle^2 < h_2 > \right) + \frac{m \langle d \rangle^2}{4h_1} \left(h_1 + \langle h_2 \rangle \right),$$

где $m = m_0 + Nm_n$; $\langle h_2 \rangle =$ _____.

2. Эскиз установки.



$$\Delta I_1 = \gamma I_1 < I_1 \rangle = \dots \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

4.18. Окончательный результат:

$$I_1 = \langle (I_1) \pm \Delta I_1 \rangle = (\dots \pm \dots) \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \quad P = 0,95.$$

4.19. Вычисление теоретического значения момента инерции четырех цилиндров относительно оси вращения в предположении, что они являются материальными точками:

$$I_2 = 4m_1 R^2 = \dots \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

где m_1 – масса цилиндра; R – расстояние от оси вращения до центра тяжести цилиндра, расположенного на крестовине.

4.20. Сравнение результата I_2 с полученным из опыта I_1 и оценка относительной погрешности, возникающей при допущении, что цилиндры являются материальными точками:

$$\delta = \left[\frac{\langle I_1 \rangle - I_2}{\langle I_1 \rangle} \right] \cdot 100 \% = \dots$$

4.21. Выводы.

Границы систематической и полной погрешности:

$$\theta_t = \theta_{\text{осн}} = \dots \text{ с}; \quad \theta_{h_2} = \theta_{\text{осн}} = 0,5 \text{ см};$$

$$\Delta_t = \sqrt{\theta_t^2 + \varepsilon_t^2} = \dots \text{ с}; \quad \Delta_{h_2} = \sqrt{\theta_{h_2}^2 + \varepsilon_{h_2}^2} = \dots \text{ см}.$$

4.12. Вычисление момента инерции $\langle I \rangle$ крестовины с четырьмя цилиндрами по формуле п. 1.3:

$$\langle I \rangle = \underline{\hspace{10em}} = \text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

4.13. Расчет момента инерции $\langle I_1 \rangle$ четырех цилиндров:

$$\langle I_1 \rangle = \langle I \rangle - \langle I_0 \rangle = \dots \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

4.14. Вычисление границы относительной погрешности определения I :

$$\gamma_I = \frac{\Delta_I}{\langle I \rangle} = \sqrt{\left(\frac{2h_1 + h_2}{h_1 + h_2} \right)^2 \left(\frac{\Delta_{h1}}{h_1} \right)^2 + \frac{\Delta_{h1}^2}{(h_1 + h_2)^2} + \left(\frac{\Delta_{h2}}{h_2} \right)^2 + 4 \left(\frac{\Delta_t}{t} \right)^2 + \left(\frac{\Delta_d}{d} \right)^2 + \left(\frac{\Delta_m}{m} \right)^2},$$

где $\Delta_m = 0,2 \text{ г}$.

$$\gamma_I = \sqrt{\hspace{10em}} = \dots \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

4.15. Граница абсолютной погрешности определения I равна

$$\Delta_I = \gamma_I \langle I \rangle = \dots \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

4.16. Граница относительной погрешности результата измерения момента инерции I_1 четырех цилиндров вычисляется по формуле

$$\gamma_{I_1} = \frac{\Delta_{I_1}}{\langle I_1 \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{I_0}}{\langle I_0 \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\Delta_I}{\langle I \rangle} \right)^2} = \dots$$

4.17. Граница абсолютной погрешности результата измерения равна

3. Средства измерений и их характеристики.

Таблица 1

Наименование средства измерения и его номер	Предел измерения или номинальное значение	Цена деления шкалы	Предел основной погрешности, $\theta_{\text{осн}}$
Маятник Обербека: -линейная шкала -электросекундомер			
Штангенциркуль или линейка			
Установка № ...			

4. Результаты измерений.

Задача 1. Определение момента инерции I_0 вала и крестовины без цилиндров и момента сил трения

4.1. Массы платформ m_0 перегрузков m_n и их погрешности приводятся в таблице, прилагаемой к установке:

$$m_0 = \dots \text{ г}; \quad \Delta_{m_0} = \dots \text{ г};$$

$$m_n = \dots \text{ г}; \quad \Delta_{m_n} = \dots \text{ г}.$$

$$h_1 = \dots \text{ см}; \quad \Delta_{h_1} = 0,5 \text{ см}.$$

4.3. Измерение диаметра шкива (диаметр шкива и погрешность Δ_d могут быть заданы преподавателем): $\langle d \rangle = \dots \text{ мм}; \Delta_{\langle d \rangle} = \dots \text{ мм}.$

4.4. Измерение времени опускания груза, расчет ε и M .

Таблица 2

Масса опускающегося груза, г	m_0	$m_1 = m_0 + m_n$	$m_2 = m_0 + 2m_n$	$m_3 = m_0 + 3m_n$	$m_4 = m_0 + 4m_n$
Время опускания груза t , с					
$\langle t \rangle$, с					
Угловое ускорение ε , рад/с ²					
Момент силы натяжения M , Н·м					

4.5. Построение графика $M(\varepsilon)$ (прилагается к отчету), определение I_0 и $M_{тр}$:

$$I_0 = \dots ;$$

$$M_{тр} = \dots ;$$

Примечание. Расчет I_0 и $M_{тр}$ может быть выполнен с использованием метода наименьших квадратов (МНК).

4.6. Расчет границ погрешностей результатов измерений.

а) если использовался метод МНК (обработка результатов на компьютере)

$$\varepsilon_{I_0} = \dots ; \quad \varepsilon_{M_{тр}} = \dots$$

б) если метод МНК не использовался, доверительные границы случайных погрешностей рассчитываются по формулам

$$\varepsilon_{I_0} = t_{P,n} \cdot S_{<I_0>} = \dots ; \quad \varepsilon_{M_{тр}} = t_{P,n} \cdot S_{<M_{тр}>} = \dots$$

где средние квадратические отклонения $S_{<I_0>}$ и $S_{<M_{тр}>}$ задаются преподавателем, $t_{P,n}$ – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ и числе наблюдений n (в нашем случае $n = 3$).

Неисключены систематическими погрешностями пренебрегаем. Следовательно,

$$\Delta_{I_0} = \varepsilon_{I_0} ;$$

$$\Delta_{M_{тр}} = \varepsilon_{M_{тр}} .$$

4.7. Окончательные результаты:

$$I_0 = (I_0 \pm \Delta_{I_0}) = (\dots \pm \dots) \quad \text{кг}\cdot\text{м}^2, \quad P = 0,95;$$

$$M_{тр} = (M_{тр} \pm \Delta_{M_{тр}}) = (\dots \pm \dots) \quad \text{Н}\cdot\text{м}, \quad P = 0,95.$$

4.8. Выводы.

Задача 2. Определение момента инерции системы четырех цилиндров, симметрично расположенных относительно оси вращения

4.9. Измерение массы цилиндра m_1 (приводится в таблице, прилагаемой к установкам) и массы m падающего груза:

$$m_1 = \dots \text{ г}; \quad \Delta_{m1} = \dots \text{ г} .$$

$$m = m_0 + N \cdot m_n \quad (\text{рекомендуется } N = 4).$$

4.10. Измерение расстояния R от оси вращения до центра тяжести цилиндра на крестовине:

$$R = \dots \text{ см}; \quad \Delta_R = 1,1 \sqrt{\theta_{\text{отс}}^2 + \theta_{\text{отс}}^2} = \dots \text{ см} .$$

4.1.1. Измерение времени t опускания груза и высоты h_2 его подъема.

Таблица П. 3

№ п/п	t_i , с	$t_i - \langle t \rangle$, с	$(t_i - \langle t \rangle)^2$, с ²	h_{2i} , см	$h_{2i} - \langle h_2 \rangle$, см	$(h_{2i} - \langle h_2 \rangle)^2$, см ²

$$\langle t \rangle = \dots \text{ с}; \quad \sum_{i=1}^n (t_i - \langle t \rangle)^2 = \dots \text{ с}^2;$$

$$\langle h_2 \rangle = \dots \text{ см}; \quad \sum_{i=1}^n (h_{2i} - \langle h_2 \rangle)^2 = \dots \text{ см}^2 .$$

Средние квадратические отклонения $S_{<t>}$ и $S_{<h_2>}$:

$$S_{<t>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \langle t \rangle)^2}{n(n-1)}} = \dots \text{ с}; \quad S_{<h_2>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_{2i} - \langle h_2 \rangle)^2}{n(n-1)}} = \dots \text{ см} .$$

Доверительные границы случайных погрешностей ($P = 0,95$):

$$\varepsilon_t = t_{P,n} S_{<t>} = \dots \text{ с}; \quad \varepsilon_{h_2} = t_{P,n} S_{<h_2>} = \dots \text{ см} .$$