

**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  $\langle d \rangle$  – \_\_\_\_\_;

$m = m_0 + Nm_{\text{п}}$  – \_\_\_\_\_;

$N = 0, 1, 2, 3, 4$  (число перегрузков);  $h_1$  – \_\_\_\_\_;

$g$  – \_\_\_\_\_;

$\langle t \rangle$  – \_\_\_\_\_.

### 1.2. Угловое ускорение маятника

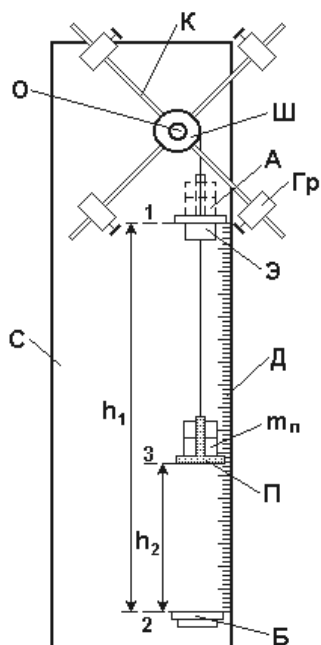
$$\varepsilon = \frac{4h_1}{\langle d \rangle \cdot \langle t \rangle^2}.$$

### 1.3. Момент инерции маятника (используется в задаче 2)

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

где  $m = m_0 + Nm_{\text{п}}$ ;  $\langle h_2 \rangle$  – \_\_\_\_\_.

## 2. Эскиз установки.



### 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, $\theta_{осн}$
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 платформы  $m_0$  перегрузков  $m_n$  и их погрешности приводятся в таблице, прилагаемой к установке:

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

$$m_{п} = \dots \text{ Г}; \quad \Delta_{m_{п}} = \dots \text{ Г}.$$

4.2. Измерение высоты опускания груза:

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

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

4.4. Измерение времени опускания груза, расчет  $\varepsilon$  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 $\varepsilon$ , рад/с <sup>2</sup>					
Момент силы натяжения $M$ , Н·м					

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

$$I_0 = \quad ;$$

$$M_{тр} = \quad ;$$

**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)

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

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

$$\varepsilon_{I_0} = t_{P,n} \cdot S_{\langle I_0 \rangle} = \quad ; \quad \varepsilon_{M_{тр}} = t_{P,n} \cdot S_{\langle M_{тр} \rangle} = \quad ,$$

где средние квадратические отклонения  $S_{\langle I_0 \rangle}$  и  $S_{\langle M_{тр} \rangle}$  задаются преподавателем,

$t_{P,n}$  – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности  $P = 0,95$  и числе наблюдений  $n$  (в нашем случае  $n = 3$ ).

Неисключенными систематическими погрешностями пренебрегаем. Следовательно,

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

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

4.7. Окончательные результаты:

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

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

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:

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

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

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

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

4.11. Измерение времени  $t$  опускания груза и высоты  $h_2$  его подъема.

Таблица П. 3

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

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

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

Средние квадратические отклонения  $S_{\langle t \rangle}$  и  $S_{\langle h_2 \rangle}$ :

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

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

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

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:

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

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  $I$ :

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

где  $\Delta_m = 0,2 \text{ г}$ .

$$\gamma_I = \sqrt{\text{-----}} = \text{-----}.$$

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

$$\Delta_{I_1} = \gamma_{I_1} \langle I_1 \rangle = \dots \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

4.18. Окончательный результат:

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

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

$$I_2 = 4m_1R^2 = \dots \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

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.