

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ПРАКТИКУМ  
ПО МЕХАНИКЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ**

*13.03.02. – Электроэнергетика и электротехника*

*бакалавр*

**СТАВРОПОЛЬ  
2021**

**УДК 53(076)**

**ББК 22.3я 7**

**Б 742**

Рецензенты:

Кандидат физико-математических наук, доцент СКФУ Хащенко А.А.

Кандидат технических наук, доцент СтГАУ Рубцова Е.И.

Печатается по рекомендации  
методической комиссии  
Электроэнергетического факультета  
(протокол № 1 от 1 сентября 2021 г.)

**Яновский А.А., Афанасьев М.А., Мастепаненко М.А.** Практикум по механике и молекулярной физике. Учебное пособие для студентов аграрных высших учебных заведений. – Ставрополь, 2021. - 40 с.

**УДК 53(076)**

**ББК 22.3я7**

**Б 742**

© Яновский А.А., Афанасьев М.А., Мастепаненко М.А.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                       |    |
|-----------------------|----|
| Введение              | 4  |
| Лабораторная работа 1 | 5  |
| Лабораторная работа 2 | 9  |
| Лабораторная работа 3 | 15 |
| Лабораторная работа 4 | 19 |
| Лабораторная работа 5 | 23 |
| Литература            | 40 |

## 1. Цель дисциплины

Целями освоения дисциплины «Физика» являются:

Освоение знаний о механических, тепловых, электромагнитных и квантовых явлениях; величинах, характеризующих эти явления; законах, которым они подчиняются; методах научного познания природы.

Овладение умениями проводить наблюдения природных явлений, описывать и обобщать результаты наблюдений, использовать простые измерительные приборы; применять полученные знания для объяснения принципов действия технических устройств; для решения физических задач.

Развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей в ходе решения физических задач и выполнения лабораторных работ; способности к самостоятельному приобретению новых знаний в соответствии с жизненными потребностями и интересами.

Воспитание убежденности в необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития человеческого общества.

Применение полученных знаний и умений для решения практических задач повседневной жизни, для обеспечения безопасности своей жизни.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОПОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

| Код компетенции | Содержание компетенции   | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине  |
|-----------------|--|--|
| ОПК-2           | Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных | <b>Знать:</b> методы анализа и моделирования для теоретического и экспериментального исследования                        |
|                 |  | <b>Уметь:</b> выбирать соответствующий физико-математический аппарат для обработки результатов физического эксперимента. |

|      |  |  |
|------|--|--|
|      | задач.   | <b>Владеть:</b> навыками использования и применения соответствующего физико-математического аппарата при решении профессиональных задач. |
| ПК-2 | Способность обрабатывать результаты экспериментов. | <b>Знать:</b> основные математические правила для обработки результатов эксперимента.  |
|      |  | <b>Уметь:</b> использовать основные формулы теории погрешностей для обработки результатов эксперимента.                                  |
|      |  | <b>Владеть:</b> навыками работы с формулами теории погрешностей для обработки результатов эксперимента.                                  |

## *Лабораторная работа № 1*

### **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК**

**Цель работы:** изучение свободных колебаний маятника, определение ускорения свободного падения.

**Оборудование:** лабораторная установка, секундомер.

#### **Краткая теория**

**Математическим маятником** называется тело, подвешенное на длинной невесомой нити, длина которой во много раз превышает линейные размеры тела (рис. 1.1). Реальный маятник, у которого масса колеблющегося тела во много раз больше массы нити, а длина нити во много раз больше размеров тела, можно считать математическим.

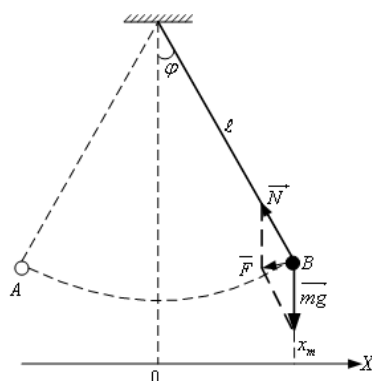


Рисунок 1.1. Колебания математического маятника.

Запишем основное уравнение динамики вращательного движения для этой системы:  $M = I \cdot \varepsilon$ . Момент инерции материальной точки равен  $I = m \cdot l^2$ . Угловое ускорение есть вторая производная углового перемещения по времени:  $\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ .

По определению момента силы  $M = -F \cdot l$ , где  $l$  – плечо силы тяжести. Знак «-» показывает, что момент силы тяжести стремится вернуть систему в положение равновесия. Из рисунка 1.1. видно, что  $F = m \cdot g \cdot \sin \varphi$ . Момент силы будет равен  $M = -m \cdot g \cdot l \cdot \sin \varphi$ . Если угол  $\varphi$  мал, то  $\sin \varphi \approx \varphi$ . Суммируя все сказанное:  $-m \cdot g \cdot l \cdot \varphi = m \cdot l^2 \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ .

Преобразуя последнее уравнение можно получить:  $\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\frac{g}{\ell} \cdot \varphi$ .

Обозначив  $\frac{g}{\ell} = \omega_0^2$ , получим:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\omega_0^2 \cdot \varphi. \quad (1.1)$$

Если угол  $\varphi$  мал, то дуга АВ неотличима от хорды АВ.

Тогда для координаты колеблющейся точки будем иметь:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega_0^2 \cdot x \quad - \quad \text{уравнение гармонических колебаний в}$$

дифференциальном виде.

Период колебаний математического маятника определяется по приближенной формуле, пригодной только для малых амплитуд колебаний:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}}. \quad (1.2)$$

### *Экспериментальная часть*

Соотношение  $g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T^2}$  позволяет опытным путем определить ускорение свободного падения. Для этого необходимо измерить период колебания маятника  $T$  и длину подвеса  $l$ .

При выводе соотношения (1.2) были сделаны следующие предположения:

- маятник совершает колебания с малой амплитудой;
- затуханием колебаний можно пренебречь.

1. Определите период колебания маятника при различных значениях амплитуды в пределах  $2-3^\circ$  до  $10-12^\circ$ , для чего измерьте время  $t$ , в течение, которого маятник совершает  $N$  колебаний и по формуле  $T = \frac{t}{N}$  рассчитайте период колебания. Результаты измерений занесите в таблицу.

N =

|          |    |    |    |    |     |
|----------|----|----|----|----|-----|
| <i>A</i> | 2° | 4° | 6° | 8° | 10° |
| <i>t</i> |    |    |    |    |     |
| <i>T</i> |    |    |    |    |     |

2. Проверьте, подтверждается ли на опыте линейная зависимость между квадратом периода колебаний и длиной маятника. Для этого измерьте период колебания маятника для четырех – пяти длин подвеса в пределах от  $l_{\min}$  до  $l_{\max}$ . При измерениях амплитуда колебаний должна быть малой.

Результаты измерений занесите в таблицу 2

Таблица 2

| № | <i>l</i> ,<br>м | <i>N</i> | <i>t</i> ,<br>с | <i>T</i> ,<br>с | <i>T</i> <sup>2</sup> ,<br>с <sup>2</sup> | <i>g</i> ,<br>м/с <sup>2</sup> | $\langle g \rangle$ ,<br>м/с <sup>2</sup> | $\varepsilon$ ,<br>% |
|---|-----------------|----------|-----------------|-----------------|---|--------------------------------|---|----------------------|
| 1 |                 |          |                 |                 |   |                                |   |                      |
| 2 |                 |          |                 |                 |   |                                |   |                      |
| 3 |                 |          |                 |                 |   |                                |   |                      |
| 4 |                 |          |                 |                 |   |                                |   |                      |
| 5 |                 |          |                 |                 |   |                                |   |                      |

$$g_1 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l_1}{T_1^2} =$$

$$g_2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l_2}{T_2^2} =$$

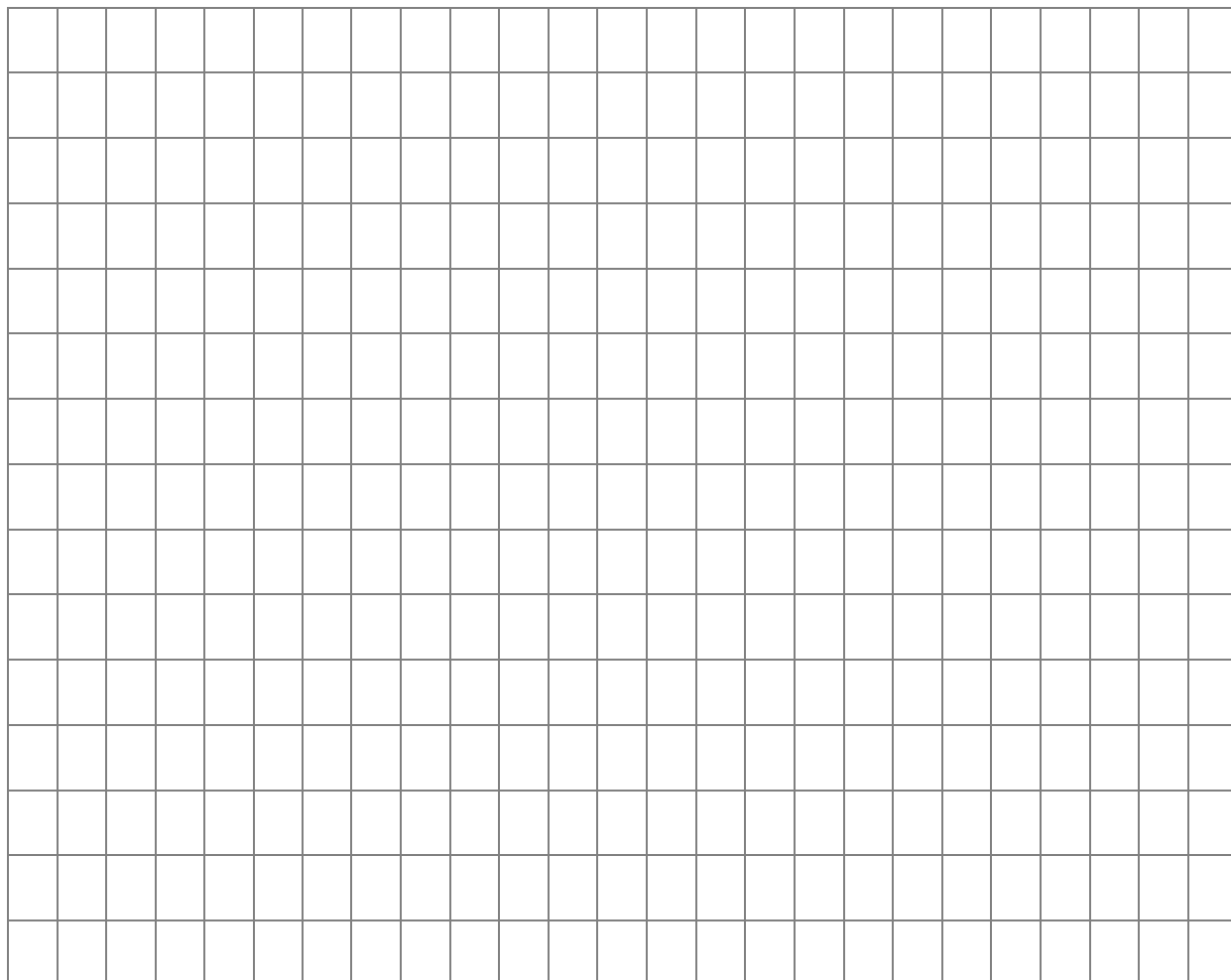
$$g_3 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l_3}{T_3^2} =$$

$$g_4 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l_4}{T_4^2} =$$

$$g_5 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l_5}{T_5^2} =$$



3. Постройте график зависимости квадрата периода колебаний от длины маятника в координатах  $(l, T^2)$ .



4. Определите ускорение свободного падения и оцените погрешность измерения.

$$\langle g \rangle = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_n}{n} =$$

$$\varepsilon = \frac{|g_T - \langle g \rangle|}{g_T} \cdot 100\% =$$

ВЫВОД: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

***Вопросы для защиты работы:***

1. Дайте определение колебания. Дайте определение свободного колебания.
2. Дайте определение гармонического колебания.
3. Выведите дифференциальное уравнение, описывающее гармонические колебания. Каково его решение?
4. Дайте определения характеристик колебания (амплитуда, период, частота, фаза).
5. Дайте определение математического маятника.

6. Выведите формулу периода колебания математического маятника. От чего зависит период колебаний математического маятника?

*Студент* \_\_\_\_\_

*Количество баллов* \_\_\_\_\_

*Дата защиты* \_\_\_\_\_

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

*Лабораторная работа №2*  
**ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК**

**Цель работы:** изучение свободных колебаний физического маятника.

**Оборудование:** тонкий стержень, секундомер.

**Краткая теория**

**Колебательными** называют движения, которые повторяются через определенные промежутки времени. Они широко распространены в природе и технике: вибрация натянутой струны, движение поршня двигателя внутреннего сгорания, иглы швейной машины, морские приливы и отливы и т.д. Поэтому знание основных законов колебательного движения необходимо многим специалистам, в том числе и технологам. Простейшим видом колебаний являются так называемые гармонические колебания. Гармоническим колебанием называется периодическое колебательное движение, при котором координата тела меняется во времени по закону синуса или косинуса.

Физическим маятником называется твердое тело, укрепленное на неподвижной оси, не совпадающей с центром масс и совершающее колебания относительно этой оси.

При малых углах отклонения  $\varphi$  физический маятник совершает колебания, близкие к гармоническим.

На основании уравнения гармонического колебания и основного уравнения динамики вращательного движения выводится формула периода колебаний физического маятника:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{I}{m \cdot g \cdot d}} \quad (2.1)$$

где  $I$  - момент инерции физического маятника относительно оси подвеса;  
 $d$  - расстояние от оси подвеса до центра масс;  $m$  - масса маятника.

Теоретическое значение моментов инерции тел относительно произвольной оси определяется по теореме **Штейнера**:

$$I_T = I_c + m \cdot d^2$$

где  $I_c$  - момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс.

Для стержня:  $I_c = \frac{m \cdot l^2}{12}$ , где  $l$  - длина стержня.

### *Экспериментальная часть*

В этой работе необходимо изучить зависимость периода колебаний тонкого однородного стержня от расстояния  $d$  от оси подвеса до центра масс.

Результаты измерений удобно изобразить графически на координатной плоскости ( $\frac{d}{L} = x$ ,  $\frac{T}{T_0} = y$ ). Для тонкого стержня любой длины, записанная в безразмерных переменных ( $x, y$ ) зависимость периода малых колебаний от положения точки подвеса имеет вид

$$y = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x} + x}.$$

График этой зависимости необходимо построить по точкам, рассчитав  $y(x)$  для 10 значений  $x$ , в пределах от 0,05 до 0,5 и сравнить их с экспериментальными данными.

Рассчитайте теоретическую зависимость  $y(x)$  для данного стержня

|   |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |
|---|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| x | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 |
| y |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |

$$y_1 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_1} + x_1} =$$

$$y_2 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_2} + x_2} =$$

$$y_3 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_3} + x_3} =$$

$$y_4 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_4} + x_4} =$$

$$y_5 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_5} + x_5} =$$

$$y_6 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_6} + x_6} =$$

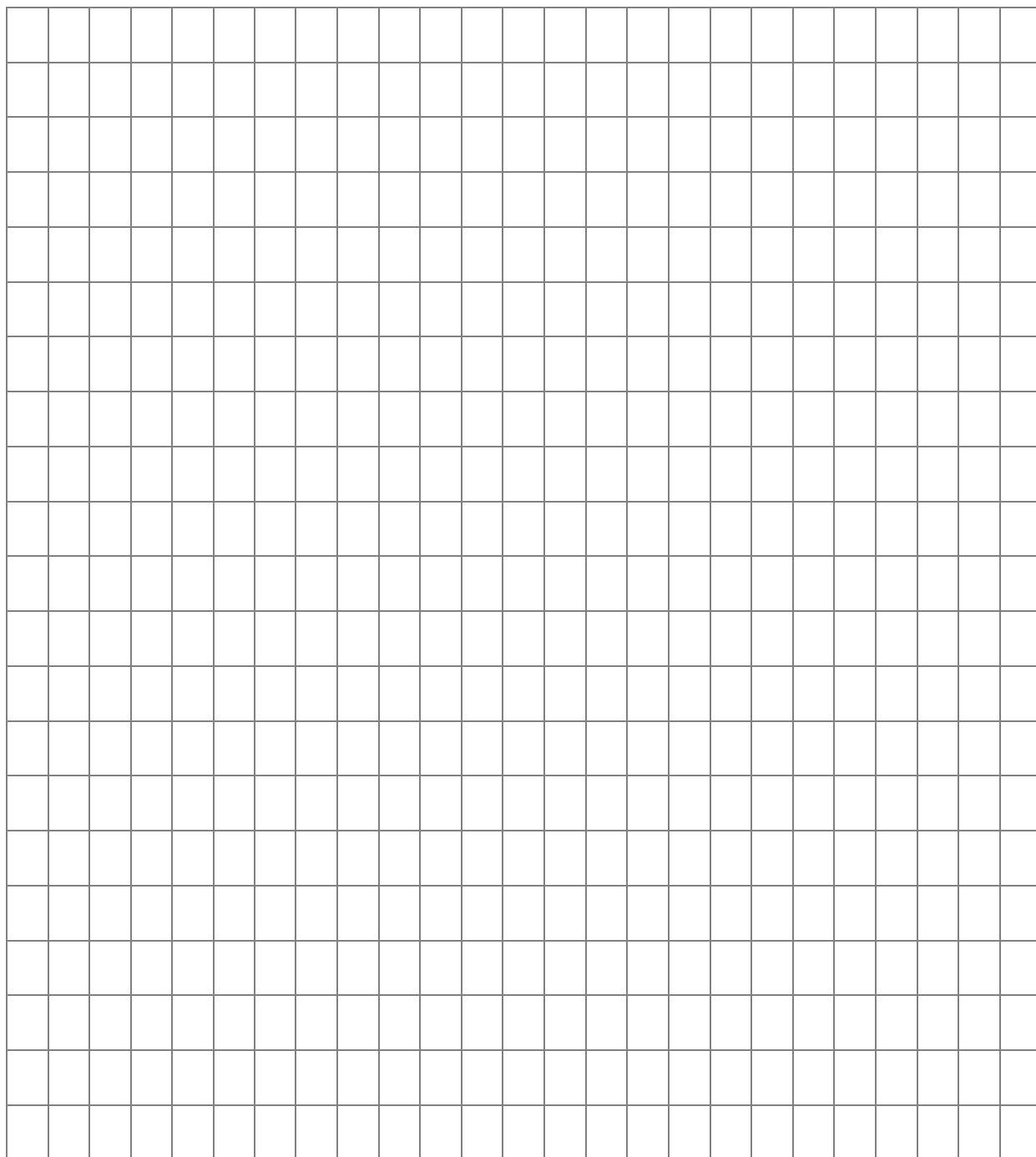
$$y_7 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_7} + x_7} =$$

$$y_8 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_8} + x_8} =$$

$$y_9 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_9} + x_9} =$$

$$y_{10} = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_{10}} + x_{10}} =$$

На координатной плоскости постройте точки с рассчитанными координатами (теоретическая зависимость), соедините плавной линией.



***Задание 1. Определение периода колебаний физического маятника.***

1. Измерьте длину стержня  $l =$

2. Рассчитайте величину  $T_0$ :  $T_0 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} =$

3. Подвесив стержень в точке О, определите время  $t$  в течение которого маятник совершает 30 колебаний и рассчитайте период колебаний  $T$  маятника относительно точки О. Опыт проделайте три раза и найдите среднее значение периода колебаний

$$t_1 = \quad t_2 = \quad t_3 =$$

$$\langle t_1 \rangle = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} =$$

$$\langle T_1 \rangle = \frac{\langle t \rangle}{N} =$$

4. Опыт повторите, подвешивая стержень в точке  $O_1$ .

$$t_1 = \quad t_2 = \quad t_3 =$$

$$\langle t_2 \rangle = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} =$$

$$\langle T_2 \rangle = \frac{\langle t \rangle}{N} =$$

5. Рассчитайте экспериментальные точки исследуемой зависимости.

| N | $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , с | $\langle T \rangle$ , с | $y = \frac{\langle T \rangle}{T_0}$ | $d$ , м | $x = \frac{d}{l}$ |
|---|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------|-------------------|
| 1 |                                    |                         |                                     |         |                   |
| 2 |                                    |                         |                                     |         |                   |

6. Нанесите экспериментальные данные на график теоретической зависимости и сделайте вывод.

**Задание 2. Определение момента инерции стержня относительно оси, проходящей через его край.**

1. Запишите массу физического маятника  $m = \underline{\hspace{2cm}}$  кг

2. Рассчитайте теоретическое значение момента инерции стержня относительно центра масс:



$$I_c = \frac{m \cdot l^2}{12} = \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

3. Измерьте расстояние между осью вращения и центром масс стержня

$$d = \text{м}$$

4. Рассчитайте момент инерции стержня относительно данной оси, используя теорему Штейнера:

$$I_T = I_c + m \cdot d^2 = \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

5. Вычислите экспериментальное значение момента инерции стержня относительно данной оси:

$$I = \frac{m \cdot g \cdot d \cdot \langle T_1 \rangle^2}{4 \cdot \pi^2} = \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

6. Вычислите погрешность опыта:

$$\varepsilon = \frac{|I_T - I|}{I_T} \cdot 100\% =$$

**Задание 3. Определение момента инерции стержня относительно оси, не проходящей через его край.**

1. Измерьте расстояние между осью вращения и центром масс стержня

$$d = \text{м}$$

2. Рассчитайте момент инерции стержня относительно данной оси:

$$I_T = I_c + m \cdot d^2 = \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

3. Рассчитайте экспериментальное значение момента инерции стержня относительно данной оси:

$$I = \frac{m \cdot g \cdot d \cdot \langle T_2 \rangle^2}{4 \cdot \pi^2} = \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

4. Вычислите погрешность опыта

$$\varepsilon = \frac{|I_T - I|}{I_T} \cdot 100\% =$$

ВЫВОД: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

***Вопросы для защиты работы:***

1. Дайте определение физического маятника.
2. Дайте определение периода колебания.
3. Запишите формулу для вычисления периода колебания физического маятника и расшифруйте физические величины, входящий в него.
4. Дайте определение момента инерции материальной точки.
5. Дайте определение момента инерции твердого тела и укажите единицы его измерения.

6. Запишите формулу для вычисления момента инерции стержня относительно оси, проходящей через центр масс.

7. Запишите формулу для вычисления момента инерции твердого тела, если ось вращения не проходит через центр масс тела.

8. Запишите формулы для вычисления момента инерции кольца, диска и шара относительно оси, проходящей через центр масс.

*Студент* \_\_\_\_\_

*Количество баллов* \_\_\_\_\_

*Дата защиты* \_\_\_\_\_

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа № 3**  
**ПРОВЕРКА ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ**  
**ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Цель работы:** экспериментальная проверка основного уравнения динамики вращательного движения и определение момента инерции диска.

**Оборудование:** экспериментальная установка, секундомер.

**Краткая теория**

Приведем вывод основного уравнения динамики вращательного движения. Рассмотрим материальную точку массой  $m$ , движущуюся по окружности радиусом  $r$ . Пусть на нее действует постоянная сила, направленная по касательной к окружности.

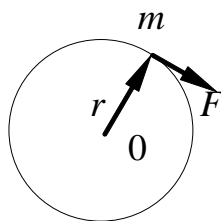


Рисунок 3.1. Материальная точка, движущаяся по окружности под действием силы, направленной по касательной.

Тогда, по второму закону Ньютона, Эта сила вызывает тангенциальное ускорение  $a_t = \frac{F}{m}$  или  $F = a_t \cdot m$ . Используя соотношение связи тангенциального ускорения с угловым ускорением  $a_t = r \cdot \varepsilon$ , получим  $F = \varepsilon \cdot m \cdot r$ .

Умножим обе части полученного равенства на  $r$ :  $F \cdot r = \varepsilon \cdot m \cdot r^2$ .

Левая часть последнего уравнения является моментом силы:  $M = F \cdot r$ . В правой части последнего уравнения присутствует момент инерции материальной точки:  $I = m \cdot r^2$ . Таким образом,

$$M = \varepsilon \cdot I \text{ или } \varepsilon = \frac{M}{I} \quad (3.1)$$

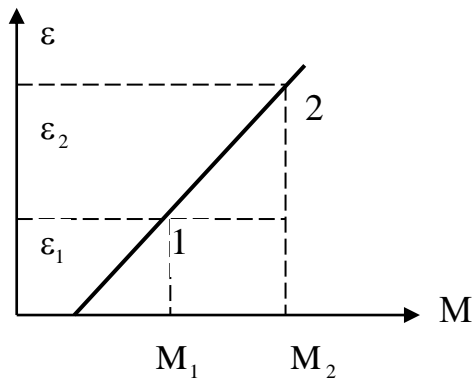


Рис. 3.2

Таким образом: *угловое ускорение материальной точки при ее вращении вокруг неподвижной оси пропорционально вращающему моменту и обратно пропорционально моменту инерции.*

Целью данной работы является проверка уравнения

$\varepsilon = \frac{1}{I}(mgr - M_{тр})$ , определение момента сил трения  $M_{тр}$  и момента инерции диска.

Оценить момент сил трения можно следующим образом. Если под действием груза массой  $m'$  система не движется, а груз массой  $m''$  приводит ее в равноускоренное движение, то очевидно, что момент сил трения будет удовлетворять условию

$$m'gr < M_{тр} < m''gr.$$

### Экспериментальная часть

1. Используя данные лабораторной установки, рассчитайте теоретическое значение момента инерции системы:

$$I_{т} = \frac{1}{2}(m_1 \cdot R^2 + m_2 \cdot r^2) =$$

2. Подвесьте к нити груз массой 100 г и определите время  $t$  падения груза с высоты  $h$ . Опыт проделайте не менее трех раз и найдите среднее значение времени  $t_{cp}$  падения. Найдите угловое ускорение диска по формуле

$$\varepsilon_1 = \frac{2 \cdot h}{r \cdot t^2} =$$

3. Рассчитайте момент внешней силы по формуле

$$M_1 = m \cdot g \cdot r =$$

4. Опыт повторите с грузами массой 200 и 300 г.

$$\varepsilon_2 = \frac{2 \cdot h}{r \cdot t^2} =$$

$$M_2 = m \cdot g \cdot r =$$

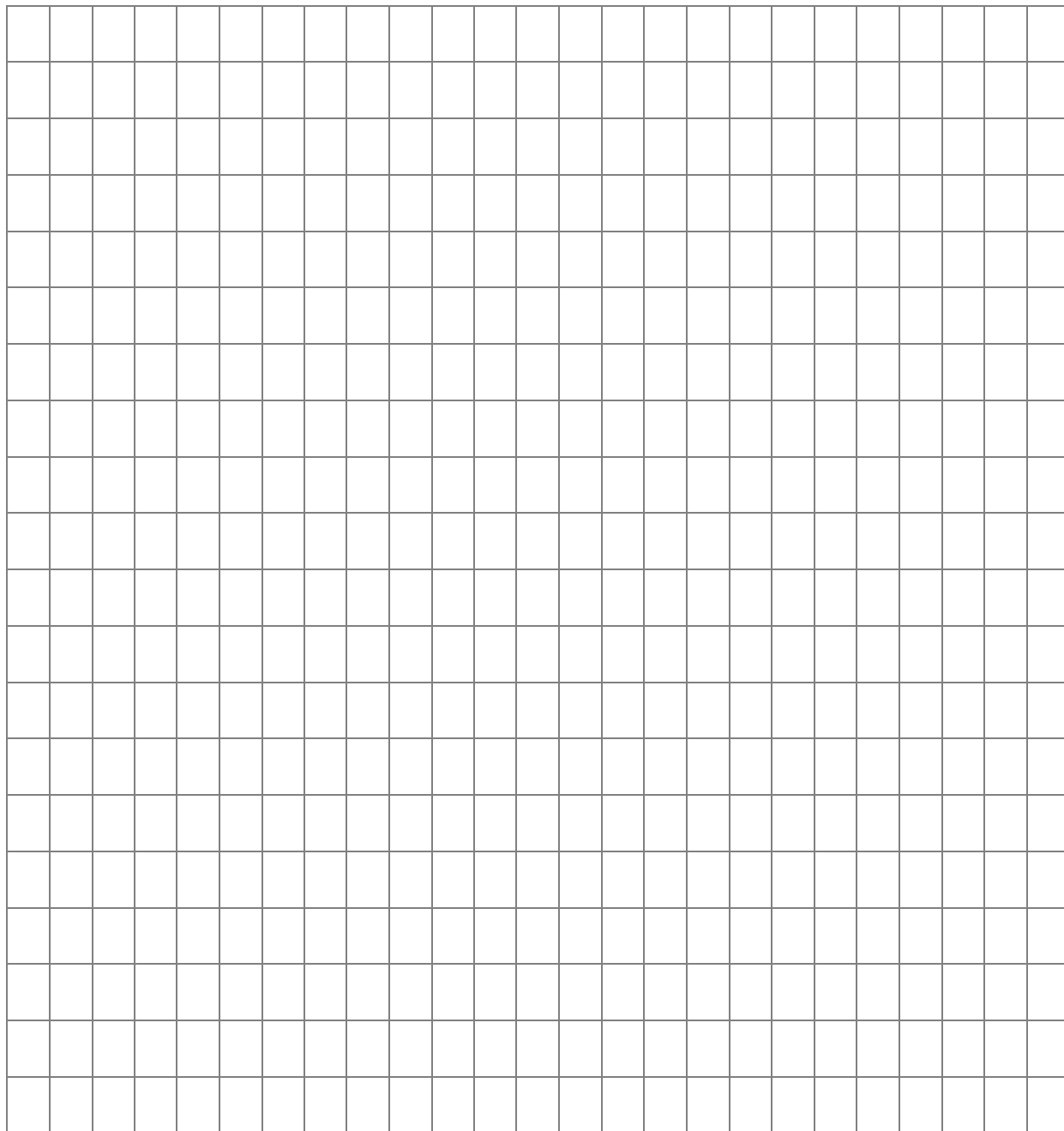
$$\varepsilon_3 = \frac{2 \cdot h}{r \cdot t^2} =$$

$$M_3 = m \cdot g \cdot r =$$

5. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу .

| №  | $m_1$ ,<br>кг | $m_2$ ,<br>кг | $R$ ,<br>м | $r$ ,<br>м | $I_T$<br>кг·м <sup>2</sup> | $m$ ,<br>кг | $h$ ,<br>м | $t$ ,<br>с | $\varepsilon$<br>с <sup>-1</sup> | $M$ ,<br>Н·м | $I$ ,<br>кг·м <sup>2</sup> | $M_{mp}$ ,<br>Н·м |
|----|---------------|---------------|------------|------------|----------------------------|-------------|------------|------------|----------------------------------|--------------|----------------------------|-------------------|
| 1. |               |               |            |            |                            |             |            |            |                                  |              |                            |                   |
| 2. |               |               |            |            |                            |             |            |            |                                  |              |                            |                   |
| 3. |               |               |            |            |                            |             |            |            |                                  |              |                            |                   |
| 4. |               |               |            |            |                            |             |            |            |                                  |              |                            |                   |
| 5. |               |               |            |            |                            |             |            |            |                                  |              |                            |                   |

6. Постройте график зависимости  $\varepsilon = f(M)$  и по графику определить момент сил трения  $M_{тр}$



7. Используя график, найдите среднее значение момента инерции системы.

$$\langle I \rangle = \frac{M_2 - M_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} =$$

8. По графику оцените момент сил трения

9. ВЫВОД: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

***Вопросы для защиты работы:***

1. Сформулируйте физический смысл момента инерции твердого тела.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
2. Дайте определение момента силы относительно точки и оси.  
Укажите единицы измерения.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
3. Дайте определение среднего и мгновенного углового ускорения.  
Укажите единицы измерения.



4. Запишите основное уравнение динамики вращательного движения.

5. Приведите вывод основного уравнения динамики вращательного движения.

*Студент* \_\_\_\_\_

*Количество баллов* \_\_\_\_\_

*Дата защиты* \_\_\_\_\_

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа № 4**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА**  
**ПО ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЯ**

**Цель работы:** Экспериментальная проверка закона Гука и определение модуля Юнга.

**Оборудование:** лабораторные установки, набор грузов.

**Краткая теория**

Деформация – изменение формы или размеров тела под действием внешних сил.

Абсолютное удлинение – физическая величина, равная разности длины тела при и без деформации  $\Delta l = l - l_0$ .

Относительное удлинение – физическая величина, равная отношению абсолютного удлинения к длине стержня  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ .

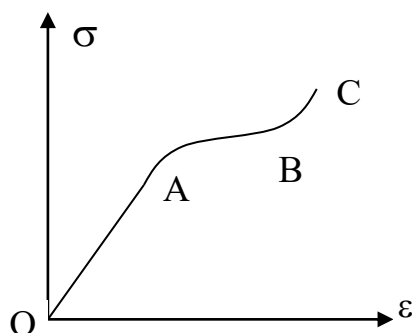


Рис.4. 1

Механическое напряжение – скалярная физическая величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поперечного сечения предмета  $\sigma = \frac{F}{S}$  [ $\sigma$ ] = Па .

Модуль Юнга – равен нормальному механическому напряжению, при котором линейный размер тела изменяется в 2 раза.

Величина модуля Юнга определяется только свойствами материала образца и его обработкой.

Рассмотрим диаграмму, полученную при испытании образца на статическое растяжение (рис. 4.1). Здесь по горизонтальной оси откладывается относительная деформация  $\varepsilon$ , а по вертикальной оси – механическое напряжение  $\sigma$ . На участке ОА диаграммы имеет место упругая деформация, относительное удлинение прямо

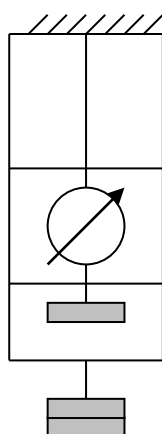


Рис. 4.2

пропорционально механическому напряжению.

На данном участке выполняется закон Гука:

$$F = k \cdot \Delta l \quad \text{или} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon .$$

Точка А соответствует пределу упругости. На участке АВ возникает остаточная деформация, т.е. деформация, не исчезающая после снятия внешних сил. Максимальная нагрузка которая действует на образец во время испытания соответствует точке С и определяет предел прочности образца.

Лабораторная установка представляет собой стальную проволоку, изменение длины, которой определяется индикатором малых перемещений (рис. 4.2). Если на подвес положить груз массой  $m$ , то на проволоку будет действовать сила  $F = mg$ . Так как площадь поперечного сечения  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ , то механическое напряжение будет равно

$$\sigma = \frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot d^2} .$$

### *Экспериментальная часть*

1. Запишите из данных лаборатории длину и диаметр испытываемой проволоки.
2. Вращая наружное кольцо индикатора, установите стрелку на нулевое деление шкалы.
3. На подвес положите груз массой  $m$  и определите абсолютное удлинение  $\Delta \ell$  проволоки под действием этого груза.
4. Рассчитайте относительное удлинение и механическое напряжение

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l}{l_0} =$$

$$\sigma_1 = \frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot d^2} =$$

Опыт повторите с грузами различной массы.

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta l}{l_0} =$$

$$\sigma_2 = \frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot d^2} =$$

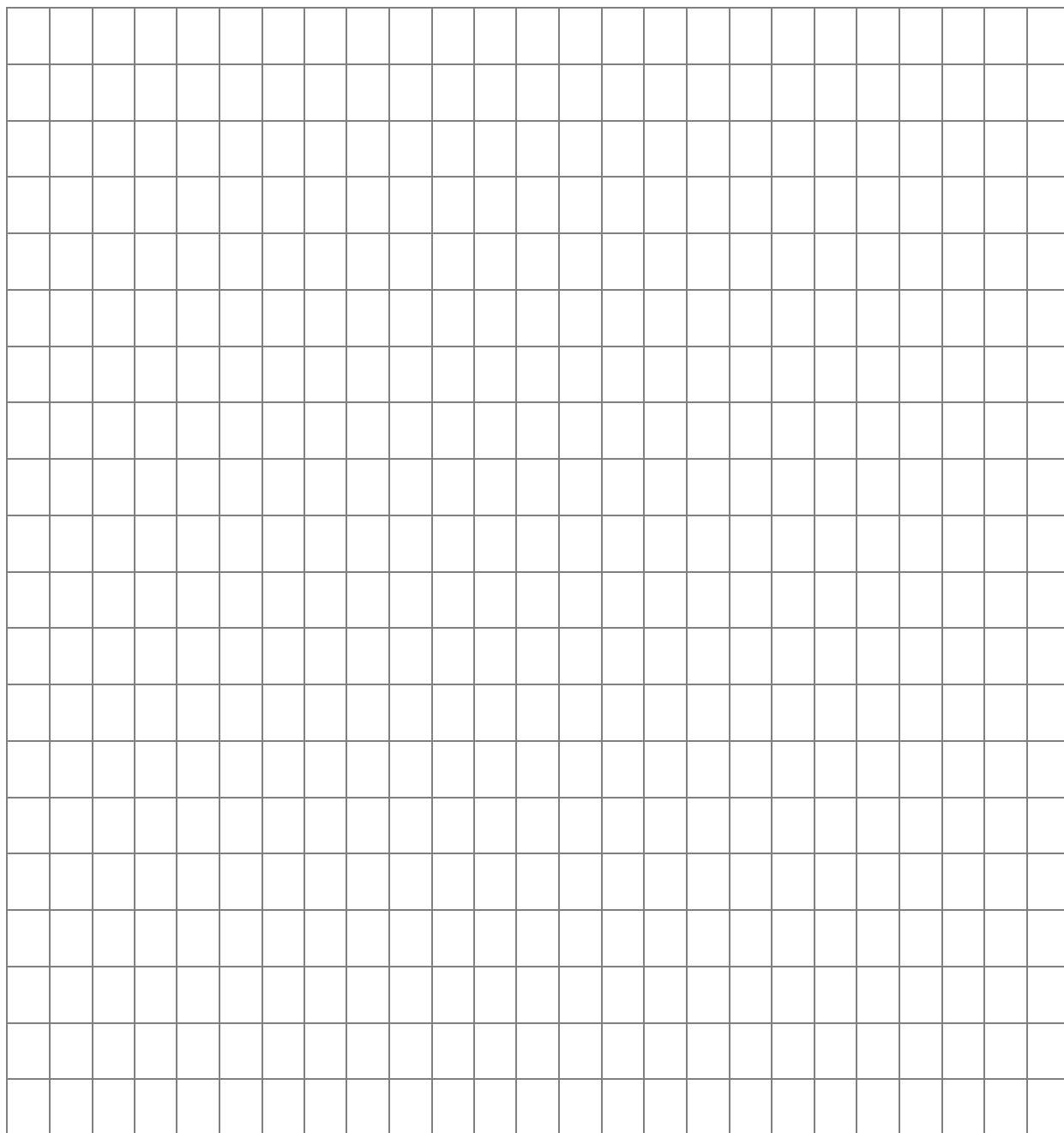
$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta l}{l_0} =$$

$$\sigma_3 = \frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot d^2} =$$

5. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу.

| №№ | $l$<br>м | $d$<br>м | $m$<br>кг | $\Delta l$<br>м | $\varepsilon$ | $\sigma$<br>Па | $E$<br>Па |
|----|----------|----------|-----------|-----------------|---------------|----------------|-----------|
| 1. |          |          |           |                 |               |                |           |
| 2. |          |          |           |                 |               |                |           |
| 3. |          |          |           |                 |               |                |           |
| 4. |          |          |           |                 |               |                |           |
| 5. |          |          |           |                 |               |                |           |

6. По полученным данным постройте график зависимости  $\sigma = f(\varepsilon)$  и сравните его с теоретической зависимостью. По графику найдите модуль Юнга и определите погрешность измерения  $\delta$ .



7. ВЫВОД: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Вопросы для защиты работы:**

1. Дайте определение деформации тела. Дайте определение упругой и остаточной деформации.
2. Дайте определение абсолютной и относительной деформации. Укажите единицы измерения.
3. Дайте определение механического напряжения. Укажите единицы измерения.
4. Сформулируйте закон Гука (через силу и механическое напряжение).
5. Дайте определение модуля Юнга.
6. Дайте анализ диаграммы полученной при испытании образца на статическое растяжение.

**Студент** \_\_\_\_\_

**Количество баллов** \_\_\_\_\_

**Дата защиты** \_\_\_\_\_

**Подпись преподавателя** \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

**Цель работы:** научиться определять коэффициент вязкости жидкостей методом Стокса.

**Оборудование:** цилиндр с маслом, секундомер, шарики, жидкости, микрометр.

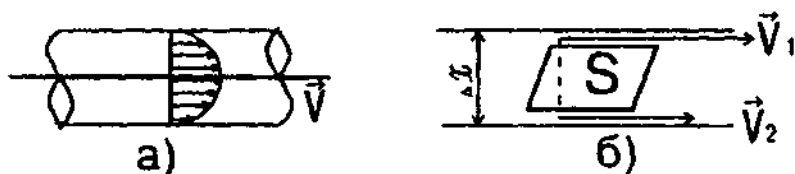
#### Краткая теория

Внутреннее трение (вязкость) - это свойство реальных жидкостей (или газов), благодаря которому выравнивается скорость движения различных слоев. Вязкость проявляется в том, что возникающее в жидкости движение после устранения причин, его вызывающих, постепенно прекращается.

По вязкости судят о качестве продуктов питания, например, сахара, сиропов, сока и т.д. В биологических системах вязкость оказывает влияние на протекание ряда процессов в живом организме (диффузия веществ, подвижность ионов). Численные значения коэффициентов динамической вязкости необходимы для расчетов трубопроводов, оросительных комплексов, систем внесения жидких удобрений, вентиляции и т.д.

Внутреннее трение относится к явлениям переноса. Рассмотрим медленное течение жидкости в трубе под действием постоянной внешней разности давлений, направленной вдоль движения (рис.5,а). Скорости движения разных слоев в ней будут неодинаковы: наибольшее ее значение в центре и минимальное (близкое к нулю) - у стенок. Это связано с тем, что наряду с направленным движением вдоль трубы молекулы жидкости из-за хаотического (теплового) движения переходят из слоя в слой.

При таком переходе происходит перенос импульса направленного движения из слоя в слой, что приводит к ускорению слоя, движущегося



более медленно, и замедлению слоя, движущегося быстрее.

### Рисунок 5

Сила внутреннего трения, возникающая при относительном перемещении слоев жидкости, определяется формулой Ньютона:

$$F_{mp} = -\eta \cdot S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}, \quad (5.1)$$

где  $\eta$  - коэффициент внутреннего трения (вязкости) жидкости; знак минус означает, что импульс переносится в направлении убывания скорости слоя;

$\frac{\Delta v}{\Delta x}$  - градиент скорости - векторная величина, направленная

перпендикулярно вектору скорости и показывающая изменение скорости на единице расстояния между слоями, измеряется в  $\text{с}^{-1}$ ;

$S$  - площадь соприкасающихся слоев. Из этой формулы следует, что:

$$\eta = \frac{F_{mp}}{\frac{\Delta v}{\Delta x} \cdot S} \quad (5.2)$$

Если в уравнении (5.2) принять  $\frac{\Delta v}{\Delta x} = 1 \text{с}^{-1}$ ;  $S = 1 \text{м}^2$ , то  $\eta = F_{\text{тр}}$ , т.е.

коэффициентом вязкости называется физическая величина, численно равная силе внутреннего трения, действующей на единицу площади соприкасающихся слоев, при градиенте скорости, равном 1 (единице).

В СИ коэффициент динамической вязкости измеряется в  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

**Метод Стокса**, основанный на измерении скорости шарика, равномерно падающего в вязкой среде.

На шарик, свободно падающий в вязкой среде, действуют силы (рис. 5.2);

1) сила тяжести шарика  $F_m = m \cdot g$

Масса тела  $m = \rho \cdot V$

Объем сферы  $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$



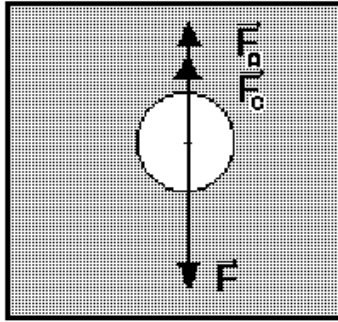


Рисунок 5. 2

После подстановки получим для силы тяжести

$$F_m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \rho_2 \cdot r^3 \cdot g ,$$

где:  $m$  - масса шарика,  $g$  - ускорение силы тяжести,  $\rho_2$  - плотность материала шарика,

$V$  - объем шарика,  $r$  - радиус;

2) выталкивающая сила Архимеда:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V ; \quad F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \rho_1 \cdot r^3 \cdot g ,$$

где  $F_A$  - равна весу вытесненной шариком жидкости,

$V$  - объем вытесненной шариком жидкости,  $\rho_1$  - плотность жидкости.

3). Сила сопротивления движению, обусловленная силами внутреннего трения между слоями жидкости, которая для малых скоростей падения небольших шарообразных тел, как показал Стокс, равна:

$$F_c = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$$

где  $v$  - скорость движения шарика.

Применяя второй закон Ньютона для движения шарика, получим уравнение:  $\vec{F}_m + \vec{F}_A + \vec{F}_c = m \cdot \vec{a}$

Вначале шарик движется ускоренно, но по мере увеличения скорости падения шарика сила сопротивления  $F_c$  будет тоже возрастать, и наступит такой момент, когда движение шарика станет равномерным.

Применяя второй закон Ньютона для движения шарика, получим уравнение:  $\vec{F}_m + \vec{F}_A + \vec{F}_C = 0$

Значит, сила тяжести уравновесится выталкивающей силой и силой сопротивления:

$$F_m = F_A + F_C.$$

Движение шарика станет равномерным.

Подставляя выражения для силы тяжести, Архимеда и Стокса, получим:

$$\frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \cdot \rho_2 \cdot g = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \cdot \rho_1 \cdot g + 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$$

Из последнего уравнения определим коэффициент вязкости:

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{9 \cdot v}$$

### *Экспериментальная часть*

1. Плотность касторового масла  $\rho_1 = 960 \text{ кг/м}^3$

Плотность свинца  $\rho_2 = 11340 \text{ кг/м}^3$

Вычислите константу опыта по формуле

$$c = \frac{2 \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{9} =$$

2. Заполните таблицу 1:

**Таблица 1**

| N | Диаметр шарика | Радиус шарика | Путь, пройденный шариком | Время падения шарика |
|---|----------------|---------------|--------------------------|----------------------|
|   | d, м           | r, м          | h, м                     | t, с                 |
| 1 |                |               |                          |                      |
| 2 |                |               |                          |                      |
| 3 |                |               |                          |                      |
| 4 |                |               |                          |                      |
| 5 |                |               |                          |                      |

3. Вычислите скорость падения шарика:

$$v_1 = \frac{h}{t_1} = \text{м/с}$$

$$v_2 = \frac{h}{t_2} = \text{м/с}$$

$$v_3 = \frac{h}{t_3} = \text{м/с}$$

$$v_4 = \frac{h}{t_4} = \text{м/с}$$

$$v_5 = \frac{h}{t_5} = \text{м/с}$$

4. Вычислите коэффициент динамической вязкости жидкости и заполните таблицу 2:

**Таблица 2**

| N | $\eta,$       | $\langle \eta \rangle,$ | $\Delta \eta,$ | $\langle \Delta \eta \rangle,$ |
|---|---------------|-------------------------|----------------|--------------------------------|
|   | <i>Па · с</i> | <i>Па · с</i>           | <i>Па · с</i>  | <i>Па · с</i>                  |
| 1 |               |                         |                |                                |
| 2 |               |                         |                |                                |
| 3 |               |                         |                |                                |
| 4 |               |                         |                |                                |
| 5 |               |                         |                |                                |

$$\eta_1 = \frac{c \cdot r_1^2}{v_1} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_2 = \frac{c \cdot r_2^2}{v_2} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_3 = \frac{c \cdot r_3^2}{v_3} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_4 = \frac{c \cdot r_4^2}{v_4} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_5 = \frac{c \cdot r_5^2}{v_5} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

5. Рассчитайте среднее арифметическое значение коэффициента динамической вязкости масла:

$$\langle \eta \rangle = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5}{5} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

6. Рассчитайте абсолютную ошибку отдельных вычислений:

$$\Delta \eta_1 = |\langle \eta \rangle - \eta_1| = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta \eta_2 = |\langle \eta \rangle - \eta_2| = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta \eta_3 = |\langle \eta \rangle - \eta_3| = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta \eta_4 = |\langle \eta \rangle - \eta_4| = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta \eta_5 = |\langle \eta \rangle - \eta_5| = \text{Па} \cdot \text{с}$$

7. Рассчитайте среднюю абсолютную ошибку отдельных вычислений коэффициента динамической вязкости масла:

$$\langle \Delta \eta \rangle = \frac{|\Delta \eta_1| + |\Delta \eta_2| + |\Delta \eta_3| + |\Delta \eta_4| + |\Delta \eta_5|}{5} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

8. Запишите истинное значение коэффициента динамической вязкости масла:

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \langle \Delta \eta \rangle = \text{Па} \cdot \text{с}$$

9. Рассчитайте минимальное и максимальное значение динамической вязкости масла:

$$\eta_{\min} = \langle \eta \rangle - \langle \Delta \eta \rangle = \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_{\max} = \langle \eta \rangle + \langle \Delta \eta \rangle = \text{Па} \cdot \text{с}$$

10. Определите табличное значение коэффициента динамической вязкости касторового масла при данной температуре

$$t = \text{_____} \text{ } ^\circ \text{C}, T = t + 273 = \text{К}$$

|               |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T, К          | 283  | 284  | 285  | 286  | 287  | 288  | 289  | 290  |
| $\eta$ , Па·с | 2,44 | 2,25 | 2,05 | 1,85 | 1,70 | 1,55 | 1,42 | 1,30 |

|               |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| T, K          | 291  | 292  | 293   | 294  | 295  | 296  | 297  | 298  | 299  | 300  |
| $\eta$ , Па·с | 1,18 | 1,08 | 0,987 | 0,91 | 0,85 | 0,78 | 0,72 | 0,65 | 0,59 | 0,53 |

$$\eta_T = \quad \text{Па} \cdot \text{с}$$

11. Постройте горизонтальную ось коэффициента динамической вязкости, отметьте на ней точки, соответствующие минимальному и максимальному значению коэффициента динамической вязкости масла. На этой же оси отметьте точку, соответствующую теоретическому значению коэффициента динамической вязкости масла при данной температуре.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

12. Вывод:

---



---



---



---

**Вопросы для защиты работы:**

1. Дайте определение вязкости.

2. Сформулируйте физический смысл коэффициента динамической вязкости. Укажите единицы его измерения.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
3. Запишите уравнение Ньютона для внутреннего трения и расшифруйте физические величины, входящий в него.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
4. Дайте определение градиента скорости. Укажите единицы его измерения.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
5. Перечислите силы, действующие на падающий в вязкой среде шарик и запишите формулы для их нахождения.

6. Укажите вид движения шарика (по траектории, по скорости; вначале и в конце пути)
7. Запишите формулу для вычисления массы тела и расшифруйте физические величины, входящий в нее.
8. Сформулируйте, какую роль играет на практике вязкость жидкостей.

*Студент* \_\_\_\_\_

*Количество баллов* \_\_\_\_\_

*Дата защиты* \_\_\_\_\_

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

**а) основная литература**

1. ЭБС «Znanium» Ильющонок, А.В. Физика: учеб. пособие / А.В. Ильющонок [и др.]. – Москва: Минск: ИНФРА-М: Новое знание, 2013. – 600 с. – (Гр. Республики Беларусь).
2. ЭБС «Znanium» Кузнецов, С.И. Физика: Механика. Механические колебания и волны. Термодинамика.: учеб. пособие / С.И. Кузнецов. – 4-е изд.; испр. и доп. - Москва: Вузовский учебник: ИНФРА-М: Вузовский вестник, 2014. – 248 с. – (Гр. НМС).
3. Трофимова, Т.И. Физика: учебник для студентов вузов по техническим направлениям подготовки /Т.И.Трофимова, - М.: Академия, 2012. – 320 с. – (Высшее профессиональное образование. Бакалавриат).
4. Крахоткин, В. И. Механика и молекулярная физика : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110300 - Агроинженерия / СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2006. - 208 с. - (Гр. МСХ РФ).

**б) дополнительная литература**

1. Крахоткин, В.И. Лабораторный практикум по оптике/Крахоткин В.И., Стародубцева Г.П., Хащенко А.А., Ковалева Г.Е.– Ставрополь– Цех оперативной печати СНИИЖК, 2011 – 40 с.
2. ЭБС «Znanium» Врублевская, Г.В. Физика. Практикум: учеб. пособие / Г.В. Врублевская [и др.]. – Москва: Минск: ИНФРА-М: Новое знание, 2012. – 286 с.
3. Яворский, Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. - 8-е изд., перераб. и испр. - М. : ОНИКС; Мир и Образование, 2008. - 1056с. : ил.
4. Вестник АПК Ставрополя (периодическое издание).
5. Научное обозрение (периодическое издание).

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины.**

1. Классная! физика для любознательных — экономика, социология, менеджмент занятости [Электронный ресурс]. — Режим доступа: // <http://class-fizika.narod.ru/snacom1.htm/>
2. Портал естественных наук [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// e-science.ru/physics/](http://e-science.ru/physics/)
3. Естественно –научный образовательный портал [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// www.en.edu.ru/catalogue/363](http://www.en.edu.ru/catalogue/363)
4. Архив учебных программ и презентаций [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// www.rusedu.ru/files.php?cat=12&cmd=all&sort=&order=&page=3](http://www.rusedu.ru/files.php?cat=12&cmd=all&sort=&order=&page=3)
5. Физика+ по Ландсбергу [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// physel.ru/](http://physel.ru/)