

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

*М.А. Афанасьев, А.А. Яновский, С.И. Любая, И.А. Боголюбова*

**ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ**

*19.03.02 – Продукты питания из растительного сырья  
профиль: «Технология бродильных производств и виноделие»*

*бакалавр*

**СТАВРОПОЛЬ  
2022**

**УДК 53(076)**  
**ББК 22.3я 7**  
**Б 742**

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент СтГАУ Рубцова Е.И.

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

Печатается по рекомендации  
методической комиссии  
Электроэнергетического факультета  
(протокол № 1 от 10 января 2022 г.)

**М.А. Афанасьев, А.А. Яновский, С.И. Любая, И.А. Боголюбова.**  
Практикум по физике. Учебное пособие для студентов аграрных высших  
учебных заведений. – Ставрополь, 2022. - 48 с.

**ДК 53(076)**  
**ББК 22.3я7**  
**Б 742**

© М.А. Афанасьев, А.А. Яновский, С.И. Любая, И.А. Боголюбова.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа 1 <b>МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК</b> .....	5
Лабораторная работа 2 <b>ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК</b> .....	9
Лабораторная работа 3 <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ</b> .....	15
Лабораторная работа 4 <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА</b> .....	21
Лабораторная работа 5 <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ</b> .....	26
Лабораторная работа 6 <b>ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ....</b>	33
Лабораторная работа 7 <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА</b> .....	41
Лабораторная работа 8 <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЛИНЗЫ</b> .....	44
Литература.....	48

# Введение

## 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 задач.	<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.
		<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). 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.

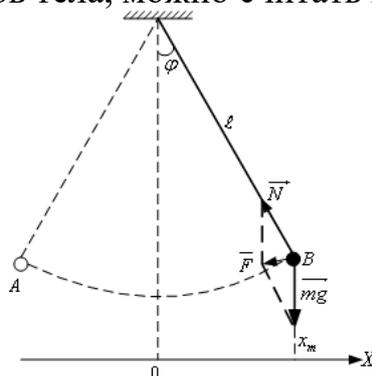


Рисунок 1. Колебания математического маятника.

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 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:  $\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\frac{g}{l} \cdot \varphi$ .

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

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

### 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.

$N =$

$A$	$2^\circ$	$4^\circ$	$6^\circ$	$8^\circ$	$10^\circ$
$t$					
$T$					

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

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

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

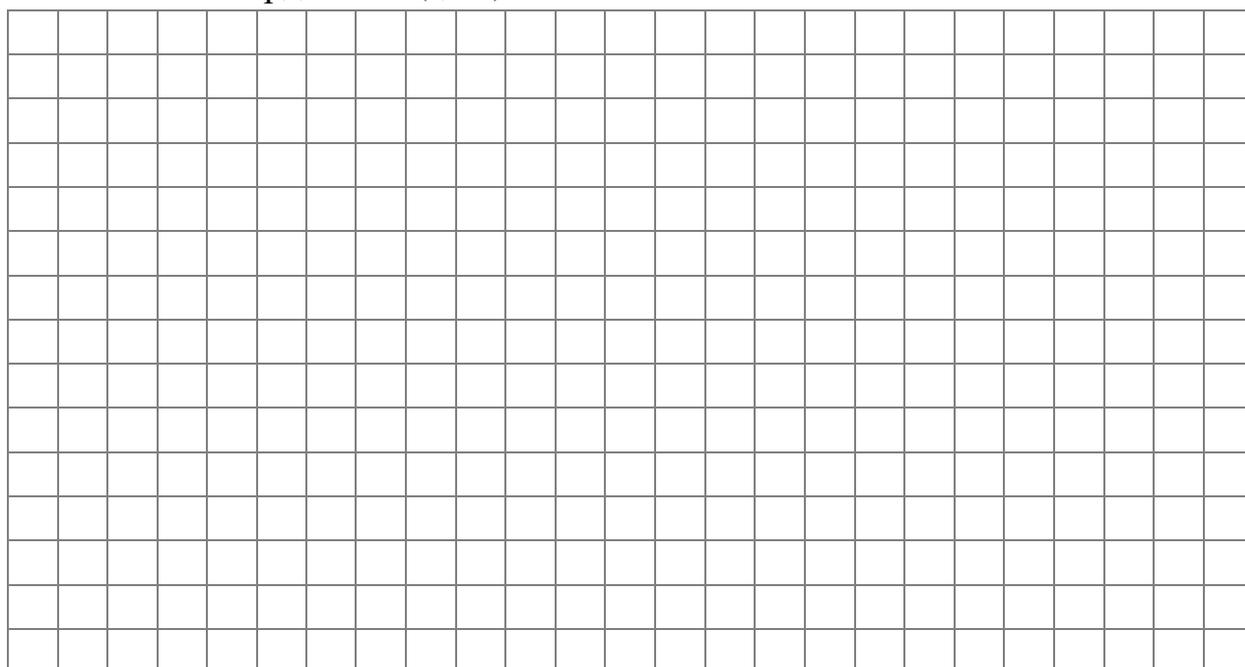
$$g_2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l_2}{T_2^2} =$$

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

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

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

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										

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

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

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

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

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

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

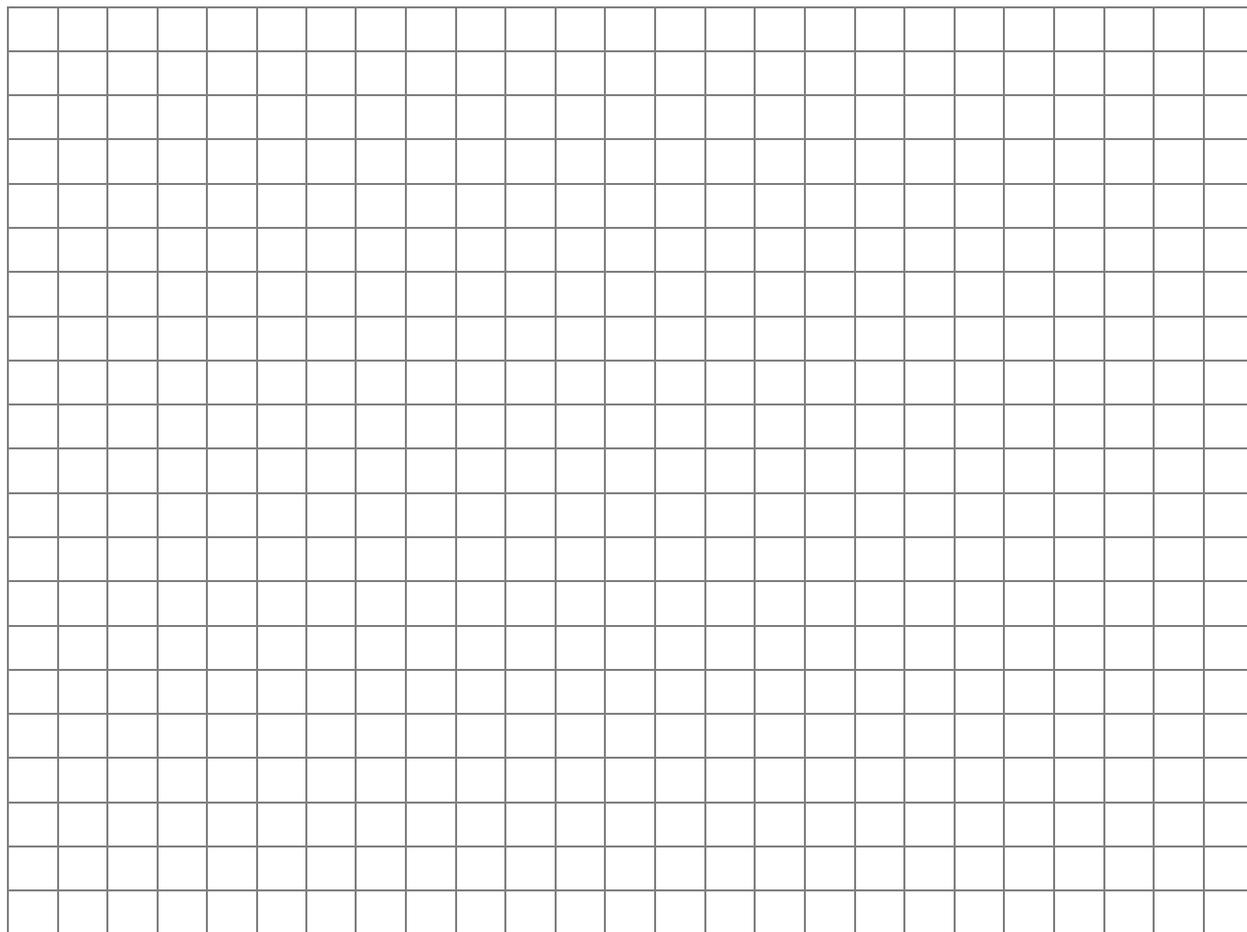
$$y_7 = \sqrt{\frac{1}{12 \cdot x_7} + x_7} =$$

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

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

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

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, подвесив 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:

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

3. Измерьте расстояние между осью вращения и центром масс стержня

d = м

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

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

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

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

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 = м

2. Рассчитайте момент инерции стержня относительно данной оси:

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

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

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

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**  
**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. 2а). 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.

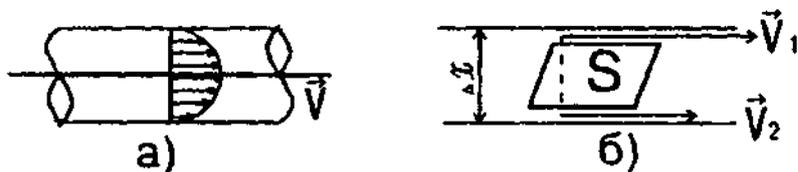


Рисунок 2

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

$$F_{mp} = -\eta \cdot S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}, \quad (3.1)$$

где  $\eta$  - коэффициент внутреннего трения (вязкости) жидкости; знак минус означает, что сила всегда направлена противоположно скорости движения шарика;

$\frac{\Delta v}{\Delta x}$  - градиент скорости - векторная величина, направленная перпендикулярно вектору скорости и показывающая изменение скорости на единице расстояния между слоями, измеряется в  $c^{-1}$ ;

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

$$\eta = \frac{F_{mp}}{\frac{\Delta v}{\Delta x} \cdot S} \quad (3.2)$$

Если в уравнении (3.2) принять  $\frac{\Delta v}{\Delta x} = 1c^{-1}$ ;  $S = 1m^2$ , то  $\eta = F_{тр}$ , 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  $Па \cdot c$ .

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

На шарик, свободно падающий в вязкой среде, действуют силы (рис. 3);

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

Масса тела  $m = \rho \cdot V$

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

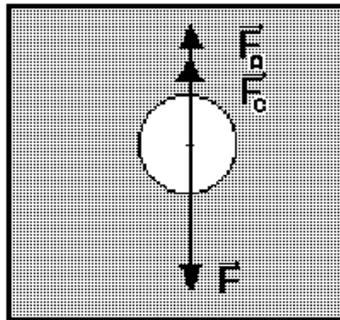


Рисунок 3

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:

$$v_1 = \frac{h}{t_1} = \quad \text{м/с}$$

$$v_2 = \frac{h}{t_2} = \quad \text{м/с}$$

$$v_3 = \frac{h}{t_3} = \quad \text{м/с}$$

$$v_4 = \frac{h}{t_4} = \quad \text{м/с}$$

$$v_5 = \frac{h}{t_5} = \quad \text{м/с}$$

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				

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

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

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

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

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

5. Рассчитайте среднее арифметическое значение коэффициента динамической вязкости масла:

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

6. Рассчитайте абсолютную ошибку отдельных вычислений:

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

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



---

---

---

***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 \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа № 4**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА**

**Цель работы:** научиться определять абсолютную и относительную влажность воздуха.

**Оборудование:** психрометр Августа, справочные таблицы

**Краткая теория**

Процесс перехода жидкости в газообразное состояние называется парообразованием. Парообразование может происходить двумя путями:

- испарение (с поверхности жидкости при любой температуре);
- кипение (со всего объема жидкости при температуре кипения).

Пар – совокупность молекул, вылетающих из жидкости.

При испарении вырываются наиболее быстрые молекулы, средняя энергия оставшихся молекул уменьшается, уменьшая тем самым температуру жидкости.

$$Q = r \cdot m \quad (4.1)$$

Удельная теплота парообразования  $r$  – это количество теплоты, необходимое для получения пара из жидкости массой 1 кг. Для воды

$$r = 2,52 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Вследствие происходящего повсеместно в природе парообразования атмосферный воздух содержит водяной пар. Пар бывает насыщенным и ненасыщенным. Если количество вылетающих из жидкости молекул равно количеству возвращающихся в нее обратно, то такое состояние называется динамическим равновесием пара и жидкости, а пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным паром. Концентрация молекул воды в нем и производимое им давление будут максимальными, но они будут зависеть от температуры. Чем выше температура, тем выше давление пара.

**Таблица 1.** Зависимость максимальной упругости водяного пара и его плотности от температуры.

$t,$ $^{\circ}\text{C}$	$E$ мм.рт.ст.	$\rho,$ $\text{г}/\text{м}^3$	$t,$ $^{\circ}\text{C}$	$E$ мм.рт.ст.	$\rho,$ $\text{г}/\text{м}^3$	$t,$ $^{\circ}\text{C}$	$E$ мм.рт.ст.	$\rho,$ $\text{г}/\text{м}^3$
0	4,579	4,84	10	9,209	9,4	20	17,535	17,3
1	4,9	5,2	11	9,844	10	21	18,65	18,3
2	5,294	5,6	12	10,518	10,7	22	19,827	19,4
3	5,7	6	13	11,231	11,4	23	21,068	20,6
4	6,101	6,4	14	11,987	12,1	24	22,377	21,8
5	6,5	6,8	15	12,78	12,8	25	23,756	23
6	7,013	7,3	16	13,634	13,6	26	25,209	24,4
7	7,5	7,8	17	14,53	14,5	27	26,739	25,8
8	8,045	8,3	18	15,477	15,4	28	28,349	27,2
9	8,6	8,8	19	16,477	16,3	29	30,043	28,7

Содержание водяного пара в воздухе характеризуется абсолютной и относительной влажностью.

Абсолютная влажность воздуха - физическая величина, численно равная массе водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха при данной температуре. Обычно абсолютную влажность выражают в  $\text{г}/\text{м}^3$  или мм рт. ст. Так как плотность пара и его давления пропорциональны абсолютной температуре, то часто абсолютную влажность называют упругостью (парциальным давлением).

Ощущение сухости или сырости воздуха связано не с абсолютной влажностью, а с относительной.

Относительная влажность воздуха - отношение абсолютной влажности к ее максимальному значению при данной температуре. Относительная влажность выражается в процентах.

$$f = \frac{\rho}{\rho_H} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

Учитывая пропорциональную зависимость между плотностью и давлением

$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$ , относительную влажность воздуха можно определить по формуле:

$$f = \frac{P}{P_H} \cdot 100\% = \frac{e}{E} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

### Психометрическая таблица

Показания сухого термометра , °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11	-	-	-	-	-
1	100	82	63	45	28	11	-	-	-	-	-
2	100	84	68	51	35	20	-	-	-	-	-
3	100	84	69	54	39	24	10	-	-	-	-
4	100	85	70	56	42	28	14	-	-	-	-
5	100	86	72	58	45	32	19	6	-	-	-
6	100	86	73	60	47	35	23	10	-	-	-
7	100	87	74	61	49	37	26	14	-	-	-
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	-	-
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	-	-
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	-
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	-
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Точка росы  $t$  – температура, при которой находящиеся в воздухе водяные пары становятся насыщенными, т.е. если понижать температуру воздуха, то при  $t$  данный пар будет насыщенным, а при дальнейшем понижении температуры выпадет роса.

Дефицит влажности - разность между упругостью насыщенного водяного пара  $E$  и упругостью водяного пара, фактически имеющегося в воздухе при той же температуре:

$$D = E - e \quad (4.4)$$

Влажность воздуха может быть определена многими способами. В нашей работе мы определяем ее при помощи стационарного психрометра Августа.

Сущность психрометрического определения влажности воздуха

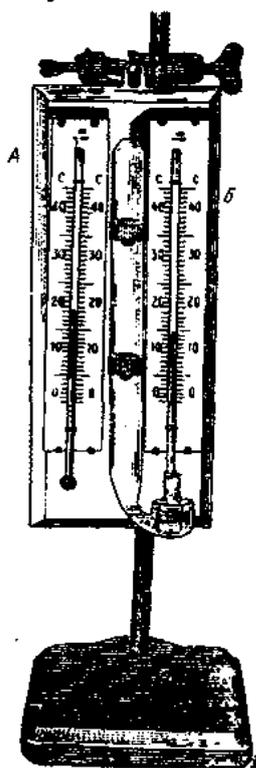


Рисунок 4

Психрометр представляет собой два одинаковых термометра, укрепленных на штативе. Один из термометров "Б" является влажным. Шарик этого термометра обтянут слоем батиста, который, как фитиль, погружен в стаканчик с дистиллированной водой. Уровень воды должен отстоять на 3 см от шарика термометра.

Если воздух содержит ненасыщенные пары, то показания влажного термометра  $t_B$  всегда будут ниже показаний сухого термометра  $t_C$ , так как вода, испаряясь, будет понижать его температуру. Разность температур ( $t_C - t_B$ ) подчиняется строгой закономерности, на основании которой составлены психрометрические таблицы, по которым, зная  $t_C$  и  $t_B$ , можно найти все параметры влажности воздуха.

### Экспериментальная часть

Задание. Определение влажности воздуха психрометром Августа

1. Заполним таблицу:

Показания термометров		Упругость насыщенного пара	Относительная влажность воздуха
$t_C, ^\circ C$	$t_B, ^\circ C$	Е, мм. рт. ст.	f, %

2. Вычислим абсолютную влажность по формуле:

$$e = \frac{f \cdot E}{100} = \quad \text{мм. рт. ст.}$$

3. По таблице упругости насыщенного пара определим точку росы:

$$\tau = \quad ^\circ C$$

4. Вычислим дефицит влажности по формуле:

$$Д = E - e = \quad \text{мм. рт. ст.}$$

ВЫВОД:

---

---

***Вопросы для защиты работы***

1. Дайте определение парообразования.
2. Назовите различия между кипением и испарением.
3. Дайте определение насыщенного пара, сформулируйте его свойства.
4. Дайте определение абсолютной влажности воздуха. Укажите единицы ее измерения.
5. Дайте определение относительной влажности воздуха. Укажите формулу для вычисления и единицы измерения.
6. Дайте определение точки росы. Укажите единицы измерения.
7. Назовите прибор, используемый для измерения влажности воздуха, и расскажите принцип его работы.
8. Укажите, какую роль играет влажность воздуха для хранения продуктов питания.

*Студент* \_\_\_\_\_

*Количество баллов* \_\_\_\_\_

*Дата защиты* \_\_\_\_\_

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №5

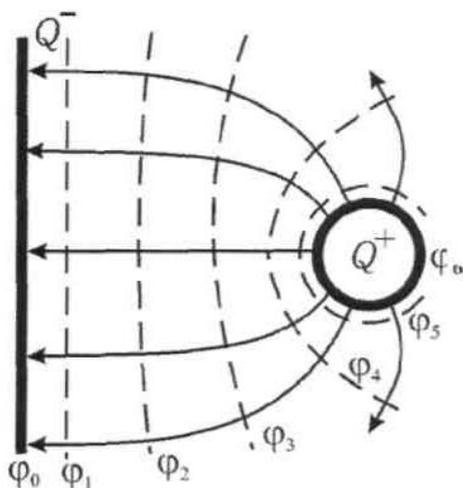
### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

**ЦЕЛЬ:** построение картины силовых линий и эквипотенциальных поверхностей исследуемого электростатического поля, определение напряженности исследуемой точки поля.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** генератор постоянных напряжений, слабопроводящая пластина с электродами, зонд, стрелочный вольтметр.

#### В в е д е н и е

Электрический заряд создает в окружающем пространстве поле - особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами. Пространство, в котором есть электрическое поле, является областью проявления электрических сил. *Электростатическое поле* в каждой точке характеризуется значениями *напряженности*  $\vec{E}$  и *потенциала*  $\varphi$ , которые являются силовой и энергетической характеристиками поля в данной точке. Электрическое поле можно изобразить графически с помощью силовых линий. *Силовая линия* – это линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с вектором напряженности электрического поля. Силовые линии не пересекаются, так как напряженность поля в каждой точке имеет одно определенное направление. Для графического изображения поля можно использовать либо силовые линии, либо эквипотенциальные поверхности. *Эквипотенциальной поверхностью* называют геометрическое место точек одинакового потенциала.



На рис. 5 показаны силовые (сплошные) и эквипотенциальные (пунктирные) линии электростатического поля, созданного заряженной плоскостью и точечным зарядом. Эквипотенциальные линии изображены в сечении эквипотенциальных поверхностей плоскостью чертежа. Эквипотенциальные поверхности проводят с одинаковым шагом  $\Delta\varphi$ . Как и силовые линии, они не пересекаются, так как каждой точке поля соответствует только одно значение  $\varphi$ .

Рис. 5. Картина эквипотенциальных и силовых линий

Перемещение заряда вдоль эквипотенциальной поверхности не требует совершения работы:  $A = Q \cdot \Delta\varphi = 0$ , так как  $\Delta\varphi = 0$ . С другой стороны, работа силы  $F$  на элементарном перемещении  $dl$

$$A = \int_1^2 F \cdot dl \cdot \cos\alpha, \quad (5.1)$$

откуда следует, что при  $F \neq 0$  и  $dl \neq 0$  величина  $\cos \alpha = 0$ .

Это означает, что действующая на заряд сила перпендикулярна перемещению вдоль поверхности равного потенциала. Следовательно, силовые линии перпендикулярны любой эквипотенциальной поверхности (рис. 6).

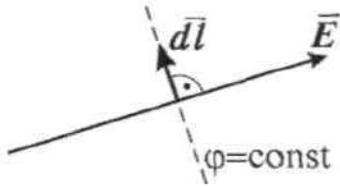


Рис. 6. Расположение силовых (сплошная) и эквипотенциальных (пунктирная) линий

Связь потенциала с напряжённостью поля в данной точке выражается соотношением

$$\vec{E} = - \overrightarrow{\text{grad}} \varphi, \quad (5.2)$$

где

$$\overrightarrow{\text{grad}} \varphi = \frac{d\varphi}{dx} \vec{i} + \frac{d\varphi}{dy} \vec{j} + \frac{d\varphi}{dz} \vec{k} \quad (5.3)$$

Градиент функции  $\varphi(x, y, z)$  есть вектор, направленный в сторону максимального возрастания этой функции, модуль которого равен производной функции  $\varphi$  по тому же направлению:

$$\overrightarrow{\text{grad}} \varphi = \frac{d\varphi}{dn} \vec{n}, \quad (5.4)$$

где  $\vec{n}$  – единичная нормаль к эквипотенциальной поверхности.

Таким образом, из выражений (5.2) и (5.4) следует, что вектор напряженности электростатического поля в каждой точке численно равен скорости изменения потенциала вдоль силовой линии и направлен в сторону убывания потенциала:

$$\vec{E} = - \frac{d\varphi}{dn} \vec{n}. \quad (5.5)$$

### Метод исследования поля

При конструировании многих электронных приборов требуется изучение электростатического поля в пространстве, заключённом между электродами. Изучить поле – это значит определить в каждой его точке значения  $\vec{E}$  и  $\varphi$  возможен лишь в случае полей, создаваемых электродами простой конфигурации. Сложные электростатические поля исследуют экспериментально.

Для изучения полей используют экспериментальные методы их моделирования. Один из них основан на применении слабопроводящей пластины с электродами. Электростатическое поле заменяют электрическим полем, в котором на электроды подают такие же потенциалы, как и в моделируемом поле. Несмотря на движение заряженных частиц, плотность зарядов на электродах постоянна, так как на место зарядов, уходящих по слабопроводящей пластинке, непрерывно поступают новые. Поэтому заряды электродов создают в

пространстве такое же электрическое поле, как и неподвижные заряды той же плотности, а электроды являются эквипотенциальными поверхностями. Использование пластины позволяет применять токоизмерительные приборы, более простые и надежные в работе, чем электростатические.

При исследовании поля находим положение эквипотенциальных поверхностей, используя для измерения потенциалов точек поля метод зонда. Электрический зонд представляет собой остроконечный проводник, который помещают в ту точку, где нужно измерить потенциал. В проводящей среде потенциал зонда равен потенциалу исследуемой точки поля.

Полученная картина эквипотенциальных поверхностей исследуемого поля позволяет провести силовые линии (ортогонально поверхностям) и вычислить значение напряженности  $E$  в любой точке по формуле (5), как среднее значение на участке длины  $\Delta n$ :

$$E \approx - \frac{\Delta \varphi}{\Delta n} = \left| \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta n} \right|, \quad (5.6)$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  - потенциалы соседних эквипотенциальных поверхностей,  $\Delta n$  - кратчайшее расстояние между ними (по нормали).

В настоящей работе для изучения электростатического поля используют метод слабопроводящей пластины.

### Описание установки

При конструировании многих электронных приборов требуется изучить электростатическое поле в пространстве заключенном между электродами. Изучить поле – это значит определить в каждой его точке значение вектора напряженности  $\vec{E}$  и потенциала  $\varphi$ . Теоретический расчет этих величин возможен только в случае полей, создаваемых электродами простой конфигурации. Сложные поля исследуют экспериментально.

Для изучения полей используют методы моделирования. Один из них основан на применении слабопроводящей среды с электродами заданной формы. Электростатическое поле заменяют электрическим полем в котором на электроды подают такую же разность потенциалов, как и в моделируемом поле. Несмотря на движение заряженных частиц, плотность зарядов на электродах постоянна, так как на место зарядов, уходящих по слабопроводящей среде, непрерывно поступают новые. Поэтому заряды электродов создают в пространстве такое же электрическое поле, как и неподвижные заряды. Применение слабопроводящей среды позволяет использовать токопроводящие приборы, более простые и надежные, чем электростатические.

При исследовании полей находят положение эквипотенциальных поверхностей, используя для этого метод зонда. Электрический зонд представляет собой остроконечный проводник, который помещают в ту точку, где нужно определить потенциал. В слабопроводящей среде потенциал зонда равен потенциалу исследуемой точки поля. Зная положение эквипотенциальных поверхностей можно провести силовые

линии поля, так как они всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

Электрическая схема установки приведена на рисунке.

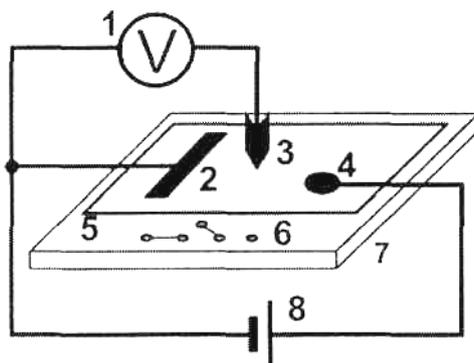


Рисунок 7.

### Выполнение работы

1. На лист миллиметровой бумаги нанесите контуры электродов (в натуральную величину) и координатную сетку, идентичную имеющейся на установке.
2. Собрать электрическую схему, изображенную на рисунке.
3. Включить питание генератора постоянного тока. Нажать кнопку «Исходная установка».
4. Кнопками установки напряжения (0...15 В) установите потенциалы электродов (по заданию преподавателя), контролируя их вольтметром.
5. Касаясь электродов зондом, определите какой электрод имеет нулевой потенциал.
6. Возле электрода с нулевым потенциалом найдите точку, имеющую потенциал 1 В и нанесите ее на картину поля. Перемещая зонд по полю, определите координаты не менее 8-10 точек, имеющих тот же потенциал, и нанесите их на миллиметровку. Соедините эти точки плавной кривой и напишите значение потенциала.
7. По пункту 6 произвести измерения для остальных эквипотенциальных поверхностей с шагом 1 В.
8. Выключить питание генератора тока.

### Обработка результатов

1. На картине исследуемого поля нанесите силовые линии поля, перпендикулярные эквипотенциальным поверхностям.
2. Постройте график зависимости потенциала точки от расстояния до электрода с нулевым потенциалом, т.е. график  $\varphi = f(r)$ .
3. Для 3 - 4 точек поля (выбранных в различных местах пластины) рассчитать значение напряженности поля по формуле  $E = -\frac{\Delta\varphi}{d}$ , где  $d$  - расстояние между двумя эквипотенциальными поверхностями вдоль силовой линии.

\_\_\_\_ B

x					
y					

\_\_\_\_ B

x					
y					

\_\_\_\_ B

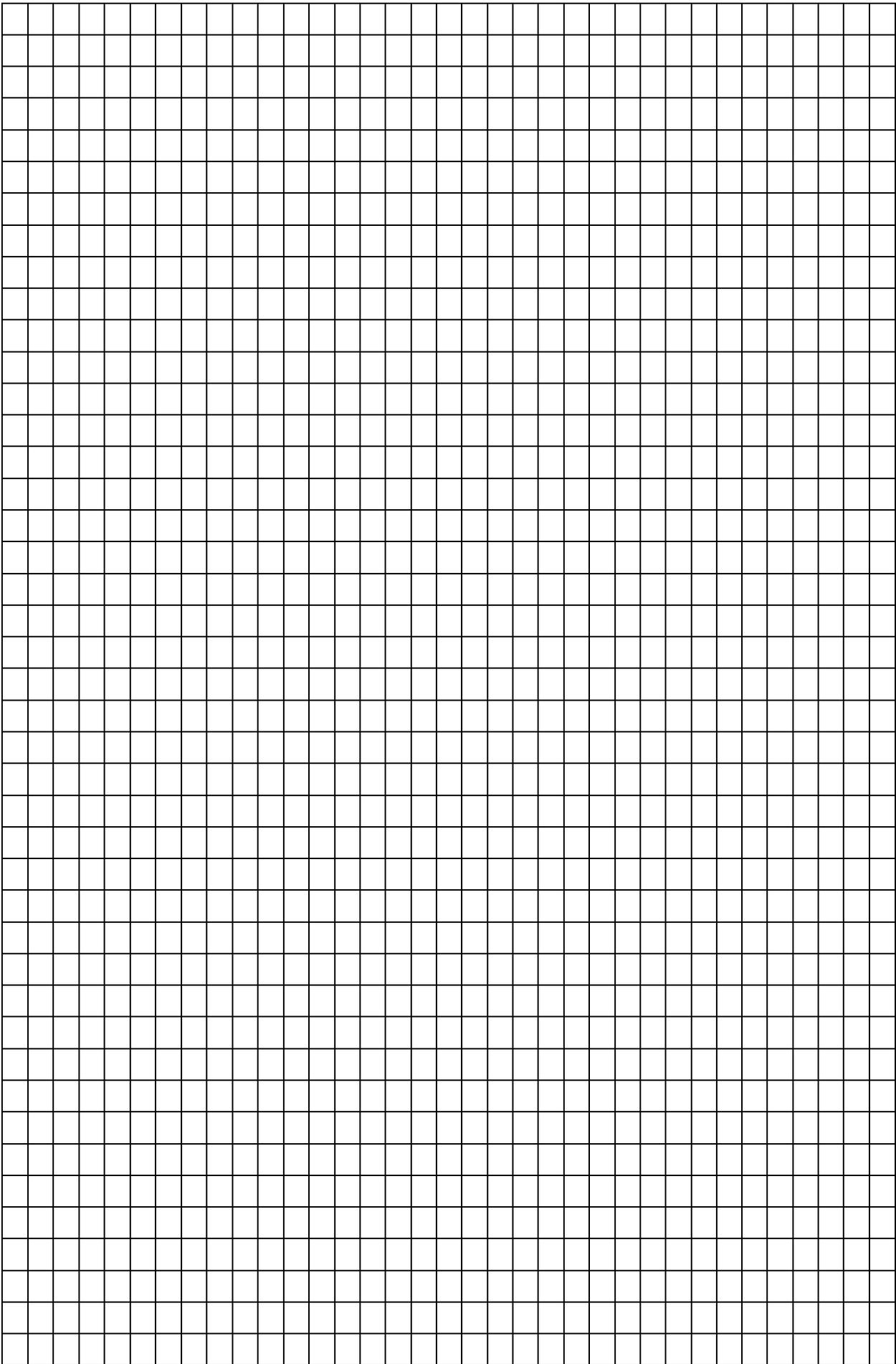
x					
y					

\_\_\_\_ B

x					
y					

\_\_\_\_ B

x					
y					



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

### Контрольные вопросы

1. От чего зависит сила, действующая на заряд, помещенный в данную точку поля?
2. Дайте определение силовой линии поля.
3. Каковы основные свойства силовых линий поля?
4. Какое поле называется однородным?
5. Что называется потенциалом поля в данной точке?
6. Дайте определение эквипотенциальной поверхности.
7. Выведите формулу, связывающую напряженность электростатического поля и потенциал.
8. От чего зависит работа по перемещению заряда в электростатическом поле?

*Студент* \_\_\_\_\_

*Количество баллов* \_\_\_\_\_

*Дата защиты* \_\_\_\_\_

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №6

# ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ

**ЦЕЛЬ:** определение температурного коэффициента сопротивления (ТКС) проводника и ширины запрещенной зоны полупроводника.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** регулируемый источник постоянного напряжения, мини-блоки «Исследование температурной зависимости сопротивления проводника и полупроводника» и «Ключ», мультиметры.

### В в е д е н и е

По электрическим свойствам вещества разделяют на три класса: проводники, диэлектрики и полупроводники. Типичными проводниками являются *металлы*, обладающие малым удельным сопротивлением – менее  $10^{-6}$  Ом·м. Удельное электрическое сопротивление *полупроводников*  $\rho$  обычно лежит в пределах  $10^{-6}..10^{-14}$  Ом·м. Материалы, у которых величина  $\rho$  больше  $10^{-14}$  Ом·м, относятся к *диэлектрикам*. Полупроводниками являются ряд элементов III—VI групп таблицы элементов Д.И. Менделеева (В, Ge, Si, As, Те и т.д.), а также большое число химических соединений (GaAs, GaP, ZnS, SiC и др.). В зависимости от внешних условий (температура, давление) одно и то же вещество может относиться к разным классам. Например, германий при температуре жидкого азота 77 К - диэлектрик, при комнатной температуре - полупроводник, а жидкий Ge - проводник.

Теория дает более обоснованную классификацию веществ. Согласно квантовой теории электроны в атоме могут иметь только определенные значения энергии, которые называют энергетическими уровнями. Именно эти уровни при объединении отдельных атомов в кристалл образуют *разрешенные энергетические зоны*. Промежуток, разделяющий такие зоны, называют *запрещенной зоной* (рис. 8). Энергетическая зона считается заполненной, если все уровни зоны заняты электронами. При этом согласно принципу Паули на одном энергетическом уровне может находиться не более двух электронов, имеющих противоположно направленные спины. Зона считается свободной, если не заняты все уровни этой зоны.

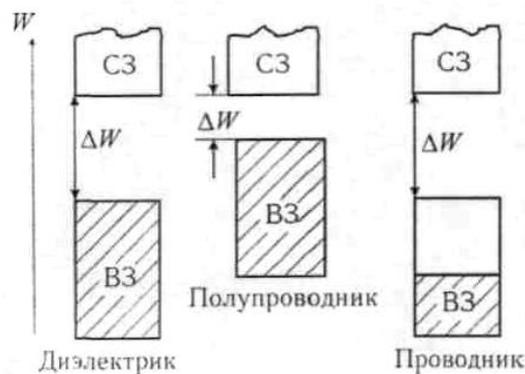


Рис. 8. Энергетические зоны.

Обозначения энергетических зон: ВЗ – валентная; СЗ – свободная,  $\Delta W$  – запрещённая. Штриховкой отмечена заполненная часть зоны (при температуре  $T = 0$  К)

Если валентные электроны атомов, ответственные за электрические свойства вещества, образуют полностью заполненную (валентную) зону так, что последующая разрешенная зона (зона проводимости) свободна, то электропроводность такого вещества равна нулю, и оно является диэлектриком. Действительно, при протекании тока в веществе происходит движение электронов под действием внешнего электрического поля, что предполагает увеличение энергии электронов, т.е. переход их на более высокий незанятый энергетический уровень. Эти уровни отсутствуют в случае заполненной валентной зоны, а значит, в веществе с такой зонной структурой электрон не может ускоряться внешним электрическим полем

Для того, чтобы перевести электроны из валентной зоны в зону проводимости, им следует сообщить энергию, не меньшую, чем ширина запрещенной зоны  $\Delta W$ . Часть электронов приобретает эту энергию при облучении вещества светом или за счет теплового движения атомов. Поэтому при обычных температурах ( $T \approx 300$  К) в зоне проводимости есть некоторое количество электронов. В зависимости от их концентрации вещество может быть либо диэлектриком, либо полупроводником, причем различие между этими классами определяется значениями ширины запрещенной зоны  $\Delta W$  и температуры  $T$ . Для полупроводников при комнатной температуре  $\Delta W$  составляет 0,02 - 2 эВ, а для диэлектриков - больше 2 эВ.

Температурная зависимость проводимости полупроводников определяется изменением концентрации носителей тока - электронов, перешедших в зону проводимости. При увеличении температуры их количество экспоненциально возрастает, поэтому сопротивление  $R$  чистых полупроводников уменьшается с ростом температуры  $T$  по закону

$$R = A \cdot \exp(\Delta W / 2kT), \quad (6.1)$$

где  $A$  - величина, слабо зависящая от температуры;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К - постоянная Больцмана.

Проводники имеют другую зонную структуру. Валентные электроны заполняют зону примерно наполовину (см. рис. 8), при этом электроны могут свободно перемещаться под действием внешнего электрического поля. Валентная зона является зоной проводимости. В проводнике концентрация свободных электронов не зависит от температуры - в этом основное отличие проводника от полупроводника и диэлектрика. Для проводников зависимость сопротивления от температуры значительно слабее, чем для диэлектриков. Она определяется рассеянием энергии электронов при взаимодействии с ионами кристаллической решетки. С ростом температуры увеличивается амплитуда колебаний ионов, что ведет к снижению длины свободного пробега электронов проводимости в металле. При этом электрическое сопротивление  $R$  проводников увеличивается по линейному закону

$$R = R_0(1 + at), \quad (6.2)$$

где  $t$  - температура в градусах Цельсия;  $R_0$  - сопротивление проводника при  $0^\circ$  С;  $a$  - температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

**М е т о д и к а   о п р е д е л е н и я  
в е л и ч и н ы   Т К С   п р о в о д н и к а   и   ш и р и н ы  
з а п р е щ е н н о й   з о н ы   п о л у п р о в о д н и к а**

Уравнение (6.2) температурной зависимости сопротивления проводника в координатах  $R - t$  изображается прямой линией, угловым коэффициент которой  $K_1 = R_a$ . По величине  $K_1$  можно определить значение ТКС исследуемого проводника:

$$a = K_1/R_0, \quad (6.3)$$

где  $R_0$  - значение  $R$  при температуре  $0^\circ \text{C}$  определяют путем экстраполяции линейной зависимости до  $t = 0^\circ \text{C}$ .

Величину углового коэффициента экспериментальной зависимости также определяют по графику или с помощью метода наименьших квадратов.

Для полупроводника зависимость сопротивления от температуры нелинейная, поэтому для определения ее параметров используют функциональные шкалы  $\ln R - 1/T$ . Действительно, логарифмируя уравнение (6.1), получаем

$$\ln R = \ln A + \frac{\Delta W}{2k} \cdot 1/T \quad (6.4)$$

Эта зависимость  $\ln R$  от  $1/T$  является линейной с угловым коэффициентом  $K_2 = \Delta W/2k$ , что позволяет найти ширину запрещенной зоны полупроводника по формуле

$$\Delta W = 2k \cdot K_2 \quad (6.5)$$

Таким образом, для определения величины ТКС проводника и ширины запрещенной зоны полупроводника  $\Delta W$  достаточно получить экспериментально температурные зависимости их сопротивления.

### О п и с а н и е у с т а н о в к и

Электрическая схема установки показана на рис. 9, монтажная схема - на рис. 10.

Рис. 9. Электрическая схема:

1 – регулируемый источник постоянного напряжения ( $0 \dots +15 \text{ В}$ ); 2 – электронагреватель; 3 – термопара; 4, 5 – исследуемые образцы проводника и полупроводника; 6 – блок «Исследование температурной зависимости сопротивления проводника и полупроводника»; 7 – переключатель; 8 – блок «Ключ»; 9 – цифровой мультиметр в режиме измерения сопротивления (режим  $\Omega$  2 кОм, входы СОМ,  $V\Omega$ ); 10 – цифровой мультиметр в режиме измерения температуры

Электронагреватель 2 подсоединен к регулируемому источнику постоянного напряжения 1 ( $0 \dots +15 \text{ В}$ ). При включении источника напряжения начинается нагрев исследуемых образцов. Для измерения сопротивления образцов 4, 5 в режиме непрерывного нагрева их поочередно подсоединяют к цифровому мультиметру 9 с помощью переключателя 7. Температуру образцов измеряют с помощью термопары 3, сигнал с которой подается на мультиметр 10 (разъем для подключения термопары).

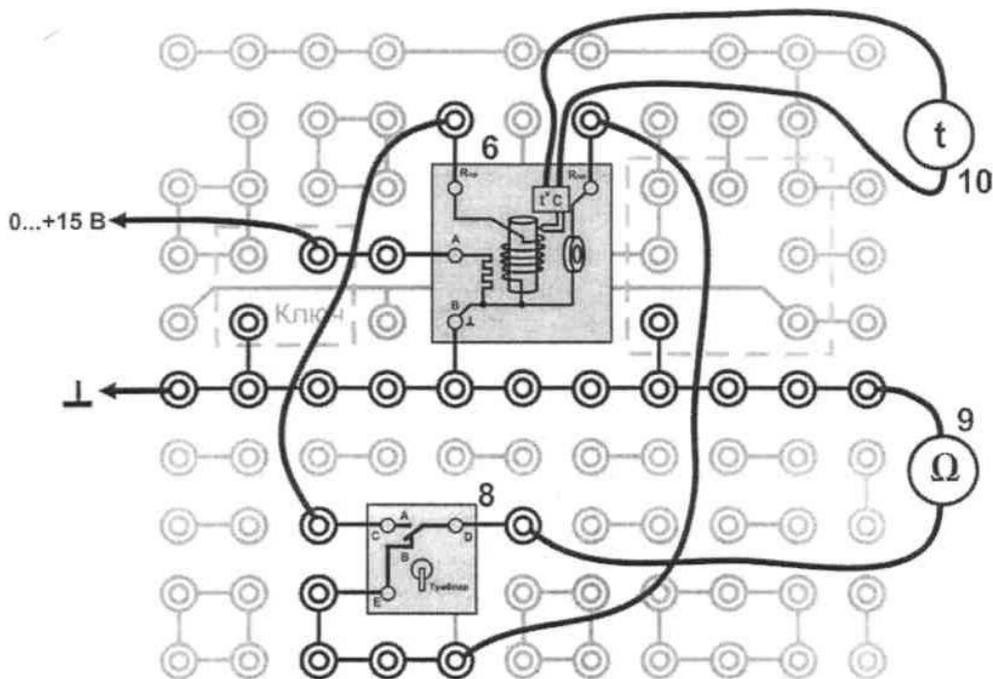


Рис. 10. Монтажная схема установки

### Выполнение работы

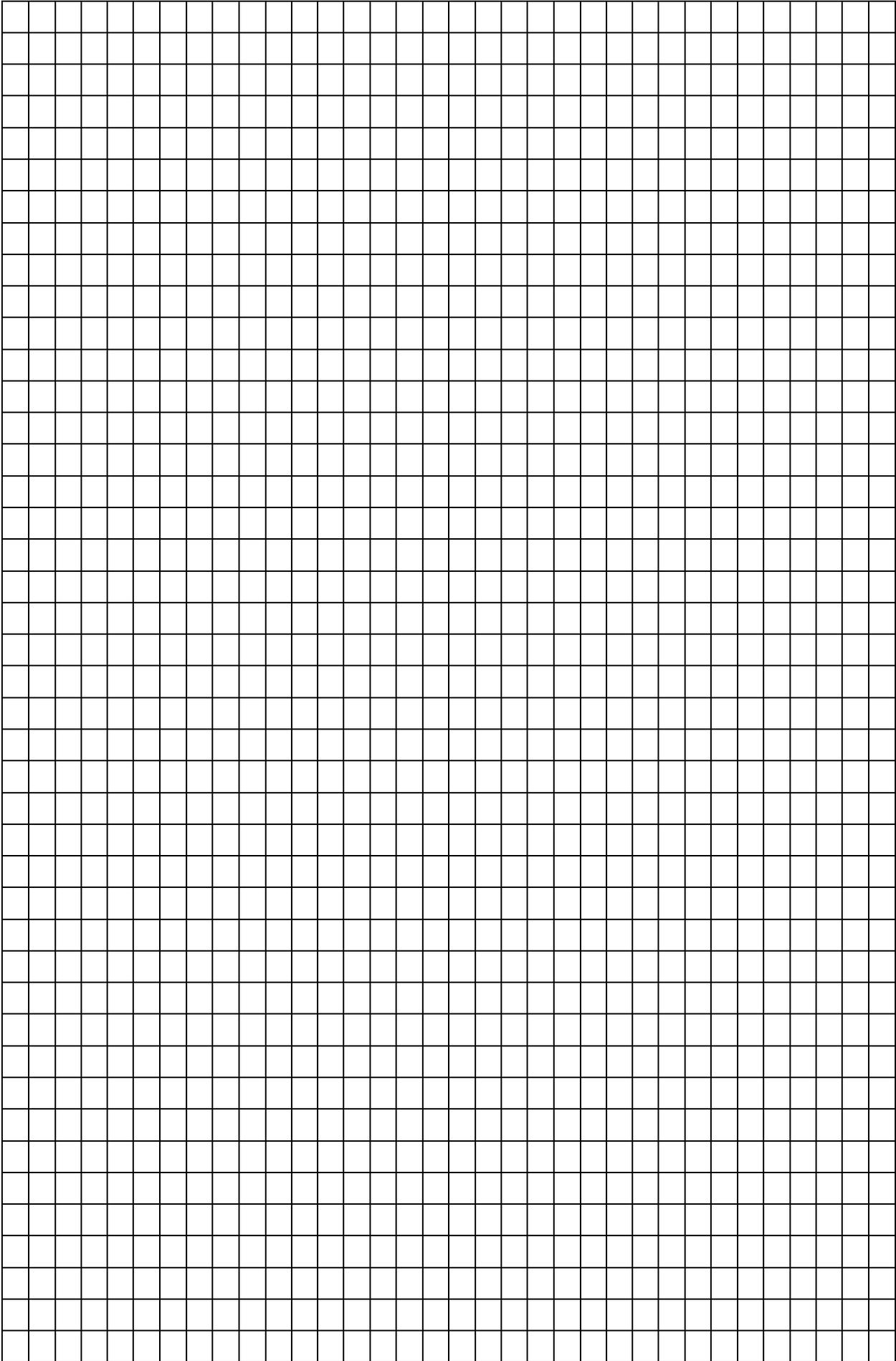
1. Собрать электрическую цепь по схеме рисунка.
2. Включить питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажать кнопку «Исходная установка».
3. Установить необходимые пределы измерений мультиметров. Учсть, что при измерении сопротивления проводника переключатель диапазонов ставится в положение 200 Ом, а полупроводника – 2 кОм.
4. Измерьте сопротивление проводника и полупроводника при комнатной температуре, подключая их поочередно к мультиметру.
5. Кнопками установки напряжения (0...15 В) установите по индикатору 5 – 7 делений.
6. По мере нагревания образцов, измерьте их сопротивление через каждые 5°C до 60 – 70°C. Результаты измерений занести в таблицу.
7. Выключить питание.

### Таблица

t, °C									
Проводник									
R, Ом									
Полупроводник									
R, Ом									
T, К									
1/T									
lnR									

### Обработка результатов

1. По данным таблицы построить графики зависимости сопротивления проводника и полупроводника от температуры. Ось температур надо начинать с  $0^{\circ}\text{C}$
2. Продолжив график зависимости сопротивления проводника до оси  $R$ , определить его сопротивление  $R_0$  при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ .
3. Выбирая на графике две достаточно удаленные точки по формуле 
$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_0 (t_2 - t_1)}$$
 определить термический коэффициент сопротивления проводника.
4. Для полупроводника необходимо построить и график зависимости 
$$\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right).$$
5. Выбирая на этом графике две точки, по формуле 
$$\Delta E = 2k \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}},$$
 где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  - постоянная Больцмана, определить ширину запрещенной зоны полупроводника.



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

### **Контрольные вопросы**

1. От чего зависит сопротивление проводника и полупроводника?  
Запишите формулы этих зависимостей.
2. Чем объясняется температурная зависимость сопротивления проводника от температуры?
3. Собственная проводимость полупроводников и ее зависимость от температуры.
4. Примесная проводимость полупроводников и ее зависимость от температуры.
5. Как можно объяснить сильную зависимость сопротивления полупроводника от температуры?

6. Запишите законы Ома и Джоуля – Ленца в дифференциальной форме.
7. Каким образом классическая электронная теория объясняет электропроводность металлов?
8. Какие энергетические зоны имеются в твердых телах? Как расположены эти зоны?
9. Как возникают энергетические зоны в твердых телах?
10. Как зонная теория объясняет электропроводность металлов, полупроводников и диэлектриков?

*Студент* \_\_\_\_\_

*Количество баллов* \_\_\_\_\_

*Дата защиты* \_\_\_\_\_

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА

**Цель работы:** определить показатель преломления жидкости рефрактометрическим методом.

**Оборудование:** рефрактометр, дистиллированная вода, растворы сахара.

#### Ход работы

**Задание.** Исследование зависимости показателя преломления раствора от его концентрации.

1. Снимите пробку с окна верхней камеры, окно нижней камеры должно быть закрыто.
2. Откройте верхнюю камеру и промойте дистиллированной водой поверхности измерительной и осветительной призм и насухо протрите чистой льняной салфеткой.
3. Оплавленным концом стеклянной палочки нанесите на плоскость измерительной призмы одну - две капли дистиллированной воды и закройте верхнюю камеру.
4. Смещая осветитель, луч света направьте в окно верхней камеры.
5. Перемещением рукоятки с окуляром (внутри прибора вместе с рукояткой перемещается механизм наведения) вдоль шкалы вверх или вниз введите в поле зрения границу светотени.
6. Резкость границы светотени, штрихов шкалы и перекрестия сетки установите вращением гайки окуляра по глазу наблюдателя.
7. Вращением рукоятки дисперсионного компенсатора устраните окрашенность границы светотени.
8. Поворотом рычага осветителя и вращением осветителя на оси добейтесь максимально контрастной границы светотени.
9. Перемещая рукоятку с окуляром, границу светотени подведите к центру перекрестия сетки и по границе светотени произвести отсчет по шкале показателей преломления.
10. С помощью рефрактометра определите показатели преломления растворов различных концентраций.
11. Результаты измерений занесите в таблицу:

$C, \%$					
$n$					

12. Изобразите графически зависимость  $n = f(C)$ .



13. По наклону полученного графика определите удельный показатель преломления исследованного раствора жидкости.

14. Вывод:

---

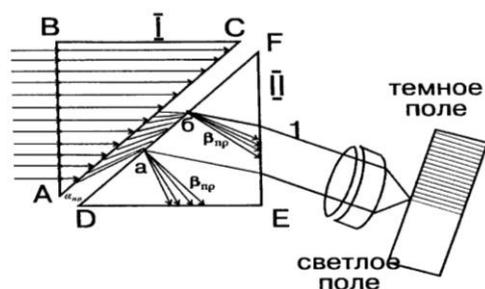
---

---

### Контрольные вопросы

- 1) Что называется абсолютным и относительным показателем преломления?
- 2) Что понимается под преломлением (рефракцией) света? Какова причина данного явления?
- 3) Как формулируется закон преломления лучей света на границе двух сред.

- 4) При каком условии луч света проходит две оптически разнородные среды без преломления?
- 5) Сравните скорости света в двух средах, если угол падения больше угла преломления.
- 6) При каких условиях наблюдается явление полного внутреннего отражения?
- 7) В чем заключается явление полного внутреннего отражения?
- 8) Что называется предельным углом полного внутреннего отражения?
- 9) Объясните принцип действия рефрактометра.



- 10) Где используется рефрактометр?

Студент \_\_\_\_\_

Количество баллов \_\_\_\_\_

Дата защиты \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа № 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЛИНЗЫ

**Цель работы:** определить оптическую силу собирающей и рассеивающей линз.

**Оборудование:** оптическая скамья, осветитель, собирающая и рассеивающая линзы.

#### Ход работы

1. На оптической скамье установите собирающую линзу. Перемещая линзу, на экране добейтесь четкого увеличенного изображения предмета (предмет располагается на расстоянии, большем фокусного расстояния) и измерьте расстояния

$$d_1 = \quad \text{м}$$

$$f_1 = \quad \text{м}$$

2. Рассчитайте значение фокусного расстояния линзы

$$3. F_1 = \frac{d_1 \cdot f_1}{d_1 + f_1} = \quad \text{м}$$

4. Перемещая линзу, получите на экране четкое уменьшенное изображение предмета, измерьте расстояния

$$d_2 = \quad \text{м}$$

$$f_2 = \quad \text{м}$$

5. Рассчитайте фокусное расстояние линзы

$$F_2 = \frac{d_2 \cdot f_2}{d_2 + f_2} = \quad \text{м}$$

6. Определите среднее значение фокусного расстояния

$$\langle F_c \rangle = \quad \text{м}$$

7. Рассчитайте оптическую силу собирающей линзы.

$$D_c = \frac{1}{\langle F_c \rangle} = \quad \text{дптр}$$

8. Вместе с собирающей установите рассеивающую линзу, получив систему линз, и повторите те же измерения и расчеты, что и с собирающей линзой.

Увеличенное изображение:

$$d_3 = \quad \text{м}$$

$$f_3 = \quad \text{м}$$

$$F_3 = \quad \text{м}$$

Уменьшенное изображение:

$$d_4 = \quad \text{м}$$

$$f_4 = \quad \text{м}$$

$$F_4 = \quad \text{м}$$

$$\langle F \rangle_{\text{сист}} = \quad \text{м}$$

$$D_{\text{сист}} = \frac{1}{\langle F_{\text{сист}} \rangle} =$$

дптр

9. Рассчитайте оптическую силу и фокусное расстояние рассеивающей линзы

$$D_p = D_{\text{сист}} - D_c =$$

дптр

$$F_p = \frac{1}{D_p}$$

м

10. Результаты измерений и расчеты занесите в таблицу:

Изображение предмета	$d$ , м	$f$ , м	$F$ , м	$\langle F \rangle$ , м	$D$ , дптр
1. Собирающая линза:					
а) увеличенное					
б) уменьшенное					
2. Система линз:					
а) увеличенное					
б) уменьшенное					
3. Рассеивающая линза	-	-	-		

11.

Вывод: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Контрольные вопросы

1) Что называется линзой?

2) Какие бывают виды линз (рисунок)?



3) Что называется главной оптической осью линзы (определение, рисунок вопрос 4)?

4) Что называется фокусом линзы? Где он находится (определение, рисунок)?


5) Как записывается формула линзы?

6) Что называется оптической силой линзы? Единица измерения.

7) Написать формулу тонкой линзы?

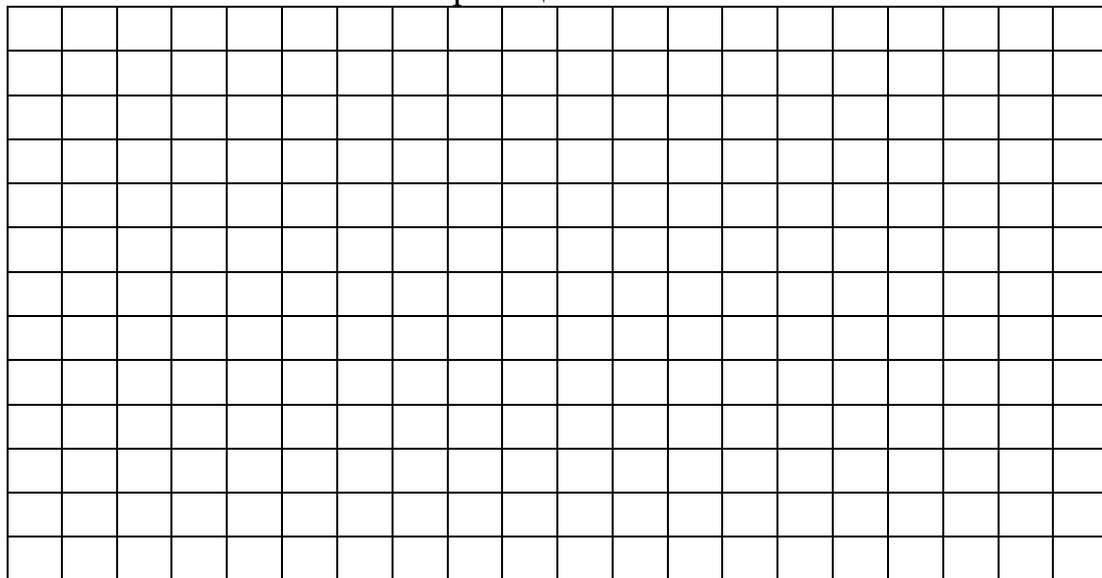
8) Чему равно линейное увеличение тонкой линзы?

9) Зависит ли фокусное расстояние линзы от среды, в которой она находится?

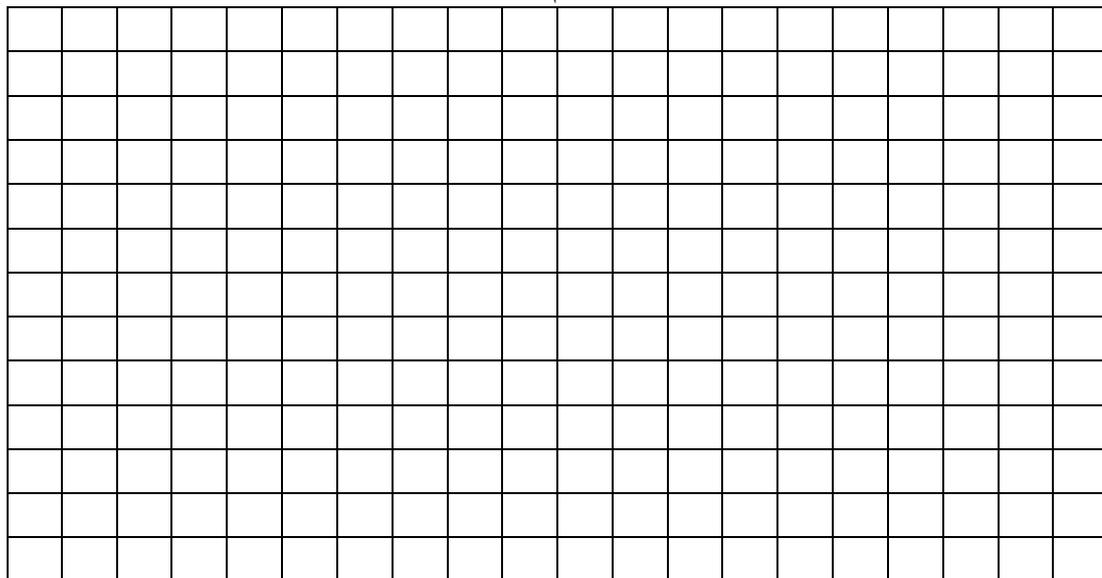
10) Какое практическое применение находят линзы?

11) Построение в линзах (по заданию преподавателя).

Собирающая линза



Рассеивающая линза



Студент \_\_\_\_\_

Количество баллов \_\_\_\_\_

Дата защиты \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### а) основная литература

1. ЭБС «Znanium» Ильюшонок, А.В. Физика: учеб. пособие / А.В. Ильюшонок [и др.]. – Москва: Минск: ИНФРА-М: Новое знание, 2013. – 600 с. – (Гр. Республики Беларусь).
2. ЭБС «Znanium» Хавруняк, В.Г. Курс физики: учеб. пособие / В. Г. Хавруняк. – Москва: ИНФРА-М: Новое знание, 2014. – 400 с. – (Гр. НМС).
3. 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).
4. Трофимова, Т.И. Физика: учебник для студентов вузов по техническим направлениям подготовки /Т.И.Трофимова, - М.: Академия, 2012. – 320 с. – (Высшее профессиональное образование. Бакалавриат).
5. Трофимова, Т.И. Курс физики. Задачи и решения: учебное пособие для студентов вузов по техническим направлениям и специальностям / Т.И.Трофимова, А.В.Фирсов – 4-е изд., испр. – М.: Академия, 2011. – 592 с. -(Высшее профессиональное образование. Бакалавриат.Гр.).
6. Копылова, О. С.Курс общей физики : учеб. пособие / О. С. Копылова ; СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2017. - 300 с. - ISBN 978-5-9596-1290-0.
7. 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).
8. Крахоткин, В. И. Электричество и магнетизм : учеб. пособие для студентов вузов по спо направлению 110300 - Агроинженерия / СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2006. - 220 с. - (Гр. МСХ РФ).
9. Стародубцева, Г. П. Оптика и строение атома : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110300 - "Агроинженерия" / СтГАУ. - Ставрополь : АГРУС, 2007. - 172 с. - (Гр. МСХ РФ).

### б) дополнительная литература

1. Крахоткин, В.И. Лабораторный практикум по электродинамике /Крахоткин В.И., Стародубцева Г.П., Хащенко А.А., Ковалева Г.Е.– Ставрополь - Цех оперативной печати СНИИЖК, 2011 – 40 с.
2. 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.
3. ЭБС «Znanium» Врублевская, Г.В. Физика. Практикум: учеб. пособие / Г.В. Врублевская [и др.]. – Москва: Минск: ИНФРА-М: Новое знание, 2012. – 286 с.
4. 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.
5. Вестник АПК Ставрополя (периодическое издание).
6. 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/snacom 1.htm/>
2. Портал естественных наук [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// e-science.ru/physics/](http://e-science.ru/physics/)
3. Физика в анимациях [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// physics.nad.ru/Physics/Cyrillic/index.htm](http://physics.nad.ru/Physics/Cyrillic/index.htm)
4. Электронные издания по физике [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// mdito.pspru.ru/?q=node/75](http://mdito.pspru.ru/?q=node/75)
5. Открытая физика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// physics.ru/modules.php?name=main\\_menu&op=show\\_page&page=book.inc](http://physics.ru/modules.php?name=main_menu&op=show_page&page=book.inc)
6. Открытая физика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// www.physics.ru/](http://www.physics.ru/)
7. История физики [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// alhimik.ru](http://alhimik.ru)
8. Детские вопросы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// elementy.ru](http://elementy.ru)
9. Естественно –научный образовательный портал [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// www.en.edu.ru/catalogue/363](http://www.en.edu.ru/catalogue/363)
10. 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)
11. Физика+ по Ландсбергу [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// physel.ru/](http://physel.ru/)
12. Анимации, лабораторные [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// www.radweb.ru/](http://www.radweb.ru/)
13. Просто о сложном [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// prosto-o-slognom.ru/index.html](http://prosto-o-slognom.ru/index.html)

На информационном сайте вуза, сайте кафедры в личном кабинете преподавателя размещены электронные конспекты лекций, экзаменационные вопросы, лабораторные практикумы и рабочие тетради, применяемые для познавательной деятельности студентов.