



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
АВТОНОМНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
«ТЕХНИКУМ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ИМЕНИ АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА ВОСКРЕСЕНСКОГО»**

**Практические работы по учебному предмету  
УП.06 ФИЗИКА**

**специальность 11.02.17 Разработка электронных устройств и систем**

2023 г.

## Практическая работа №1

### Раздел: Кинематика Равноускоренное движение

Тема: Определение ускорения и перемещения по графику скорости равноускоренного движения

Цель: Приобретение навыков чтения графика скорости и расчета ускорения.

В общем случае равноускоренным движением называют такое движение, при котором вектор ускорения  $\vec{a}$  остается неизменным по модулю и направлению. Примером такого движения является движение падающего тела, ускорение такого тела равно ускорению свободного падения  $\vec{g}$ .

#### падения

При равноускоренном прямолинейном движении скорость тела определяется формулой

$$v = v_0 + at. \quad (*)$$

В этой формуле  $v_0$  – скорость тела при  $t = 0$  (*начальная скорость*),  $a = \text{const}$  – ускорение. На графике скорости  $v(t)$  эта зависимость имеет вид прямой линии (рис. 1).

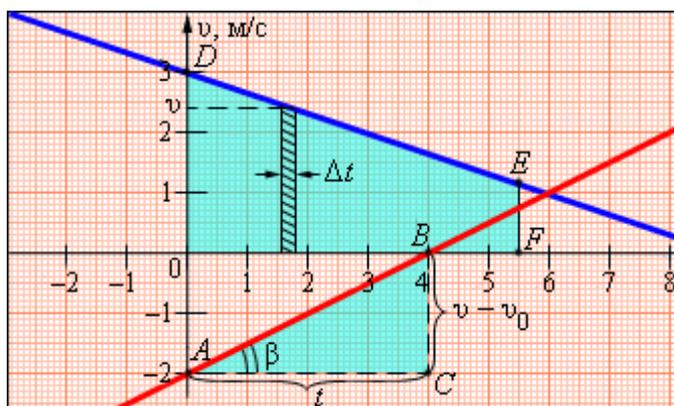


Рисунок 1.

Графики скорости равноускоренного движения

По наклону графика скорости может быть определено ускорение  $a$  тела. Соответствующие построения выполнены на рис. 1 для графика I (красный). Ускорение численно равно отношению сторон треугольника  $ABC$ :

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

Чем больше угол  $\beta$ , который образует график скорости с осью времени, т. е. чем больше наклон графика (**крутизна**), тем больше ускорение тела.

Для графика I на рис. 1 (красный):  $v_0 = -2$  м/с,  $a = 1/2$  м/с<sup>2</sup>.

Для графика II на рис. 2 (синий):  $v_0 = 3$  м/с,  $a = -1/3$  м/с<sup>2</sup>.

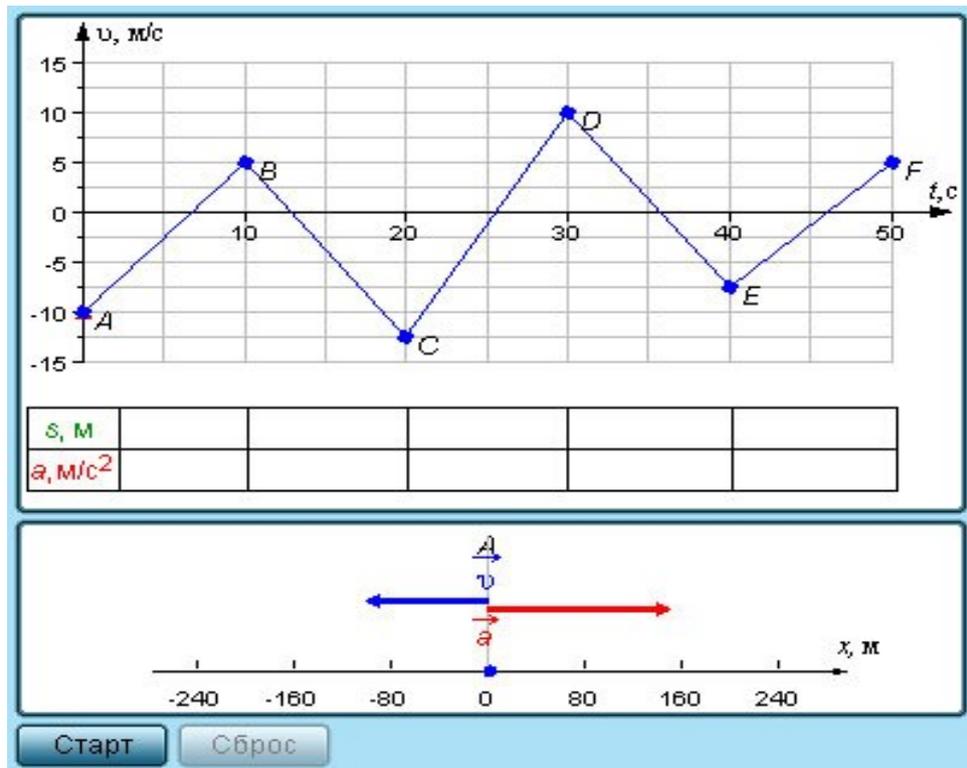


рис.2

График скорости позволяет также определить проекцию перемещения  $s$  тела за некоторое время  $t$ . Выделим на оси времени некоторый малый промежуток времени  $\Delta t$ . Если этот промежуток времени достаточно мал, то и изменение скорости за этот промежуток невелико, т. е. движение в течение этого промежутка времени можно считать равномерным с некоторой средней скоростью, которая равна мгновенной скорости  $v$  тела в середине промежутка  $\Delta t$ . Следовательно, перемещение  $\Delta s$  за время  $\Delta t$  будет равно  $\Delta s = v\Delta t$ . Это перемещение равно площади заштрихованной полоски (рис. 2). Разбив промежуток времени от 0 до некоторого момента  $t$  на малые промежутки  $\Delta t$ , получим, что перемещение  $s$  за заданное время  $t$  при равноускоренном прямолинейном движении равно площади трапеции  $ODEF$ . Соответствующие построения выполнены для графика II на рис.2. Время  $t$  принято равным 5,5 с.

$$s = \frac{(|OD| + |EF|)}{2} |OF| = \frac{v_0 + v}{2} t = \frac{2v_0 + (v - v_0)}{2} t$$

Так как  $v - v_0 = at$ , окончательная формула для перемещения  $s$  тела при равномерно ускоренном движении на промежутке времени от 0 до  $t$  запишется в виде:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Результаты вычислений запишите в таблицу под графиком 2.

Вывод: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

---

---

### Критерии оценки ко всем практическим работам

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

### Практическая работа №2.

Тема: Изучение движения тела под действием силы тяжести.

Цель: Определить ускорение, с которым тело движется при свободном падении.

#### Ход работы

1. Теоретическая часть.

#### Краткая теория

**Свободным падением** тел называют падение тел на Землю в отсутствие сопротивления воздуха (в пустоте). В конце XVI века знаменитый итальянский ученый Г. Галилей опытным путем с доступной для того времени точностью установил, что в отсутствие сопротивления воздуха все тела падают на Землю равноускоренно, и что в данной точке Земли **ускорение всех тел при падении одно и то же**. До этого в течение почти двух тысяч лет, начиная с Аристотеля, в науке было принято считать, что тяжелые тела падают на Землю быстрее легких.

Ускорение, с которым падают на Землю тела, называется *ускорением свободного*

*падения*. Вектор ускорения свободного падения обозначается символом  $g$  он направлен по вертикали вниз. В различных точках земного шара в зависимости от географической широты и высоты над уровнем моря числовое значение  $g$  оказывается неодинаковым, изменяясь примерно от  $9,83 \text{ м/с}^2$  на полюсах до  $9,78 \text{ м/с}^2$  на экваторе. На широте Москвы  $g = 9,81523 \text{ м/с}^2$ . Обычно, если в расчетах не требуется высокая точность, то числовое значение  $g$  у поверхности Земли принимают равным  $9,8 \text{ м/с}^2$  или даже  $10 \text{ м/с}^2$ .

Простым примером свободного падения является падение тела с некоторой высоты  $h$  без начальной скорости:  $h = \frac{at^2}{2}$ , где  $a=g$ , т.е.  $h=gt^2/2$ . Выразите  $g=...$

Цифровой ресурс может использоваться для обучения в рамках программы основной и средней школы (базового уровня).

## 2. Практическая часть

### Работа с моделью

Модель может быть использована в режиме ручного переключения кадров

Модель является иллюстрацией по теме «Свободное падение тел».

<http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/37e9d332-f3f7-f0df-cd7d-6acf28b3286e/00144677087276902.htm>

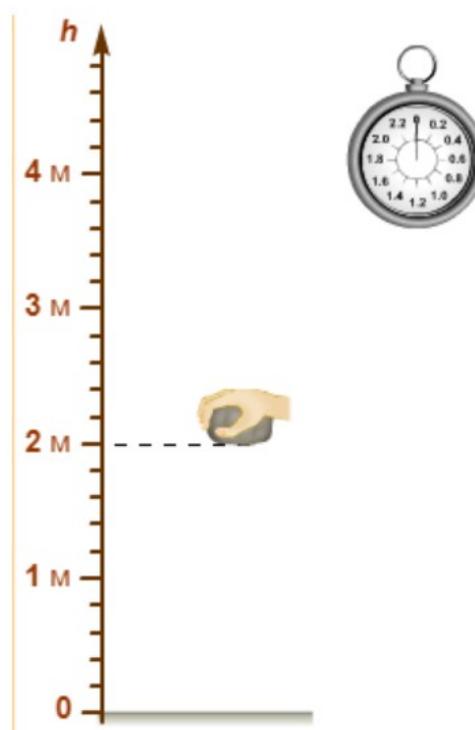
Проведите наблюдение, заполните таблицу и нарисуйте график, полученный по точкам из таблицы. Исследуйте эту зависимость. В выводе отразите наблюдаемые зависимости между величинами.

### 1. Решение задач

**Вопросы и задания** (решения оформляются полностью как задачи)

1. Чему равна скорость тела, свободно падающего из состояния покоя, через четыре секунды после начала падения? Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

2. Свободно падающее без начальной скорости тело за последнюю секунду падения прошло  $2/3$  своего пути. Определите полное время падения  $t$  и весь путь  $H$ , пройденный телом ( $g = 10 \text{ м/с}^2$ ).



3. Выпущенный вертикально вверх со скоростью  $v_1 = 1000$  м/с снаряд нужно поразить за минимальное время другим снарядом, скорость которого  $v_2 = 900$  м/с. Оба снаряда выстреливаются с одного и того же места. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите, через какое время  $t$  после первого выстрела следует произвести второй ( $g = 10$  м/с<sup>2</sup>)?

Вывод:

Критерии оценки:

Оценка «5» ставится при выполнении всех заданий без ошибок, при полном оформлении отчета и записи в выводе **своих!** наблюдений и исследований.

Оценка «4» ставится при выполнении всех заданий с недочетами, при полном оформлении отчета и в основном правильном выводе. Допускается неполный, но безошибочным выводом.

Оценка «3» ставится при неполном выполнении заданий (около 60%) и аккуратно оформленным выводом. Допускается неполный вывод (около 50%) при выполнении всех заданий. Допускается одна грубая ошибка в решении или выполнении заданий или в выводе.

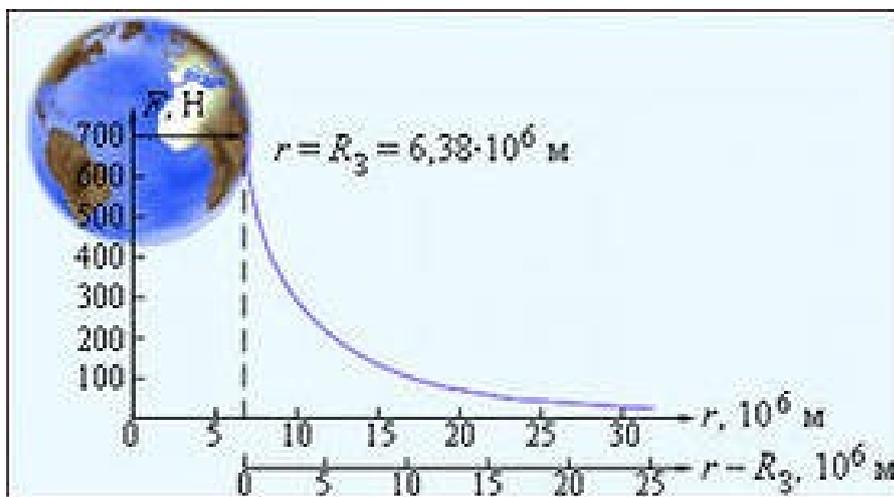
Оценка «2» ставится при невыполнении заданий (около 50%); неаккуратном или неполном выполнении работы; незаконченной работе.

### Практическая работа № 3

#### Раздел 1. Тема 1.2 Основы динамики. Закон Всемирного тяготения

**Тема:** Исследование зависимости силы тяжести от расстояния до центра Земли. Измерение ускорения свободного падения.

**Цель работы:** исследовать, как меняется сила тяжести с расстоянием от центра Земли.



Ход работы:

1. По графику зависимости силы тяжести от расстояния от Земли заполнить таблицу

$R, * 10^6 \text{ м}$	$F, \text{ Н}$	$g, \text{ м/с}^2$
6.38	700	
6.38*2	120 в 4раза	
6.38*3	В 9 раз	
6.38*4	В 16 раз	

2. Вычислить значение ускорения свободного падения  $g, \text{ м/с}^2$  на расстояниях кратных радиусам Земли, если при  $R=6.38*10^6 \text{ м}$   $g=9.8 \text{ м/с}^2$ .

3.Обработка

данных: \_\_\_\_\_

---



---



---



---

4.Вывод:

---



---



---



---



---



---



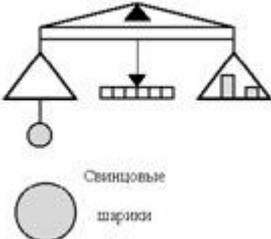
---

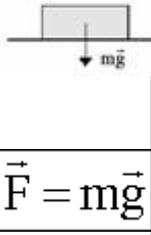


---

*Приложение к практической работе №5*

<b>ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ.</b>	
Открыт <a href="#">Ньютоном</a> в 1667 году на основе анализа движения планет ( <a href="#">з-ны Кеплера</a> ) и, в частности, Луны. В этом же направлении работали <a href="#">Р.Гук</a> (оспаривал приоритет) и <a href="#">Р.Боскович</a> .	
<i>Все тела взаимодействуют друг с другом с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.</i> $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$	$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$
<u>Закон справедлив для:</u> 1. Однородных шаров. 2. Для материальных точек.	<u>Примеры:</u> Притяжение электрона к протону в атоме

<p>3. Для концентрических тел. <u>Гравитационное взаимодействие существенно при больших массах.</u></p>	
<p><u>Применение:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закономерности движения планет и их спутников. Уточнены законы Кеплера.</li> <li>2. Космонавтика. Расчет движения спутников.</li> </ol>	<p>водорода <math>\gg 2 \times 10^{-11}</math> Н.</p>
<p><u>Внимание!:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закон не объясняет причин тяготения, а только устанавливает количественные закономерности.</li> <li>2. В случае взаимодействия трех и более тел задачу о движении тел нельзя решить в общем виде. Требуется учитывать "возмущения", вызванные другими телами (открытие Нептуна Адамсом и Леверье в 1846 г. и Плутона в 1930).</li> <li>3. В случае тел произвольной формы требуется суммировать взаимодействия между малыми частями каждого тела.</li> </ol>	<p>Тяготение между Землей и Луной <math>\gg 2 \times 10^{20}</math> Н.</p> <p>Тяготение между Солнцем и Землей <math>\gg 3,5 \times 10^{22}</math> Н.</p>
<p><u>Анализ закона:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сила направлена вдоль прямой, соединяющей тела.</li> <li>2. <b>G</b> - постоянная всемирного тяготения (гравитационная постоянная). Числовое значение зависит от выбора системы единиц.</li> </ol>	
<p>В Международной системе единиц</p> $(СИ) \quad G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$
<p>Впервые прямые измерения гравитационной постоянной провел Г. Кавендиш с помощью крутильных весов в 1798 г.</p> $G = \frac{F}{\frac{m_1 m_2}{R^2}}$	
<p>Пусть <math>m_1 = m_2 = 1</math> кг, <math>R = 1</math> м, тогда: <math>G = F</math> (численно). <b>Физический смысл гравитационной постоянной:</b> <i>гравитационная постоянная численно равна модулю силы тяготения, действующей между двумя точечными телами массой по 1 кг каждое, находящимися на расстоянии 1 м друг от друга.</i></p>	
<p>То, что гравитационная постоянная <b>G</b> очень мала показывает, что интенсивность гравитационного взаимодействия мала.</p>	
<p><b>СИЛА ТЯЖЕСТИ</b></p>	

<p>Сила тяжести - это <b>сила притяжения тел к Земле</b> (к планете).</p>		
<p><math>F = G \frac{Mm}{R^2}</math> - из закона Всемирного тяготения. (где <b>M</b> - масса планеты, <b>m</b> - масса тела, <b>R</b> - расстояние до центра планеты).</p> <p><math>\vec{F} = m\vec{g}</math> - сила тяжести из второго закона Ньютона (где <b>m</b> - масса тела, <b>g</b> - ускорение силы тяжести).</p>		
<p><math>g = G \frac{M}{R^2}</math> - <u>ускорение силы тяжести не зависит от массы тела</u> (опыты Галилея).</p>	<p><math>g_0 = 9,81 \text{ м/с}^2</math> - на поверхности Земли</p>	
<p>Если обозначить <b>R<sub>0</sub></b> радиус планеты, а <b>h</b> - расстояние до тела от поверхности планеты, то:</p>	$g = G \frac{M}{(R_0 + h)^2}$	
<p><u>Ускорение силы тяжести зависит от:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Массы планеты.</li> <li>2. Радиуса планеты.</li> <li>3. От высоты над поверхностью планеты.</li> <li>4. От географической широты (на полюсах - <b>9,83 м/с<sup>2</sup></b>. на экваторе - <b>9,79 м/с<sup>2</sup></b>).</li> <li>5. От залежей полезных ископаемых.</li> </ol>		

### Критерии оценки ко всем практическим работам

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

## Практическая работа №4

**Тема. Определение коэффициента трения скольжения опытным путем.**

**Цель: Определение коэффициента трения скольжения оргстекла по дереву при равномерном соскальзывании бруска по наклонной плоскости.**

### Ход работы

1. Требуется определить коэффициент трения скольжения дерева по дереву.
2. Так как в домашних условиях трудно подобрать требуемые для эксперимента материалы предлагается просмотр видеоролика, где можно сделать замеры прямо с экрана. Смотрим.

#### Соскальзывание бруска с наклонной плоскости.

<https://youtu.be/04gAToQ4r0U>

3. Рассчитайте тангенс угла наклона для равномерного соскальзывания бруска здесь:

\_\_\_\_\_;

4. Сравните с некоторыми опытными данными, проведенными в лабораторной работе одним учеником:

Стекло по дереву:

AB = 24,3 см; BC = 11 см.

$m\Pi = BC/AC = 11/24,3 = 0,45$

Орг. Стекло по дереву:

AB = 25,1 см; BC = 10,5 см.

$m\Pi = BC/AC = 10,5/25,1 = 0,42$

5. Напишите вывод  
здесь: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Критерии оценки:

Оценка «5» ставится при выполнении всех заданий без ошибок, при полном оформлении отчета и записи в выводе **своих!** наблюдений и исследований.

Оценка «4» ставится при выполнении всех заданий с недочетами, при полном оформлении отчета и в основном правильном выводе. Допускается неполный, но безошибочным выводом.

Оценка «3» ставится при неполном выполнении заданий (около 60%) и аккуратно оформленным выводом. Допускается неполный вывод (около 50%) при выполнении всех заданий. Допускается одна грубая ошибка в решении или выполнении заданий или в выводе.

Оценка «2» ставится при невыполнении заданий (около 50%); неаккуратном или неполном выполнении работы; незаконченной работе.

## Практическая работа № 5

Раздел 1. Тема 1.2 Основы динамики.

**Тема: Исследование зависимости жесткости системы пружин от последовательного и параллельного соединения.**

**Цель работы: исследовать, как меняется жесткость пружин при их различных соединениях**

**Ход работы.**

### 1. Теоретическая часть.

#### Краткая теория

При *деформации* тела возникает сила, которая стремится восстановить прежние размеры и форму тела. Эта сила возникает вследствие *электромагнитного взаимодействия* между атомами и молекулами вещества. Ее называют силой *упругости*.

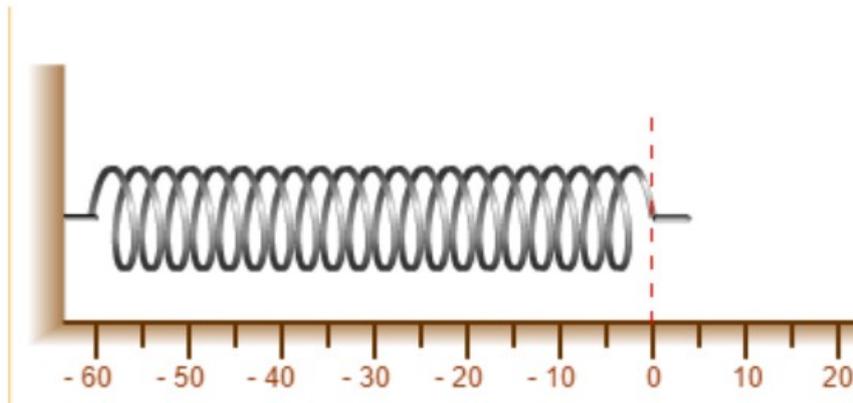
<https://youtu.be/TddEWuv4I2M>

Простейшим видом деформации являются *деформации растяжения и сжатия*. При *малых* деформациях ( $|x| \ll l$ ) сила упругости пропорциональна деформации тела и направлена в сторону, противоположную направлению перемещения частиц тела при

деформации:

Это соотношение выражает экспериментально установленный *закон Гука*. Коэффициент  $k$  называется *жесткостью тела*. В системе СИ жесткость измеряется в *ньютон на метр* (Н/м)

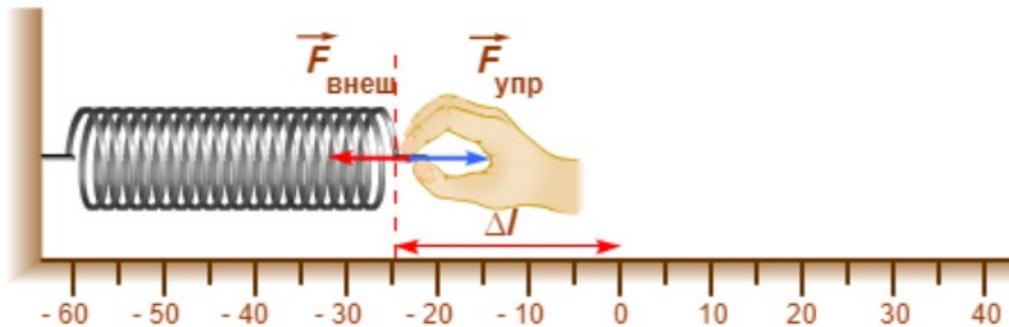
1. **Практическая часть** (делается на уроке).



## Закон Гука

Модуль силы упругости при растяжении или сжатии тела прямо пропорционален изменению длины тела:

$$F_{\text{упр}} = k\Delta l$$



[https://youtu.be/e4iU4ypRDYU?list=PLiMV\\_zI\\_w3pKDTWWLQY9NWEtJTpIg8vYn](https://youtu.be/e4iU4ypRDYU?list=PLiMV_zI_w3pKDTWWLQY9NWEtJTpIg8vYn)

2.1 Определить жесткость пружины. По формуле \_\_\_\_\_

2.2 Определить жесткость пружины, если максимальное усилие составляет 8 Ньютонов: \_\_\_\_\_

2.3 Определить жесткость двух таких одинаковых пружин соединенных последовательно (посмотри формулу в интернете) :  $k =$  \_\_\_\_\_ ;

2.4 Определить жесткость двух таких одинаковых пружин соединенных параллельно (посмотри формулу в интернете)  $k =$  \_\_\_\_\_ ;

2.5 Определи деформацию  $x$  при последовательном соединении двух одинаковых пружин:  $x_1 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ м} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ см};$

2.6 Определи деформацию  $x$  при параллельном соединении двух одинаковых пружин:  $x_2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ м} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ см};$

2.7 Данные занести в таблицу:

пружины	F, Н	X, м	K, Н/м
одна пружина	8		
последовательное соединение пружин	8	?	
параллельное соединение пружин	8	?	

Сравните жесткости системы пружин соединенных последовательно или параллельно с жесткостью отдельной пружины

вопросы к написанию вывода:

1. Упругая или пластическая деформация отражена в законе Гука?
2. При каком условии возникает сила упругости в пружине?
3. Как называется физическая величина характеризующая увеличение или уменьшение длины пружины?
4. Как эта величина обозначена в эксперименте?
5. Куда направлена сила упругости?
6. Что происходит с силой упругости при увеличении деформации пружины?
7. Что происходит с силой упругости при уменьшении деформации пружины?
8. Постройте график зависимости силы упругости от деформации пружины.

**Вывод:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Критерии оценки:

Оценка «5» ставится при выполнении всех заданий без ошибок, при полном оформлении отчета и записи в выводе **своих!** наблюдений и исследований.

Оценка «4» ставится при выполнении всех заданий с недочетами, при полном оформлении отчета и в основном правильном выводе. Допускается неполный, но безошибочным выводом.

Оценка «3» ставится при неполном выполнении заданий (около 60%) и аккуратно оформленным выводом. Допускается неполный вывод (около 50%) при выполнении всех заданий. Допускается одна грубая ошибка в решении или выполнении заданий или в выводе.

Оценка «2» ставится при невыполнении заданий (около 50%); неаккуратном или неполном выполнении работы; незаконченной работе.

#### Практическая работа №6

Тема: Изучение закона сохранения импульса

Цель: 1) Применить знание закона сохранения импульса для решения практических задач.

2) Закрепить навыки проекции векторов скорости на ось  $x$  и определения знака проекции скорости по направлению вектора.

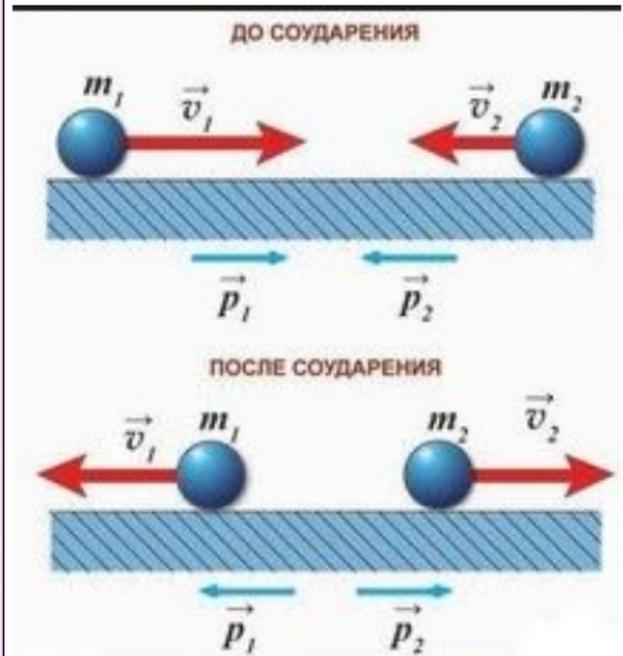
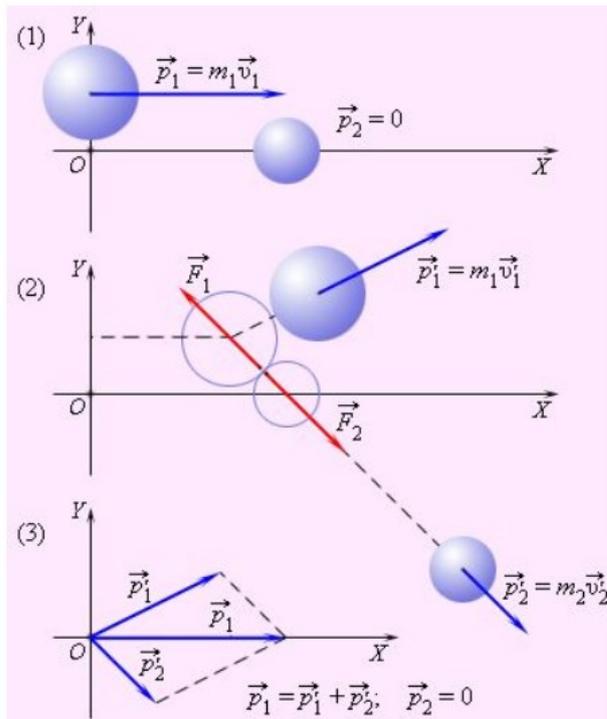
Ход работы.

#### 1. Теоретическая часть.

Величина  $mv$  называется импульсом тела. Она является мерой механического движения. При взаимодействии происходит передача импульса от одного тела к другому.

$$p = mv.$$

Импульс тела - векторная величина, направление вектора импульса совпадает с направлением вектора скорости.



Единицей измерения импульса в СИ является  $[p] = \text{кг} \cdot \text{м/с}$ .

Если на тело действует сила, скорость тела изменяется. Значит, изменяется и импульс тела

$p = mv$ . Изменение импульса  $\Delta p = \Delta(mv) = m\Delta v$ . Поскольку  $\Delta v = a\Delta t$ . Получаем  $\Delta p = ma\Delta t$ .

Так как  $ma = F$ , можно записать:  $p = F\Delta t$ . Произведение силы  $F$  на время ее  $\Delta t$  действия называется импульсом силы.

## СИЛА И ИМПУЛЬС

- Запишем второй закон Ньютона

- $F = ma$        $a = \frac{v - v_0}{t} \Rightarrow F = \frac{mv - mv_0}{t}$

$$Ft = mv - mv_0$$

$p = mv$  – импульс тела после взаимодействия

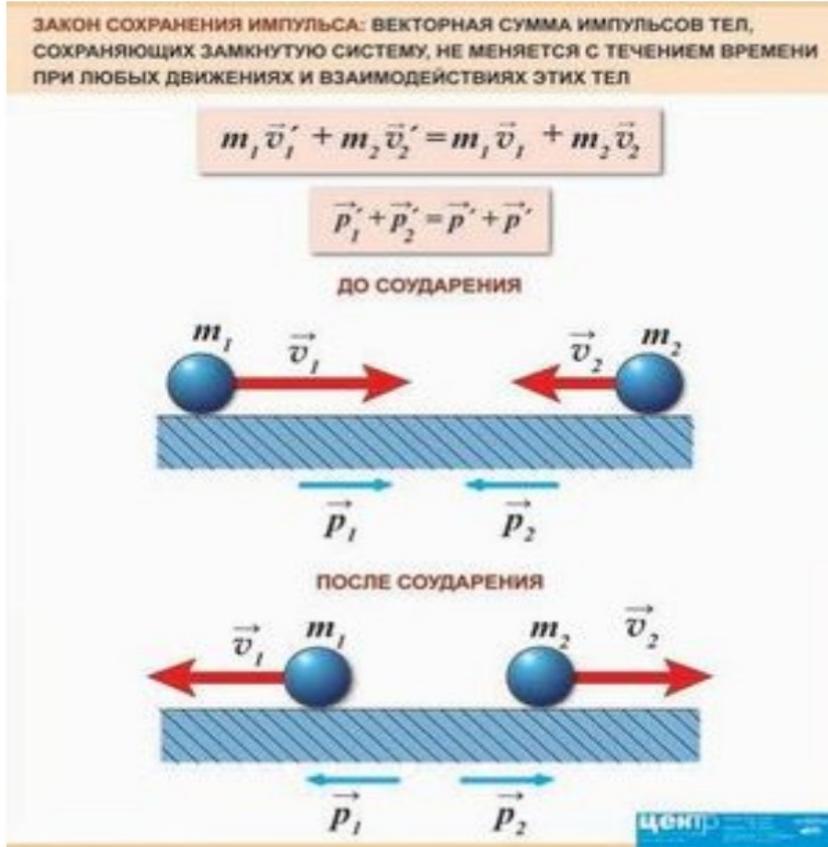
$p_0 = mv_0$  – импульс тела до взаимодействия

$$Ft = p - p_0$$

Единица измерения импульса силы в СИ - Нс. Поскольку ньютон можно расписать,

то единица измерения импульса силы совпадает с единицей с измерения импульса тела. Последнее уравнение показывает, что, если импульс тела изменяется за очень короткий интервал времени, при этом возникают большие силы (удар, толчок, столкновение).

Если же требуется избежать чрезмерно больших сил, увеличивают время действия силы.



## 2. Практическая часть.

**Решение каждой задачи должно сопровождаться рисунком, на котором указаны векторы скорости до и после изменения скорости.**

А) Система состоит из двух тел *a* и *b*. На рисунке (рис.1) стрелками в заданном масштабе указаны импульсы этих тел. Чему по модулю равен импульс всей системы?

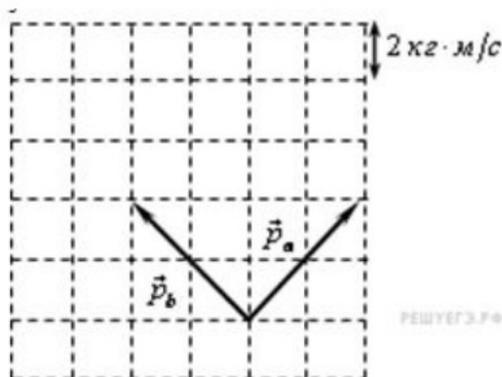


рис.1.

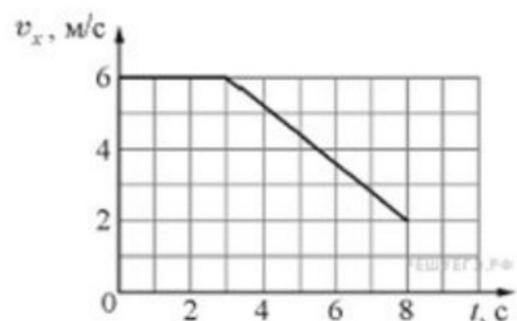


рис.2

Б) Масса танка  $m_1 = 40$ т, масса самолета  $m_2 = 50$ т. Самолет движется со скоростью  $v = 216$  км/ч. Отношение импульса самолета к импульсу танка равно 5. Какова скорость танка?

**В)** Тело массой 2 кг движется вдоль оси  $OX$ . На графике (рис.2) показана зависимость проекции скорости  $v_x$  этого тела на ось  $OX$  от времени  $t$ . На сколько уменьшился за первые 8 секунд движения тела модуль его импульса.

**Г)** Шарик массой 100 г свободно падает на горизонтальную площадку, имея в момент удара скорость 10 м/с. Найдите изменение импульса при абсолютно упругом и абсолютно неупругом ударах. Вычислите среднюю силу, действующую на шарик во время удара, если неупругий удар длился 0,05 с, а упругий — 0,01 с.

Вывод:

### **Критерии оценки:**

#### **Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### **Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### **Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствия схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

Тема: Сохранение механической энергии при движении тела под действием сил тяжести и упругости

Цель: Применить закон сохранения энергии для разных типов задач.

Ход работы.

### 1. Теоретическая часть.

## Закон сохранения механической энергии

Сумма кинетической и потенциальной энергии тел, составляющих замкнутую систему и взаимодействующих между собой силами тяготения и силами упругости, **остается неизменной.**

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

Сумму  $E = E_k + E_p$  называют **полной механической энергией**

**Закон сохранения и превращения энергии:**  
при любых физических взаимодействиях энергия не возникает и не исчезает. Она лишь превращается из одной формы в другую.

### 2. Практическая часть

Простейшим видом деформации являются деформации растяжения и сжатия (рис. 1). При малых деформациях ( $|x| \ll l$ ) сила упругости пропорциональна деформации.

Пружину, растяжение которой проградуировано в единицах силы, называют динамометром. Кинетическая и потенциальная энергии подчиняются закону сохранения энергии.

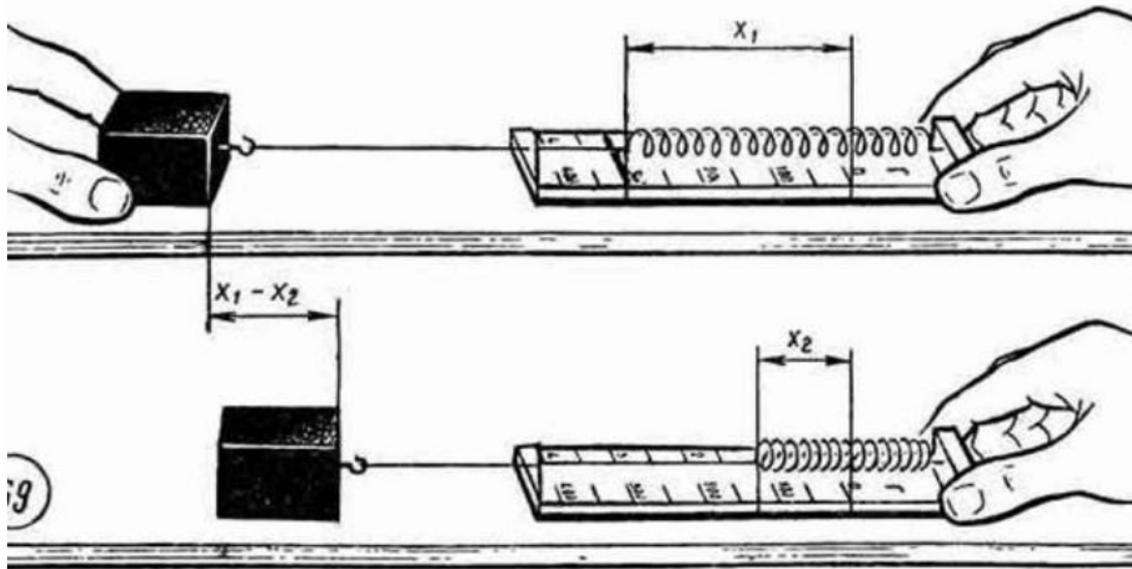


Рис.1.

Рис.1.

На рис.1 вместо силы в Ньютонах шкала проградуирована в единицах массы (100г, 200г, 300г и т.д.). Вам известно, что сила в 1 Ньютон является силой тяжести для груза массой 100 грамм.

1. Определите силу, с которой деформирована пружина динамометра изображенного в верхней части рисунка \_\_\_\_\_.
2. Определите деформацию пружины динамометра, если жесткость пружины динамометра равна 40 Н/м \_\_\_\_\_.
3. Определите силу, с которой деформирована пружина динамометра изображенного в нижней части рисунка \_\_\_\_\_.
4. Определите значение  $x_1 - x_2$  \_\_\_\_\_.
5. Определите потенциальную энергию пружины в верхней и в нижней части рисунка.
6. Если предположить, что пружину растянули до значения деформации до  $x_1$  и отпустили. Чему равна кинетическая энергия пружины в момент, когда деформация пружины составила  $x_2$ .

**Вывод:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Критерии оценки:**

**Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

### **Дополнительное задание.**

#### **Закон сохранения и превращения энергии**

##### **Задание 1**

Тело брошено вертикально вверх со скоростью  $v$ . Какое из следующих утверждений относительно изменения энергии тела при этом движении можно считать справедливым?

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) при падении вниз потенциальная энергия тела увеличивается
- 2) по мере подъема тела его потенциальная и кинетическая энергии уменьшаются

- 3) по мере подъема тела его потенциальная энергия увеличивается
- 4) при падении вниз [кинетическая энергия](#) тела постепенно уменьшается
- 5) по мере подъема тела его потенциальная энергия уменьшается

### Задание2

Тело массой 0,5 кг бросили вертикально вверх со скоростью 20 м/с. За время полёта сила сопротивления воздуха совершает работу, модуль которой равен 36 Дж. Тело упадёт обратно на Землю со скоростью, равной

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

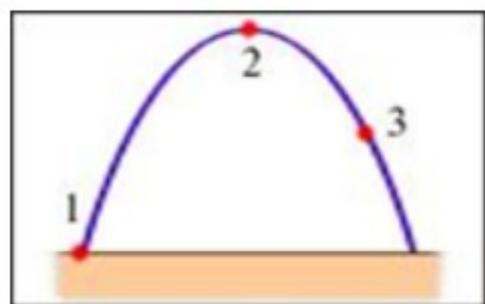
- 1) 20 м/с
- 2) 8 м/с
- 3) 12 м/с
- 4) 16 м/с
- 5) 10 м/с

### Задание3

Первое тело массой  $M$  обладает кинетической энергией, которая вдвое больше, чем [кинетическая энергия](#) второго тела массой  $2M$ . Сравните скорости  $v_1$  и  $v_2$  этих тел

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1)  $v_1 = v_2$
- 2)  $2v_1 = v_2$
- 3)  $v_1 = 4v_2$
- 4)  $v_1 = 2v_2$
- 5)  $4v_1 = v_2$



### Задание 4

На рис. представлена траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту. В какой точке траектории сумма кинетической и потенциальной энергии тела имела максимальное значение?

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) во всех точках одинаковое
- 2) во всех точках равна 0
- 3) 1
- 4) 3
- 5) 2

### **Задание 5**

Акула, масса которой 250 кг, плывет со скоростью 4 м/с. Ее кинетическая энергия равна...

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) 2000 Дж
- 2) 1000 Дж
- 3) 0 Дж
- 4) 62,5 Дж
- 5) 500 Дж

## **Практическая работа №8** **Тема: Решение задач на основное уравнение механики**

**Цель:** Научиться применять основное уравнение механики для разных типов задач.

### **Ход работы**

#### **1. Теоретическая часть.**

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

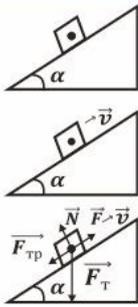
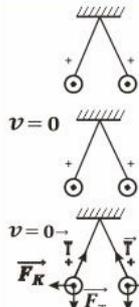
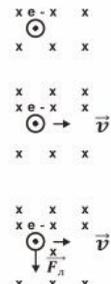
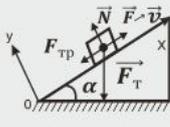
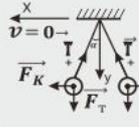
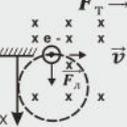
*основное уравнение динамики поступательного движения материальной точки.*

*Принцип суперпозиции или принцип независимости действия сил*

*Если на материальное тело действуют несколько сил, то результирующую силу можно найти из выражения:*

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i,$$

# АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ДИНАМИКЕ

<p><b>ИЗОБРАЗИТЕ</b></p> <p>1. тела (материальные точки, о которых идет речь в задаче)</p> <p>2. направление вектора скорости</p> <p>3. силы, действующие на них</p>			
<p><b>ВЫБЕРИТЕ</b></p> <p>1. инерциальную систему отсчета</p> <p>2. удобные направления направления координатных осей</p>			
<p><b>ЗАПИШИТЕ</b></p> <p>1. основное уравнение динамики в векторной форме</p> <p>2. формулы для определения сил</p> <p>3. основные уравнения кинематики (если они нужны)</p> <p>4. все векторные равенства запишите в проекции на выбранные оси</p>	$\vec{F}_T + \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ $\vec{F}_T = m\vec{q}$ $\vec{F}_{тр} = \mu\vec{N}$ $v_x = v_{0x} + a_x t$ $X = X_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ $-F_T \sin \alpha + F - F_{тр} = max$ $-F_T \cos \alpha + N = 0$ $F_T = m\vec{q}$ $F_{тр} = \mu N$	$\vec{F}_T + \vec{T} + \vec{F}_K = 0$ $\vec{F}_T = m\vec{q}$ $F_K = K \frac{q_1 q_2}{R^2}$ $F_T - T \cos \alpha = 0$ $F_K - T \sin \alpha = 0$ $F_T = m\vec{q}$ $F_K = K \frac{q_1 q_2}{R^2}$	$\vec{F}_L = m\vec{a}$ $F_L = qvB \sin \alpha,$ $\alpha = (\vec{v}_1 \vec{B})$ $\alpha_{uc} = \frac{v^2}{R}$ $F_L = ma_{uc}$
<p><b>ВЫДЕЛИТЕ</b> неизвестные, <b>СОСТАВЬТЕ</b> систему уравнений и <b>РЕШИТЕ</b> ее</p>			

25. На гладком столе лежит брусок массой  $m = 4$  кг. К бруску привязаны два шнура, перекинутые через неподвижные блоки, прикрепленные к противоположным краям стола. К концам шнуров подвешены гири, массы которых  $m_1 = 1$  кг и  $m_2 = 2$  кг. Найти ускорение  $a$ , с которым движется брусок, и силу натяжения  $T$  каждого из шнуров. Массой блоков и трением пренебречь.

Дано: | Решение:

№ 76.

Дано: | Решение. См. рис. 57.  
 $m_1, m_2$   
 $m_1 > m_2$   
 Найти  $a, T$ .

1) Запишем второй закон Ньютона для обоих тел:  
 $m_1 \vec{a} = m_1 \vec{g} + \vec{T}; \quad -m_2 \vec{a} = m_2 \vec{g} + \vec{T}.$

2) Вычтем второе уравнение из первого  $(m_1 + m_2) \vec{a} = (m_1 - m_2) \vec{g}.$

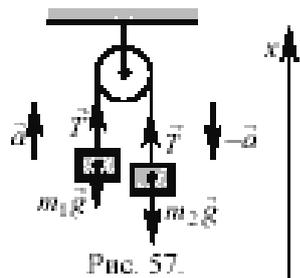
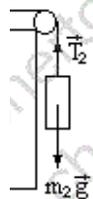


Рис. 57.



3) Спроектировав на ось  $x$ , мы получим:  $-(m_1 + m_2)a = -(m_1 - m_2)g$ , откуда

следует, что  $a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g$ . Т.к.  $m_1 > m_2$ , то  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} < 1$  и  $a < g$ .

4) Спроектируем уравнение движения для первого тела:  $-m_1 a = -m_1 g + T$ ,  $T = m_1(g - a)$ . Подставляя найденное значение  $a$ , находим:

$$T = m_1 g \left( 1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) = m_1 g \frac{m_1 + m_2 - m_1 + m_2}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}.$$

Ответ:  $a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g; \quad T = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}.$

## 2. Практическая часть. Разобрать три задачи.

### Решить самостоятельно задачу

**Задача на наклонную плоскость.** На горизонтальном столе лежит деревянный брусок. Коэффициент трения между поверхностью стола и бруском  $\mu = 0,1$ . Если приложить к бруску силу, направленную вверх под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту, то брусок будет двигаться по столу равномерно. С каким ускорением будет двигаться этот брусок по столу, если приложить к нему такую же по модулю силу, направленную под углом  $\beta = 30^\circ$  к горизонту?

**Вывод.**

#### **Критерии оценки:**

##### **Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

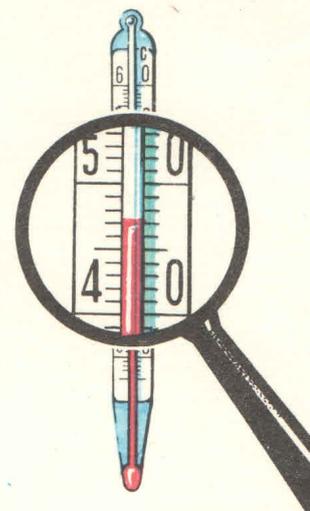
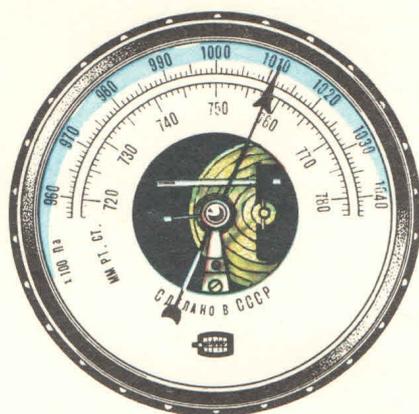
**Практическая работа №19**

**Тема:** Решение задач по теме: «Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа. Молярная газовая постоянная».

**Цель:** определить число молекул воздуха в цилиндре используя показания приборов и уравнение Менделеева-Клапейрона

**Ход работы.**

**Практическая часть.**



**Ориентировочные сведения**

1.  $p_1 V_1 = \frac{m}{M} RT$  — уравнение состояния газа Менделеева — Клапейрона
2.  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
3.  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

Дополнительные сведения:  $V = S_{\text{осн}} h$ ;  $S_{\text{осн}} = \pi R^2$

Задание (КАРТА 1А):

Тонкостенный металлический цилиндр частично заполнен воздухом и закрыт невесомым поршнем, который может перемещаться в цилиндре без трения. Рядом с цилиндром находятся термометр и барометр.

**Определите число молекул в цилиндре** при указанных условиях, если цилиндр изображен в 1/10 часть натуральной величины. Результаты измерения округлить до числа сантиметров.

**Вывод:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Критерии оценки:**

**Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

**Дополнительное задание.**

**Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы**

**Задание #1**

*Вопрос:*

При каких процессах наблюдается линейная зависимость между двумя макропараметрами идеального газа

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Изотермический
- 2) Изобарный
- 3) Изохорный
- 4) Адиабатный

**Задание #2**

*Вопрос:*

В одном моле идеального газа отношение произведения давления и объёма к температуре равно...

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) 1
- 2) 8,31
- 3) 6,02
- 4) 1,38

### Задание #3

Вопрос:

Как изменится давление идеального газа, если его температура увеличилась в три раза, а объём - в 2 раза?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Уменьшится в 6 раз
- 2) Увеличится в 6 раз
- 3) Уменьшится в 1,5 раза
- 4) Увеличится в 1,5 раза

### Задание #4

Вопрос:

Отношение давления идеального газа к его температуре остается постоянным. Тогда, речь идет об...

Выберите один из 4 вариантов ответа:

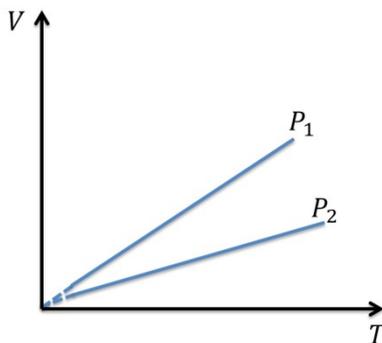
- 1) Изохорном процессе
- 2) Изобарном процессе
- 3) Изотермическом процессе
- 4) Адиабатном процессе

### Задание #5

Вопрос:

На графике указаны две изобары. Исходя из графика...

Изображение:



Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1)  $P_2 < P_1$
- 2)  $P_2 > P_1$
- 3)  $P_2 = P_1$

### Задание #6

*Вопрос:*

Газ, изотермически расширяясь, изменил объём от 1 л до 4 л. Начальное давление газа равно 200 кПа. Каким станет давление (в кПа), когда газ закончит расширяться?

*Запишите число:*

\_\_\_\_\_

### **Задание #7**

*Вопрос:*

Один грамм водорода находится в баллон под давлением 150 кПа. Найдите температуру водорода (в К), если объём баллона равен 3 л.

*Запишите число:*

\_\_\_\_\_

### **Задание #8**

*Вопрос:*

Воздушный шарик, который не пропускает воздух, находится в комнате при температуре 20 °С. Предполагая, что процесс охлаждения шарика является изобарным, определите, до какой температуры нужно охладить шарик, чтобы его объём уменьшился вдвое?

*Запишите число:*

\_\_\_\_\_

### **Задание #9**

*Вопрос:*

Азот находится в баллоне при температуре 90 °С. Предполагая, что плотность азота при данных условиях равна 7,5 кг/м<sup>3</sup>, найдите давление азота (в кПа) на стенки баллона.

*Запишите число:*

\_\_\_\_\_

### **Задание #10**

*Вопрос:*

Универсальная газовая постоянная измеряется в...

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Дж/моль
- 2) Дж/К
- 3) Дж/(моль\*К)
- 4) Дж/(моль\*К\*м<sup>3</sup>)

**Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 2; 3;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 4) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 5) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 6) (1 б.): Верный ответ: 50.;
- 7) (1 б.): Верный ответ: 108,3.; Верный ответ: 108.;
- 8) (1 б.): Верный ответ: 146,5.;

9) (1 б.): Верный ответ: 808.;

10) (1 б.) Верные ответы: 3;

## Практическая работа №10

### Тема: Определение КПД тепловых двигателей

**Цель:** 1) найти КПД идеального теплового двигателя;

2) познакомиться с основными характеристиками тепловых двигателей.

#### Ход работы.

- 1) Проверьте свою готовность к практической работе " Определение КПД тепловых двигателей", отвечая на вопросы физического диктанта (маж -5 баллов);
- 2) прочитайте и запишите главную мысль к каждому из текстов №1-№6;
- 3) составьте ОК по теме тепловые двигатели;
- 4) напишите вывод об изученном материале (ответьте на вопросы в разделе ПРИЛОЖЕНИЕ).

#### Вопросы для физического диктанта

- В1.** 1. Что понимают под внутренней энергией?  
**В2.** 1. Что понимают под внутренней энергией?  
**В1.** 2. Какими способами можно изменить внутреннюю энергию?  
**В2.** 2. Назовите способы теплопередачи  
**В1.** 3. По какой формуле вычисляют внутреннюю энергию идеального газа?  
**В2.** 3. По какой формуле вычисляют работу газа в термодинамике?  
**В1.** 4. Запишите формулу и сформулируйте 1 закон термодинамики.  
**В2.** 4. Сформулируйте закон сохранения энергии в тепловых процессах.  
**В1.** 5. Какой процесс называют необратимым?  
**В2.** 5. Сформулируйте второй закон термодинамики.

#### 1. Теоретическая часть

**Текст 1.** Большая часть двигателей, используемых людьми, - это тепловые двигатели.

История тепловых машин уходит в далекое прошлое. Говорят, еще две с лишним тысячи лет назад, в III веке до нашей эры, великий греческий механик и математик Архимед построил пушку, которая стреляла с помощью пара. Рисунок пушки Архимеда и ее описание были найдены спустя 18 столетий в рукописях великого итальянского ученого, инженера и художника Леонардо да Винчи. Как же стреляла эта пушка? Один конец ствола сильно нагревали на огне. Затем в нагретую часть ствола наливали воду. Вода мгновенно испарялась и превращалась в пар. Пар, расширяясь, с силой и грохотом выбрасывал ядро. Для нас интересно здесь то, что ствол пушки представлял собой цилиндр, по которому как поршень скользило ядро.

Сегодня один из самых распространенных тепловых двигателей является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Принцип действия заключается в том, что энергия топлива переходит во внутреннюю энергию пара, а газ (пар), расширяясь, совершает работу. Так внутренняя энергия газа (пара) превращается в кинетическую энергию поршня.

*Устройства, превращающие энергию топлива в механическую энергию, называются тепловыми двигателями.*

**Текст 2.** Для того чтобы двигатель совершал работу, необходима разность давлений по обе стороны поршня двигателя или лопастей турбины. Во всех тепловых двигателях эта

разность давлений достигается за счет повышения температуры рабочего тела на сотни или тысячи градусов по сравнению с температурой окружающей среды. Такое повышение температуры происходит при сгорании топлива.

Тепловая машина работает циклично. Газ, которому передается энергия, нагрет до высокой температуры и соответственно внутренняя энергия такого газа достаточно большая. Расширяясь, газ совершает работу, соответственно охлаждается, его внутренняя энергия уменьшается и совершается полезная работа. В дальнейшем, чтобы все повторилось нам надо перевести наш тепловой двигатель в первоначальное состояние, таким образом, чтобы работа вновь повторилась. Для этого нам необходимо газ охлаждать. Для рассмотрения всех процессов, происходящих в ТД, удобно рассматривать газ, находящийся в цилиндре под поршнем. В этом случае мы говорим, что газ совершает работу по перемещению поршня. Работа этого поршня и будет считаться полезной.

**Текст 3.** Однозначно классифицировать ТД нельзя. Существует много признаков, по которым различают тепловые двигатели: по назначению двигателей, по роду используемого топлива, по способу преобразования тепловой энергии в механическую, по способу регулирования в связи с изменением нагрузки и т.д.

Основная классификация тепловых двигателей по способу подвода теплоты к рабочему телу:

1. Двигатели внутреннего сгорания
2. Двигатели внешнего сгорания

Двигатели внутреннего сгорания. В этих двигателях основные процессы — сжигание топлива и выделение теплоты с преобразованием в механическую работу — происходят непосредственно внутри двигателя.

Двигатели внешнего сгорания — класс двигателей, где источник тепла или процесс сгорания топлива отделены от рабочего тела. Это, например, паровая турбина, газовая турбина, паровая машина.

**Текст 4.** Любая тепловая машина состоит из нагревателя, рабочего тела и холодильника.

Первая часть - нагреватель. Нагревателем в ТД является процесс сгорания топлива. Именно в этот процесс включается образование газа. Нагреватель характеризуется температурой нагревателя  $T_n$ , т.е. температура того, газа, который образовался. И конечно количеством теплоты, который передается этому газу.

Газ, образовавшийся в результате, того что сгорело топливо, называется рабочим телом. Рабочее тело и совершает работу. И оставшееся, некоторое количество теплоты будет передано холодильнику.

Холодильником, как правило, является окружающая среда. Именно температура холодильника в данном случае нам говорит о том, до какой температуры мы должны понизить температуру рабочего тела, чтобы перевести машину в первоначальное состояние.

Работу, которое совершает рабочее тело, газ при расширении, мы определяем следующим образом:  $A = |Q_1| - |Q_2|$ . Важное значение имеет цикличность работы. Работа двигателя будет оправдана в том случае, если работа по сжатию газа будет меньше, чем работа, произведенная самим газом. В этом случае работа газа совершается при расширении, т.е. тогда, когда давление газа будет больше атмосферного. А в случае охлаждения газа, сжатие газа будет производиться внешними силами, тогда работа газа будет считаться отрицательной.

**Текст 5.** КПД теплового двигателя — важнейшая его характеристика. ТД подчиняется первому закону термодинамики и конечно же второму закону термодинамики (передача тепла происходит от более нагретого тела к менее нагретому).

**Коэффициентом полезного действия называют отношение полезной работы, совершенной данным двигателем, к количеству теплоты, полученному от**

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}} \cdot 100\%$$

**нагревателя.** КПД выражают в процентах.  $Q_{\text{н}}$  – теплота, полученная от нагревателя, Дж  $Q_{\text{х}}$  – теплота, отданная холодильнику, Дж  
Этот КПД является реальным, т.е. как раз эту формулу и используют для характеристики реальных тепловых двигателей.

В 19 веке в результате работ по теплотехнике французский инженер Сади Карно предложил другой способ для определения (через термодинамическую температуру):

$$\eta = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

$T_{\text{н}}$  – термодинамическая температура нагревателя, К  
 $T_{\text{х}}$  – термодинамическая температура холодильника, К.

И этот коэффициент полезного действия получил название максимального.  
Главное значение этой формулы состоит в том, что любая реальная тепловая машина, работающая с нагревателем, имеющим температуру  $T_{\text{н}}$ , и холодильником с температурой  $T_{\text{х}}$ , не может иметь КПД, превышающий КПД идеальной тепловой машины. Не существует теплового двигателя, у которого КПД = 100% или 1.

Формула дает теоретический предел для максимального значения КПД тепловых двигателей. Она показывает, что тепловой двигатель тем эффективнее, чем выше температура нагревателя и ниже температура холодильника. Лишь при температуре холодильника, равной абсолютному нулю,  $\eta = 1$ .

Но температура холодильника практически не может быть ниже температуры окружающего воздуха. Повышать температуру нагревателя можно. Однако любой материал (твердое тело) обладает ограниченной теплостойкостью, или жаропрочностью. При нагревании он постепенно утрачивает свои упругие свойства, а при достаточно высокой температуре плавится.

Сейчас основные усилия инженеров направлены на повышение КПД двигателей за счет уменьшения трения их частей, потерь топлива вследствие его неполного сгорания и т. д. Реальные возможности для повышения КПД здесь все еще остаются большими.

Повышение КПД тепловых двигателей и приближение его к максимально возможному — важнейшая техническая задача.

**Текст 6. Без тепловых двигателей современная цивилизация немыслима.** Мы не имели бы в изобилии *дешевую электроэнергию* и были бы лишены всех *двигателей скоростного транспорта*.

Наибольшее значение имеет использование тепловых двигателей на тепловых электростанциях, где они приводят в движение роторы генераторов электрического тока. Тепловые двигатели- паровые турбины- устанавливают также на всех АЭС для получения пара высокой температуры. На всех основных видах современного транспорта преимущественно используются тепловые двигатели: на автомобильном- поршневые двигатели внутреннего сгорания; на водном- ДВС и паровые турбины; на ж/д- тепловозы с дизельными установками; в авиации- поршневые, турбореактивные и реактивные двигатели.

Сравним эксплуатационные характеристики тепловых двигателей.

КПД: Паровой двигатель – 8%; Паровая турбина – 40%; Газовая турбина – 25-30%;  
Двигатель внутреннего сгорания – 18-24%; Дизельный двигатель – 40– 44%; Реактивный двигатель – 25%

**Текст 7.** Непрерывное развитие энергетики, автомобильного и других видов транспорта, возрастание потребления угля, нефти, газа в промышленности и на бытовые нужды увеличивают возможности удовлетворения жизненных потребностей человека. Однако в

настоящее время количество ежегодно сжигаемого в различных тепловых двигателях химического топлива настолько велико, что все более **сложной проблемой** становится **охрана природы от вредного влияния продуктов сгорания**. Отрицательное влияние тепловых машин на окружающую среду связано с действием различных факторов:

1. При сжигании топлива используется кислород из атмосферы, вследствие чего содержание кислорода в воздухе постепенно уменьшается.
2. Сжигание топлива сопровождается выделением в атмосферу углекислого газа. Дальнейшее существенное увеличение концентрации  $CO_2$  в атмосфере может привести к повышению ее температуры («парниковый эффект»).
3. при сжигании угля и нефти атмосфера загрязняется азотными и серными соединениями, вредными для растений, животных и для здоровья человека.
4. Актуальна проблема захоронения радиоактивных отходов атомных станций.
5. Применение паровых турбин на электростанциях требует больших площадей под пруды для охлаждения отработанного пара (35% водоснабжения всех отраслей хозяйства).

Для **охраны окружающей среды** необходимо обеспечить:

1. эффективную очистку выбрасываемых в атмосферу отработанных газов;
2. использование качественного топлива, создание условий для более полного его сгорания;
3. повышение КПД тепловых двигателей за счет уменьшения потерь на трение и полного сгорания топлива и др.

Перспективно использование водорода в качестве горючего для тепловых двигателей: при сгорании водорода образуется вода. Идут интенсивные исследования по созданию электромобилей, способных заменить автомобили с двигателем, работающим на бензине.

## ПРИЛОЖЕНИЕ к выводу

1. Какие машины называются тепловыми?
2. Каков принцип работы тепловых двигателей?
3. Назовите основные элементы теплового двигателя и их назначение.
4. Что называют кпд теплового двигателя?
5. По какой формуле рассчитывают КПД реальной машины?
6. По какой формуле рассчитывают КПД идеальной машины? Каков ее смысл?
7. Назовите какие виды тепловых машин вам известны?

## Приложение 1

### Решение расчетных задач

#### Задачи.

1. Найти КПД теплового двигателя, если газ получает от нагревателя 200 Дж теплоты и отдает холодильнику 135 Дж.
2. Чему равен КПД теплового двигателя, если температура нагревателя  $800^\circ\text{C}$ , а температура холодильника  $25^\circ\text{C}$ ?
3. Оцените максимальное значение КПД, которое может иметь тепловая машина с температурой нагревателя  $727^\circ\text{C}$  и температурой холодильника  $27^\circ\text{C}$ .
4. Каков КПД теплового двигателя, если рабочее тело, получив от нагревателя количество теплоты 1,6 МДж, совершило работу 400 кДж? Какое количество теплоты передано холодильнику?

#### Задачи

**1 уровень.** Чему равен КПД идеального теплового двигателя, если температура нагревателя  $500^\circ\text{C}$ , а температура холодильника  $20^\circ\text{C}$ ?

**2 уровень.** Температура нагревателя  $150^{\circ}\text{C}$ , а холодильника  $20^{\circ}\text{C}$ . От нагревателя получено  $10^5$  кДж количества теплоты. Определить работу, произведенную машиной, если считать ее идеальной.

Эталоны ответов к задачам

1. КПД=62%

2.  $A=31$  МДж

**Критерии оценки:** за решение задачи 1 уровня – «3» балла  
за решение задачи 1 и 2 уровня (имеются недочеты) – «4» балла  
за решение задачи 1 и 2 уровня – «5» баллов

**Примерные ответы к работе над текстами №1-№6:**

T1. ДВС используются везде. Разнообразие их видов очень широко.

T2. Устройство и принцип работы теплового двигателя.

T3. Классификации тепловых двигателей.

T4. Функции основных частей двигателя внутреннего сгорания

T5. КПД тепловых двигателей.

T6. Использование и эксплуатационные характеристики тепловых двигателей.

T7. Тепловые двигатели и охрана окружающей среды

Приложение 2

**Тест для закрепления материала**

**Вариант №1**

- Какие устройства относятся к тепловым двигателям:
  - превращающие тепловую энергию в механическую;
  - электрическую энергию в тепловую;
  - внутреннюю энергию в тепловую
- Какой элемент теплового двигателя совершает работу:
  - холодильник;
  - газ или пар;
  - нагреватель;
- Какие условия необходимы для циклического получения механической работы в тепловом двигателе:
  - наличие нагревателя и холодильника;
  - наличие рабочего тела и холодильника;
  - наличие нагревателя и рабочего тела
- Коэффициент полезного действия теплового двигателя:
  - отношение времени полезной работы ко времени, затраченному на техническое обслуживание и ремонт;
  - отношение механической работы, совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя;
  - отношение температуры нагревателя к температуре охладителя.
- КПД теплового двигателя всегда:
  - больше 1;
  - равен 1;
  - меньше 1.
- Для приближения КПД теплового двигателя, работающего по циклу Карно, к единице, необходимо:
  - повышать температуру нагревателя и понижать температуру холодильника;
  - повышать температуру холодильника и понижать температуру нагревателя;
  - повышать температуру холодильника и нагревателя;
  - понижать температуру холодильника и нагревателя;
  - стремиться сделать равной температуру холодильника.

7. Термодинамика позволяет при известной температуре  $T_1$  источника тепла (нагревателя) и температуре  $T_2$  приемника тепла (холодильника) ...

- а)...рассчитать КПД любого теплового двигателя.
- б)...оценить максимальный КПД любого теплового двигателя.
- в)...оценить минимальный КПД любого теплового двигателя...
- г)...определить конструкцию двигателя с КПД 100%.

**Эталоны ответов:** 1А, 2Б, 3В, 4В, 5В, 6А, 7Б.

**Тест для закрепления материала Вариант №2**  
**Тема: КПД тепловых двигателей**

**Задание №1**

Идеальная тепловая машина, работающая по обратному циклу, получает тепло от холодильника с водой при температуре  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  и передает тепло кипятивнику с водой при  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Сколько воды надо заморозить, чтобы испарить  $m = 1$  кг воды?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) 8256 г    2) 5 кг    3) 12 кг    4) 800 г

**Задание №2**

Холодная машина, работающая по обратному циклу Карно, должна поддерживать в камере температуру  $t_2 = -10^\circ\text{C}$  при температуре окружающей среды  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ . Какую работу надо совершить над рабочим веществом машины, чтобы отвести из камеры машины  $Q = 140$  кДж тепла? (Ответ округлите до целого числа) *Запишите число:* Работа, кДж \_\_\_\_\_

**Задание №3**

Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает от нагревателя с температурой  $493^\circ\text{C}$  количество теплоты 80 кДж. Холодильником является окружающий воздух с температурой  $20^\circ\text{C}$ . Максимальная высота, на которую эта машина может поднять груз массой 500 кг, составляет:

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) 9,9 м    2) 11 м    3) 13 м    4) 99 см    5) 3,1 м

**Задание №4**

После переделки тепловой машины периодического действия ее мощность увеличилась на  $\alpha = 10\%$ . Причем энергия, получаемая от нагревателя не изменилась, а отдаваемая холодильнику уменьшилась на  $\beta = 15\%$ . На сколько изменился к.п.д. машины? *Запишите число: в %* \_\_\_\_\_

**Задание №5**

В каком случае КПД цикла Карно повысится больше: при увеличении температуры нагревателя на  $\Delta T$  или при уменьшении температуры холодильника на ту же  $\Delta T$ ?

*Выберите один из 3 вариантов ответа:*

- 1) Повышение будет одинаковым в обоих случаях
- 2) При уменьшении температуры холодильника
- 3) При увеличении температуры нагревателя

**Задание №6**

Два моль гелия совершают цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Максимальное давление в цикле в 3 раза больше минимального, а максимальный объем в 2 раза больше минимального. Чему равен КПД цикла? *Запишите число: в %* \_\_\_\_\_

**Задание №7**

У тепловой машины, работающей по циклу Карно, температура нагревателя в  $n = 1,6$  раз больше температуры холодильника. За один цикл машина производит работу  $A = 12$  кДж. Какая работа затрачивается на изотермическое сжатие рабочего вещества? *Запишите число: Работа, кДж* \_\_\_\_\_

### Задание №8

Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, использует в качестве холодильника тающий лед при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в качестве нагревателя - кипятик при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Холодильная машина получает от сети энергию  $25\text{ кДж}$ . Если удельная теплота плавления льда  $3,25 \cdot 10^5\text{ Дж/кг}$ , то масса полученного льда равна:

Выберите один из 5 вариантов ответа:

- 1) 210 г 2) 182 г 3) 58 г 4) 153 г 5) 105 г

### Задание №9

Найти КПД тепловой машины, работающей с  $\nu$  молями одноатомного идеального газа по циклу, состоящему из адиабаты 1 - 2, изотермы 2 - 3 и изохоры 3 - 1. Работа, совершенная над газом на участке 2 - 3 равна  $A$ , разность максимальной и минимальной температур в цикле равна  $\Delta T$ .

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1)  $\eta = 1 - \frac{2A}{3\nu R\Delta T}$  2)  $\eta = 1 - \frac{A}{3\nu R\Delta T}$  3)  $\eta = \frac{2A}{3\nu R\Delta T}$  4)  $\eta = 1 - \frac{2A}{\nu R\Delta T}$

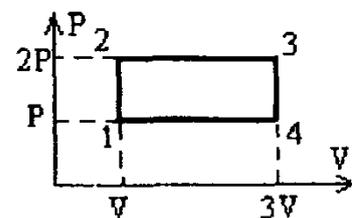
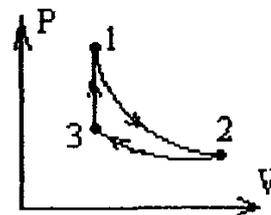
### Задание №10

Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый процесс.

Определить КПД цикла.

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) 17,4% 2) 28% 3) 22,3% 4) 15,1%



### **Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 2;  
2) (1 б.): Верный ответ: 16.;  
3) (1 б.) Верные ответы: 1;  
4) (1 б.): Верный ответ: 6.;  
5) (1 б.) Верные ответы: 2;  
6) (1 б.): Верный ответ: 12.;  
7) (1 б.): Верный ответ: 20.;  
8) (1 б.) Верные ответы: 1;  
9) (1 б.) Верные ответы: 1;  
10) (1 б.) Верные ответы: 1.

### **Практическая работа №11**

**Тема:** Измерение относительной влажности воздуха.

**Цель работы:** измерить влажность воздуха в кабинете физики. Познакомиться с практическим применением темы влажность.

**Приборы и материалы:** волосной гигрометр, психрометр.

**Порядок выполнения работы.** Демонстрационный вариант выполнения работы.

#### **1. Теоретическая часть.**

##### **ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА**

В окружающем нас воздухе практически всегда находится некоторое количество водяных паров. Влажность воздуха зависит от количества водяного пара, содержащегося в нем.

Сырой воздух содержит больший процент молекул воды, чем сухой.

Большое значение имеет относительная влажность воздуха, сообщения о которой каждый день звучат в сводках метеопрогноза.

**Относительная влажность** — это отношение плотности водяного пара, содержащегося в воздухе, к плотности насыщенного пара при данной температуре, выраженное в процентах.

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$$

### ТОЧКА РОСЫ

Сухость или влажность воздуха зависит от того, насколько близок его водяной пар к насыщению.

Если влажный воздух охлаждать, то находящийся в нем пар можно довести до насыщения, и далее он будет конденсироваться.

Признаком того, что пар насытился является появление первых капель сконденсировавшейся жидкости - росы.

Температура, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется точкой росы.

Точка росы также характеризует влажность воздуха.

Примеры: выпадение росы под утро, запотевание холодного стекла, если на него подышать, образование капли воды на холодной водопроводной трубе, сырость в подвалах домов

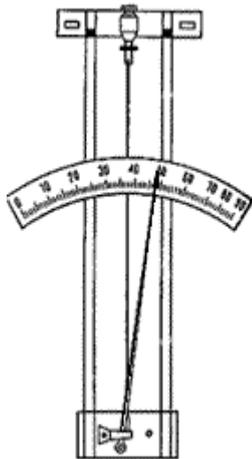
### ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ

Для измерения влажности воздуха используют измерительные приборы - гигрометры.

Существуют несколько видов гигрометров, но основные: волосной и психрометрический.

Так как непосредственно измерить давление водяных паров в воздухе сложно, относительную влажность воздуха измеряют косвенным путем.

Принцип действия волосного гигрометра основан на свойстве обезжиренного волоса (человека или животного) изменять свою длину в зависимости от влажности воздуха, в котором он находится.



Волос натянут на металлическую рамку.

Изменение длины волоса передаётся стрелке, перемещающейся вдоль шкалы. Волосной гигрометр в зимнее время являются основным прибором для измерения влажности воздуха вне помещения.

Более точным гигрометром является гигрометр психрометрический – психрометр (по др. гречески "психрос" означает *холодный*). Известно, что от относительной влажности воздуха зависит скорость испарения. Чем меньше влажность воздуха, тем легче влаге испаряться

В психрометре есть два термометра. Один - обычный, его называют сухим. Он измеряет температуру окружающего воздуха. Колба другого термометра обмотана

тканевым фитилем и опущена в емкость с водой. Второй термометр показывает не температуру воздуха, а температуру влажного фитиля, отсюда и название *увлажненный термометр*. Чем меньше влажность воздуха, тем интенсивнее испаряется влага из фитиля, тем большее количество теплоты в единицу времени отводится от увлажненного термометра, тем меньше его показания, следовательно, тем больше разность показаний сухого и увлажненного термометров. Определив разность показаний сухого и увлажненного термометров, по специальной таблице, расположенной на психрометре, находят значение относительной влажности.

#### ИНТЕРЕСНО

Для здоровья человека вредны как чрезмерная сухость воздуха, так и большая влажность.

Наиболее комфортная влажность воздуха для человека лежит в пределах 40—60%.

Высокую температуру легче переносить в сухом воздухе. Жара в сухой пустыне может не так сильно изнурять, как 25 градусов после сильного дождя, когда влажность воздуха очень высока. Чтобы не перегреться, организму в жару надо сильно потеть. Однако при высокой влажности пот не будет высыхать и не даст охлаждения тела.

При высокой температуре воздуха и низкой влажности человек, потея, выводит влагу из организма в основном через кожу, а не через почки. Это свойство организма используется в медицине при заболеваниях почек.

#### ЧТО ТЯЖЕЛЕЕ?

Что тяжелее: 1 кубометр сухого воздуха или влажного? (кубометр влажного воздуха есть смесь кубометра водяного пара с кубометром сухого воздуха) Парадоксально, но при одинаковом давлении и температуре 1 кубометр влажного воздуха не тяжелее, а легче, чем кубометр сухого воздуха! Дело в том, что давление каждой составной части газовой смеси меньше её общего давления, которое и для сухого и для влажного воздуха одинаковое. А при уменьшении давления уменьшается и вес единицы объема газа.

#### ПОЧЕМУ?

Прочитав внимательно эту страницу, тебе не составит труда ответить на следующий вопрос: сырой воздух должен иметь большую плотность, чем сухой, так как содержит большее количество молекул воды. Но почему же при увеличении абсолютной влажности перед дождем барометр "падает", показывая уменьшение давления, связанное с уменьшением плотности воздуха?

2. Ответьте на вопрос: что лежит в основе принципа действия волосного гигрометра?

---

---

3. Определите влажность воздуха с помощью психрометра. Для этого:

а) определите цену деления термометра \_\_\_\_\_

б) определите температуру сухого термометра  $t_{\text{сухого}}$  \_\_\_\_\_

в) определите температуру увлажненного термометра  $t_{\text{увл}}$  \_\_\_\_\_

г) найдите разницу показаний сухого и влажного термометров  $\Delta t = t_{\text{сухого}} - t_{\text{увл}}$  \_\_\_\_\_ д)

используя психрометрическую таблицу, определите влажность воздуха  $\varphi$ . \_\_\_\_\_

---

Вывод: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

## Критерии оценки ко всем практическим работам

### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствия схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

## Практическая работа №12

**Тема:** Знакомство с законом Гука

**Цель:** 1. Определить напряжение и модуль Юнга в медной проволоке, находящейся под нагрузкой.

2. Сравнить модуль Юнга  $E$  с жесткостью  $k$ .

Ход работы.

### 1. Теоретическая часть.

1.  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  — относительное удлинение

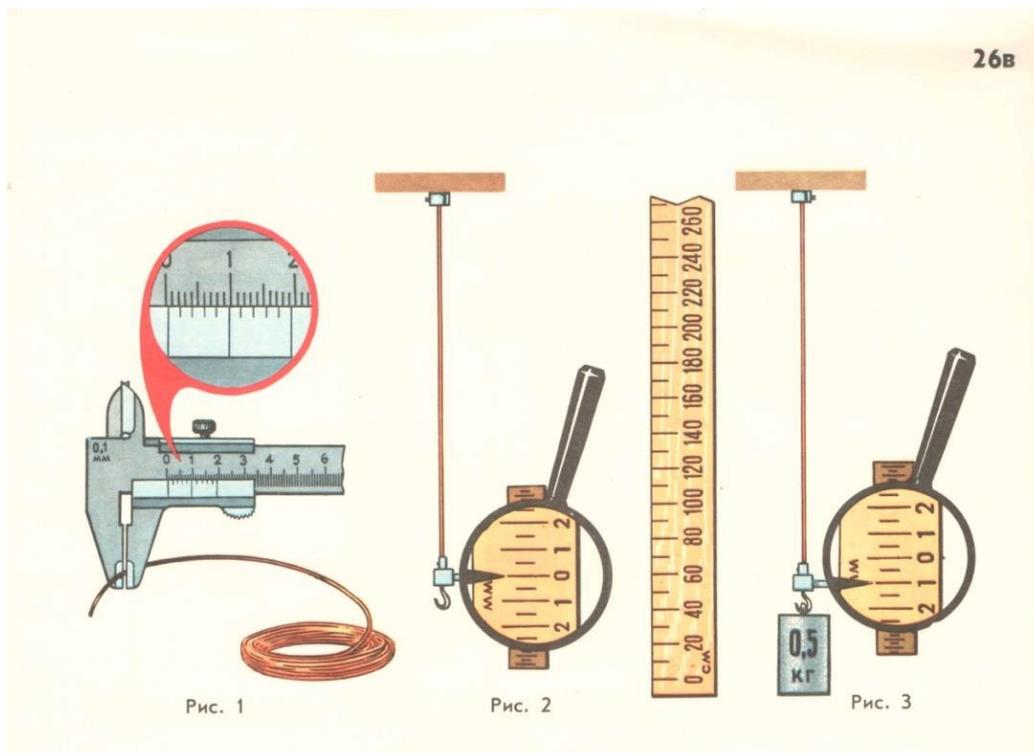
2.  $\sigma = \frac{F}{S}$  — напряжение

$F$  — модуль силы упругости

$S$  — площадь поперечного сечения

3.  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$  — модуль Юнга

## Практическая часть.



**Задание** (карта 26В): От мотка провода (рис.1) отрезали некоторую часть и укрепили между зажимами А и В следовательно устройства (рис.2). Нижний зажим В этого устройства имеет указатель (стрелку), который перемещается по шкале. На нижний зажим повесили гирию (рис.3). Определите напряжение в медной проволоке и модуль Юнга, если элементы каждого рисунка представлены в одном и том же масштабе.

$\Delta l, \text{м}$	$l, \text{м}$	$\varepsilon, \%$	$d, \text{м}$	$S, \text{м}^2$	$F, \text{Н}$	$\sigma, \text{Па}$	$E, \text{Па}$

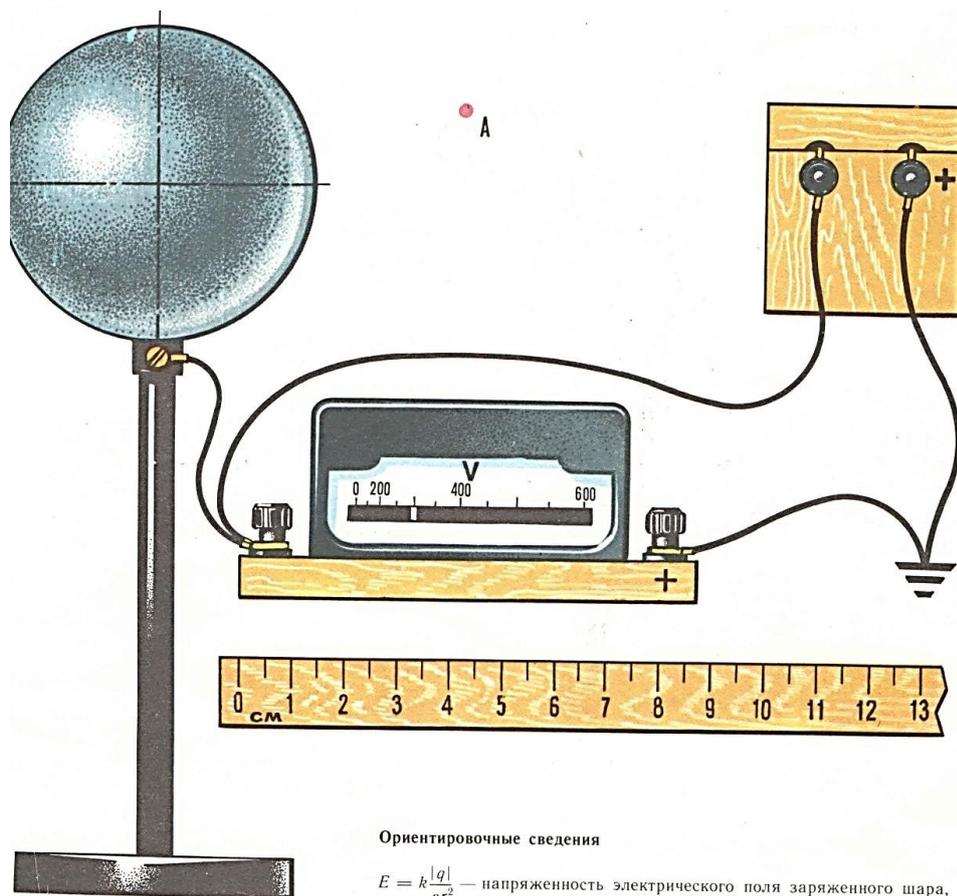
**Вывод:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Практическая работа №13

**Тема:** Расчет напряженности и потенциала электрического поля заряженного шара

**Цель:** Усвоить понятия напряженности и потенциала электрического поля, образованного заряженным шаром.

**Ход работы.**



**Ориентировочные сведения**

$E = k \frac{|q|}{\epsilon r^2}$  — напряженность электрического поля заряженного шара, помещенного в диэлектрик в Н/м

$\varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$  — потенциал точечного заряда в В

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

$\epsilon_{\text{возд}} = 1,000594 \approx 1$

**Задание (карта36В) :** Металлический шар укреплен на изолированной подставке и соединен с источником постоянного напряжения. Второй полюс источника напряжения заземлен. В цепь включен электростатический вольтметр.

1. Определите потенциал поверхности шара.
2. Определите значение потенциала в точке А.
3. Чему равен потенциал внутри шара, если он сплошной?
4. Определите напряженность электростатического поля у поверхности шара.

**Вывод:** \_\_\_\_\_

**Критерии оценки:**

**Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;

- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствия схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

**Дополнительное задание:**

**Электрическое поле. Принцип суперпозиции**

**Задание №1**

*Вопрос:* Что является решающим аргументом в пользу теории близкодействия?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Существование электрических зарядов
- 2) Существование взаимодействия между элементарными частицами
- 3) Конечная скорость распространения взаимодействия
- 4) Ничего из перечисленного не является решающим аргументом

**Задание №2**

*Вопрос:* Выберите верные утверждения об электрическом поле

*Выберите несколько из 5 вариантов ответа:*

- 1) Это часть физического эфира
- 2) Это особая форма материи
- 3) Оно действует на любые электрические заряды
- 4) Оно действует на любые электрические и магнитные заряды
- 5) Электрическое поле состоит из переносчиков электромагнитного взаимодействия - фотонов

**Задание №3**

*Вопрос:* Выберите верные утверждения о напряженности электрического поля

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Это силовая характеристика электрического поля
- 2) Это энергетическая характеристика электрического поля
- 3) Напряженность поля, создаваемого точечным зарядом в данной точке, обратно пропорциональна расстоянию между зарядом и этой точкой
- 4) Линии напряженности заряженного шара всегда перпендикулярны его поверхности

**Задание №4**

*Вопрос:* Выберите верные утверждения

*Укажите истинность или ложность вариантов ответа:*

- Линии напряженности начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном
- Напряженность электрического поля внутри заряженной сферы равна нулю
- Принцип суперпозиции полей заключается в том, что суммарная напряженность поля, создаваемого несколькими зарядами равна алгебраической сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из зарядов.
- Сферу можно считать за точечный заряд, если величина этого заряда очень мала

**Задание №5**

*Вопрос:* Первый заряд равен 100 мкКл, а второй заряд равен 400 мкКл. Если через центры этих зарядов провести прямую, то на каком расстоянии от первого заряда находится точка на этой прямой, напряженность поля в которой равна нулю?

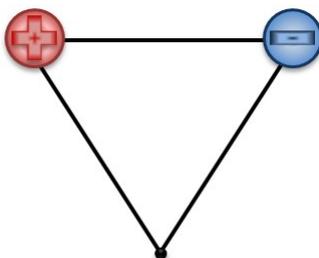
*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) На расстоянии втрое меньшем, чем от второго заряда
- 2) На расстоянии, равном 1/3 от расстояния между центрами зарядов
- 3) На расстоянии, в 4 раза меньшем, чем расстояние от второго заряда
- 4) Правильного ответа нет

### **Задание №6**

*Вопрос:* На рисунке указан равносторонний треугольник, в двух вершинах которого располагаются заряды, равные по модулю. Как будет направлен вектор напряженности электрического поля в третьей вершине треугольника?

*Изображение:*



*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

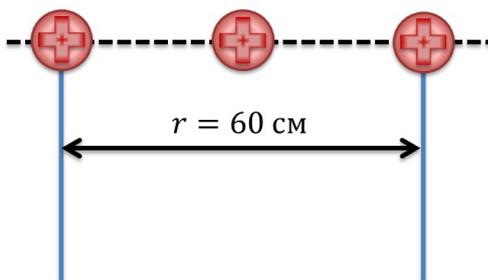
- 1) Вверх
- 2) Вниз
- 3) Влево
- 4) Вправо
- 5) Недостаточно информации, чтобы ответить на вопрос

### **Задание №7**

*Вопрос:* Заряд  $q_2$  находится ровно посередине между двумя другими зарядами. Найдите результирующую силу (в кН), действующую на заряд  $q_2$ .

*Изображение:*

$$q_1 = 500 \text{ мкКл} \quad q_2 = 300 \text{ мкКл} \quad q_3 = 200 \text{ мкКл}$$



*Запишите число:*

\_\_\_\_\_

### **Задание №8**

*Вопрос:* Выберите признаки однородного поля

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Линии напряженности замкнуты
- 2) Линии напряженности параллельны друг другу
- 3) Линии напряженности расположены с одинаковой густотой

4) Поле создано точечным зарядом

**Задание №9**

*Вопрос:* Модуль напряженности однородного электрического поля, создаваемого параллельными пластинами, равен 200 Н/Кл. В этом поле неподвижно висит пылинка, модуль заряда которой равен 300 нКл. Определите массу пылинки (в мг).

*Запишите число:*

\_\_\_\_\_

**Задание №10**

*Вопрос:* Напряженность поля, создаваемого заряженной сферой в некоторой точке равна 40 кН/Кл. Определите, на каком расстоянии (в см) находится эта точка от поверхности сферы, если заряд сферы равен 50 мкКл. Радиус сферы равен 3 м.

*Запишите число:*

\_\_\_\_\_

**Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 2; 3;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 1; 4;
- 4) (1 б.) Верные ответы:  
Да;  
Да;  
Нет;  
Нет;
- 5) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 7) (1 б.): Верный ответ: 9.;
- 8) (1 б.) Верные ответы: 2; 3;
- 9) (1 б.): Верный ответ: 6,1.; Верный ответ: 6,12.; Верный ответ: 6.;
- 10) (1 б.): Верный ответ: 35,4.; Верный ответ: 35,41.; Верный ответ: 35.;

**Практическая работа №14**

**Тема: Изучение принципа суперпозиции**

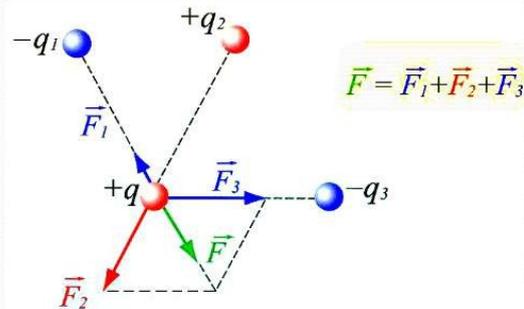
**Цель:** Применить принцип суперпозиции для определения напряженности поля образованного несколькими полями

**Ход работы**

**1. Теоретическая часть**

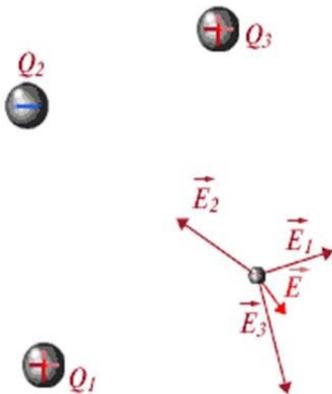
# Принцип суперпозиции

Если заряженное тело взаимодействует одновременно с несколькими заряженными телами, то **резльтирующая сила**, действующая на данное тело, **равна векторной сумме сил**, действующих на это тело со стороны всех других заряженных тел.

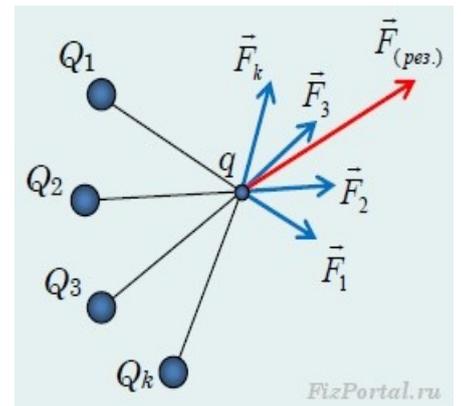
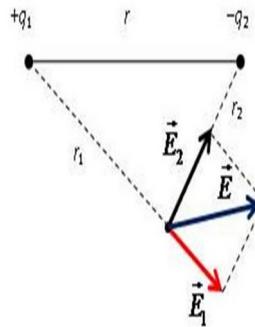


Принцип суперпозиции

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N$$



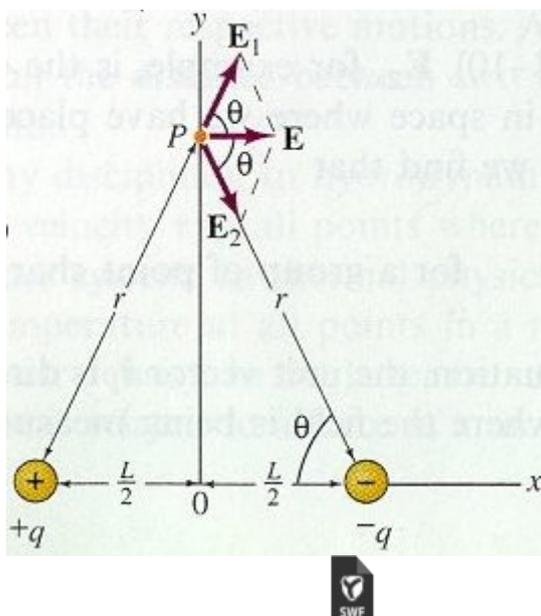
Принцип суперпозиции



## 2. Практическая часть

Решите задачу представленную на рисунке, в общем виде.

**Задача.** Найдите напряженность поля (в точке Р), образованного двумя зарядами противоположного знака. Расстояние между зарядами равно  $L$ . Точка Р образует с зарядами равнобедренный треугольник и находится от них на расстоянии  $r$ .



напряженность поля двух положительных зарядов.swf

### Критерии оценки:

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

### Дополнительное задание:

#### Электрическое поле. Принцип суперпозиции

##### Задание №1

*Вопрос:* Что является решающим аргументом в пользу теории близкодействия?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Существование электрических зарядов
- 2) Существование взаимодействия между элементарными частицами
- 3) Конечная скорость распространения взаимодействия
- 4) Ничего из перечисленного не является решающим аргументом

##### Задание №2

*Вопрос:* Выберите верные утверждения об электрическом поле

*Выберите несколько из 5 вариантов ответа:*

- 1) Это часть физического эфира
- 2) Это особая форма материи
- 3) Оно действует на любые электрические заряды
- 4) Оно действует на любые электрические и магнитные заряды
- 5) Электрическое поле состоит из переносчиков электромагнитного взаимодействия - фотонов

### **Задание №3**

*Вопрос:* Выберите верные утверждения о напряженности электрического поля

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Это силовая характеристика электрического поля
- 2) Это энергетическая характеристика электрического поля
- 3) Напряженность поля, создаваемого точечным зарядом в данной точке, обратно пропорциональна расстоянию между зарядом и этой точкой
- 4) Линии напряженности заряженного шара всегда перпендикулярны его поверхности

### **Задание №4**

*Вопрос:* Выберите верные утверждения

*Укажите истинность или ложность вариантов ответа:*

- Линии напряженности начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном
- Напряженность электрического поля внутри заряженной сферы равна нулю
- Принцип суперпозиции полей заключается в том, что суммарная напряженность поля, создаваемого несколькими зарядами равна алгебраической сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из зарядов.
- Сферу можно считать за точечный заряд, если величина этого заряда очень мала

### **Задание №5**

*Вопрос:* Первый заряд равен 100 мкКл, а второй заряд равен 400 мкКл. Если через центры этих зарядов провести прямую, то на каком расстоянии от первого заряда находится точка на этой прямой, напряженность поля в которой равна нулю?

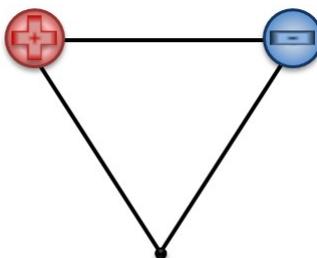
*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) На расстоянии втрое меньшем, чем от второго заряда
- 2) На расстоянии, равном  $1/3$  от расстояния между центрами зарядов
- 3) На расстоянии, в 4 раза меньшем, чем расстояние от второго заряда
- 4) Правильного ответа нет

### **Задание № 6**

*Вопрос:* На рисунке указан равносторонний треугольник, в двух вершинах которого располагаются заряды, равные по модулю. Как будет направлен вектор напряженности электрического поля в третьей вершине треугольника?

*Изображение:*



Выберите один из 5 вариантов ответа:

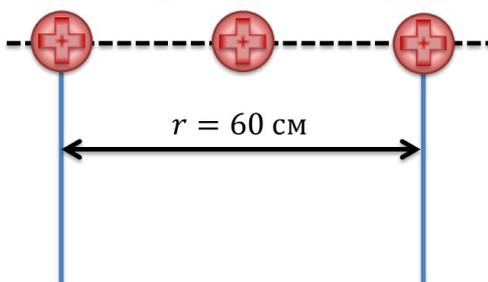
- 1) Вверх
- 2) Вниз
- 3) Влево
- 4) Вправо
- 5) Недостаточно информации, чтобы ответить на вопрос

### Задание №7

Вопрос: Заряд  $q_2$  находится ровно посередине между двумя другими зарядами. Найдите результирующую силу (в кН), действующую на заряд  $q_2$ .

Изображение:

$$q_1 = 500 \text{ мкКл} \quad q_2 = 300 \text{ мкКл} \quad q_3 = 200 \text{ мкКл}$$



Запишите число: \_\_\_\_\_

### Задание №8

Вопрос: Выберите признаки однородного поля

Выберите несколько из 4 вариантов ответа:

- 1) Линии напряженности замкнуты
- 2) Линии напряженности параллельны друг другу
- 3) Линии напряженности расположены с одинаковой густотой
- 4) Поле создано точечным зарядом

### Задание №9

Вопрос: Модуль напряженности однородного электрического поля, создаваемого параллельными пластинами, равен 200 Н/Кл. В этом поле неподвижно висит пылинка, модуль заряда которой равен 300 нКл. Определите массу пылинки (в мг).

Запишите число: \_\_\_\_\_

### Задание №10

Вопрос: Напряженность поля, создаваемого заряженной сферой в некоторой точке равна 40 кН/Кл. Определите, на каком расстоянии (в см) находится эта точка от поверхности сферы, если заряд сферы равен 50 мкКл. Радиус сферы равен 3 м.

Запишите число: \_\_\_\_\_

### **Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 2; 3;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 1; 4;
- 4) (1 б.) Верные ответы:  
Да;  
Да;  
Нет;  
Нет;

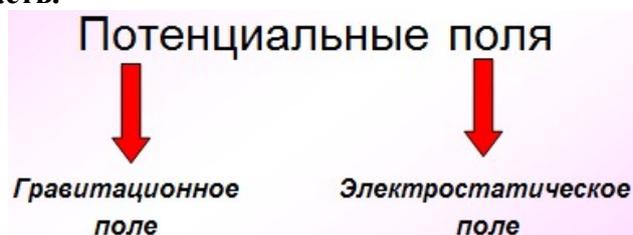
- 5) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 7) (1 б.): Верный ответ: 9.;
- 8) (1 б.) Верные ответы: 2; 3;
- 9) (1 б.): Верный ответ: 6,1.; Верный ответ: 6,12.; Верный ответ: 6.;
- 10) (1 б.): Верный ответ: 35,4.; Верный ответ: 35,41.; Верный ответ: 35.

**Практическая работа №15**  
**Тема: Работа сил электрического поля**

**Цель:** Изучить потенциал как работу сил электрического поля

**Ход работы**

**1. Теоретическая часть.**



Гравитационное поле	Электростатическое поле
$F = G \frac{mM}{R^2}$	$A = FS \cos \alpha$
<p>Работа силы тяжести</p> <p><math>F = mg</math></p> <p><math>A = mgh_1 - mgh_2</math></p>	

Гравитационное поле	Электростатическое поле
<p><i>Особенность работы.</i></p> <p>Не зависит от формы траектории</p> <p>На замкнутой траектории =0</p> <p>Не зависит от выбора нулевого уровня</p>	

<i>Гравитационное поле</i>	<i>Электростатическое поле</i>
Потенциальная энергия $E_p = mgh$	
<i>Зависит от выбора нулевого уровня</i>	
<i>Связь работы с потенциальной энергией</i>	
$A = -(E_{p2} - E_{p1})$ $A = -\Delta E_p$	
<i>Гравитационное поле</i>	<i>Электростатическое поле</i>
$F = G \frac{mM}{R^2}$	$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
$A = FS \cos \alpha$	
Работа $A = mgh_1 - mgh_2$	Работа $A = qE(d_1 - d_2)$
<i>Особенность работы.</i>	
Не зависит от формы траектории На замкнутой траектории = 0 Не зависит от выбора нулевого уровня	$A = -(w_{p2} - w_{p1})$
Потенциальная энергия $E_p = mgh$	Потенциальная энергия $W_p = qEd$
<i>Связь работы с потенциальной энергией</i>	
$A = -(E_{p2} - E_{p1})$ $A = -\Delta E_p$	$A = -(w_{p2} - w_{p1})$ $A = -\Delta w_p$

### **Потенциальная энергия**

$$A = -(w_{p2} - w_{p1})$$

$$A = -\Delta w_p \quad W_p = qEd$$

$$1) A > 0, \\ \Delta W_p < 0, \\ W_p \downarrow, W_k \uparrow, V \uparrow$$

$$2) A < 0, \\ \Delta W_p > 0, \\ W_p \uparrow, W_k \downarrow, V \downarrow$$

*На замкнутой траектории*  $A = -\Delta w_p = 0$

**Энергетическая характеристика электростатического поля**

## 1. Потенциальные поля

- $A$  не зависит от формы траектории  
 $A=0$

$$A = -(w_{p2} - w_{p1})$$

$$W_p = qEd \quad \text{Однородное поле}$$

## 2. Потенциал

- скалярная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой электрического поля
- равен потенциальной энергии единичного положительного заряда в данной точке поля

$$\varphi = \frac{W_p}{q}$$

## 2. Потенциал

$$\varphi = \frac{W_p}{q}$$

- $W_p \sim q$
- $\frac{W_p}{q}$  не зависит от  $q$
- 1. Энергетическая характеристика
- 2. Скалярная величина
- 3. Зависит от нулевого уровня
- 4.  $\varphi = W_p, q=1$

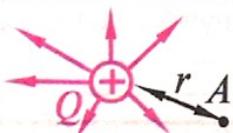
## 3. Однородное поле

$$W_p = qEd$$

$$\varphi = \frac{qEd}{q} = Ed$$

$$\varphi = Ed$$

## Потенциал электростатического поля точечного заряда



$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{W_p}{q} \\ W_p &= qEd \end{aligned} \right\} \varphi = Ed \quad (d=r) \quad \varphi = K \frac{Q}{r}$$

положительный заряд:  $\varphi > 0$     отрицат. заряд:  $\varphi < 0$

## Принцип суперпозиции

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n$$

Потенциал результирующего поля в данной точке пространства равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых в этой точке отдельными зарядами

2. Практическая часть. Решить самостоятельно задачи и свериться с ответом.

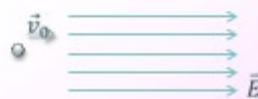
**Задача 1.** При перемещении заряда между точками с разностью потенциалов 2 кВ, электрическое поле совершило работу 50 мкДж. Найдите модуль этого заряда

• **Дано:**  
 $\Delta\varphi = 2 \text{ кВ}$   
 $A = 50 \text{ мкДж}$   
 $|q| = ?$

**Ответ: 25 нКл**

**Задача 2.** Электрон влетает в однородное электростатическое поле так, как показано на рисунке. Его начальная скорость равна  $10^7 \text{ м/с}$ . Определите скорость электрона после того, как он пройдет разность потенциалов 75 В.

$$\bullet \frac{m_e}{2} (v^2 - v_0^2) = -q_e \Delta\varphi$$



**Ответ:  $8,6 \cdot 10^6 \text{ м/с}$**

### **Критерии оценки:**

#### **Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### **Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### **Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

### **Дополнительное задание.**

#### **Задание #1**

*Вопрос:*

Как зависит разность потенциалов между двумя точками в электростатическом поле от напряжённости этого поля?

*Выберите один из 3 вариантов ответа:*

- 1) Обратно пропорционально
- 2) Не зависит
- 3) Прямо пропорционально

### **Задание #2**

*Вопрос:*

Найдите работу (в мДж), которую совершает поле при переносе заряда 5 мкКл из точки с потенциалом 500 В в точку с потенциалом 400 В.

*Запишите число:*

---

### **Задание #3**

*Вопрос:*

Электрон перемещается вдоль линий напряжённости электростатического поля так, что направление вектора его перемещения совпадает с направлением вектора напряжённости. При этом его потенциальная энергия...

*Выберите один из 3 вариантов ответа:*

- 1) не изменяется
- 2) уменьшается
- 3) увеличивается

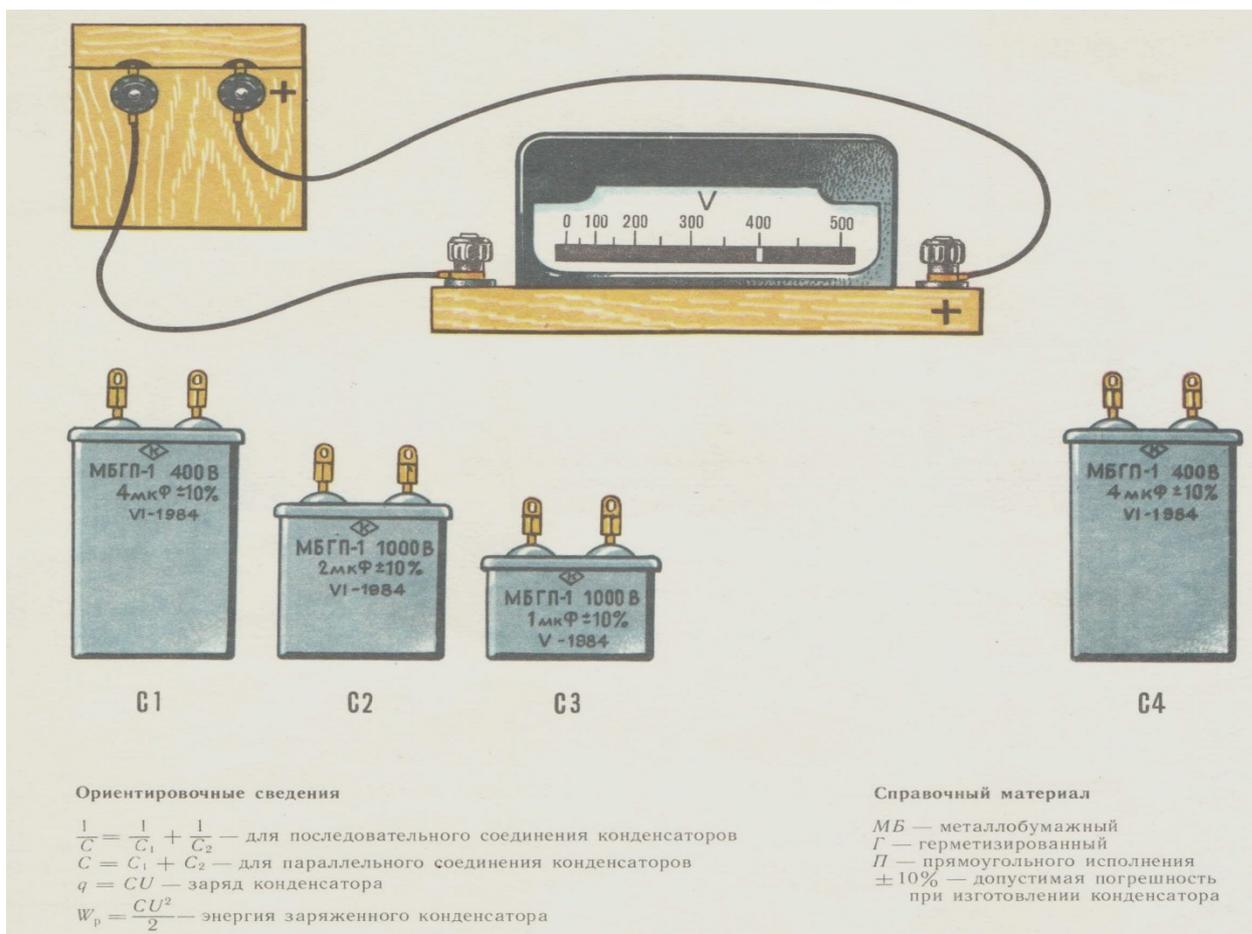
**Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 2) (1 б.): Верный ответ: 0,5.;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 3;

### **Практическая работа №16**

**Тема: Изучение соединения конденсаторов**

**Цель:** Определить какое соединение конденсаторов дает наибольшую емкость всей цепи.



### Ход работы.

**Задание (карта37А):** На рисунке изображены конденсаторы, которые надо подключить к источнику тока таким образом, чтобы емкость всей цепи была бы наибольшая.

Рассчитайте последовательное соединение конденсаторов:

C = \_\_\_\_\_

Рассчитайте параллельное соединение конденсаторов:

C = \_\_\_\_\_

В каком случае емкость конденсаторов будет наибольшей?

1. Закройте рисунок калькой или пленкой (с целью его сохранности) и на прозрачном покрытии выполните соединение конденсаторов произвольными линиями (символизирующим соединительными провода) в соответствии с поставленным условием.
2. Нарисуйте принципиальную схему выполненного вами соединения
3. Определите емкость всей цепи выполненного вами соединения
4. Определите заряд всей цепи конденсаторов
5. Определите заряд каждого конденсатора в вашей цепи
6. Найдите энергию, запасенную всей цепью

Отклонением фактического значения емкости конденсаторов от ее номинального значения следует пренебречь.

**Вывод:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### **Критерии оценки:**

#### **Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### **Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### **Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствия схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

### **Дополнительное задание:**

#### **Конденсаторы**

##### **Задание №1**

Выберете верные утверждения

*Укажите истинность или ложность вариантов ответа:*

- Электроёмкость - это отношение заряда тела к его объёму
- Электроёмкость характеризует способность тела накапливать заряд
- Электроёмкость двух проводников - это отношение напряженности поля между ними к модулю заряда на одном из них
- Электроёмкость конденсаторов определенного типа может являться переменной

##### **Задание №2**

Для изготовления плоского конденсатора необходимо иметь две обкладки и диэлектрик.

При этом...

*Выберите один из 3 вариантов ответа:*

- 1) Толщина диэлектрика должна быть значительно больше размеров обкладок
- 2) Толщина диэлектрика должна быть значительно меньше размеров обкладок
- 3) Толщина диэлектрика должна быть сравнима с размерами обкладок

##### **Задание №3:**

Каким образом можно увеличить ёмкость конденсатора?

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Заменить используемый диэлектрик, на диэлектрик с меньшей диэлектрической проницаемостью
- 2) Увеличить размер конденсатора
- 3) Увеличить площадь обкладок
- 4) Уменьшить расстояние между обкладками

#### **Задание №4**

Из предложенных вариантов выберите единственное корректное описание конденсатора  
*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Плоский, цилиндрический с переменной ёмкостью
- 2) Цилиндрический, электролитический с постоянной ёмкостью
- 3) Керамический электролитический с переменной ёмкостью
- 4) Бумажный сферический с ёмкостью

#### **Задание №5**

Заряд на одной из обкладок конденсатора равен 400 мкКл. Какова ёмкость этого конденсатора (в мкФ), если напряжение между пластинами равно 80 В?

*Запишите число:* \_\_\_\_\_

#### **Задание №6**

В конденсаторе с ёмкостью 20 пкФ используются обкладки площадью 5 мм<sup>2</sup>. Найдите диэлектрическую проницаемость используемого диэлектрика, если расстояние между обкладками равно 0,1 мм.

*Запишите число:* \_\_\_\_\_

#### **Задание №7**

Энергия заряженного конденсатора...

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Рассредоточена вокруг него
- 2) Сосредоточена на пластинах конденсатора
- 3) Сосредоточена в электрическом поле
- 4) Нигде не сосредоточена

#### **Задание №8**

В некоторых видах клавиатур используются конденсаторы для регистрации нажатия на клавишу. Для этого используется следующее свойство конденсатора

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Изменение ёмкости при изменении расстояния между обкладками
- 2) Изменение ёмкости при изменении площади обкладок
- 3) Способность быстрой разрядки
- 4) Наличие диэлектрика между обкладками

#### **Задание №9**

Энергия конденсатора равна 30 Дж. Если заряд на обкладках этого конденсатора равен 300 мкКл, какова его электроёмкость (в нФ)?

*Запишите число:* \_\_\_\_\_

#### **Задание №10**

Конденсатор с ёмкостью 300 мкФ накопил энергию, равную 45 мДж. Найдите напряжение между пластинами этого конденсатора (в В).

*Запишите число:* \_\_\_\_\_

#### **Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы:  
Нет;  
Да;

- Нет;  
 Да;  
 2) (1 б.) Верные ответы: 2;  
 3) (1 б.) Верные ответы: 3; 4;  
 4) (1 б.) Верные ответы: 2;  
 5) (1 б.): Верный ответ: 5.;  
 6) (1 б.): Верный ответ: 45.; Верный ответ: 45,2.;  
 7) (1 б.) Верные ответы: 3;  
 8) (1 б.) Верные ответы: 1;  
 9) (1 б.): Верный ответ: 1,5.;  
 10) (1 б.): Верный ответ: 12.; Верный ответ: 12,25.;

### Практическая работа №17

Тема: Определение термического коэффициента сопротивления материала спирали.

Цель: Определить термический коэффициент сопротивления спирали опытным путём.

Ход работы.

#### 1. Теоретическая часть.

**ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ**

**Формулировка**  
 Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению участка цепи.

$$I = \frac{U}{R}$$

I – сила тока (А)  
 U – напряжение (В)  
 R – сопротивление (Ом)

**Зависимость сопротивления от температуры**

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления

**Температурный коэффициент сопротивления равен относительному изменению сопротивления (в %) при нагревании проводника на 1 градус.**

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta T}$$

Измеряется  $[\alpha] = \text{К}^{-1}$

#### 2. Практическая часть.

Одну и ту же спираль сначала опустили в холодную воду, а затем в горячую. Спираль включена в электрическую цепь. Определите температурный коэффициент сопротивления спирали.

- 2.1 Изучите схему установки и начертите электрическую схему (см. Приложение)
- 2.2 Составьте план проведения измерений и расчетов для определения термического коэффициента металлической спирали.
- 2.3 Составьте и заполните таблицу, для занесения промежуточных и итоговых значений ,измеряемых величин.

2.4 Проведите математическую обработка результатов измерений (вычислите среднее значение измеренной величины, рассчитайте погрешности измерений, постройте график).

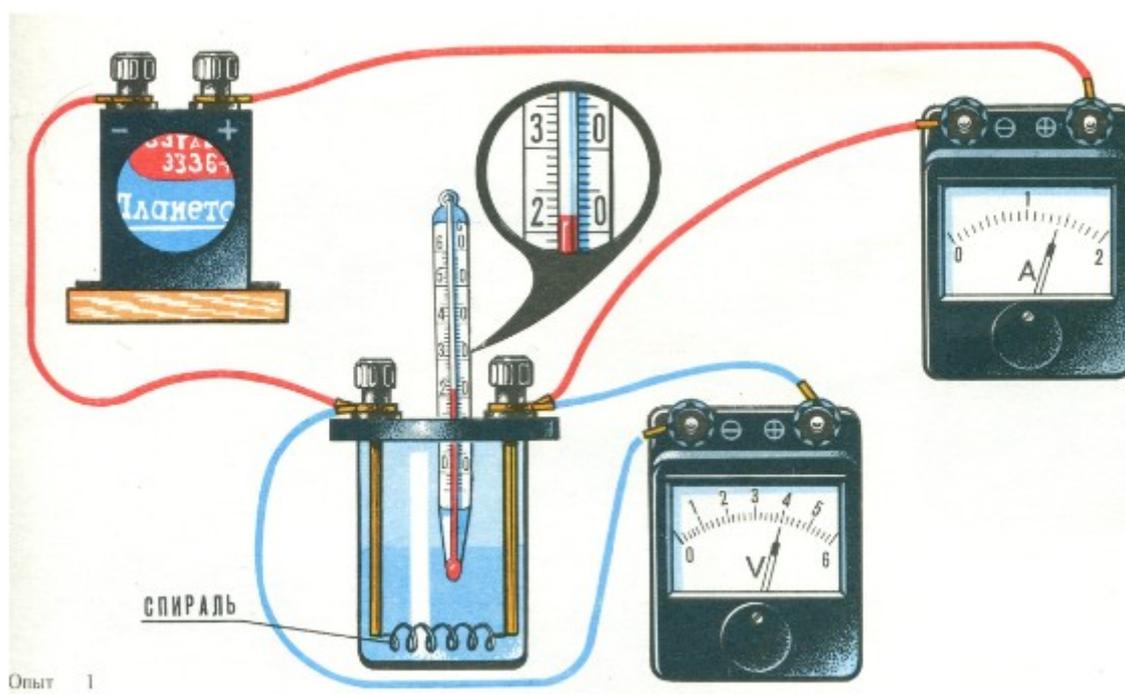
2.5 Выполните анализ полученных данных.

2.6 Сформулируйте вывод.

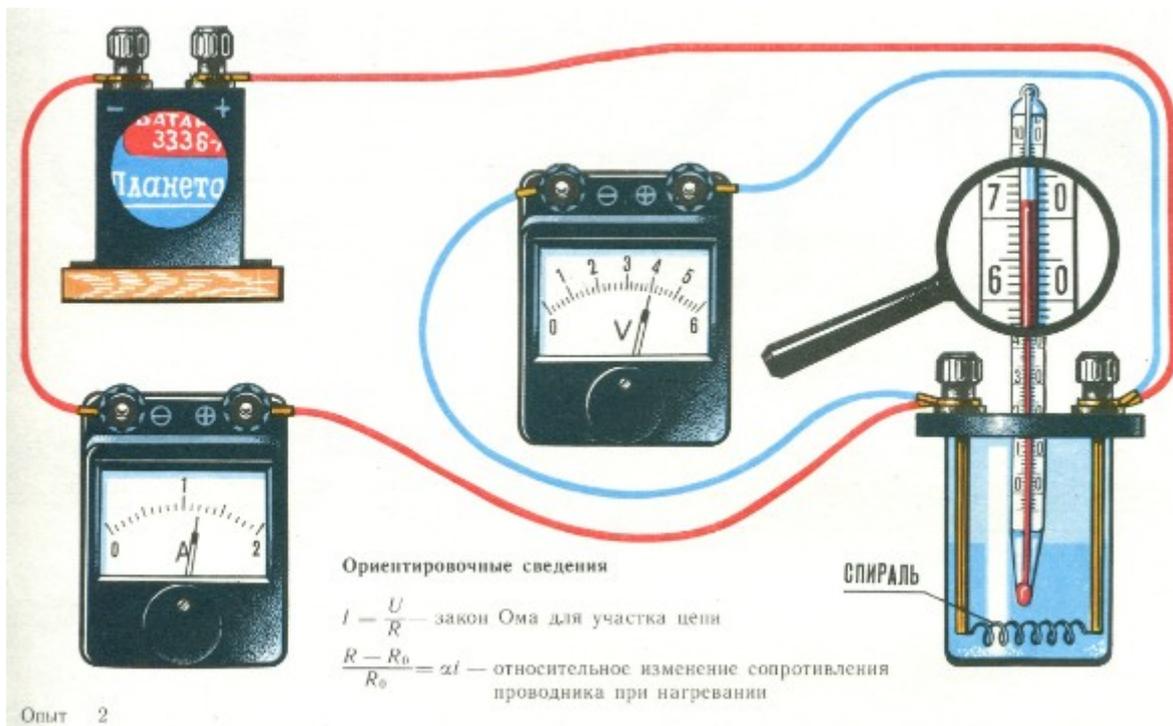
( Вывод: В ходе работы .....)

## Приложение к практической работе №17

### Опыт 1.



### Опыт 2.



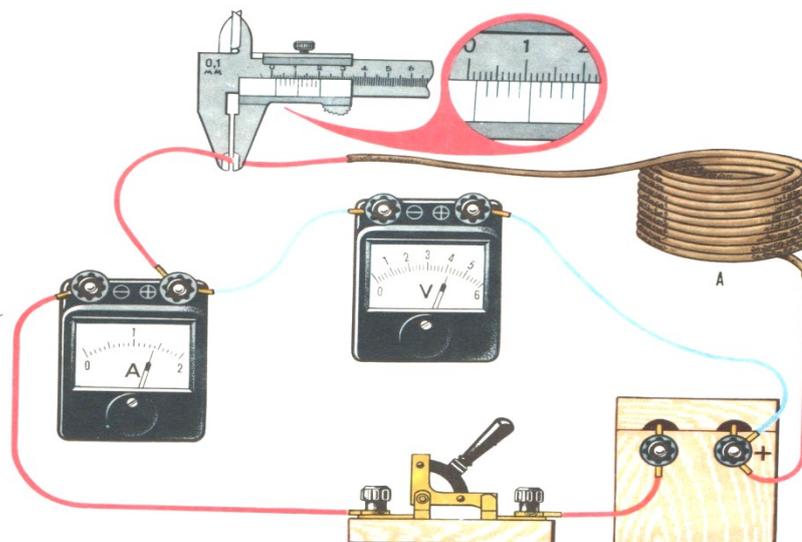
## Практическая работа №18

Тема: Изучение сопротивления и закона Ома для участка цепи

Цель: Определить сопротивление и длину мотка никелинового провода

### Ход работы

#### 1. Теоретическая часть



### Ориентировочные сведения

1.  $I = \frac{U}{R}$  — закон Ома для участка цепи
2.  $S = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$  — площадь круга (сечения)  
 $\pi = 3,14$
3.  $R = \frac{\rho l}{S}$  — сопротивление проводника

## 2. Практическая часть

### Задания (карта40В) :

Моток никелевого провода А включен в электрическую цепь так, как показано на рисунке.

1. Опишите словами изображенную электрическую цепь
2. Нарисуйте принципиальную схему изображенной электрической цепи. Отметьте на ней знаками (+,-) полярность зажимов электроизмерительных приборов, а стрелками- направление тока в цепи.
3. Определите цену деления электроизмерительных приборов:  $C_A = \dots$ ;  $C_V = \dots$ ;
4. Определить площадь сечения никелинового провода
5. Определите сопротивление мотка никелинового провода
6. Определите длину никелинового провода, если его удельное сопротивление  $\rho = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
7. Дополнительное задание: Постройте вольт-амперную характеристику для мотка никелинового провода.

**Вывод:** \_\_\_\_\_

### Критерии оценки:

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

**Дополнительные задания.**

### Электрический ток. Закон Ома для участка цепи

#### Задание №1

Выберете действия электрического тока

*Выберите несколько из 5 вариантов ответа:*

- 1) Тепловое
- 2) Физическое
- 3) Химическое
- 4) Магнитное
- 5) Световое

### **Задание №2**

Выберете то, без чего не может существовать электрический ток?

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Проводник
- 2) Свободные заряды
- 3) Электрическое поле
- 4) Магнитное поле

### **Задание №3**

Скорость движения электронов в металлическом проводнике...

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Обратно пропорциональна площади поперечного сечения проводника
- 2) Прямо пропорциональна заряду электрона
- 3) Прямо пропорциональна силе тока в проводнике
- 4) Прямо пропорциональна концентрации вещества, из которого сделан проводник

### **Задание №4**

Скорость распространения электрического поля в металлическом проводнике равна...

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Скорости движения электронов
- 2) Отношению заряда электрона к его массе умноженному на силу тока в проводнике
- 3) Скорости звука
- 4) Скорости света

### **Задание №5**

Вольт-амперная характеристика проводника это...

*Выберите один из 3 вариантов ответа:*

- 1) Его сопротивление
- 2) Зависимость силы тока от напряжения в данном проводнике
- 3) Отношение силы тока к напряжению в данном проводнике

### **Задание №6**

Сопротивление проводника...

*Выберите несколько из 5 вариантов ответа:*

- 1) Прямо пропорционально напряжению на его концах
- 2) Прямо пропорционально его длине
- 3) Обратно пропорционально площади его поперечного сечения
- 4) Обратно пропорционально силе тока
- 5) Зависит от вещества, из которого изготовлен проводник

### **Задание №7**

Удельное сопротивление проводника измеряется в...

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) Ом\*м

- 2) Ом/м
- 3) Ом\*м<sup>2</sup>
- 4) Ом\*мм

### **Задание №8**

Вычислите сопротивление (в Ом) медного провода длиной 70 м, если площадь его поперечного сечения равна 2 мм<sup>2</sup>.

Вещество	$\rho$ , Ом · м при 20 °С	Вещество	$\rho$ , Ом · м при 20 °С
<b>Проводники</b>		<b>Полупроводники</b>	
Серебро	$1,6 \times 10^{-8}$	Углерод	$3,5 \times 10^{-5}$
Медь	$1,7 \times 10^{-8}$	Германий	0,5
Золото	$2,4 \times 10^{-8}$	Кровь	1,5
Алюминий	$2,8 \times 10^{-8}$	Кремний	2300
Вольфрам	$5,5 \times 10^{-8}$	<b>Диэлектрики</b>	
Платина	$10^{-7}$	Полиэтилен	$10^8 - 10^9$
Сталь	$2 \times 10^{-7}$	Дерево	$10^8 - 10^{11}$
Нихром	$10^{-6}$	Резина	$10^{13}$
Ртуть	$9,6 \times 10^{-6}$	Стекло	$10^{11} - 10^{14}$

Запишите число: \_\_\_\_\_

### **Задание №9**

Напряжение на резисторе с сопротивлением 15 Ом равно 30 В. Какова сила тока в резисторе (в А)?

Запишите число: \_\_\_\_\_

### **Задание №10**

Проводник длиной 100 м изготовлен из неизвестного металла. Площадь его поперечного сечения равна 3 мм<sup>2</sup>. Когда в нём измерили силу тока она оказалось равной 10 А, а измерив напряжение на концах этого проводника, получили 1 кВ. Найдите удельное сопротивление материала (в мОм\*м), из которого изготовлен проводник.

Запишите число: \_\_\_\_\_

### **Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 1; 3; 4;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 2; 3;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 1; 3;
- 4) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 5) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 2; 3; 5;
- 7) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 8) (1 б.): Верный ответ: 0,6.; Верный ответ: 0,595.;
- 9) (1 б.): Верный ответ: 2.;
- 10) (1 б.): Верный ответ: 0,003.;

## **Практическая работа №19** **Тема: Расчет КПД нагревателей**

**Цель:** Найти КПД нагревательного устройства (22Б )

## Ход работы

### 1. Теоретическая часть

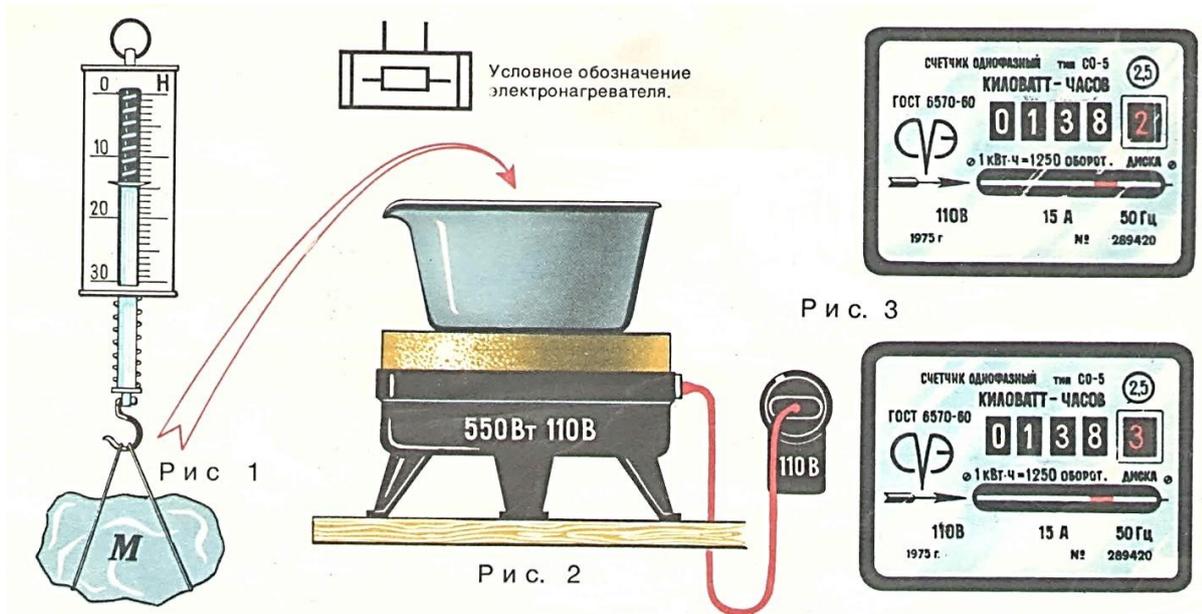
При протекании электрического тока в цепи, сила тока  $I$  в проводнике сопротивлением  $R$ , работа электрического тока за время  $t$  равна количеству теплоты  $Q$ , выделяемому в проводнике  $A = Q_{\text{ЗАТР}} = Pt = IUt$ , где  $P$  - мощность электроплитки выраженная в Ваттах. Лишь часть этого количества теплоты передается нагреваемому телу, в нашем случае – олову. Остальное количество теплоты бесполезно теряется: идет на нагревание котла и передается окружающей среде. Количество теплоты, полученное оловом в котле при нагреве до температуры плавления, равно  $Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ , где  $c$  – удельная теплоемкость олова,  $m$  – ее масса,  $t_2$  и  $t_1$  – температура плавления и начальная температура олова, соответственно. Количество теплоты, полученное оловом в котле при плавлении равно

$Q_2 = \lambda m$ . Таким образом, коэффициент полезного действия нагревателя равен

$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{ПОЛЕЗН}}}{Q_{\text{ЗАТР}}} * 100\%, \text{ где}$$

$Q_{\text{ПОЛЕЗН}} = Q_1 + Q_2$ ,  $A = Q_{\text{ЗАТР}} = Pt = IUt$ , где  $P$  - мощность электроплитки выраженная в Ваттах. \_\_\_

### 2. Практическая часть



### Задание:

Кусок олова  $M$  (рис. 1), находящийся в комнате при температуре  $22^\circ\text{C}$ , положили в чашку, стоящую на электроплитке (рис. 2), и расплавили. Показания счетчика перед включением плитки и после ее выключения даны на рисунке 3.

1. Рассчитайте израсходованную электрическую энергию.

2. Вычислите стоимость израсходованной электроэнергии при тарифе 4 коп. за 1 кВт·ч.

3. Найдите к. п. д. нагревательного устройства.

4. Вычислите сопротивление электроплитки в горячем состоянии.

5. Начертите схему электрической цепи, изображенной на рисунке 2.

Прочитайте и проведите расчеты при выполнении задания. Результаты расчетов занесите в таблицу.

для олова				для нагревательного устройства			
$t_{\text{комн}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{плав}}, ^\circ\text{C}$	$c,$ Дж/кг* $^\circ\text{C}$	$m,$ кг	$Q_{\text{ПОЛЕЗН}},$ кДж	$W_{\text{ЭЛ}},$ кДж	$Q_{\text{ЗАТР}},$ кДж	КПД, %
22	232	230	1,4		360	360	

$$\lambda = 59 \text{ кДж/кг} = 59000 \text{ Дж/кг}$$

$$Q_{\text{ПОЛЕЗН}} = cm(t_2 - t_1) + \lambda m$$

Вывод: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ответ: КПД=4,17%;

## Практическая работа №20

Тема: Определение электрохимического эквивалента вещества

Цель: Определить электрохимический эквивалент меди путем электролиза меди на катоде из раствора медного купороса.

### Ход работы

#### 1. Теоретическая часть

# Законы электролиза Фарадея

- Законы электролиза определяют массу вещества, выделяемого при электролизе на катоде или аноде за всё время прохождения электрического тока через электролит.

$$k = \frac{M}{N_A \cdot e \cdot n}$$

$$m = m_0 \cdot N = \frac{M}{N_A} \frac{q}{q_0} = \frac{M \cdot I \cdot t}{N_A \cdot e \cdot n} = k \cdot I \cdot t.$$

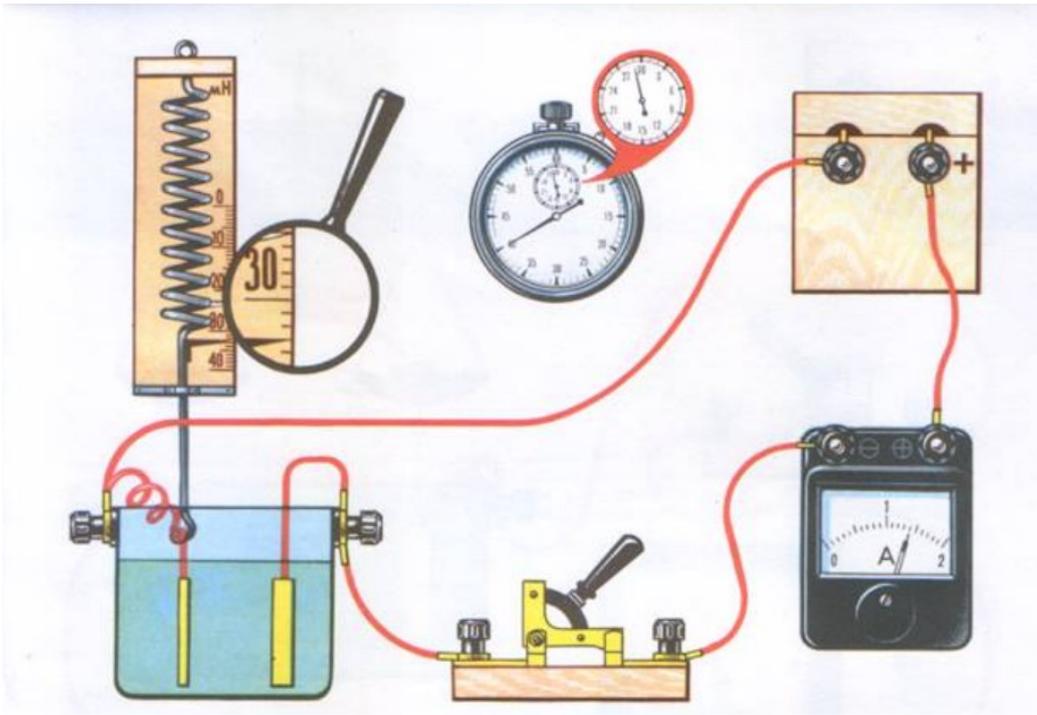
$$m = k \cdot I \cdot t.$$

- $k$  - электрохимический эквивалент вещества, численно равный массе вещества, выделившегося на электроде при прохождении через электролит заряда в 1 Кл.

## Практическая часть

2.1. Внимательно рассмотрите изображение установки, собранной для электролиза меди на катоде. Прочитайте задание и заполните таблицу. Для этого снимите показания приборов и по закону Фарадея определите электрохимический эквивалент меди.

2.2. В электролитической ванне, наполненной раствором медного купороса, установлены два медных электрода. Один электрод неподвижный, а другой, сделанный из очень тонкой медной фольги, укреплен на динамометре. На эту фольгу будет осаждаться медь при электролизе. Показания динамометра при разомкнутом ключе отмечены пунктирным положением его указателя. Одновременно с замыканием ключа включили секундомер. По истечении времени цепь разомкнули. Определите электрохимический эквивалент меди, пренебрегая изменением архимедовой силы, действующей на электрод.



2.3. Таблица.

Показания приборов					Расчетная часть	
I, А	m <sub>эл1</sub> , кг	m <sub>эл2</sub> , кг	m <sub>меди</sub> , кг	t <sub>электролиза</sub> , с	q, Кл	k, кг/Кл
				28 мин 40 с		

Обработайте результаты и напишите вывод.

## **Критерии оценки:**

### **Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном оформлении отчёта или неполном, но в целом верном выводе.

### **Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии вывода.

### **Оценка «2» ставится:**

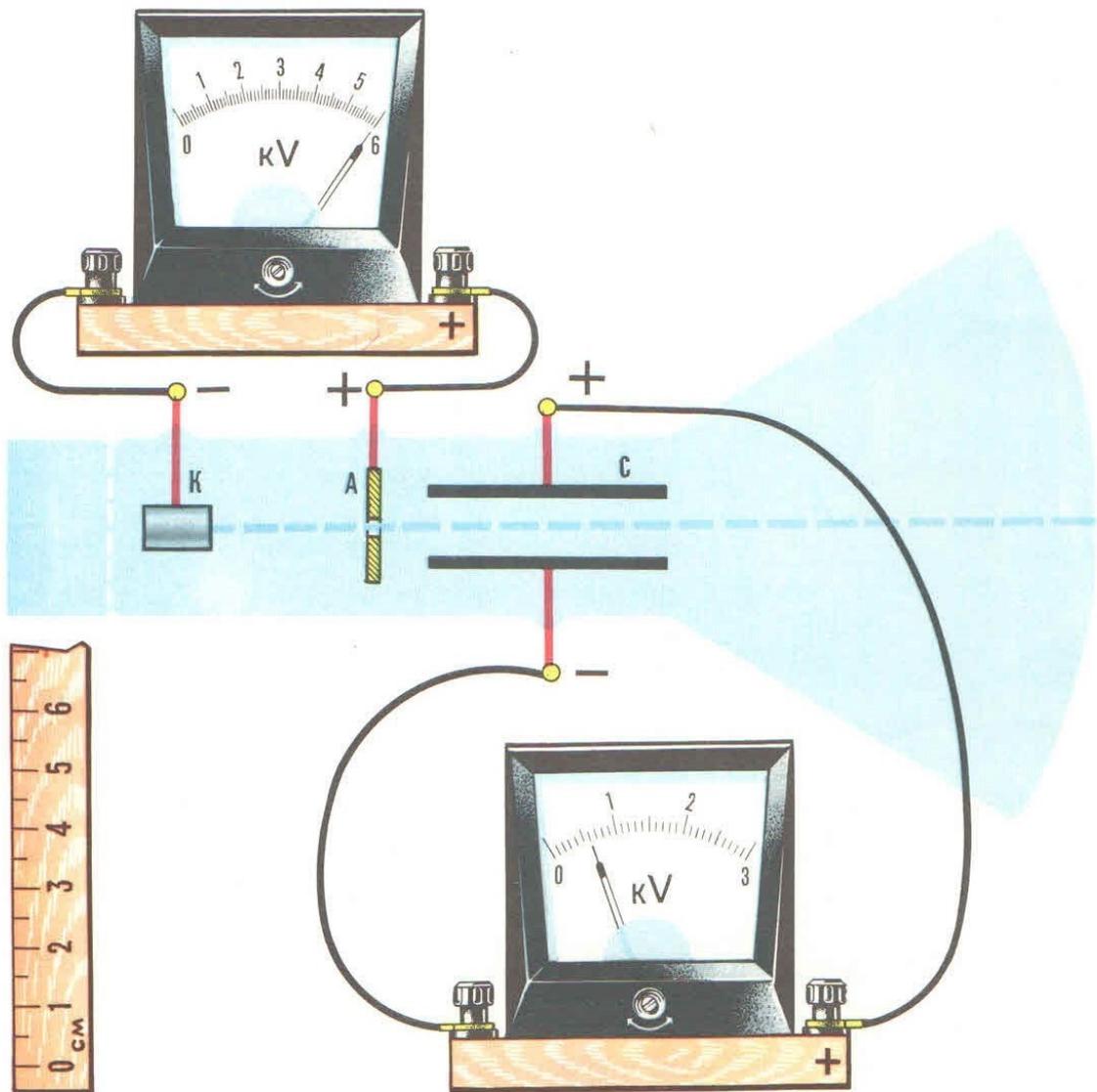
- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствия схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

## **Практическая работа №21**

### **Тема: Изучение работы электроннолучевой трубки**

**Цель:** Применить знания по теме «Электрический ток в вакууме» для расчета отклонения электронного луча под действием напряжения на конденсаторе

### **Ход работы**



### ЗАДАНИЕ 67—В

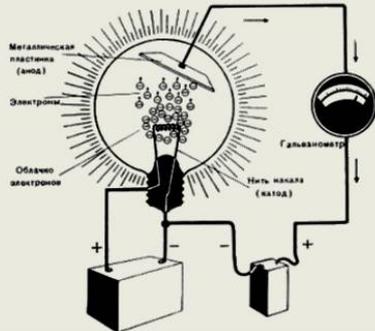
На рисунке в упрощенном виде показаны основные элементы электроннолучевой трубки:  $K$  — катод,  $A$  — анод,  $C$  — отклоняющие пластины конденсатора. Показан ход луча при отсутствии напряжения на конденсаторных пластинах.

Определите угол отклонения луча при выходе из конденсатора, если все элементы рисунка даны в одном и том же масштабе. Необходимые измерения производите методом переноса соответствующих размеров на изображенную линейку.

### 3. Теоретическая часть

## Условия существования тока в вакууме

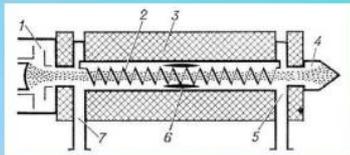
- Электроны покидают нагретый металл.
- Проволока при этом заряжается положительно, и под влиянием электрического поля электроны из облака частично возвращаются на катод. В равновесном состоянии число электронов, покинувших электрод в секунду, равно числу электронов, возвратившихся на электрод за это время.



- Чем выше температура металла, тем выше плотность электронного облака.
- Для возникновения тока необходимо дополнительное условие — создание электрического поля, под действием которого электроны будут двигаться направленно.
- **Ток в вакууме представляет собой поток электронов.**

## Применение

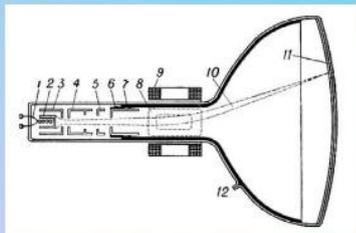
Электрические токи в вакууме имеют широчайшую область применения. Это все без исключения радиолампы, ускорители заряженных частиц, масс-спектрометры, вакуумные генераторы СВЧ, такие как магнетроны, лампы бегущей волны и т.п.



Лампа бегущей волны



Радиолампа



Кинескоп

1 — нить подогревателя катода; 2 — катод; 3 — управляющий электрод; 4 — ускоряющий электрод; 5 — первый анод; 6 — второй анод; 7 — проводящее покрытие (анвуда); 8 — катушки вертикального отклонения луча; 9 — катушки горизонтального отклонения луча; 10 — электронный луч; 11 — экран; 12 — вывод второго анода.

### 4. Практическая часть

1. Внимательно рассмотрите ЭЛТ. Прочитайте задание. Выполните задание, данное на карте 67А. Заполните таблицу.

Между катодом и анодом					На конденсаторе				
$U_{разг}, В$	$m_{эл}, В$	$v_{эл по гор}, М/с$	$E_{кин}, Д$ <b>Ж</b>	$v_{эл по верт}, М/с$	$d, см$	$s, см$	$U_{конд}, В$	$tga$	$\alpha, град$

2. Вывод:

---

---

### Критерии оценки:

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

### Дополнительное задание

#### Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи

##### Задание №1

*Вопрос:*

Сторонние силы - это....

*Выберите несколько из 4 вариантов ответа:*

- 1) Кулоновские силы
- 2) Силы, действующие на электрические заряды
- 3) Силы, неэлектрического происхождения
- 4) Силы, уравнивающие друг друга и действующие в противоположных направлениях

##### Задание №2

*Вопрос:*

Выберите верные утверждения

*Укажите истинность или ложность вариантов ответа:*

- Электродвижущая сила измеряется в вольтах
- Электродвижущая сила - это пример сторонней силы
- Электродвижущая сила - это отношение работы сторонних сил при перемещении заряда по замкнутому контуру к величине этого заряда
- Электродвижущая сила - это разность между работой сторонних сил и работой кулоновских сил

##### Задание №3

*Вопрос:*

Сколько физических величин включает в себя математическое описание закона Ома для полной цепи?

*Запишите число:* \_\_\_\_\_

##### Задание №4

*Вопрос:*

Если в цепь последовательно включены несколько источников тока, то полная ЭДС равна...

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Алгебраической сумме ЭДС каждого источника
- 2) Геометрической сумме ЭДС каждого источника
- 3) Сумме модулей ЭДС каждого источника
- 4) Алгебраической или геометрической сумме ЭДС каждого источника, в зависимости от направления обхода тока

### Задание №5

Вопрос:

Цепь называется полной, если...

Выберите несколько из 4 вариантов ответа:

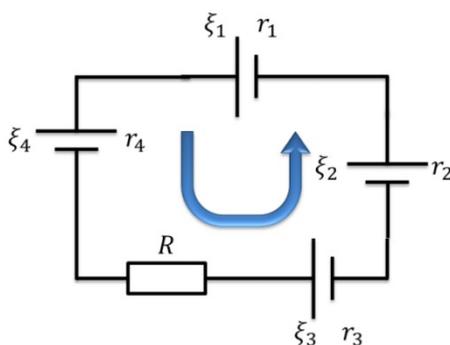
- 1) Она замкнута
- 2) В нее включен резистор
- 3) В нее включен источник тока
- 4) В ней есть как последовательно, так и параллельно подключенные элементы

### Задание №6

Вопрос:

На рисунке указана цепь, в которую включены несколько источников тока. Исходя из выбранного направления обхода тока (которое обозначено стрелкой), какие ЭДС отрицательные?

Изображение:



Выберите несколько из 4 вариантов ответа:

- 1)  $\xi_1$
- 2)  $\xi_2$
- 3)  $\xi_3$
- 4)  $\xi_4$

### Задание №7

Вопрос:

При коротком замыкании верно следующее:

Выберите несколько из 4 вариантов ответа:

- 1) Внешнее сопротивление цепи близко к нулю
- 2) Внутреннее сопротивление источника тока близко к нулю
- 3) Сила тока в цепи многократно превышает силу тока при нормальной работе этой цепи
- 4) Напряжение на источнике тока многократно превышает напряжение при нормальной работе

### Задание #№

Вопрос:

В полной цепи с некоторым внешним сопротивлением  $R$  протекает некоторый ток, сила которого равна  $I$ . Если в цепь с внешним сопротивлением  $2R$  включить другой источник, ЭДС которого вдвое больше, чем ЭДС первого источника, то чему будет равна сила тока в этой цепи?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1)  $I$
- 2)  $2I$
- 3)  $4I$
- 4) Недостаточно данных для ответа на вопрос

### **Задание №9**

Вопрос:

ЭДС источника тока равна 36 В. Когда к нему подключили резистор, равный 50 Ом, сила тока в цепи составила 0,7 А. Чем равно внутреннее сопротивление источника (в Ом)?

Запишите число: \_\_\_\_\_

### **Задание №10**

Вопрос:

Когда к источнику тока с внутренним сопротивлением 1 Ом подключили резистор с сопротивлением 4 Ом, сила тока в цепи приняла некоторое значение  $I$ . Резистор с каким сопротивлением (в Ом) надо подключить к этому источнику, чтобы сила тока в цепи стала равна  $I/2$ ?

Запишите число: \_\_\_\_\_

### **Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 2; 3;
- 2) (1 б.) Верные ответы:  
Да;  
Нет;  
Да;  
Нет;
- 3) (1 б.): Верный ответ: 4.;
- 4) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 5) (1 б.) Верные ответы: 1; 3;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 3; 4;
- 7) (1 б.) Верные ответы: 1; 3;
- 8) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 9) (1 б.): Верный ответ: 1,43.; Верный ответ: 1,4.;
- 10) (1 б.): Верный ответ: 9.;

### **Практическая работа №22**

**Тема: Расчет разветвленной электрической цепи. Изучение ВАХ полупроводников**

**Цель:** Изучить и построить ВАХ полупроводников

### **Ход работы**

#### **1. Теоретическая часть.**

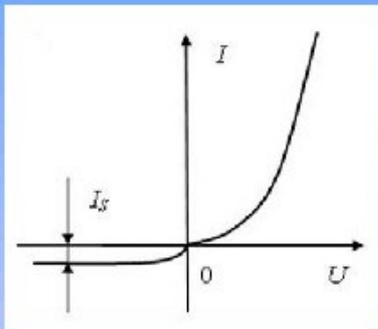
1.1. Заполни сравнительную таблицу проводимости в металлах полупроводниках

<b>металлы</b>	<b>полупроводники</b>
1.Носители зарядов: _____	1.Носители зарядов: _____

2.Проводимость (какая):	2.Проводимость (какая):
3.Сопротивление (постоянное или меняется, как зависит от температуры?):	3.Сопротивление (постоянное или меняется, как зависит от температуры?):
4.ВАХ (график с объяснениями):	4.ВАХ (график с объяснениями):
5. Устройство (рисунок с обозначениями):	5. Устройство(рисунок с обозначениями):

1.2. Прочитай внимательно 3 текста и запишите кратко основную мысль выраженную в каждом тексте.

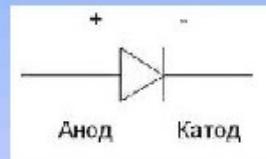
### Вольт-амперная (ВАХ) характеристика p-n перехода



Статическая вольт-амперная характеристика идеального диода

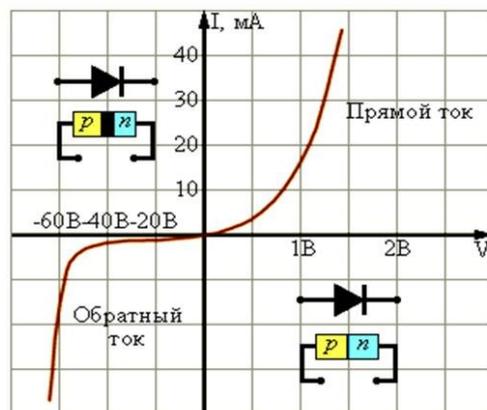
Диод – пассивный нелинейный полупроводниковый прибор, с двумя электродами – анодом и катодом.

Он проводит ток в прямом направлении, когда к аноду приложен положительный потенциал "+", а к катоду отрицательный "-". Он не проводит ток в обратном направлении. Называется пассивным, потому, что не усиливает мощность. Диод является нелинейным элементом, поэтому его ВАХ (вольтамперная характеристика) нелинейная.

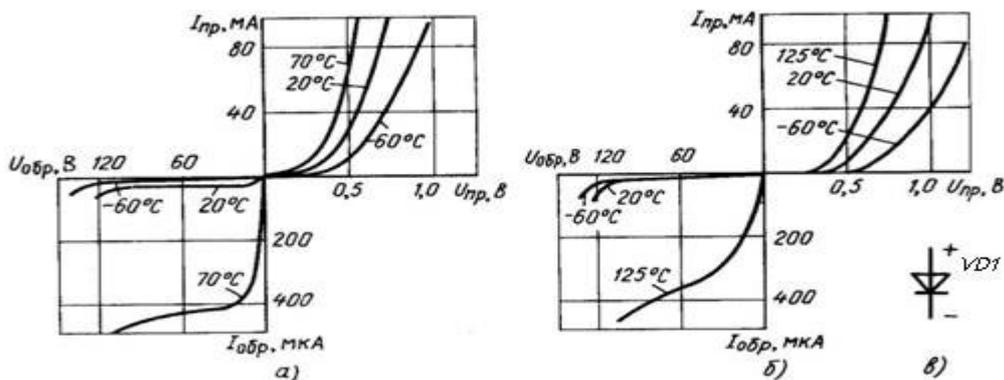


Когда диод начинает проводить ток, на нем возникает падение напряжения. Постоянный прямой ток  $I_{пр}$  может быть 10-20 мА, постоянный обратный ток  $I_{обр}$  1-2 мкА. - для диодов общего назначения,  $I_{обр}$  обычно не принимают во внимание до тех пор, пока постоянное обратное напряжение  $U_{обр}$  не достигнет напряжения пробоя, в этом случае  $I_{обр}$  возрастает до значений  $I_{пр}$  и диод выходит из строя,  $I_{пр}$  также не может превышать  $I_{макс}$ . Германиевые диоды открываются при  $U_{пр} = 0,2-0,4$  В, кремниевые - 0,6-0,8 В. Германиевые диоды имеют меньшее сопротивление в прямом направлении, чем кремниевые, порядка 100 Ом, их обратное сопротивление больше 100 000 Ом, прямые и обратные сопротивления у кремниевых диодов выше. С повышением температуры  $I_{пр}$  и  $I_{обр}$  увеличиваются. Д226 – германиевый диод, КД102 – кремниевый диод.

## Типичная вольт - амперная характеристика кремниевого диода



**Текст 1.** Здесь показано условное графическое обозначение выпрямительного диода (в). Вершина треугольника «стрелка» показывает направление прямого тока протекающего от большого потенциала «+» (анода) к меньшему потенциалу «-» (катоду).



**Рисунок 1 - Вольт-амперная характеристики германиевого (а) и кремниевого (б) диодов**

Из приведенных ВАХ видно, что для кремниевых диодов по сравнению с германиевым прямые ветви характеристик, построенных при одних и тех же температурах, смещены вправо. Т.е для получения одинаковых прямых токов необходимо к кремниевым диодам прикладывать большее прямое напряжение, чем к германиевым.

При увеличении температуры прямая ветвь характеристик становится более крутой. Обратный ток в кремниевых диодах меньше, чем у германиевых.

**Основными параметрами выпрямительных диодов являются:**

- 1. Максимально допустимое обратное напряжение** диода  $U_{обр\ max}$  — значение напряжения, приложенного в обратном направлении, которое диод может выдержать в течение длительного времени без нарушения его работоспособности (десятки — тысячи В).
- 2. Средний выпрямленный ток** диода  $I_{вп\ ср}$  — среднее за период значение выпрямленного постоянного тока, протекающего через диод (сотни мА — десятки А).
- 3. Импульсный прямой ток** диода  $I_{при}$  — пиковое значение импульса тока при заданной максимальной длительности, скважности и формы импульса.
- 4. Средний обратный ток** диода  $I_{обр\ ср}$  — среднее за период значение обратного тока (доли мкА — несколько мА).

**5. Среднее прямое напряжение диода при заданном среднем значении прямого тока  $U_{пр ср}$  (доли В).**

**6. Средняя рассеиваемая мощность диода  $P_{срд}$  —** средняя за период мощность, рассеиваемая диодом, при протекании тока в прямом и обратном направлениях (сотни мВт—десятки и более Вт).

**7. Дифференциальное сопротивление диода  $r_{диф}$  —** отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его малому приращению тока (единицы — сотни Ом).

Система параметров не допускает работу выпрямительных диодов в области электрического пробоя. Разновидностью выпрямительных диодов, допускающих в течение длительного интервала времени работу в области электрического лавинного пробоя на обратной ветви ВАХ, являются *лавинные диоды*. Эта особенность лавинных диодов позволяет эффективно применять их в качестве элементов цепей аппаратуры защищающих от импульсных перегрузок по напряжению.

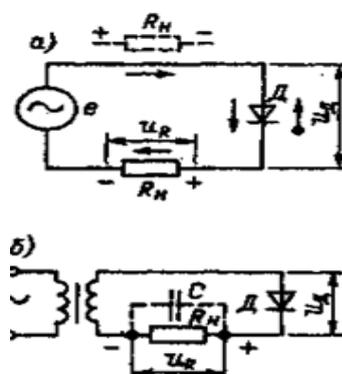
**Текст 2.** В выпрямительных диодах используется вентельное свойство электронно-дырочного перехода, т.е. при прямом напряжении сопротивление р-п-перехода мало, а при обратном напряжении – велико. Широко распространены *низкочастотные выпрямительные диоды*, предназначенные для выпрямления переменного тока с частотой до единиц килогерц (иногда до 50 кГц). Эти диоды применяются в выпрямительных устройствах для питания различной аппаратуры. Низкочастотные диоды являются плоскостными и изготавливаются из германия или кремния. Они предназначены для выпрямления переменного тока с постоянным или средним значением не более 10А. Все параметры диодов обычно указываются для работы при температуре окружающей среды  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Германиевые диоды изготавливаются, как правило, вплавлением индия в германий п-типа. Они могут допускать плотность тока до  $100 \text{ А/см}^2$  при прямом напряжении до 0,8 В. Предельное обратное напряжение у них не превышает 400 В, а обратный ток обычно бывает не более единиц миллиампер. Рабочая температура этих диодов от  $-60$  до  $+75^\circ\text{C}$ . Если диоды работают при температуре окружающей среды выше  $20^\circ\text{C}$ , то необходимо снижать обратное напряжение. При пониженном атмосферном давлении или неудовлетворительном охлаждении возможен перегрев диодов. Чтобы не допускать его, следует снижать выпрямленный ток.

Мощные германиевые диоды работают с естественным охлаждением. Они изготавливаются на выпрямленный ток до 1000 А и обратное напряжение до 150 В.

Выпрямительные кремниевые диоды в последнее время получили особенно большое распространение. Они изготавливаются вплавлением алюминия в кремний п-типа, а также сплава олова с фосфором или золота с сурьмой в кремний р-типа. Применяется и диффузионный метод. По сравнению с германиевыми кремниевые диоды имеют ряд преимуществ. Предельная плотность прямого тока у них до  $200 \text{ А/см}^2$ , а предельное обратное напряжение может быть до 1000 В. Рабочая температура от  $-60$  до  $+125^\circ\text{C}$  (для некоторых типов даже до  $+150^\circ\text{C}$ ). Прямое напряжение у кремниевых диодов доходит до 1,5 В, т. е. несколько больше, чем у германиевых диодов. Обратный ток у кремниевых диодов значительно меньше, чем у германиевых.

Для выпрямления высоких напряжений выпускаются кремниевые столбы в прямоугольных пластмассовых корпусах, залитых изолирующей смолой. Они бывают рассчитаны на ток до сотен миллиампер и обратное напряжение до нескольких киловольт. Для более удобной сборки различных выпрямительных схем, например мостовых или удвоительных, служат кремниевые выпрямительные блоки. В них имеется несколько столбов, от которых сделаны отдельные выводы. Мощные



кремниевые диоды выпускаются на выпрямленный ток от 10 до 500 А и обратное напряжение от 50 до 1000 В.

### **Выпрямляющее действие диода**

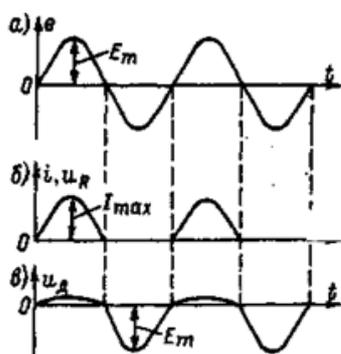
**Текст 3.** Выпрямление переменного тока — один из основных процессов в радиоэлектронике. В выпрямительном устройстве энергия переменного тока преобразуется в энергию постоянного тока. Любой выпрямитель является потребителем энергии переменного тока и генератором постоянного тока.

Поскольку полупроводниковые диоды хорошо проводят ток в прямом направлении и плохо в обратном, то большинство

полупроводниковых диодов применяется для выпрямления переменного тока. **Рис.**

### **2.19 – Схемы выпрямителя с полупроводниковым диодом**

Простейшая схема для выпрямления переменного тока показана на рисунке 2.19, а. В ней последовательно соединены генератор переменной ЭДС ( $e$ ), диод Д и нагрузочный резистор  $R_n$ , который можно включать также и в другой провод, как показано штрихами. Эта схема называется однополупериодной. Правильнее бы называть ее однофазной однопериодной, так как генератор переменной ЭДС является однофазным и ток проходит через него только в одном направлении один раз за период (один такт за период). Другие, более сложные схемы для выпрямления (двухфазные, трехфазные, двухтактные и др.), как правило, представляют собой комбинацию несколько однофазных однопериодных схем.



Графики на рисунке 2. наглядно иллюстрируют процессы в выпрямителе. Переменная ЭДС генератора изображена синусоидой с амплитудой  $E_m$  (рисунок 2, а). Как правило, сопротивление нагрузки во много раз больше сопротивления диода, и тогда нелинейностью диода можно пренебречь (рабочая характеристика близка к линейной). В этом случае выпрямленный ток имеет форму импульсов, близкую к полусинусоиде с максимальным значением  $I_{max}$  (рисунок 2.20, б). Этот

же график тока в другом масштабе изображает выпрямленное напряжение  $u_R$ , так как  $u_R = iR_n$ . Достаточно умножить значения тока на  $R_n$ , чтобы получить кривую напряжения.

### **Рисунок 2. – Принцип работы простейшего выпрямителя**

График на рисунке 2, в изображает напряжение на диоде. Иногда ошибочно его считают синусоидальным или отождествляют с напряжением источника переменной ЭДС. На самом же деле это напряжение имеет несинусоидальную форму. У него амплитуды положительных и отрицательных полуволн резко неодинаковы. Амплитуда положительных полуволн очень мала. Это объясняется тем, что когда проходит прямой ток, то большая часть напряжения источника падает на нагрузочном резисторе  $R_n$ , сопротивление которого значительно превышает сопротивление диода. В этом случае

$$U_{пр\ max} = E_m - U_{R\ max} = E_m - I_{max}R_n \ll E_m$$

Для обычных полупроводниковых диодов прямое напряжение бывает не более 1–2 В.

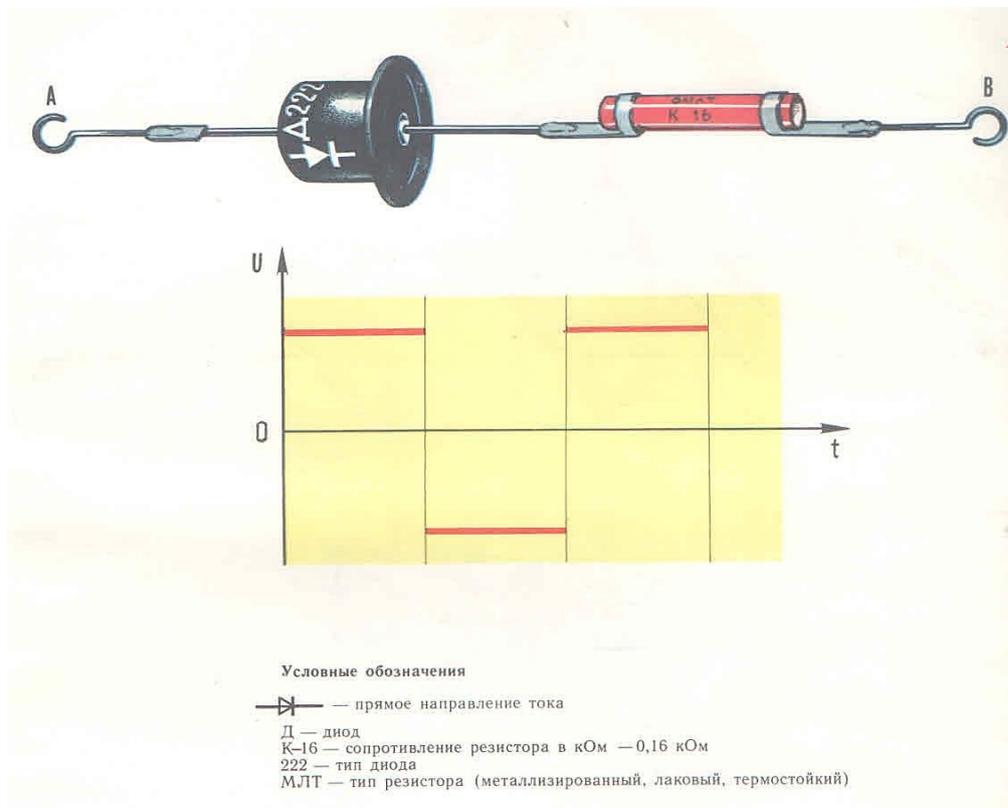
Например, пусть источник имеет действующее напряжение  $E = 200$  В и  $E_m = \sqrt{2} E = 280$  В. Если  $U_{пр\ max} = 2$  В, то  $U_{R\ max} = 278$  В. Если бы напряжение источника (например, 200 В) полностью было приложено к диоду, это означало бы, что на резисторе  $R_n$  нет падения напряжения. Но это возможно только при  $R_n = 0$ . Тогда ток был бы недопустимо большим и диод вышел бы из строя.

## **2. Практическая часть**

### **2.1. Задание. (Карточка 68В):**

На рисунке показана электрическая цепь, состоящая из последовательного соединения диода и резистора.

К концам цепи в точках А и В приложено напряжение, характер которого показан на графике. Постройте график изменения силы тока в цепи (качественно).

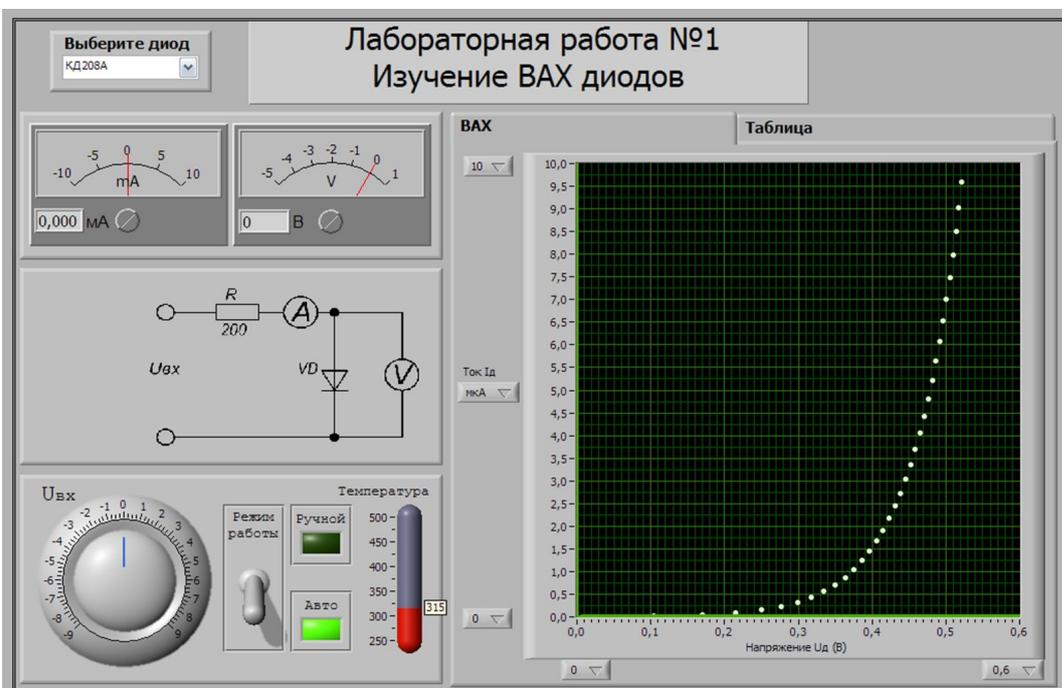


Задание

2.2.:Изучи график ВАХ (см. Лабораторную работу №1). По графику заполни таблицу. Расчитай сопротивление для каждой точки выбранного напряжения. Расчёты выполни под таблицей. Результаты занеси в таблицу.

Запиши в верхнюю строчку как проявляет себя диод на этих трех участках ВАХ.

Проявляет себя как...									
$U_D, В$	0,10	0,17	0,21	0,30	0,35	0,40	0,50	0,51	0,52
$I, мкА$									
$R, Ом$									



**Вывод:** \_\_\_\_\_

**Критерии оценки:**

**Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

### **Практическая работа №23**

#### **Тема: Решение задач по теме "Магнитное поле"**

**Основные понятия:** вектор магнитной индукции, магнитная силовая линия, принцип суперпозиции для магнитного поля, правило буравчика, сила Ампера, электрическая и магнитная составляющая силы Лоренца, магнитный момент контура с током, явление электромагнитной индукции, ЭДС индукции, индукционный ток, правило Ленца, вихревое электрическое поле.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как определить направление и величину магнитной индукции в пространстве экспериментальными методами?
2. В каких единицах измеряется магнитная индукция в системе СИ?
3. Что такое сила Ампера?
4. Сформулируйте закон Ампера.
5. Как определить силу Ампера, действующую на проводник с током произвольной формы?
6. Чему равна сила Ампера, действующая на замкнутый контур с током в однородном магнитном поле?

10. Что такое явление электромагнитной индукции?
11. Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
12. В чём состоит правило Ленца для определения направления индукционного тока?
14. Каков принцип работы генератора и трансформатора электрического тока?

### Практическая часть.

1.1. Разобрать в группе решение типовых задач.

1.2. Решить задачи из части «Задачи для самостоятельного решения».

### Примеры решения задач

**Задача 1.** Два длинных прямых параллельных провода находятся на расстоянии  $r = 5$  см один от другого. По проводам текут токи  $I_1 = I_2 = 10$  А. Найти магнитную индукцию в точке А, находящейся на расстоянии  $r_1 = 4$  см от первого проводника и  $r_2 = 3$  см от второго.

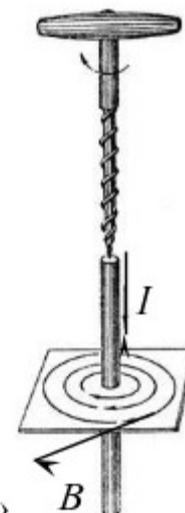
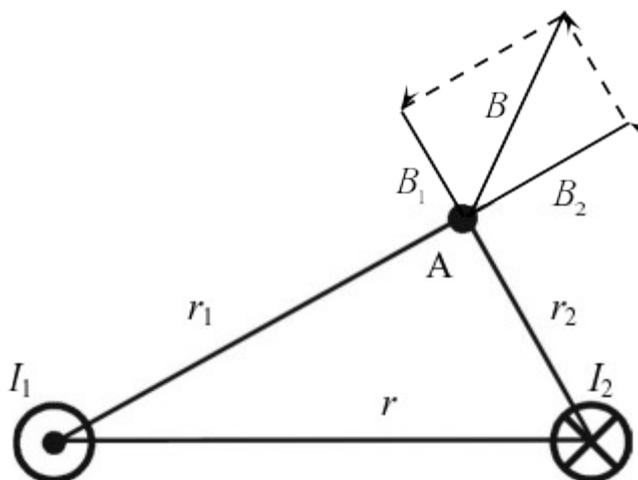
*Решение.* Магнитная индукция в точке А складывается из магнитных индукций токов  $I_1$  и  $I_2$  в этой точке:

$$B = B_1 + B_2. \quad (1.1)$$

Длинный прямой провод, по которому протекает ток  $I$ , создаёт вокруг себя магнитное поле на расстоянии  $R$  индукцией:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}, \quad (1.2)$$

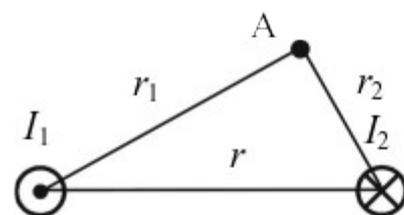
где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м —



Ток течёт «на нас»      Ток течёт «от нас»

магнитная постоянная. Направление вектора магнитной индукции в этом случае может быть определено по правилу буравчика: если поступательное движение буравчика (правого винта) направлено в сторону тока, то вращательное движение – по направлению магнитных силовых линий. Вектор магнитной индукции направлен по касательной к магнитной силовой линии.

Треугольник со сторонами 3, 4, 5 см является прямоугольным, поэтому угол между векторами  $B_1$  и  $B_2$  составляет  $90^\circ$ . Тогда, для сложения векторов можно воспользоваться теоремой Пифагора:



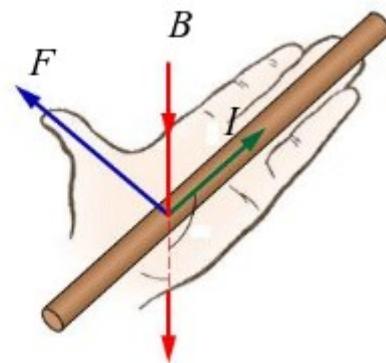
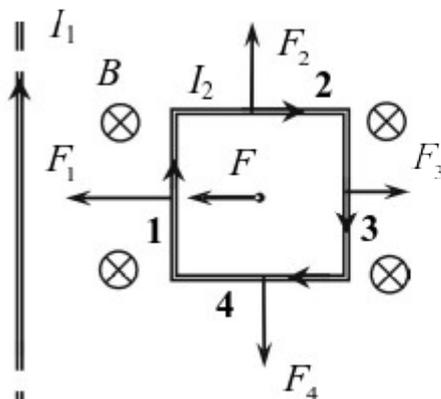
$$B = \sqrt{\left(\frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1}\right)^2 + \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2}\right)^2} = 8,33 \cdot 10^{-5} \text{ Тл.}$$

(1.3)

Ответ:  $B = 83,3 \text{ мкТл.}$

**Задача 2.** Проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две её стороны параллельны проводу. Определить равнодействующую силу, действующую на рамку.  $I_1 = 4 \text{ А, } I_2 = 2 \text{ А, } a = 15 \text{ см, } b = 10 \text{ см, } c = 8 \text{ см.}$

*Решение.* Ток  $I_1$  создаёт магнитное поле, которое действует на рамку с током. Определим по правилу буравчика, что магнитная индукция  $B$  направлена «от нас». На каждую из сторон рамки действует сила Ампера. Её направление можно определить с помощью



правила левой руки: расположим левую руку так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, четыре пальца левой руки нужно ориентировать в направлении тока, а отогнутый на  $90^\circ$  большой палец левой руки будет направлен вдоль силы Ампера,

действующей на проводник с током. Силы  $F_2$  и  $F_4$  равны по модулю и противоположны

по направлению, поэтому они компенсируют друг друга. Определим силы  $F_1$  и  $F_3$ . Они направлены в противоположные стороны, но не равны по модулю, так как одна из сторон находится ближе к источнику магнитного поля, чем другая. Магнитная индукция длинного прямолинейного проводника с током  $I$  на расстоянии  $r$  от него определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

(2.1)

Если прямолинейный проводник с током  $I$  имеет длину  $l$  и находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ , направленной под углом  $\alpha$  к направлению тока, то него действует сила Ампера, равная по модулю:

$$F_A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha.$$

(2.2)

Применяя формулы (2.1) и (2.2) для проводников **1** и **3**, получаем:

$$F_1 = I_2 \cdot B_1 \cdot c = I_2 \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a} \cdot c = 8,53 \cdot 10^{-7} \text{ Н}; \quad (2.3)$$

$$F_3 = I_2 \cdot B_2 \cdot c = I_2 \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(a+b)} \cdot c = 5,12 \cdot 10^{-7} \text{ Н}; \quad (2.4)$$

Равнодействующая сила  $F = F_1 + F_3$  по модулю равна  $F = F_1 - F_3$ .

Ответ:  $F = 3,41 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ .

**Задача 3.** Провод в виде полукольца радиусом  $R = 0,2 \text{ м}$  находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,01 \text{ Тл}$ . По проводу течет ток  $I = 4 \text{ А}$ . Найти силу, действующую на провод, если он лежит в плоскости, перпендикулярной линиям индукции.

*Решение.* Полукольцо  $C$  – это незамкнутый контур, и на каждый элемент контура с током  $dl$  действует сила Ампера:

$$dF_A = I \cdot [dl, B]. \quad (3.1)$$

Равнодействующая всех сил может быть определена путём интегрирования:

$$F_1 = \int_C dF_A.$$

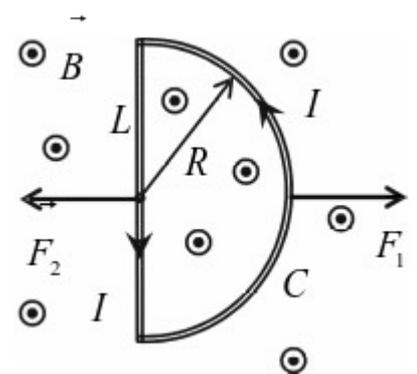
(3.2)

Однако, учитывая, что провод находится в однородном магнитном поле, эту силу можно определить без применения интегрирования по элементам. Дополним полукольцо  $C$  прямолинейным проводником  $L$ . Тогда, получится замкнутый контур, по которому протекает ток  $I$ . Известно, что сила Ампера, действующая на замкнутый контур с током в однородном магнитном поле, равна нулю. Значит,

$$F_1 + F_2 = 0; \quad F_1 = -F_2. \quad (3.3)$$

Применяя закон Ампера для прямолинейного проводника  $L$ , получаем

Ответ:  $F_1 = F_2 = I \cdot B \cdot 2R = 0,016 \text{ Н}$ .



**Задача 4.** Рамка гальванометра, содержащая  $N=200$  витков тонкого провода, подвешена на упругой нити. Площадь рамки  $S=20 \text{ см}^2$ . Плоскость рамки параллельна линиям магнитной индукции  $B=0,3 \text{ Тл}$ . Когда через гальванометр был пропущен ток  $I=1 \text{ мА}$ , то рамка повернулась на угол  $\alpha = 30^\circ$ . Найти постоянную кручения нити  $C$ .

**Решение.** Если ток через гальванометр не протекает, то его рамка будет ориентирована, как показано на рисунке сверху. Когда электрический ток проходит по проводу, намотанному на рамку гальванометра, то возникает момент силы Ампера  $M_A$ , который поворачивает рамку до тех пор, пока он не уравнивается моментом сил упругости  $M_{\text{упр}}$ , возникающим в нити при закручивании на угол  $\alpha$ , как показано на рисунке снизу. Момент силы Ампера определяется по формуле:

$$M_A = p_m B \sin \beta,$$

(4.1)

где  $p_m = ISN$  – магнитный момент контура, содержащего  $N$  витков,  $\beta$  – угол между магнитным моментом контура и вектором магнитной индукции поля, в котором находится контур:  $\beta = 90^\circ - \alpha = 60^\circ$ . Момент силы упругости пропорционален углу закручивания нити:

$$M_{\text{упр}} = C \cdot \alpha,$$

(4.2)

где  $C$  – постоянная кручения нити. Если установилось равновесие рамки с током, то

$M_{\text{упр}} = M_A$ . Подставляя в это уравнение (4.1) и (4.2), получаем:

$$C\alpha = p_m B \sin \beta;$$

(4.3)

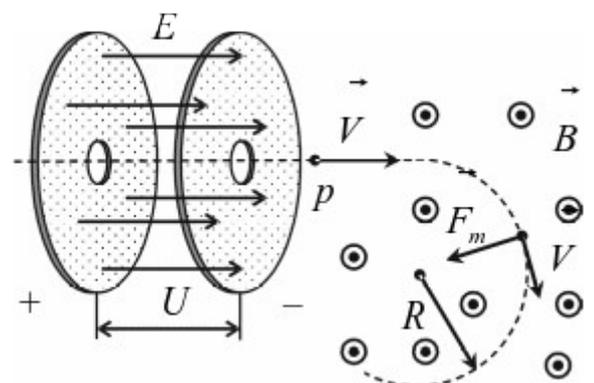
$$C = \frac{ISNB \sin \beta}{\alpha} = \frac{10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 0,3 \cdot 0,866}{30^\circ} = 3,46 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{град}}.$$

(4.4)

$$C = 3,46 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{град}}.$$

Ответ:

**Задача 5.** Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов  $U=600 \text{ В}$ , влетел в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,3 \text{ Тл}$  и начал двигаться по окружности. Вычислить её радиус.



*Решение.* Когда протон проходит ускоряющую разность потенциалов  $U$ , на него действует электрическая составляющая силы Лоренца (электростатическая сила)  $F_e = qE$ , которая совершает положительную работу и, частица получает скорость  $V$ .

$$\frac{mV^2}{2} = Ue, \quad (5.1)$$

где  $m$  и  $e$  – масса и заряд протона. Отсюда:

$$V = \sqrt{\frac{2Ue}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \text{ В} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} = 3,39 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (5.2)$$

Затем, протон попадает в однородное магнитное поле и начинает двигаться по окружности. Магнитная составляющая силы Лоренца  $F_m$  всегда направлена перпендикулярно скорости движения частицы, и поэтому работу не совершает. Направление скорости частицы при движении в магнитном поле изменяется, а величина её скорости не изменяется. Чтобы протон начал двигаться по окружности, магнитная индукция должна быть направлена перпендикулярно скорости движения. Направление магнитной составляющей силы Лоренца определяем по правилу левой руки: левую руку располагаем так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, четыре пальца направим вдоль направления движения заряда, отогнутый на  $90^\circ$  большой палец левой руки показывает направление силы Лоренца, действующей на положительный заряд. Если заряд отрицательный, то направление действия силы Лоренца изменяем на противоположное. Магнитная составляющая силы Лоренца определяется по формуле:

$$F_m = q \cdot [V, B] \Rightarrow F_m = qVB \sin \alpha, \quad (5.3)$$

$\alpha$  – угол между скоростью частицы  $V$  и вектором магнитной индукции  $B$ . В условиях нашей задачи  $\alpha = 90^\circ$ , а  $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. По II закону Ньютона:

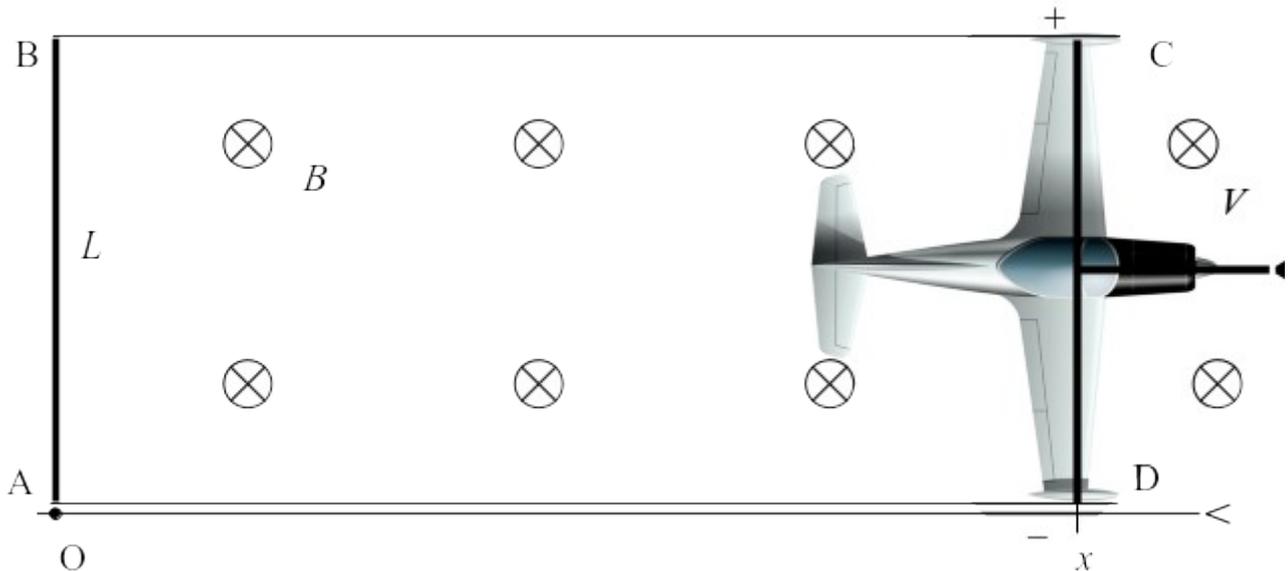
$$a = F_m / m; \quad a = V^2 / R; \quad F_m = eVB. \quad (5.4)$$

После преобразования выражений (5.4) получаем:

$$R = \frac{mV}{eB} = 0,0118 \text{ м}. \quad (5.5)$$

*Ответ:*  $R = 1,18 \text{ см}.$

**Задача 6.** Скорость самолёта равна  $V = 950$  км/ч. Найти разность потенциалов  $\Delta\varphi$ , возникающую между концами крыльев самолёта, если вертикальная составляющая индукции земного магнитного поля равна  $B = 3 \cdot 10^{-5}$  Тл, а размах крыльев самолёта  $L = 12,5$  м.



**Решение.** Самолёт летит со скоростью  $V$  вдоль оси  $Ox$ . Его текущая координата –  $x$ . Площадь, ограниченная контуром  $ABCD$  непрерывно растёт, значит, магнитный поток через этот контур также растёт:  $\Phi(t) = B \cdot Lx$ . Поэтому в этом контуре, согласно закону электромагнитной индукции, появится ЭДС, которая приведёт к возникновению разности потенциалов на концах крыльев:

$$\Delta\varphi = |\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = BL \frac{dx}{dt} = BLV = 0,1 \text{ В.}$$

**Ответ:**  $\Delta\varphi = 0,1 \text{ В.}$

**Задача 7.** Проволочное кольцо радиусом  $r = 10$  см лежит на столе. Какой заряд  $Q$  протечёт по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление кольца  $R$  равно 1 Ом. Вертикальная составляющая индукции  $B$  магнитного поля Земли равна 50 мкТл.

**Решение.** Через площадь, ограниченную проволочным кольцом, проходит магнитный поток  $\Phi_1 = B \cdot \pi r^2$ . Если кольцо повернуть на другую сторону, то магнитный поток изменит знак на противоположный:  $\Phi_2 = -\Phi_1$ . По мере того как кольцо поворачивают, магнитный поток, пронизывающий его, изменяется. Это приводит к появлению ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

(7.1)

Вследствие этого в кольце возбуждается индукционный ток:

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{dq}{dt}.$$

(7.2)

Используя (2.1) и (2.2), выводим дифференциальное уравнение и решаем его:

$$-\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dq}{dt}; \quad dq = -\frac{1}{R} d\Phi; \quad \int_0^Q dq = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi;$$

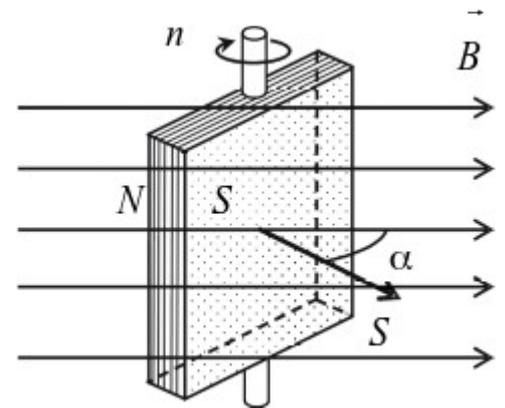
(7.3)

$$Q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = \frac{B \cdot \pi r^2 - (-B \cdot \pi r^2)}{R} = \frac{2\pi r^2 B}{R} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

(7.4)

Ответ:  $Q = 3,14$  мкКл.

**Задача 8.** На рамку площадью  $S = 200 \text{ см}^2$  намотано  $N = 100$  витков провода. Она равномерно вращается с частотой  $n = 10$  об/с относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярно линиям индукции магнитного поля ( $B = 0,2 \text{ Тл}$ ). Найти максимальную ЭДС индукции, возникающую в проводе. Определить максимальный индукционный ток, если сопротивление провода  $R = 5 \text{ Ом}$ .



*Решение.* Магнитный поток, пронизывающий рамку, на которую намотан провод, изменяется во времени из-за поворота рамки:

$$\Phi(t) = BSN \cos \alpha(t) = BSN \cos \omega t = BSN \cos(2\pi n t).$$

(8.1)

Поэтому в рамке возникает ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = 2\pi n BSN \sin(2\pi n t).$$

(8.2)

Отсюда следует, что максимальная ЭДС индукции, возникающая в рамке, равна:

$$\mathcal{E}_{i \max} = 2\pi n BSN = 0,251 \text{ В.}$$

(8.3)

Тогда, максимальный индукционный ток:

$$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}_{j\max}}{R} = 5,02 \cdot 10^{-2} \text{ A.}$$

(8.4)

Ответ:  $\mathcal{E}_{j\max} = 0,251 \text{ В}; I_{\max} = 50,2 \text{ мА.}$

### Задачи для самостоятельного решения

3.1. Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии  $r = 5 \text{ см}$  один от другого. По проводам текут токи  $I_1 = I_2 = 10 \text{ А}$ . Найти магнитную индукцию в точке А, находящейся на расстоянии  $r_1 = 3 \text{ см}$  от первого проводника и  $r_2 = 3 \text{ см}$  от второго.

3.2. Прямоугольная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что её большая сторона  $a = 2 \text{ см}$  параллельна проводу. Другая сторона рамки в 2 раза меньше. По рамке и проводу текут одинаковые токи силой  $I_1 = I_2 = 1 \text{ кА}$ . Определить силу, действующую на рамку, и показать её направление, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии равном  $a/3$ .

3.3. Провод в виде 1/4 части кольца радиусом  $R = 20 \text{ см}$  находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 2 \text{ Тл}$ . По проводу течёт ток  $I = 30 \text{ А}$ . Найти силу, действующую на провод, если он лежит в плоскости, перпендикулярной линиям индукции.

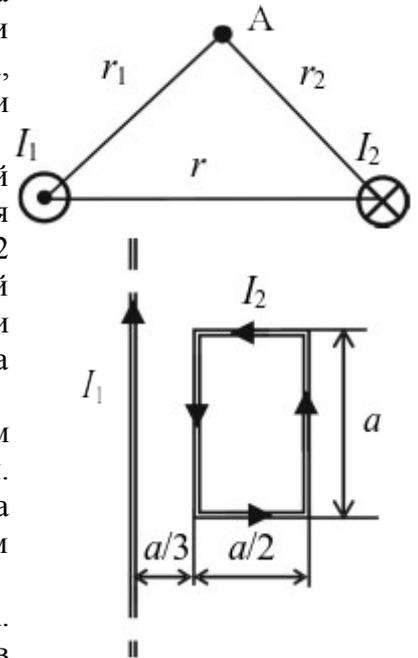
3.4. По катушки из тонкой проволоки течет ток  $I = 15 \text{ А}$ . Площадь поперечного сечения катушки  $S = 30 \text{ см}^2$ , число витков в ней  $N = 10$ . Катушка помещена в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$ . Определить магнитный момент  $p_m$  катушки и вращающий момент  $M$ , действующий на неё со стороны поля, если ось катушки составляет угол  $\alpha = 30^\circ$  с линиями индукции.

3.5. Два иона, имеющие одинаковый заряд, но различные массы, влетели в однородное магнитное поле. Первый ион начал двигаться по окружности радиусом  $R_1 = 5 \text{ см}$ , второй ион – по окружности радиусом  $R_2 = 2,5 \text{ см}$ . Найти отношение масс ионов  $m_1/m_2$ , если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

3.6. Заряженная частица, двигаясь перпендикулярно скрещенным под прямым углом электрическому ( $E = 400 \text{ кВ/м}$ ) и магнитному ( $B = 0,25 \text{ Тл}$ ) полям, не испытывает отклонения при определённой скорости. Определить эту скорость.

3.7. По длинному прямому проводу течёт ток. Вблизи провода расположена квадратная рамка из тонкого провода сопротивлением  $R = 1 \text{ Ом}$ . Провод лежит в плоскости рамки и параллелен двум её сторонам длиной  $L = 5 \text{ см}$ , расстояние до которых от провода соответственно равны  $a = 2 \text{ см}$  и  $b = 4 \text{ см}$ . Найти силу тока в проводе, если при его выключении через рамку протёк заряд  $Q = 3 \text{ мкКл}$ .

3.8. Короткая катушка, содержащая  $N = 1000$  витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,4 \text{ Тл}$  с угловой скоростью  $\omega = 5 \text{ рад/с}$  относительно оси, совпадающей с диаметром катушки и перпендикулярной линиям индукции. Определить мгновенное значение ЭДС индукции для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол  $\psi = 60^\circ$  с линиями индукции. Площадь катушки равна  $S = 100 \text{ см}^2$ .



## ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

$e = 1,60 \cdot 10^{-19}$  Кл – элементарный заряд;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света;

$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$  Н · м<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup> – константа Кулона;

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг – масса электрона;

### Критерии оценки:

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе; должны быть обозначены основные закономерности (которые исследовались в задаче); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

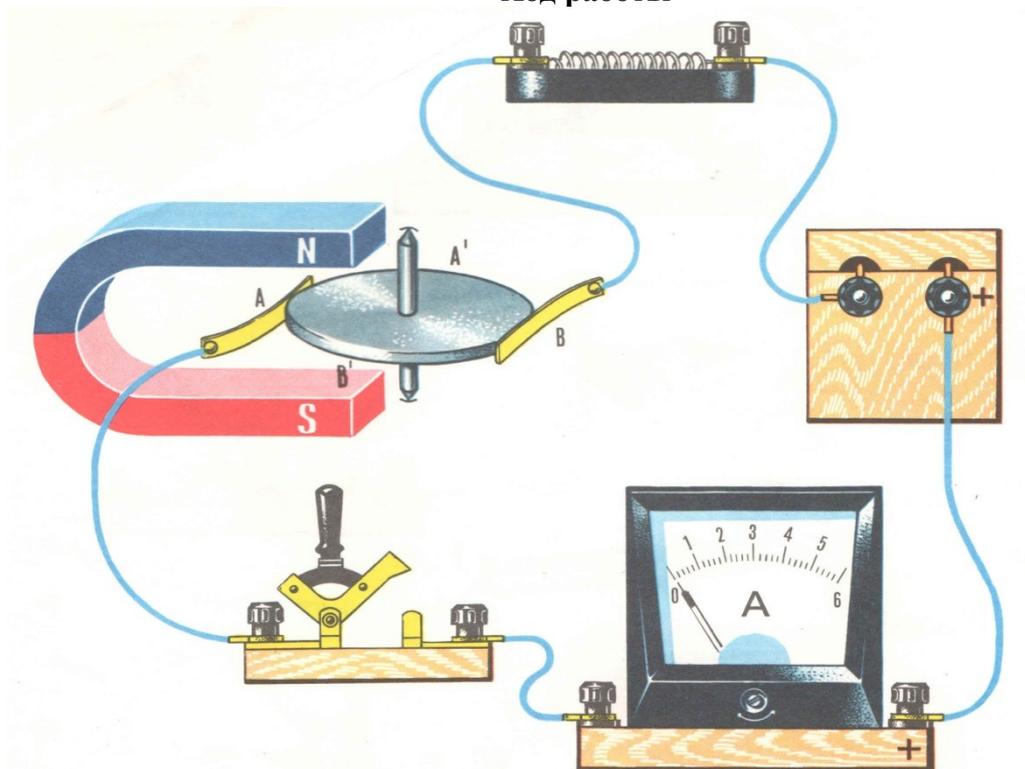
- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствия схем, графиков и части расчетов;

-при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

## Практическая работа №24 Тема: Изучение действия силы Ампера.

**Цель:** Использовать знание о силе Ампера для решения практической задачи (73 а)

### Ход работы



### 5. Теоретическая часть

Ориентировочные сведения

$F = B|I|\Delta l \sin \alpha$  — электромагнитная сила  
 $B$  — магнитная индукция в Тл  
 $I$  — сила тока в А  
 $\Delta l$  — длина отрезка проводника в м  
 $\alpha$  — угол между отрезком проводника и  $\vec{B}$

### 6. Практическая часть

**Задание :**

В магнитном поле дугообразного магнита на оси установлен медный диск. Ось диска опирается на подшипники с очень малым трением. В точке А и В на диск наложены скользящие контакты (щетки). Будет ли вращаться диск при замыкании ключа и в какую сторону? В тетрадь нарисуйте диск и на нем укажите направление электромагнитной силы, направления тока и направления вектора магнитной индукции. Какие произойдут изменения, если щетки повернуть на угол 90 град. В положение А1 и В1? Ответ обоснуйте.

**Вывод:**

---

### Критерии оценки:

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

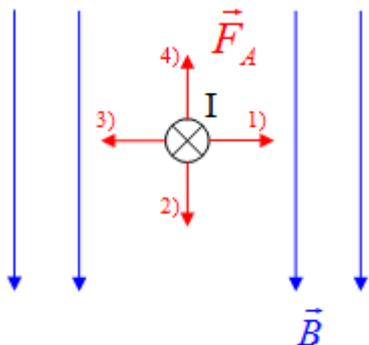
- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

### Дополнительное задание

#### Действие магнитного поля на проводник с током

##### Задание №1

Направлению силы Ампера, действующей на проводник с током соответствует:



Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 4
- 4) 3

##### Задание №2

Магнитная стрелка, расположенная вблизи прямого проводника с током, повернулась на  $180^\circ$ . Это могло произойти вследствие того, что

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) в проводнике изменилось направление тока
- 2) вокруг проводника изменилось электрическое поле
- 3) в проводнике изменилась сила тока
- 4) магнитная стрелка перемангнитилась

##### Задание №3

Прямой проводник с током помещен в однородное магнитное поле. Угол между проводником и силовыми линиями вектора магнитной индукции изменяют с  $60^\circ$  до  $30^\circ$ . Модуль силы, действующей на проводник:

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) не изменится
- 2) увеличится в  $\sqrt{3}$  раз
- 3) уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз
- 4) уменьшится в  $\sqrt{3}$  раз

**Задание №4**

Какова индукция магнитного поля, если оно действует с силой 50 мН на каждые 5 см длины проводника при силе тока в нем 1 А?

- 1) 0,4 Тл
- 2) 1 Тл
- 3) 4 Тл
- 4) 40 мТл

**Задание №5**

Два параллельных провода, по которым протекают токи в разных направлениях

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Не взаимодействуют
- 2) Сначала притягиваются, а потом отталкиваются
- 3) Притягиваются
- 4) Отталкиваются

**Задание №6**

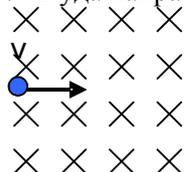
В магнитное поле поместили проводник с током. Через некоторое время сила тока в нем уменьшили в 2 раза. Изменилась ли при этом индукция магнитного поля?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Для ответа не хватает данных
- 2) Увеличилась в 2 раза
- 3) Уменьшилась в 2 раза
- 4) Не изменилась

**Задание №7**

1. Куда направлена сила, действующая со стороны магнитного поля, на протон?



Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Вверх
- 2) Влево
- 3) Вниз
- 4) Вправо

**Задание №8**

Как изменится сила, действующая на проводник с током, при уменьшении индукции магнитного поля в 3 раза?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) увеличится в 3 раза
- 2) уменьшится в 9 раз
- 3) не изменится
- 4) уменьшится в 3 раза

**Задание №9**

Два параллельных провода, по которым протекают токи в одном направлении

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Отталкиваются
- 2) Сначала притягиваются, а потом отталкиваются
- 3) Не взаимодействуют
- 4) Притягиваются

**Задание №10**

На изолированный проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера, модуль которой 1,2 Н. Если проводник сложить вдвое при том же токе, то модуль силы, действующей на проводник, будет равен:

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) 0,6 Н
- 2) 0 Н
- 3) 1,8 Н
- 4) 3,6 Н

**Ответы:**

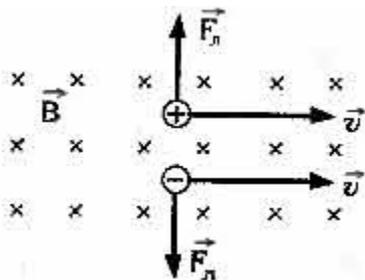
- 1) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 4) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 5) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 7) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 8) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 9) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 10) (1 б.) Верные ответы: 2.

## Практическая работа №25 Тема: Изучение действия силы Лоренца

**Цель:** Изучить действие магнитного поля на заряженную частицу

### 1. Теоретическая часть

Если поставить левую руку так, чтобы перпендикулярная скорости составляющая вектора индукции входила в ладонь, а четыре пальца были бы расположены по направлению скорости движения положительного заряда (или против направления скорости отрицательного заряда), то отогнутый большой палец укажет направление силы Лоренца



$$F_L = |q|vB \sin \alpha$$

- $F_L$  – модуль силы Лоренца
- $|q|$  – модуль заряда частицы
- $v$  – скорость частицы
- $B$  – магнитная индукция поля
- $\alpha$  – угол между вектором магнитной индукции и вектором скорости заряженной частицы

Так как сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости заряда, то она не совершает работы (т.е. не изменяет величину скорости заряда и его кинетическую энергию). Если заряженная частица движется параллельно силовым линиям магнитного поля, то  $F_L = 0$ , и заряд в магнитном поле движется равномерно и прямолинейно.

Если заряженная частица движется перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, то сила Лоренца является центростремительной

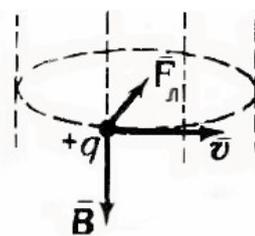
$F_{л} = m \cdot a_{ц}$  и создает центростремительное ускорение равное В этом случае частица движется по окружности. Согласно второму закону Ньютона: сила Лоренца равна произведению массы частицы на центростремительное ускорение

$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

тогда радиус окружности,

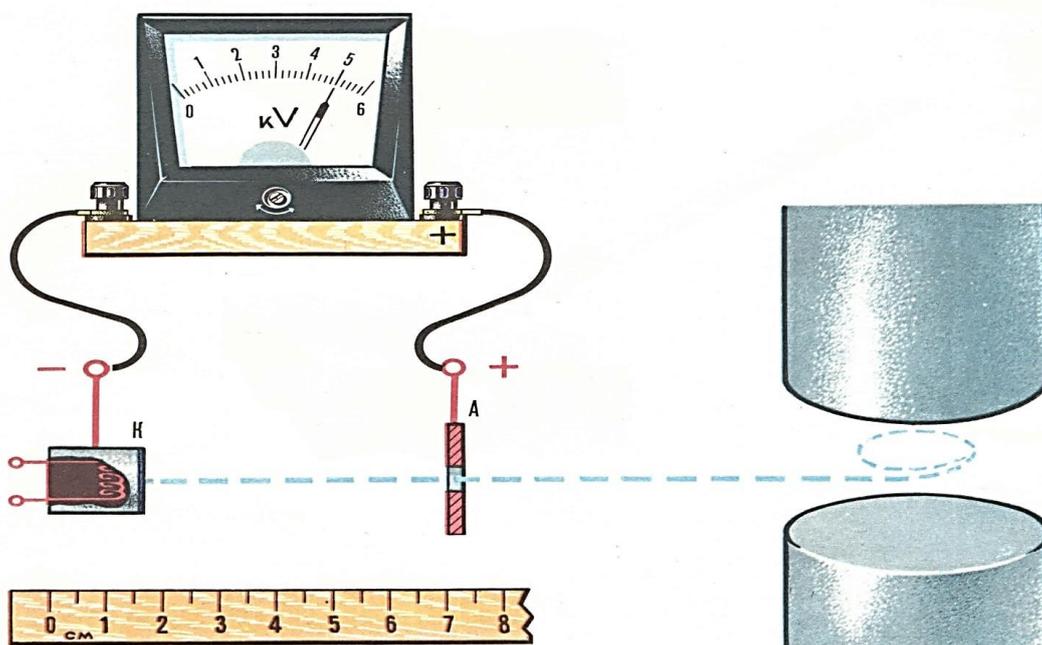
$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

период обращения заряда в магнитном поле  $T = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B}$



## 2. Практическая часть

### 1 вариант



#### Задание (карта 76А) :

В вакуумной камере установлена электронная пушка и два магнитных полюса. Вылетающие с катода электроны движутся по траектории, показанной пунктирной линией. Определите значение индукции магнитного поля и положение северного полюса магнита. Элементы траектории электрона и изображенная линейка представлены на рисунке в одном и том же масштабе.

#### Вывод:

---



---



---

#### Критерии оценки:

##### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

### Дополнительное задание

#### Действие магнитного поля на движущийся электрический заряд

##### Задание №1

Силовые линии векторов напряженности и индукции однородных электростатического и магнитного полей совпадают по направлению. Электрон, движущийся в том же направлении, будет:

Выберите один из 5 вариантов ответа:

- 1) увеличивать свою скорость
- 2) отклоняться влево
- 3) скорость электрона останется неизменной по величине и направлению
- 4) уменьшать свою скорость
- 5) отклоняться вправо

##### Задание №2

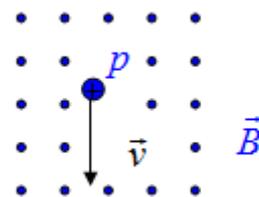
Модуль силы Лоренца вычисляется по формуле

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1)  $F_L = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$     2)  $F_L = B l \sin \alpha$     3)  $F_L = v q B \sin \alpha$     4)  $F_L = q E$

##### Задание №3

Протон движется в однородном магнитном поле так, как показано на рисунке. Линии магнитной индукции направлены к наблюдателю. Как направлена сила, действующая на электрон со стороны магнитного поля?

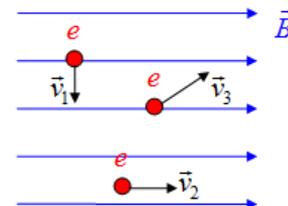


Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) влево
- 2) вправо
- 3) вниз
- 4) вверх

##### Задание №4

В однородное магнитное поле помещены три электрона, движущиеся так, как показано на рисунке. На какой из электронов не действует сила со стороны магнитного поля (сила Лоренца)?



Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) 3
- 2) 2
- 3) 4
- 4) 1

##### Задание №5



Заряженная частица движется в однородном магнитном поле так, как показано на рисунке. Линии магнитной индукции направлены от наблюдателя. Куда направлена сила, действующая на заряженную частицу?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) вправо      2) вверх      3) вниз      4) влево

#### Ответы:

- 1) (1 б.) Верные ответы: 4;  
2) (1 б.) Верные ответы: 3;  
3) (1 б.) Верные ответы: 1;  
4) (1 б.) Верные ответы: 1;  
5) (1 б.) Верные ответы: 4;  
6) (1 б.) Верные ответы: 2;  
7) (1 б.) Верные ответы: 2;  
8) (1 б.) Верные ответы: 1;  
9) (1 б.) Верные ответы: 4;  
10) (1 б.) Верные ответы: 2.

### Практическая работа №26 Тема: " Определение ЭДС самоиндукции "

**Цель:** Построить графики ЭДС индукции и магнитного потока

#### Ход работы

##### 1. Теоретическая часть.

Э.д.с. индукции в какой-либо цепи прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока  $\Delta t$  – время, за которое происходит изменение магнитного потока. Знак минус показывает, что когда магнитный поток уменьшается ( $\Delta\Phi$  – отриц.), э.д.с. создает индукционный ток, увеличивающий магнитный поток и наоборот. Закон электромагнитной индукции экспериментальным путём установил М. Фарадей. Немецкий физик и естествоиспытатель Г. Гельмгольц показал, что основной закон электромагнитной индукции  $\varepsilon_i = -\Delta\Phi/\Delta t$  является следствием закона сохранения энергии. ЭДС индукции в замкнутом контуре равна взятой с противоположным знаком скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур.

Выражение  $\varepsilon_i = -\Delta\Phi/\Delta t$  (1), называемое законом Фарадея, является универсальным: оно справедливо для всех случаев электромагнитной индукции. Для катушки с N витками закон электромагнитной индукции имеет вид:

$$\varepsilon_i = -N \cdot \Delta\Phi/\Delta t, \quad \Phi = BS [T \cdot m^2 B_0], \quad 1 \text{ Вб} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ с}$$

Знак минус показывает, что ЭДС индукции  $E_i$ , направлена так, что магнитное поле индукционного тока препятствует изменению потока магнитной индукции  $\Delta\Phi$ . Если поток увеличивается ( $\Delta\Phi > 0$ ), то  $E_i < 0$  и поле индукционного тока направлено навстречу потоку. Если же поток уменьшается ( $\Delta\Phi < 0$ ), то  $E_i > 0$  и направление потока и поля индукционного тока совпадают. Таким образом явление

*электромагнитной индукции заключается в появлении (наведении) в проводящем контуре, находящемся в магнитном поле, электродвижущей силы в случае изменения величины магнитного потока, проходящего через поверхность, ограниченную этим контуром. Выражение  $\mathcal{E}_i = -N \cdot \Delta\Phi / \Delta t$  (1) представляет собой одну из математических записей закона электромагнитной индукции - ЭДС, наводимая в контуре электрической цепи, равна взятой с обратным знаком скорости изменения магнитного потока, проходящего через поверхность, ограниченную этим контуром.*

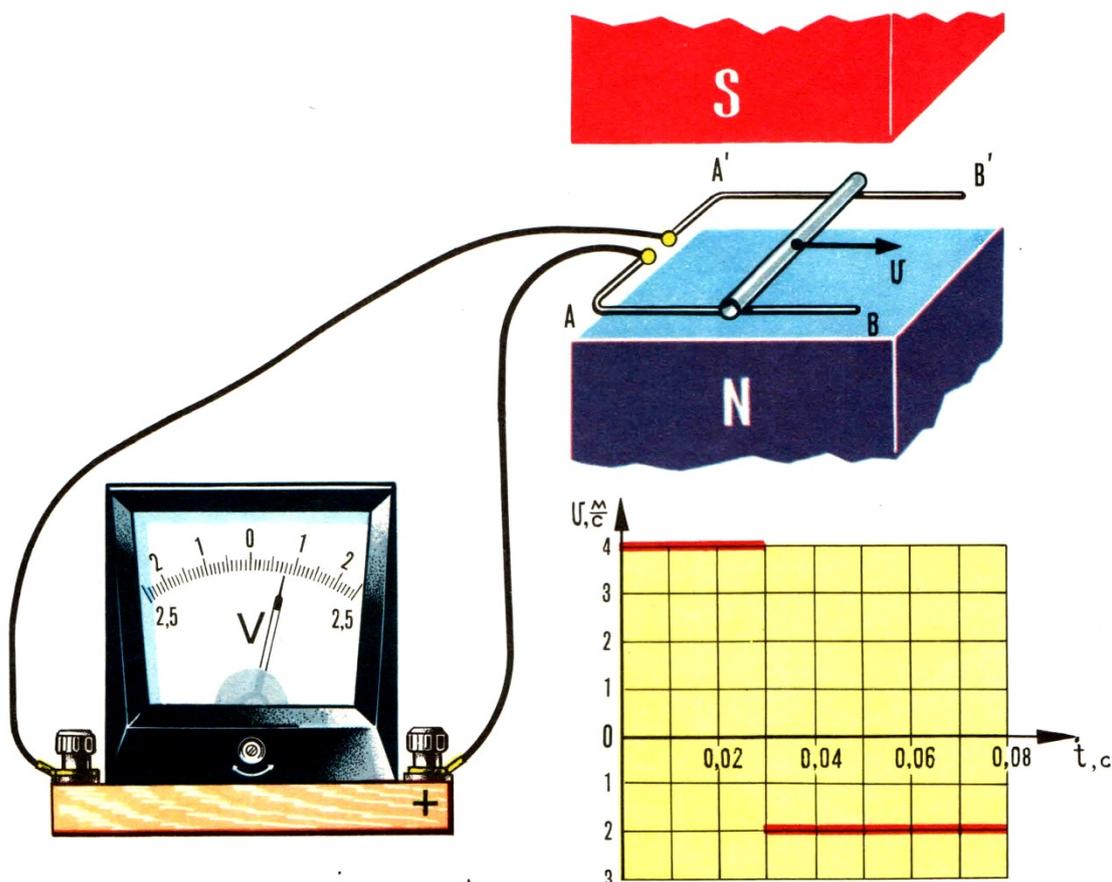
### Электромагнитная индукция в современной технике

Явление электромагнитной индукции лежит в основе работы индукционных генераторов электрического тока, на которые приходится практически вся вырабатываемая в мире электроэнергия.

Примеры использования явления электромагнитной индукции в современной технике:

- специальные детекторы для обнаружения металлических предметов;
- поезд на магнитной подушке;
- электропечи для плавки металлов
- бытовые микроволновые СВЧ – печи.

### 2. Практическая часть (карточка 80А).



Между полюсами магнита установлены две горизонтальные металлические направляющие АВ и А'В'. Начала этих направляющих АА' соединены с электростатическим вольтметром.

По направляющим катится легкая металлическая трубочка. Первоначально трубочка совпадала с точками АА', затем достигла точек ВВ' и снова вернулась в исходное положение. График скорости движения трубочки показан на рисунке.

**Постройте графики ЭДС ( $\epsilon_i$ ) и магнитного потока ( $\Phi$ ), пронизывающего контур, образованного направляющими и подвижной трубочкой, как функции времени движения. Графики построить в масштабе.**

Последовательность действий:

1. Определите время движения трубочки слева направо  $t_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  с.
2. Определите скорость движения трубочки слева направо  $v_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  м/с.
3. Запишите значение ЭДС, вырабатываемое при этой скорости за время  $t_1$ :  $\epsilon_{i1} = \underline{\hspace{2cm}}$  В.
4. Рассчитайте по закону Фарадея изменение магнитного потока  $\Delta\Phi_1 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$  Вб, при этом  $\Delta\Phi_1 = \Phi_1 - 0$ , Вб или  $\Delta\Phi_1 = \Phi_1$
5. Т.к. магнитный поток достигает своего максимального значения при положении трубочки в крайнем правом положении, то  $\Phi_1 = \Phi_{\text{макс}} = \underline{\hspace{2cm}}$  Вб.
6. Рассчитайте  $\epsilon_{i2}$  по закону Фарадея  $\epsilon_{i2} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$  В.
5. Заполните таблицу измеренных и полученных значений:  $v_i$ ,  $\Delta\Phi_i$ ,  $\epsilon_i$ .
7. Сопоставьте значение ЭДС и скорости движения трубочки "туда" и «обратно» и сделайте **вывод**.

**Критерии оценки:**

**Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

## Тема: Определение основных характеристик движения маятника по графику гармонических колебаний

**Цель:** Исследовать график и рассчитать все характеристики колебаний.

**Ход работы**  
1.

$$x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0), \quad v_x = -A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \varphi_0), \quad a_x = -A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$v_m = A \cdot \omega \quad \text{максимальная скорость}$$

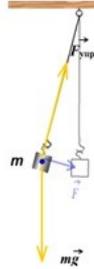
$$a_m = A \cdot \omega^2 \quad \text{максимальное ускорение}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{период колебаний (время одного полного колебания)}$$

$$a_x = -\omega^2 \cdot x$$

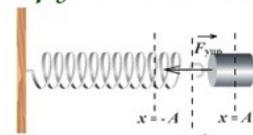
$\omega$  — циклическая частота

### Математический маятник      Пружинный маятник



$$\frac{mv_{max}^2}{2} = mgh_{max}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



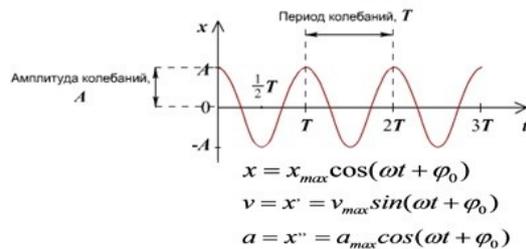
$$\frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{kx_{max}^2}{2}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$ma = kx$$

### Резонанс

$$\omega = \omega_0$$



### Теоретическая часть

### 2. Практическая часть

Выполните предложенные задания.

1. Амплитуда колебаний маятника:  $X_{max} = \underline{\hspace{2cm}}$  мм =  $\underline{\hspace{2cm}}$  м .

2. Период колебания маятника:  $T = \underline{\hspace{2cm}}$  с .

3. Частота колебаний:  $\nu = 1/T$ ,  $\nu = \underline{\hspace{2cm}}$  =  $\underline{\hspace{2cm}}$  Гц.

4. Циклическая частота:  $\omega = 2\pi \nu = \underline{\hspace{2cm}}$  =  $\underline{\hspace{2cm}}$  рад/с.

5. Уравнение координаты:

4. Смещение при фазе  $5\pi/3$ :  $x(5\pi/3) = X_{max} \cos 5\pi/3 =$

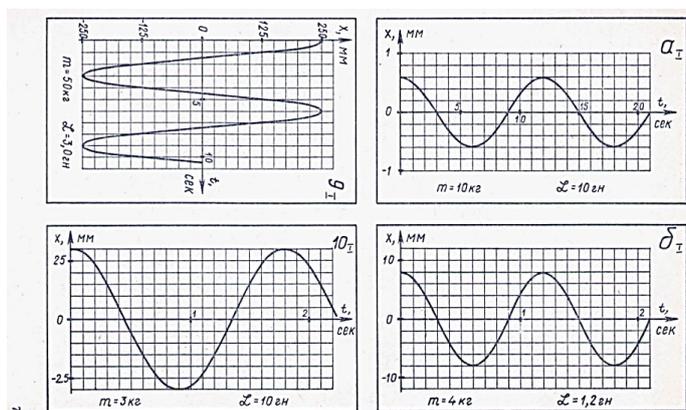
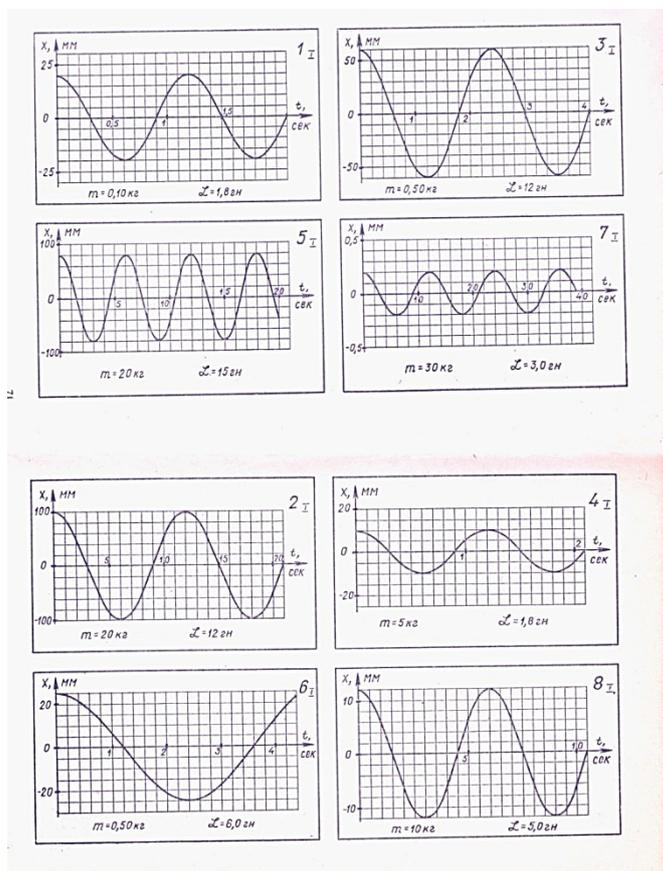
по графику:  $x(5\pi/3) = \underline{\hspace{2cm}}$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



- Во сколько раз изменится частота колебаний математического маятника при увеличении длины нити в 3 раза?
- Человек, стоящий на берегу моря, определил, что расстояние между следующими друг за другом гребнями равно 12 м. Кроме того, он подсчитал, что за 75 с мимо него прошло 16 волновых гребней. Определите скорость распространения волн.
- Два математических маятника начинают колебаться одновременно. Когда первый маятник совершил 20 полных колебаний, второй совершил только 10 полных колебаний. Какова длина первого маятника, если длина второго равна 4 м?
- Скорость звука была впервые измерена французским ученым Био Жаном Батистом. У одного конца чугунной трубы ударяли в колокол, у другого конца наблюдатель слышал два звука: сначала один, пришедший по чугуну, а спустя некоторое время второй - по воздуху. Длина трубы была 930 м, промежуток времени между распространением звуков оказался равным 2,5 с. Найдите по этим данным скорость звука в чугуне. Скорость звука в воздухе принять равной 340 м/с.

## Раздаточный материал



12

13

Таблица 1

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Амплитуда, мм	20	100	60	10	80	25	200	12	250	30	600	8
2. Период, сек	1,2	12	2,4	1,2	6,0	4,8	12	6,0	6,0	1,8	12	1,2
3. Частота, гц	0,83	0,083	0,42	0,83	0,17	0,21	0,083	0,17	0,17	0,56	0,083	0,83
4. Длина маятника, м	0,36	36	1,4	0,36	9,0	5,8	36	9,0	9,0	0,81	36	0,36
5. Смещение при фазе $\frac{5}{3}\pi$ , мм	10	50	30	5,0	40	13	100	6,0	125	15	300	4,0
6. Циклическая частота, сек <sup>-1</sup>	5,2	0,52	2,6	5,2	1,0	1,3	0,52	1,0	1,0	3,5	0,52	5,2
7. Наибольший модуль скорости, см/сек	10	5,2	16	5,2	8,4	3,3	10	1,3	28	11	31	4,2
8. Кинетическая энергия при этой скорости, мдж	0,55	27	6,2	6,8	70	0,26	160	0,79	1700	17	490	3,5
9. Скорость при фазе $\frac{5}{3}\pi$ , см/сек	9,4	4,6	14	4,6	7,3	2,8	9,1	1,1	23	9,1	27	3,6
10. Ускорение при фазе $\frac{5}{3}\pi$ , см/сек <sup>2</sup>	-27	-1,4	-21	-14	-4,4	-2,1	-2,5	-0,66	-14	-18	-8,2	-11
11. Равнодействующая сила при фазе $\frac{5}{3}\pi$ , н	-0,027	-0,27	-0,10	-0,69	-0,88	-0,11	-0,75	-0,66	-6,9	-0,55	-0,82	-0,44
12. Энергия при фазе $\frac{5}{3}\pi$ , мдж:												
а) кинетическая	0,44	21	4,6	5,3	53	0,20	120	0,59	1300	12	370	2,6
б) потенциальная	0,11	6	1,6	1,5	17	0,067	41	0,20	430	5	120	1,0
13. Жесткость пружины, н/м	270	550	349	14030	2200	85	820	1100	5500	3700	270	11000
14. Удлинение, мм	3,6	360	14	3,6	89	58	360	89	89	8,0	360	3,6
15. Электроемкость, мкф	2,0	30	1,2	2,0	6,0	9,6	120	18	30	0,81	36	3,0

### Практическая работа №28

#### Тема: Изучение графика переменного тока

Цель: Изучить основные понятия и закономерности переменного тока

#### Ход работы

##### 1. Теоретическая часть

##### 1.1. Цепь, содержащая только активное сопротивление

### 1.1. Цепь, содержащая только активное сопротивление

Покажем решение на примере карточки 4

1. Циклическая (или круговая) частота

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}, \quad \omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14}{0,012 \text{ сек}} = 523 \text{ сек}^{-1} \approx 520 \text{ сек}^{-1}.$$

2. Амплитудное значение напряжения  $U_0 = 40 \text{ в}$ .

3. Действующее (или эффективное) значение напряжения

$$U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{40 \text{ в}}{1,41} \approx 28 \text{ в}.$$

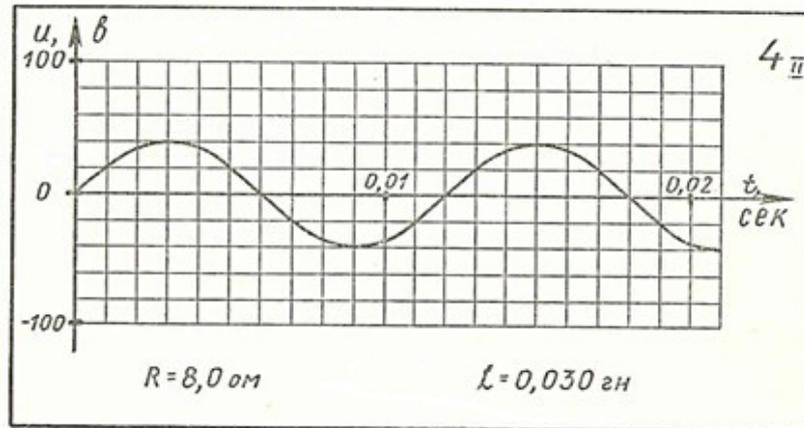
4. Если в цепи только активное сопротивление  $R = 8 \text{ ом}$ , то:

- а) амплитудное значение тока

$$I_0 = \frac{U_0}{R}, \quad I_0 = \frac{40 \text{ в}}{8 \text{ ом}} = 5 \text{ а};$$

- б) действующее значение тока

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad I = \frac{5 \text{ а}}{1,41} = 3,54 \text{ а} \approx 3,5 \text{ а}.$$



### 5. Мощность тока

$$P = IU \cos \varphi = \frac{I_0 U_0}{2} \cos \varphi.$$

Поскольку на активном сопротивлении ток по фазе совпадает с напряжением, то

$$\varphi = 0, \text{ а } \cos \varphi = 1.$$

Тогда

$$P = \frac{5 \text{ а} \cdot 40 \text{ в}}{2} = 100 \text{ вт}.$$

График напряжения (рисунок своей карточки) ученик должен перерисовать в тетрадь и на нем же в удобном масштабе изобразить зависимость изменения силы тока от времени (рис. 4, а).

Полезно предложить учащимся под этим графиком начертить график изменения мощности со временем.

## 1.2. Цепь, содержащая активное и индуктивное сопротивления

мгновенные значения мощности ( $p = ui$ ) через каждую 1/12 часть периода (рис. 4, б). Следует обратить внимание учащихся на положительные значения мощности в любой момент времени.

После изучения реактивных сопротивлений и закономерностей для цепей, содержащих эти сопротивления, рекомендуется вторично обратиться к карточкам и провести самостоятельную работу, предложив учащимся следующие пять вопросов.

Для той же карточки 4 цепь содержит не только активное сопротивление  $R = 8 \text{ ом}$ , но еще и катушку с индуктивностью  $L = 0,03 \text{ гн}$ .

6. а) Индуктивное сопротивление

$$R_L = \omega_0 L, R_L = 523 \text{ сек}^{-1} \cdot 0,03 \text{ гн} \approx 15,7 \text{ ом} \approx 16 \text{ ом};$$

б) полное сопротивление

$$Z = \sqrt{R_a^2 + R_L^2}, Z = \sqrt{(8 \text{ ом})^2 + (16 \text{ ом})^2} = 18 \text{ ом}.$$

7. Амплитудное значение тока

$$I_0 = \frac{U_0}{Z}, I_0 = \frac{40 \text{ в}}{18 \text{ ом}} \approx 2,2 \text{ а}.$$

8. Коэффициент мощности и угол сдвига фаз

$$\cos \varphi = \frac{R_a}{Z}, \cos \varphi = \frac{8 \text{ ом}}{18 \text{ ом}} \approx 0,44, \varphi \approx 64^\circ.$$

9. Средняя активная мощность

$$P = IU \cos \varphi, P = \frac{2,2 \text{ а} \cdot 40 \text{ в} \cdot 0,44}{2} \approx 20 \text{ ватт}.$$

Желательно начертить на одном чертеже графики напряжения и тока для данной карточки (рис. 5, а). Измеряя по графикам мгновенные значения тока и напряжения и перемножая их, получают мгновенные значения мощности. При построении графика мощности можно видеть появление отрицательных значений мощности

10. Для получения резонанса в цепь, содержащую катушку индуктивности  $L = 0,03 \text{ гн}$  и активное сопротивление  $R = 8 \text{ ом}$ , надо включить последовательно конденсатор емкостью  $C$ .

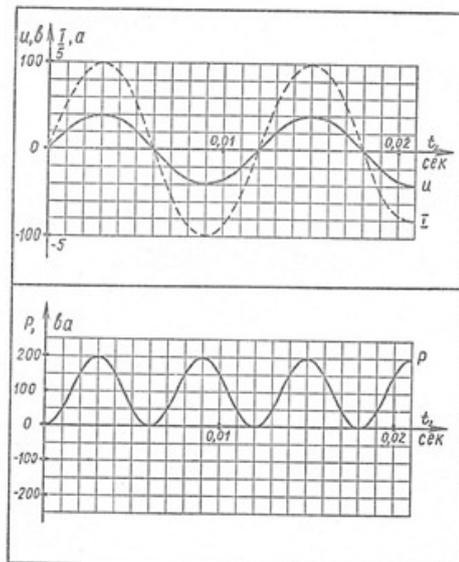


Рис. 4. Чертежи в тетради ученика. Графики: а) напряжения и тока; б) мощности в цепи с активным сопротивлением.

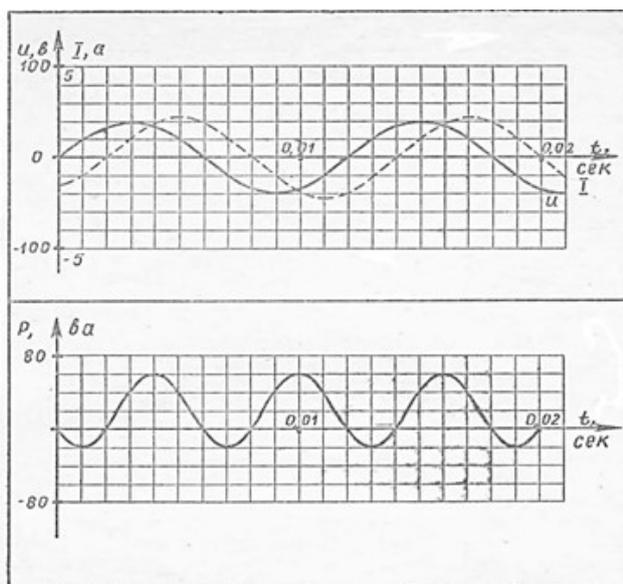


Рис. 5. Чертежи в тетради ученика. Графики: а) напряжения и тока; б) мощности, когда в цепи активное и индуктивное сопротивление.

Ее рассчитываем по формуле Томсона  $T = 2\pi \sqrt{LC}$ , откуда

$$C = \frac{T^2}{4\pi^2 L}, \quad C = \frac{(0,012 \text{ сек})^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,03 \text{ гн}} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ ф} = 120 \text{ мкф.}$$

11. Амплитудное значение напряжения на каждом реактивном сопротивлении при резонансе

$$I_0 = 5 \text{ а. } R_L = 16 \text{ ом. } U_{0L} = I_0 R_L, \quad U_{0L} = 5 \text{ а} \cdot 16 \text{ ом} = 80 \text{ в.}$$

## 2. Практическая часть

- при правильном выполнении контрольных заданий;

**Задание:**

### Вопросы к карточкам II серии — Графики напряжения переменного тока

1. Какова циклическая частота тока?
2. Определите амплитудное значение напряжения.
3. Вычислите действующее значение напряжения.
4. Вычислите: а) амплитудное и б) действующее значения тока при включении в цепь только активного сопротивления  $R$ , указанного в карточке. Перечертите данный график изменения напряжения со временем и на том же чертеже изобразите графическую зависимость силы тока от времени, выбрав подходящий масштаб.
5. Какова будет средняя мощность тока в этом случае?
6. Вычислите реактивное и полное сопротивление, если в цепь будут включены последовательно активное сопротивление  $R$  и катушка с индуктивностью  $L$ .
7. Вычислите амплитудное значение тока в этой цепи.
8. Каков окажется коэффициент мощности и угол сдвига фазы тока относительно напряжения?  
Начертите графики изменения напряжения и тока со временем на одном чертеже, выбрав удобный масштаб.
9. Вычислите среднюю мощность для этого случая.
10. Какой емкости конденсатор следует включить последовательно в данную цепь, чтобы получить резонансное увеличение тока?
11. Какое амплитудное напряжение возникнет в этой цепи на индуктивном и емкостном сопротивлениях?

**Критерии оценки:**

**Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;

- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

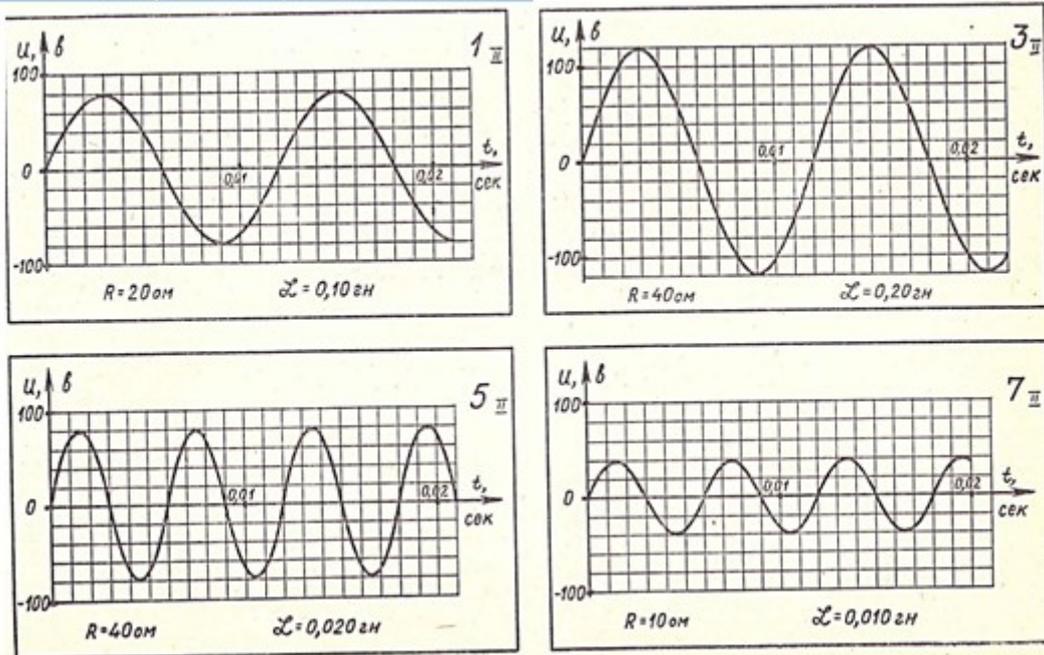
**Оценка «3» ставится:**

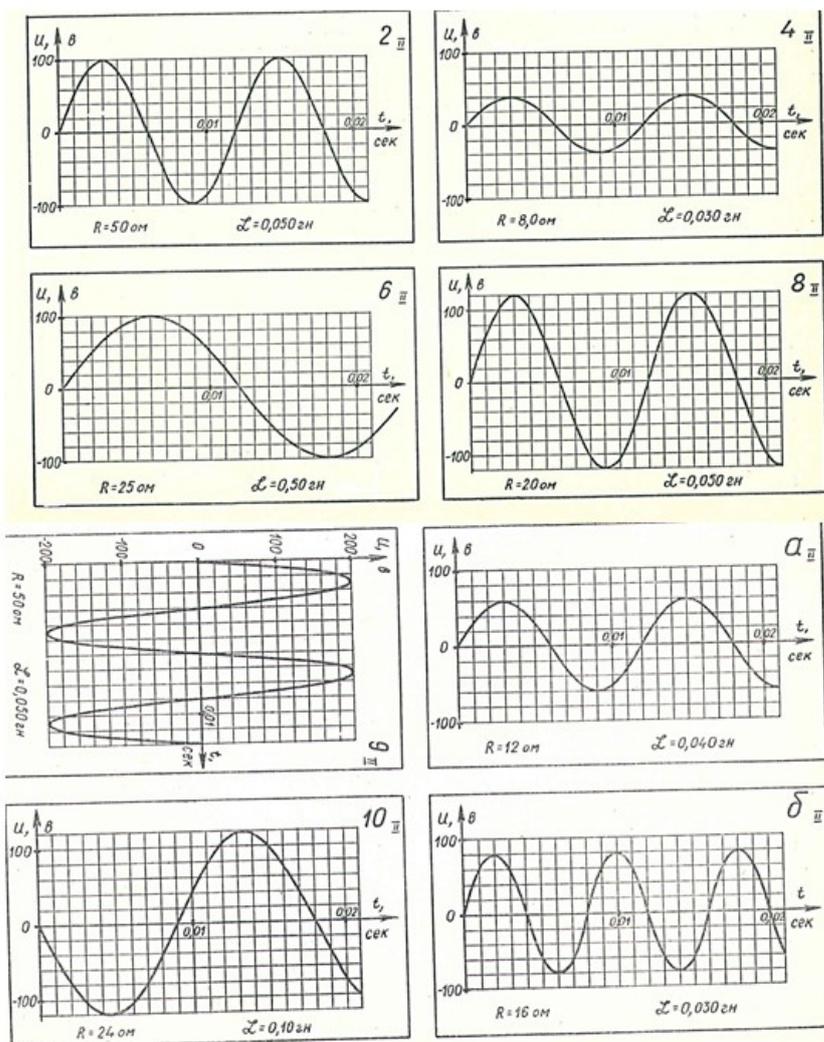
- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

Задания по вариантам ( выдается индивидуально)





## Практическая работа №29

Тема: Изучение принципа работы трансформатора

Цель: Научиться подбирать трансформаторы по их основным характеристикам.

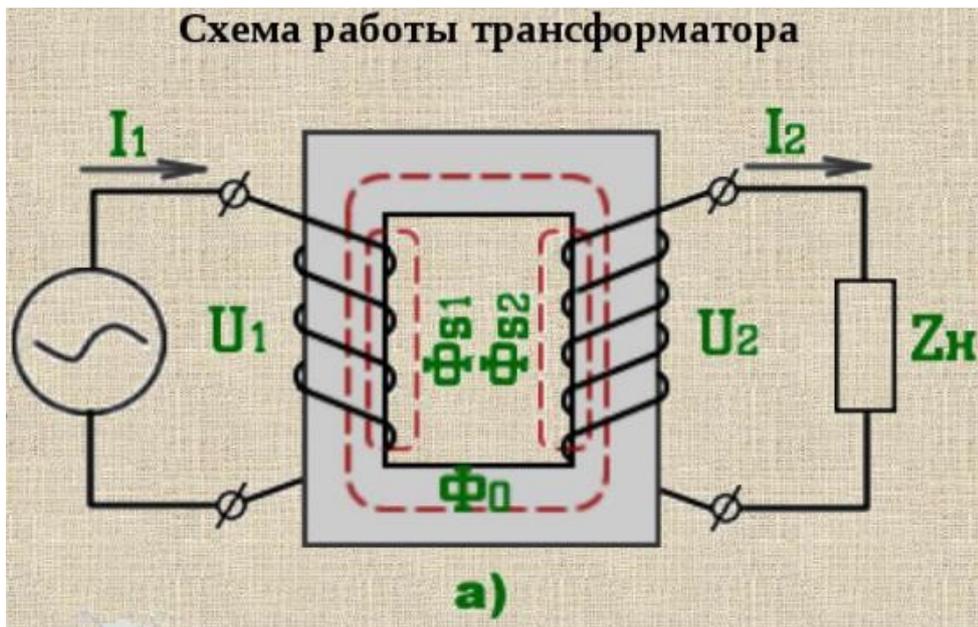
### Ход работы

#### 1. Теоретический материал

### Устройство и принцип работы трансформатора

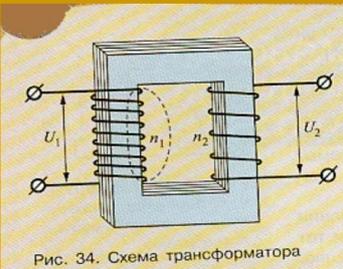
Трансформатор состоит из двух основных частей: магнитопровода (сердечника) и обмоток. Для уменьшения потерь от вихревых токов, возникающих при перемагничивании, сердечники собирают из отдельных тонких (0,3-0,5 мм) пластин специальной трансформаторной стали. Эта сталь характеризуется узкой петлей гистерезиса и большим электрическим сопротивлением. Для уменьшения потерь от вихревых токов пластины изолируют друг от друга путем покрытия их изолирующими пленками.

Простейший однофазный трансформатор состоит из стального сердечника и двух обмоток - первичной и вторичной. Если к первичной обмотке трансформатора подвести переменное напряжение, то в ней появится некоторый ток, который создаст в сердечнике переменный магнитный поток.



## Виды трансформаторов

- Автотрансформаторы
- Однофазные трансформаторы
- Трехфазные трансформаторы
- Измерительные трансформаторы



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

Если  $k > 1$ , то трансформатор повышающий.

Если  $k < 1$ , то трансформатор понижающий.

## Режимы работы трансформатора

- Режим холостого хода:  
 $Z_H = \infty, U_2 = 0.$
- Режим короткого замыкания:  
 $Z_H = 0, U_2 = 0.$
- Режим нагрузки.

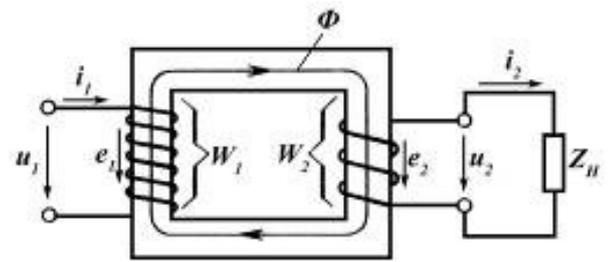
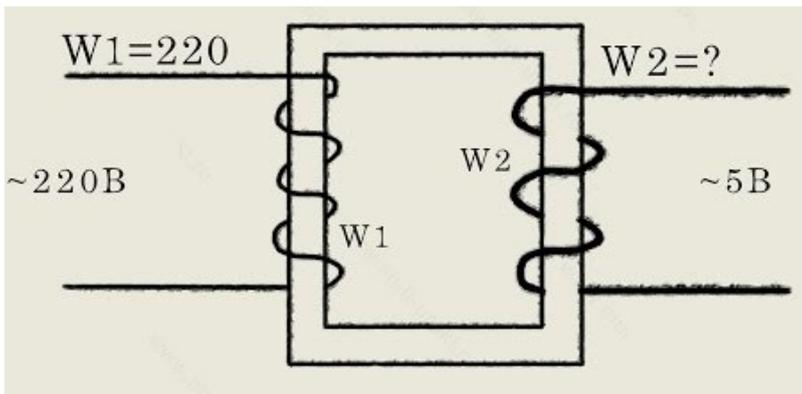


Рис. 6.3 Схема однофазного двухобмоточного трансформатора

## Коэффициент трансформации

$$\left| \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \right|$$

$K > 1$  трансформатор понижающий

$K < 1$  трансформатор повышающий

**КПД трансформатора**

$$\left| \text{КПД} = \left( \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \right) 100\% \right|$$

## Принцип действия

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При прохождении переменного тока по первичной обмотке в железном сердечнике появляется переменный магнитный поток, который возбуждает электродвижущую силу индукции в каждой обмотке. Это означает, что, повышая с помощью трансформатора напряжение в несколько раз, мы во столько же раз уменьшаем силу тока, и наоборот.

Ответьте на следующие вопросы:

### Вопросы:

1. Устройство трансформатора.
2. Принцип работы трансформатора.
3. Значение трансформатора.

### 2. Практическая часть.

Прочитайте текст, рассчитайте основные характеристики данного трансформатора и заполните таблицу:

Технические данные исследуемого трансформатора (справочные)			
Номинальное напряжение питания	$U_{1H}$	220	В
Частота питающего напряжения	$f$	50	Гц
Номинальный ток первичной обмотки	$I_{1H}$	0.18	А
Номинальный ток вторичной обмотки	$I_{2H}$	1	А
Число витков первичной обмотки	$W_1$	1027	
Число витков вторичной обмотки	$W_2$	130	
Напряжение холостого хода на вторичной обмотке	$U_{2XX}$	29.8	В
Напряжение короткого замыкания	$U_{K\%}$	12.5	%

Текущий тип трансформатора: ТС-31-1

OK

### Основные характеристики трансформатора

Коэффициент трансформации, К	Номинальная Мощность, Вт	КПД, %	Напряжение на вторичной обмотке, В	Ток на вторичной обмотке, А

Основные характеристики трансформатора. Как правильно выбрать, подобрать трансформатор.

Вопрос: что нужно знать и учитывать при выборе силового трансформатора?

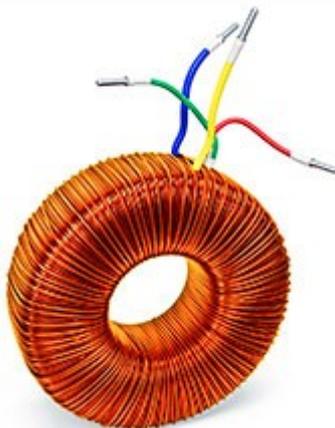


Силовые трансформаторы являются электрическими устройствами (электрическими машинами), которые трансформируют электрическую энергию посредством электромагнитного поля (промежуточной среды, гальванически развязывающий трансформаторные обмотки). Как правило трансформаторы применяются для понижения сетевого напряжения (220, 380 вольт) до нужной более низкой величины. Они являются главными функциональными элементами различных блоков питания (трансформаторных). Правильный выбор трансформатора для своего источника питания сводится к максимальному коэффициенту полезного действия при минимальных своих размерах и энергопотерях.

Существует много типов силовых трансформаторов, которые различаются как по электрическим характеристикам, так и по другим (размеры, материал, форма и т.д.). Среди всех имеющихся характеристик трансформатора наиболее важными и значимыми (с практической точки зрения) являются такие как — мощность, напряжение, ток, размеры. В этой теме я рассмотрю именно трансформаторы небольшой мощности, которые ставятся в обычные источники питания различной электротехники. Если говорить о трансформаторах, которые работают на электрических подстанциях (большой мощности), то для них существует много нюансов, которыми занимаются конкретные специалисты в этой области.

Итак, давайте более подробно рассмотрим основные характеристики трансформатора, который нужно выбрать для блока питания соответствующей мощности. К примеру, у нас возникла необходимость собрать лабораторный блок питания, имеющий плавную регулировку постоянного выходного напряжения.

Неплохо было бы если такой источник питания был рассчитан на максимальное выходное напряжение в 25 вольт и силу тока 10 ампер. Зная ток и напряжение можно вычислить мощность. Для этого мы перемножаем вольты на амперы ( $U \cdot I$ ) и получаем 250 ватт. Не лишним будет добавить небольшой запас по мощности (пусть это будет 50 ватт). В итоге, для нашего лабораторного блока питания нужен силовой понижающий трансформатор мощностью 300 ватт.

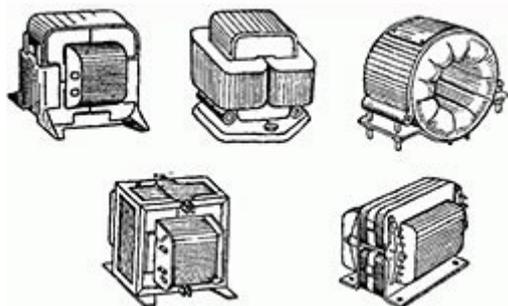


Питать мы будет этот блок питания от обычной сети 220 вольт. Значит, первичная обмотка трансформатора должна быть рассчитана именно на это напряжение. На вторичной обмотке должно выходить 25 вольт (хотя если уж быть совсем точным, то даже где-то 22 вольта). Почему так, 22 вольта вместо 25? Любой блок питания

содержит в себе выпрямительный диодный мост и фильтрующий конденсатор электролит, которые подключаются к выходной обмотке трансформатора. Так вот, существует такой эффект — переменное напряжение увеличивается примерно процентов на 18 после выпрямительного моста с фильтрующим конденсатором. И чтобы получить свои постоянные 25 вольт, нужны где-то 22 вольта переменного напряжения.

Но это не принципиально важно. Ведь лишнее напряжение можно убрать если отмотать определенное количество витков вторичной обмотки. Либо же излишек постоянного напряжения можно срезать за счет самой электронной схемы стабилизатора напряжения (это сделает схема нашего регулятора напряжения, что будет стоять на лабораторном блоке питания). То есть, либо вы изначально учитываете естественное увеличение напряжения на эти 18% и покупаете трансформатор с чуть меньшим выходным напряжением, либо избавляетесь от лишнего за счет отмотки или срезания электронной схемой. Хотя можно оставить и как есть, получив в итоге блок питания с выходным напряжением около 28,5 вольт.

Итак, что касается нашей темы по основным характеристикам трансформатора и правильному его выбору. С мощностью, напряжением и током мы определились. Да, еще на счет тока — если вы будете покупать трансформатор, то просто смотрите на его выходной максимальный ток. А если вы выбираете из имеющихся в наличии (не зная его выходной ток), то смотрите на диаметр выходной медной обмотки. Сначала ее замеряете, а потом в интернете ищите таблицу зависимости силы тока выходных обмоток трансформатора от диаметра провода этих обмоток. К примеру, для нашего лабораторного блока питания с выходным током в 10 ампер нужен медный провод (выходной обмотки) диаметром около 2,3 мм.



Кроме электрических характеристик также имеют значения и размеры силового трансформатора. Они зависят не только от мощности трансформатора, а еще и от типа формы. Есть основные три типа трансформаторов (по форме) — круглый, П - образный, Ш - образный. На первом месте по компактности находится трансформатор круглой формы, но он стоит дороже и мотать его сложнее (если самому, не имея специального намоточного станка). На втором месте по компактности стоит трансформатор П - образной формы. Ну, и на третьем месте трансформаторы Ш - образной формы.



P.S. В итоге, прежде чем выбрать (найти) силовой трансформатор сначала четко определитесь с его выходным напряжением и током. Перемножьте их и вы получите мощность трансформатора (не забудьте немного добавить запаса). А при выборе конкретной формы лучше брать круглые и П - образные, так как они имеют более компактные размеры. Хотя если это для вас не принципиально важно, то берите хотя бы просто приличного вида (без видимых механических повреждений, ржавчины на магнитопроводе, не сильно старый и т.д.).

Вывод:

**Критерии оценки:**

**Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

**Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

**Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствия схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

Используемые источники: ЭлектроХобби в миреэлектричества.<http://electrohobby.ru/index.php>.

Дополнительное задание:

**Закон Ома для цепей переменного тока. Мощность тока. Трансформаторы**

**Задание #1**

*Вопрос:*

В цепь переменного тока включена катушка с индуктивностью 0,05 Гн и резистор с сопротивлением 20 Ом. Найдите максимальную силу тока в цепи (в А с точностью до целых), если амплитудное напряжение равно 220 В. Частота переменного тока равна 50 Гц.

*Запишите число:* \_\_\_\_\_

**Задание #2**

*Вопрос:*

При фазовом сдвиге 45° мощность в цепи переменного тока равна 100 Вт. Если амплитудное значение силы тока равно 7 А, то каково действующее значение напряжения (в А с точностью до целых)?

*Запишите число:* \_\_\_\_\_

**Задание #3**

*Вопрос:*

Напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора, равно 50 В. Первичная обмотка содержит 500 витков, а вторичная - 2000. Найдите напряжение (в В) на зажимах вторичной обмотке при холостом ходе трансформатора.

Запишите число: \_\_\_\_\_

#### **Задание #4**

*Вопрос:*

В цепь переменного тока включена катушка с индуктивностью 10 мГн и конденсатором 30 нФ. Активное сопротивление, создаваемое катушкой и конденсатором равно 15 Ом. Найдите разность фаз между током и напряжением (в градусах с точностью до десятых). Частота переменного тока равна 1 кГц.

Запишите число: \_\_\_\_\_

#### **Задание #5**

*Вопрос:*

Напряжение на первичной обмотке трансформатора составляет 5 кВ, а на вторичной - 380 В. Трансформатор работает под нагрузкой 24 Ом, и при этом ток во вторичной обмотке составляет 5 А. Найдите коэффициент трансформации.

Запишите число: \_\_\_\_\_

#### **Задание #6**

*Вопрос:*

Коэффициент трансформации равен 2. К какому типу относится данный трансформатор?

*Выберите один из 3 вариантов ответа:*

- 1) К понижающему
- 2) Из значения коэффициента трансформации нельзя определить тип трансформатора
- 3) К повышающему

#### **Задание #7**

*Вопрос:*

Найдите амплитудное значение напряжения (в В с точностью до целых) в цепи переменного тока с конденсатором ёмкостью 20 мкФ и резистором 100 Ом. Амплитудный ток равен 2,5 А, а частота переменного тока равна 60 Гц.

Запишите число: \_\_\_\_\_

#### **Задание #8**

*Вопрос:*

КПД трансформатора равен 95%. Найдите соотношение токов (тока во вторичной обмотке к току в первичной обмотке) на холостом ходу.

Запишите число: \_\_\_\_\_

#### **Задание #9**

*Вопрос:*

Амплитудный ток в цепи переменного тока составляет 10 А. Найдите активную мощность на резисторе с сопротивлением 20 Ом (в Вт).

Запишите число: \_\_\_\_\_

#### **Задание #10**

Вопрос:

В цепи без активного сопротивления действующее значения силы тока равно 5 А, а действующее значение напряжения - 200 В. Найдите среднюю мощность цепи (в Вт).

Запишите число: \_\_\_\_\_

**Ответы:**

- 1) (1 б.): Верный ответ: 9.;
- 2) (1 б.): Верный ответ: 29.;
- 3) (1 б.): Верный ответ: 200.;
- 4) (1 б.): Верный ответ: 0,2.;
- 5) (1 б.): Верный ответ: 10.;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 7) (1 б.): Верный ответ: 415.;
- 8) (1 б.): Верный ответ: 19.;
- 9) (1 б.): Верный ответ: 2000.;
- 10) (1 б.): Верный ответ: 0.;

### Практическая работа №30

**Тема: Расчет работы и мощности переменного электрического тока**

**Цель:** закрепить навыки расчета работы и мощности переменного электрического тока

**Ход работы**

#### РАБОТА И МОЩНОСТЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На карточках III серии изображена принципиальная схема проводки переменного городского тока для питания ламп, нагревателя и электродвигателя коллекторного типа (рис. 6).

На условном изображении счетчика электроэнергии написано начальное показание. Потребляемая мощность ламп и нагревателей подписаны под ними. Для электродвигателя указаны сила тока и коэффициент мощности. Время горения в течение суток дано для каждого потребителя энергии.

Материал, сечение проводов, подводящих ток от трансформатора до счетчика, а также расстояние  $AB$  между ними указаны в карточках.

Действующее напряжение на входе счетчика полагать равным 220 в.

Покажем решение на примере карточки 7

1. Мощность двигателя

$$P_{д} = IU \cos \varphi, \quad P_{д} = 2a \cdot 220 \text{ в} \cdot 0,8 = 352 \text{ вт} \approx 0,35 \text{ квт.}$$

2. Общая мощность всех потребителей

3. Действующее значение тока при одновременном включении всех потребителей, кроме двигателя

$$P_a = 840 \text{ вт}, I = \frac{P_a}{U}, I = \frac{840 \text{ вт}}{220} = 3,82 \text{ а} \approx 3,8 \text{ а}.$$

4. Сопротивление подводящих проводов

$$R = \frac{\rho l}{S}, R = \frac{2,8 \cdot 10^{-8} \text{ ом} \cdot \text{м} \cdot 100 \text{ м}}{2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 1,12 \text{ ом} \approx 1,1 \text{ ом}.$$

5. Потеря напряжения в проводах при одновременной работе всех потребителей, кроме двигателя,

$$U = IR,$$

$$U_{\text{пр}} = 1,12 \text{ ом} \cdot 3,82 \text{ а} = 4,29 \text{ в} \approx 4,3 \text{ в}.$$

6. Допустимая потеря напряжения в проводах составляет  $225 \text{ в} \cdot 0,02 = 4,5 \text{ в}$ , т. е. в данном случае она больше действительной потери напряжения.

7. Расход энергии в сутки

$$E_1 = 352 \text{ вт} \cdot 10 \text{ ч} + 700 \text{ вт} \cdot 4 \text{ ч} + 100 \text{ вт} \cdot 6 \text{ ч} + 40 \text{ вт} \cdot 10 \text{ ч} = 7320 \text{ вт} \cdot \text{ч} \approx 7,3 \text{ квт} \cdot \text{ч}.$$

Расход энергии в месяц

$$E_{30} = 7,32 \text{ квт} \cdot \text{ч} \cdot 30 = 219,6 \text{ квт} \cdot \text{ч} \approx 220 \text{ квт} \cdot \text{ч}.$$

8. Показание счетчика через месяц

$$0472 \text{ квт} \cdot \text{ч} + 219 \text{ квт} \cdot \text{ч} = 0691 \text{ квт} \cdot \text{ч}.$$

9. Стоимость энергии за месяц

$$4 \text{ коп}/(\text{квт} \cdot \text{ч}) \cdot 219 \text{ квт} \cdot \text{ч} = 876 \text{ коп} = 8,76 \text{ руб}.$$

### Практическая часть.

Прочитайте задание. Выполните задание для своего варианта карточки по образцу (см. теоретическая часть)

#### Работа и мощность переменного тока

1. Напряжение в сети 220 в. Какова мощность двигателя?
2. Какова общая мощность всех потребителей электроэнергии?
3. Вычислите действующее значение силы тока при одновременной работе всех потребителей, кроме электродвигателя.
4. Вычислите сопротивление подводящих к счетчику проводов. Их материал, сечение и расстояние от трансформатора до счетчика указаны в карточках.
5. Какое максимальное падение напряжения получится в подводящих проводах при одновременной работе всех потребителей, кроме двигателя?
6. Допустимо ли такое падение напряжения в этих проводах? По нормам потеря напряжения в проводах не должна превышать 2%. Напряжение на выходе трансформатора равно 225 в. Какого сечения следует поставить провода, чтобы падение напряжения в них не превышало нормы при отдельной работе двигателя или остальных потребителей? (Стандартные сечения проводов: 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0 мм<sup>2</sup>.)
7. Сколько энергии расходуется: а) в сутки и б) в месяц (30 дней)?
8. Какое число появится на счетчике через месяц?
9. Сколько надо заплатить за электроэнергию в конце месяца?

**Вывод:**

---

### Критерии оценки:

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

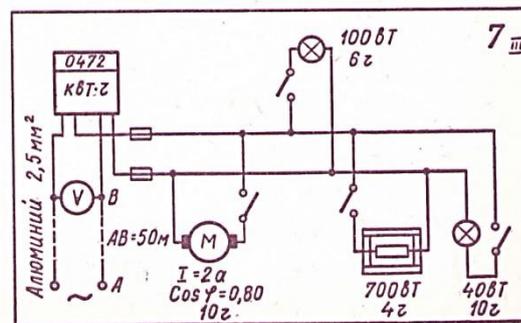
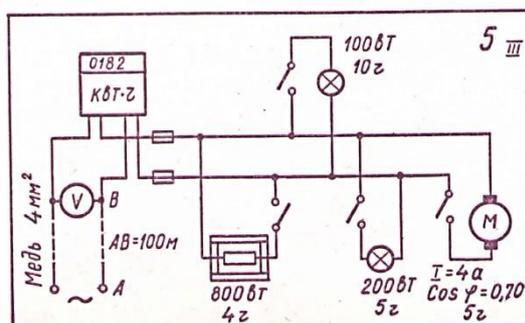
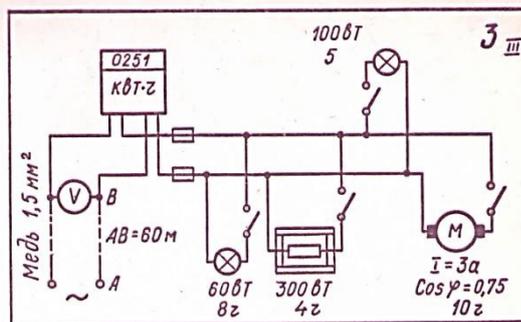
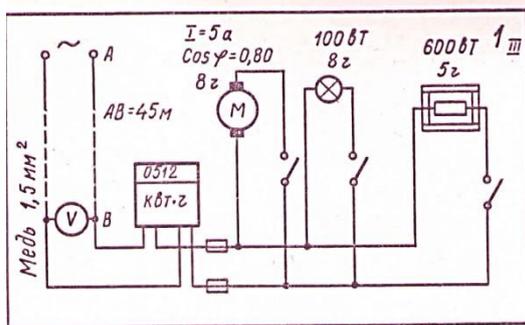
- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

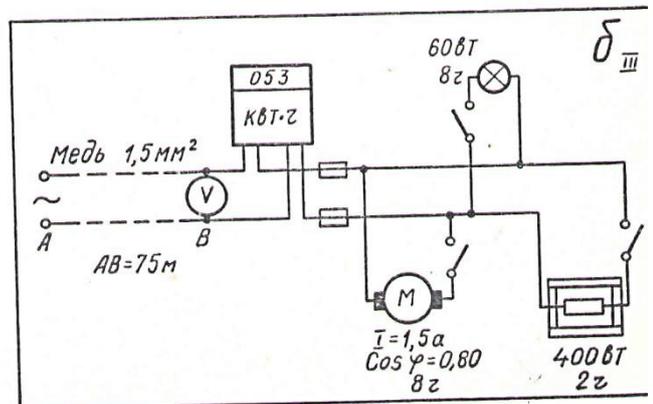
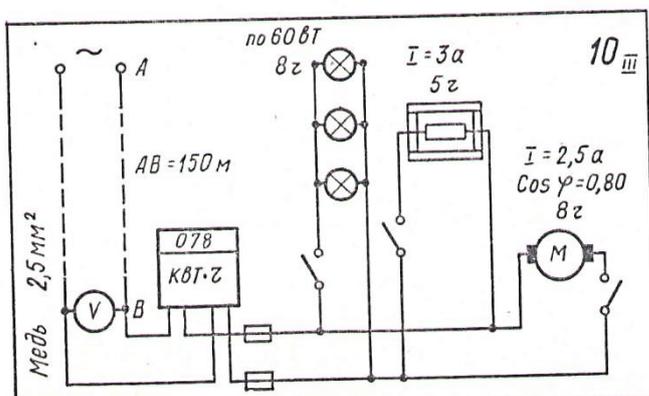
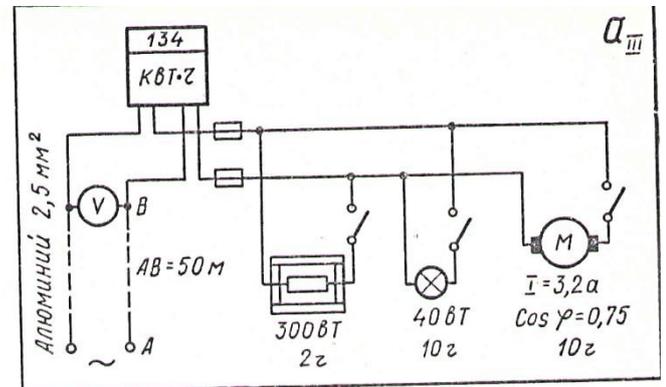
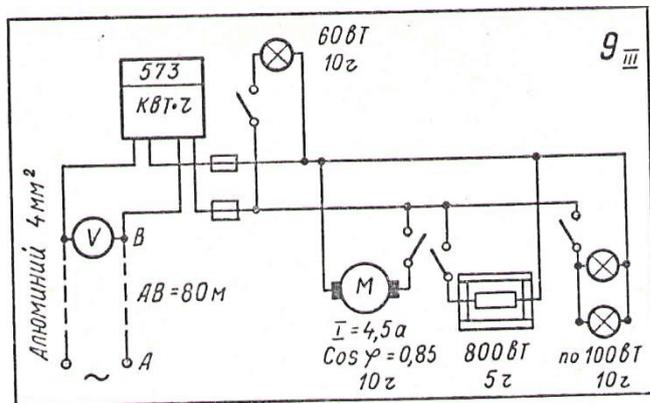
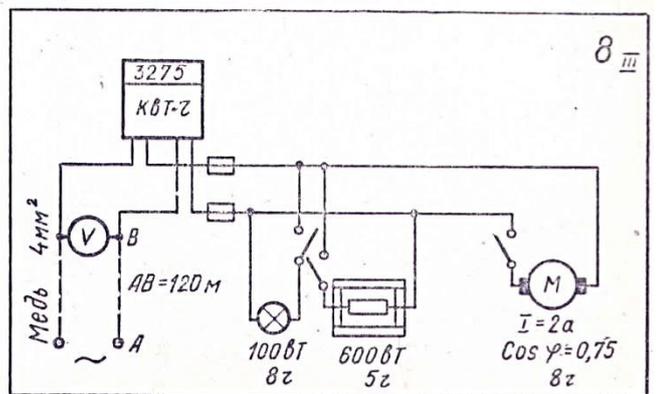
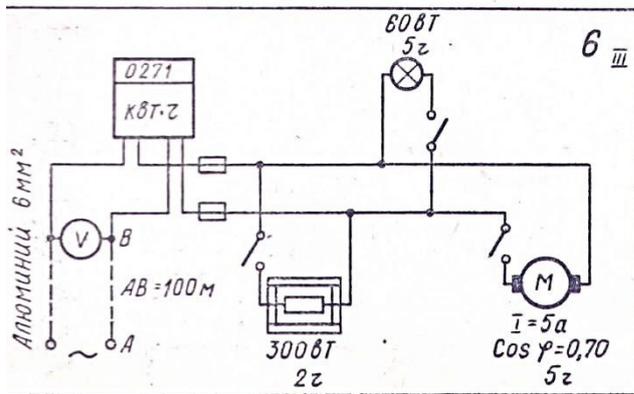
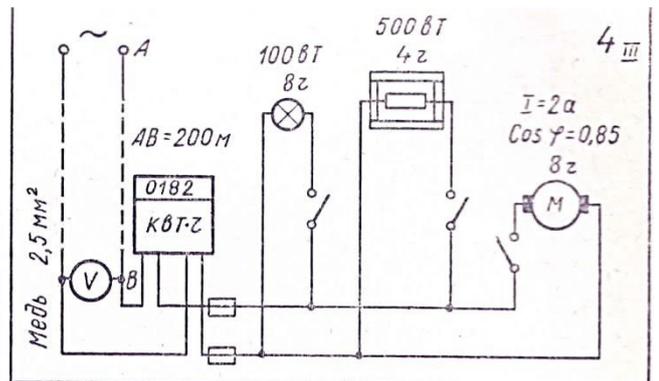
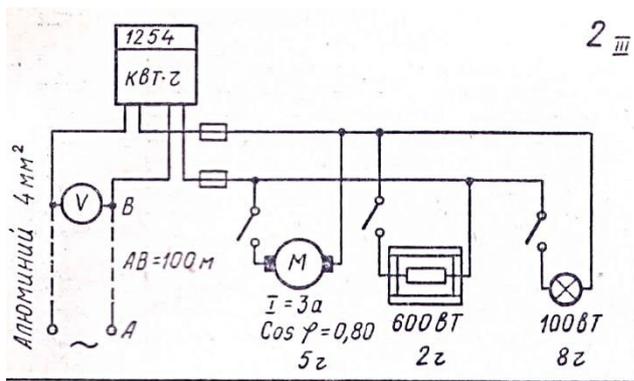
#### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

### Приложение к практической работе №38

#### Задания по вариантам.





Ответы к карточкам:

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Мощность двигателя, <i>квт</i>	0,88	0,53	0,50	0,37	0,62	0,77	0,35	0,33	0,84	0,44	0,53	0,26
2. Общая мощность, <i>квт</i>	1,6	1,2	0,96	0,97	1,7	1,1	1,2	1,0	1,9	1,3	0,87	0,72
3. Действующее значение тока при активном сопротивлении, <i>а</i>	-											
4. Сопротивление проводов, <i>ом</i>	3,2	3,2	2,1	2,7	5,0	1,6	3,8	3,2	4,8	3,8	1,6	2,1
5. Наибольшая потеря напряжения в проводах, <i>в</i>	1,0	1,4	1,4	2,7	0,85	0,93	1,1	1,0	1,1	2,0	1,1	1,7
6. Необходимое сечение, <i>мм<sup>2</sup></i>			2,3	2,36			0,56	0,52				
7. Расход энергии, <i>квт·ч</i> :									6,0	6,0	-	-
а) в сутки;	11	4,6 <sup>4</sup>	7,1	5,8	8,3	4,8	7,3	6,4	15	8,0	6,3	3,4
б) в месяц	325	139	214	174	248	143	220	193	450	240	188	102
8. Показание счетчика	0837	1393	0465	0356	0430	0413	0691	3468	023	317	322	154
9. Стоимость энергии, <i>руб.</i>	13,00	5,56	8,56	6,96	9,92	5,72	8,76	7,72	18,00	9,60	7,52	4,08

Для того чтобы проще всего понять, как устроен и на каких принципах работает трехфазный трансформатор, мысленно представим себе три отдельных однофазных трансформатора, плотно приставленные друг к другу таким образом, что их три стержня вместе образуют единый для всех центральный стержень (рис. 1). На оставшиеся свободные три стержня намотаны первичные и вторичные обмотки. Для того чтобы было более наглядно, на рисунке 1 вторичные обмотки не показаны.

За исходное состояние принимаем то, что обмотки всех трех стержней совершенно одинаковые и намотанные в одном и том же направлении (на рисунке 1, если наблюдать сверху, они намотаны по часовой стрелке). Верхние концы обмоток соединяем в нейтраль, а нижние подключаем к трем клеммам трехфазной сети.

Изменяющиеся токи в обмотках трансформатора вызовут изменяющиеся во времени магнитные потоки в стержнях трансформатора, каждый из которых будет замыкаться в собственной магнитной цепи. Причем в центральном составном стержне все три магнитных потока складываются и в сумме образуют нуль. Это происходит потому, что все эти магнитные потоки образуются симметричными трехфазными токами. А как известно из электротехники, сумма их мгновенных значений в любой момент времени равна нулю.

Предположив, что через обмотку AX протекает наибольший ток I<sub>1</sub> в направлении, показанном на рисунке 1. Создаваемый им магнитный поток Φ, обладая наибольшим значением, протекал бы по центральному составному стержню сверху вниз. В остальных двух обмотках, обозначенных на рисунке как BY и CZ, протекающие в тот момент токи I<sub>2</sub> и I<sub>3</sub> были бы по величине равны половине величины тока I<sub>1</sub> и направлены в противоположную ему сторону. Это обусловлено специфическими свойствами трехфазных токов. Из этого вытекает, что и величины магнитных потоков, создаваемых токами I<sub>2</sub> и I<sub>3</sub> в стержнях обмоток BY и CZ, будут равны половине величины потока в стержне AX и направлены будут в противоположную сторону. Общая сумма всех магнитных потоков в любой момент времени, опять таки, равняется нулю.

Теперь посмотрим, что произойдет, если мы уберем, единый центральный стержень всех трех трансформаторов, и соединим их ярма в верхней и нижней частях, как показано на рисунке 2. Теперь магнитному потоку из стержня AX придется прокладывать себе путь через стержни BY и CZ, складывая свою магнитодвижущую силу воедино с их собственными МДС. Таким образом, мы получаем трехфазный трансформатор, имеющий единую магнитную цепь для всех его трех фаз.

В связи с тем, что токовые фазы в трансформаторе смещены на треть периода, то и образуемые ими магнитные потоки аналогично смещены по времени на  $1/3$ . Из этого понятно, что самые максимальные значения магнитных потоков в трансформаторе следуют один за другим через  $1/3$  периода.

Сдвиг на треть периода магнитных потоков вызывает аналогичный сдвиг электродвижущих сил, которые возникают как в первичных, так и во вторичных обмотках стержней трансформатора.

ЭДС первичных обмоток практически уравнивают приложенное к ним трехфазное напряжение. А электрические движущие силы вторичных обмоток, если правильно соединить концы обмоток, дадут на выходе вторичное трехфазное напряжение, подающееся во вторичную цепь.

Конструктивно трехфазные трансформаторы делятся на стержневые и броневые.

## **Режимы работы трансформатора**

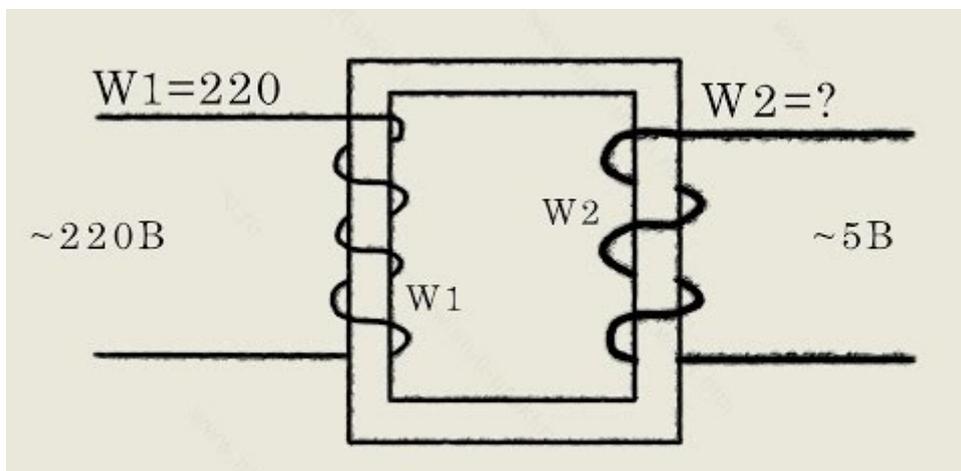
- **Режим холостого хода:**

$$Z_H = , U_2 = 0.$$

- **Режим короткого замыкания:**

$$Z_H = 0, U_2 = 0.$$

- **Режим нагрузки.**



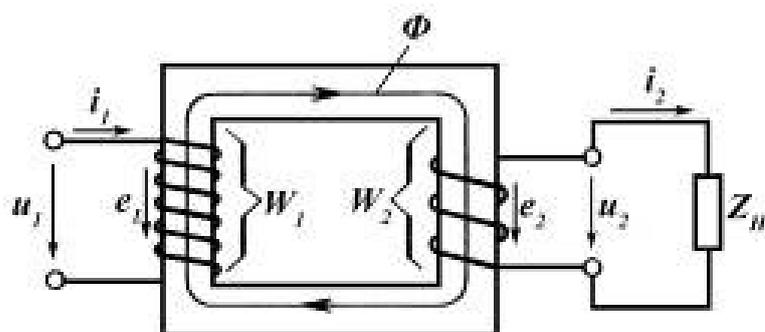


Рис. 6.3 Схема однофазного двухобмоточного трансформатора

## Принцип действия

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При прохождении переменного тока по первичной обмотке в железном сердечнике появляется переменный магнитный поток, который возбуждает электродвижущую силу индукции в каждой обмотке. Это означает, что, повышая с помощью трансформатора напряжение в несколько раз, мы во столько же раз уменьшаем силу тока, и наоборот.

## Коэффициент трансформации

$$U_1/U_2 = N_1/N_2 = K$$

$K > 1$  трансформатор понижающий

$K < 1$  трансформатор повышающий

## КПД трансформатора

$$\text{КПД} = (U_2 I_2 / U_1 I_1) 100\%$$

# Трансформаторы — принцип действия

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. На первичную обмотку трансформатора, подаётся напряжение от внешнего источника переменного тока. Протекающий по первичной обмотке переменный ток создаёт переменный магнитный поток в сердечнике трансформатора. В результате электромагнитной индукции, переменный магнитный поток в сердечнике трансформатора создаёт в обмотках ЭДС индукции, в том числе и в первичной обмотке. НДС индукции пропорциональна первой производной магнитного потока.

- Режим короткого замыкания

- *Режим короткого замыкания –*
- это аварийный режим работы трансформатора. В режиме короткого замыкания напряжение первичной обмотки равно номинальному, а сопротивление нагрузки равно нулю.
- В аварийном режиме короткого замыкания устанавливаются большие токи короткого замыкания в обмотках. Эти значения так велики, что приводят к выходу из строя обмотки трансформатора.

## Практическая работа №31

### Тема: Производство и использование электрической энергии

**Цель:** Изучить основные принципы производства и передачи электрической энергии на большие расстояния

#### Ход работы

##### 1. Теоретическая часть.



#### Производство электроэнергии на ТЭС

**Электроэнергетика** занимается выработкой электроэнергии и её передачей по линиям электропередач (ЛЭП).

Группа электростанций разных типов объединены ЛЭП высокого напряжения в **энергосистему**.

Большая часть электростанций объединены в Единую Энергосистему России с целью передачи электроэнергии Энергоносителям.

**Практическое**  
**Используя**  
**теоретические**  
**ответить на вопросы**

**задание.**  
**сведения**  
**теста.**

## Производство и использование электрической энергии

### Задание №1

С какой целью для передачи электроэнергии на большие расстояния напряжение значительно повышают?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) чтобы уменьшить потери на нагревание проводов
- 2) потому что это международный стандарт
- 3) так исторически сложилось
- 4) так как электрические провода "работают" только при высоких напряжениях

### Задание №2

На какой тип электростанций приходится более 50% мирового производства электроэнергии?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) гидроэлектростанции
- 2) альтернативные
- 3) тепловые
- 4) атомные

### Задание №3

Какой прибор позволяет повышать или понижать напряжение переменного тока практически без потерь?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) генератор
- 2) модулятор
- 3) детектор
- 4) трансформатор

### Задание №4

Какие виды топлива сжигают на тепловых электростанциях?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) бензин
- 2) уран
- 3) нефть
- 4) водород

### Задание №5

Какой вид энергии преобразуется в электрическую энергию на гидроэлектростанциях?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) энергия термальных источников
- 2) механическая энергия падающей воды
- 3) энергия радиоактивного распада
- 4) внутренняя энергия топлива

### Задание №6

Какие отрицательные последствия присущи атомным электростанциям?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) загрязнение атмосферы продуктами сгорания топлива
- 2) затопление огромных территорий
- 3) нет отрицательных последствий
- 4) выбросы радиоактивных веществ в случае аварии

### Задание №7

Какое напряжение используется в бытовой электропроводке в России?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) 220 кВ   2) 220 В   3) 12 В   4) 127 В

### Задание №8

Какой из альтернативных видов энергетики еще не используется в современном мире?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) реакция термоядерного синтеза  
2) ветроэнергетика  
3) термальная энергетика  
4) солнечная

### Задание №9

Какой тип трансформаторов используется непосредственно на электростанциях?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) компенсирующие  
2) стабилизирующие  
3) повышающие  
4) понижающие

### Задание №10

Какой вид электрического тока вырабатывают электрогенераторы на электростанциях?

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1) постоянный   2) синхронный   3) переменный   4) синфазный

### **Критерии оценки:**

#### **Оценка «5» ставится:**

- при выполнении тестовой части работы без ошибок;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### **Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### **Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

### **Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 1;  
2) (1 б.) Верные ответы: 3;

- 3) (1 б.) Верные ответы: 4;  
 4) (1 б.) Верные ответы: 3;  
 5) (1 б.) Верные ответы: 2;  
 6) (1 б.) Верные ответы: 4;  
 7) (1 б.) Верные ответы: 2;  
 8) (1 б.) Верные ответы: 1;  
 9) (1 б.) Верные ответы: 3;  
 10) (1 б.) Верные ответы: 3.

## Практическая работа №32

### Тема: Решение задач по теме: «Отражение и преломление света»

**Цель:** Применить законы отражения и преломления для построения изображений предметов

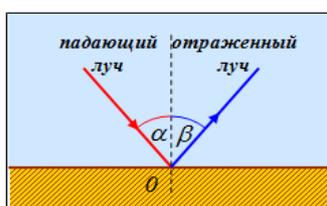
#### Ход работы.

##### 1. Теоретическая часть.

Корпускулярная теория очень просто объясняла явления геометрической оптики, описываемые в терминах распространения световых лучей. С точки зрения волновой теории, лучи — это нормали к фронту волны. Принцип Гюйгенса также позволяет объяснить законы геометрической оптики на основе волновых представлений о природе света.

#### Закон отражения

Когда световые волны достигают границы раздела двух сред, направление их распространения изменяется. Если они остаются в той же среде, то происходит **отражение** света.



**Отражение света** — это изменение направления световой волны при падении на границу раздела двух сред, в результате чего волна продолжает распространяться в первой среде. Направления распространения падающей и отраженной волн показаны на рис. 1

**Закон отражения** света хорошо известен:

Падающий луч, перпендикуляр к границе раздела двух сред в точке падения и отраженный луч лежат в одной плоскости, причем угол падения равен углу отражения.

#### Закон преломления

Если световые волны достигают границы раздела двух сред и проникают в другую среду, то направление их распространения также изменяется — происходит **преломление** света.

**Преломление света** — это изменение направления распространения световой волны при переходе из одной прозрачной среды в другую.

Направление распространения падающей и преломленной волны показано на рис. 3.5.

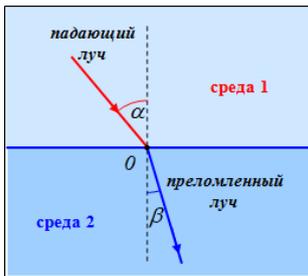


Рис. 2. Преломление света на плоской границе раздела двух прозрачных сред

**Закон преломления** гласит:

Падающий луч, перпендикуляр к границе раздела сред в точке падения и преломленный луч лежат в одной плоскости, причем отношение синуса угла падения к синусу угла преломления постоянно для данной пары сред и равно показателю преломления второй среды относительно первой

$$\frac{\sin i_{\text{П}}}{\sin i_{\text{ПР}}} = n_{21} \equiv \frac{n_2}{n_1}.$$

Здесь  $n_2$  — показатель преломления среды, в которой распространяется преломленная волна,  $n_1$  — показатель преломления среды, в которой распространяется падающая волна.

## VI СЕРИЯ — ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

На карточках VI серии имеются два рисунка (рис. 9): на верхнем дано расположение плоского зеркала, предмета (стрелки) и глаза; на нижнем показано расположение сферического зеркала с указанием центра сферы и предмета (стрелки) перед этим зеркалом.

Первый раз карточки можно использовать после изучения законов отражения и построения изображения в плоском зеркале.

Учащимся предлагают начертить в тетради верхний рисунок карточки и при помощи построения определить, какую часть предмета будет видеть глаз в плоском зеркале и где на той же прямой надо расположить глаз, чтобы увидеть изображение предмета полностью.

Покажем решение на примере карточки 8

1. Расстояние от глаза до зеркала — 15 см (при масштабе: сторона клетки равна 1 см).

2. Строим изображение предмета в зеркале (рис. 10, а). Проводим луч, который отразится от нижнего края зеркала в глаз. Находим встречу мнимого продолжения этого луча с изображением предмета в зеркале. Верхняя часть изображения будет видна глазу, а нижнюю часть глаз не увидит. Из построения обнаруживаем, что видимая часть составляет  $\frac{2}{3}$  или 0,67 от размера предмета.

3. Чтобы найти место расположения глаза для видимости всего изображения предмета, надо найти точку встречи луча, идущего от нижней части предмета после его отражения от нижнего края зеркала, с линией, на которой находится глаз. По чертежу видно, что эта точка расположена на расстоянии 5 см.

4. Сделав построение для повернутого на  $45^\circ$  зеркала (рис. 10, б), заключаем, что с прежнего места глаз не может увидеть изображение предмета в зеркале.

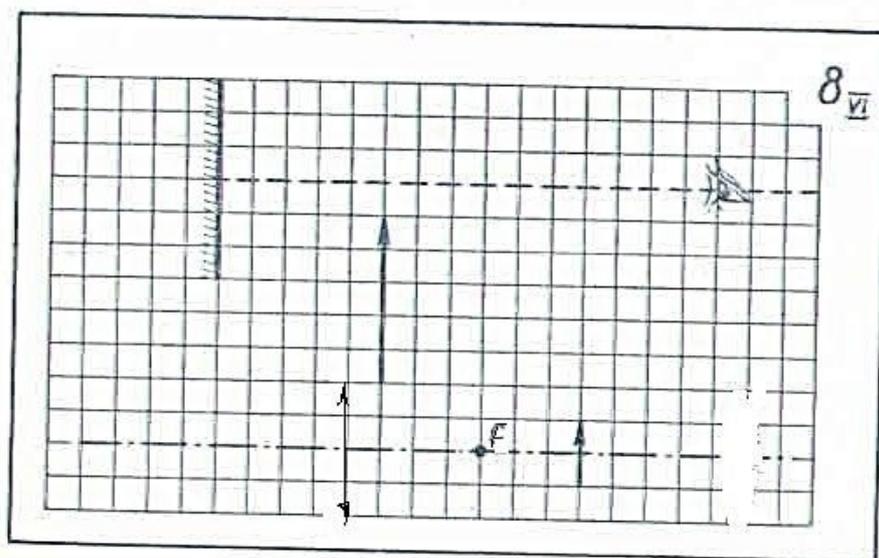


Рис. 9. Образец карточки VI серии (№ 8).

Образец решения.

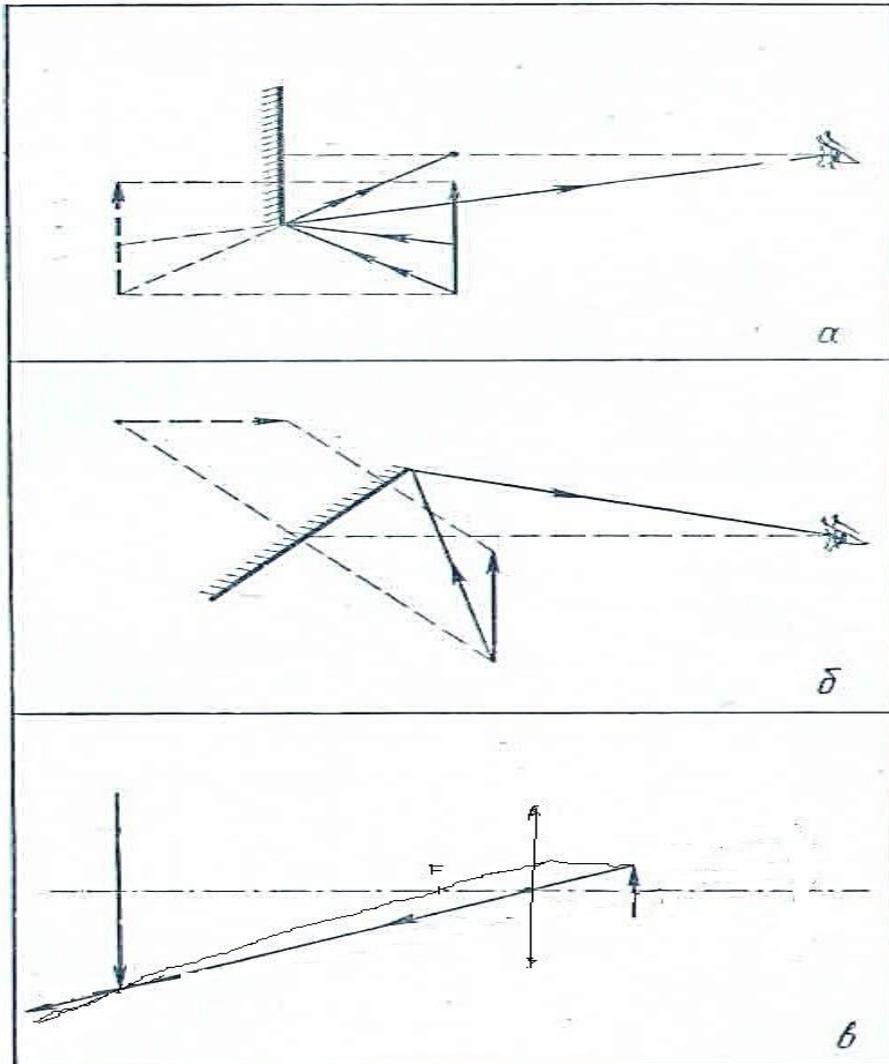


Рис. 10. Чертежи в тетради ученика а) и б) построение изображений в плоском зеркале;

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Расстояние до глаза, см	12	8	9	10	8	9	12	15	9	8	6	12
2. Видимая часть	0,75	0,67	0,67	0,67	0,5	0,87	0,75	0,6	0,5	0,5	0,67	0,6
3. Расстояние до глаза при полной видимости, см	6,0	4,0	4,5	4,0	2,0	6,0	3,0	5,0	4,0	1,0	3,0	4,0
4. Видимая часть при повороте на 45°	0	0	0	0	1	0,2	1	0	1	0,67	1	0
5. Фокусное расстояние, см	4,0	5,0	5,0	8,0	6,0	-6,0	-4,0	4,0	5,0	7,0	6,0	-5,0
6. Расстояние до изображения, см	6,7	7,5	13	-13	9,0	-2,0	-2,0	20	18	-9,3	11	-2,2
7. Увеличение	0,67	0,5	1,67	2,67	0,5	0,67	0,5	4	2,5	2,33	0,75	0,55

## Вопросы к карточкам VI серии — Отражение света

Перечертите верхний рисунок в тетрадь и постройте изображение предмета в плоском зеркале. Определите:

1. На каком расстоянии от зеркала расположен глаз (масштаб: сторона клетки — 1 см)?
2. Какую часть изображения этого предмета видит глаз?
3. На каком наибольшем расстоянии надо расположить глаз на той же прямой линии, чтобы видеть изображение предмета в зеркале полностью?
4. Постройте изображение того же предмета и в том же зеркале, повернув его в сторону предмета на  $45^\circ$  к перпендикуляру, проведенному через середину зеркала. Какую часть изображения увидит глаз в этом случае?

Перечертите нижний рисунок карточки и постройте изображение предмета (стрелки) в сферическом зеркале.

5. Определите фокусное расстояние этого зеркала.
6. Вычислите, на каком расстоянии от полюса зеркала получится изображение предмета.
7. Каково увеличение в этом случае?

## VII СЕРИЯ — ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

На карточках VII серии даны три рисунка (рис. 11). На двух верхних показано направление лучей, падающих: а) на плоскопараллельную пластинку и б) на треугольную призму (рис. 11). Показатель преломления и материал, из которого сделаны призма и пластинка, указаны на карточке. На нижнем рисунке схематически изображены линза из этого же материала, положение главных фокусов и предмета перед линзой. Все рисунки выполнены в масштабе: сторона клетки — 1 см.

Первый раз карточки VII серии рекомендуется применить при изучении законов преломления света, предложив учащимся начертить ход луча в плоскопараллельной пластинке и ответить на первые четыре вопроса. Величину угла падения можно вычислить по тангенсу, используя клетчатую сетку, или непосредственно измерить транспортиром (в последнем случае могут оказаться заметные расхождения с ответами в таблице).

После выполнения лабораторной работы 3 в качестве упражнения полезно рекомендовать учащимся начертить ход луча через треугольную призму и ответить на вопросы 5—10.

Третий раз карточки данной серии следует использовать после изучения линзы и построения изображений в ней. В этом случае предлагают учащимся ответить на вопросы 11—15.

Покажем решение на примере карточки 5

Прежде чем отвечать на вопросы, учащиеся должны перечертить в тетрадь соответствующий рисунок карточки.

1. Угол падения находим по тангенсу (луч проходит по диагонали двух клеток):

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,5; \text{ по таблице тангенсов } \alpha = 26^{\circ}36' \approx 27^{\circ}$$

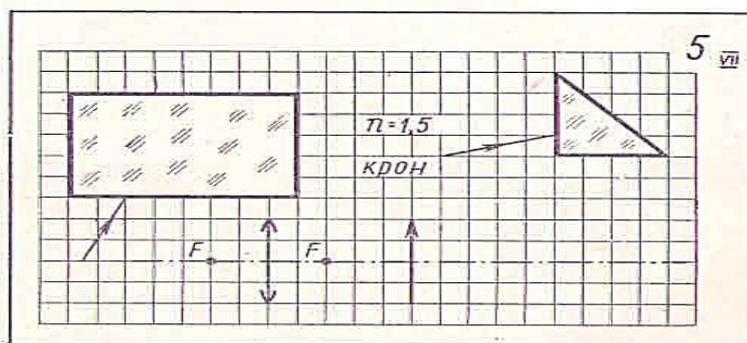


Рис. 11. Образец карточки VII серии (№ 5).

2. Угол преломления вычисляем из отношения

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n,$$

$$\sin \beta = \frac{\sin 26^{\circ}36'}{1,5} = \frac{0,4478}{1,5} = 0,300, \beta = 17^{\circ}34' \approx 18^{\circ}.$$

3. Из чертежа (рис. 12, а) видно, что смещение  $x$  луча при толщине пластинки  $d = 50$  мм равно:

$$x = \frac{d \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}, \quad x = \frac{50 \text{ мм} \cdot \sin(26^{\circ}36' - 17^{\circ}34')}{\cos 17^{\circ}54'} = \frac{50 \text{ мм} \cdot 0,1564}{0,9516} = 8,2 \text{ мм}.$$

4. Если стекло станет средой, а пластинка воздушной полостью в нем, то

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n},$$

$$\sin \beta = n \sin \alpha,$$

$$\sin \beta = 1,5 \cdot \sin 26^{\circ}36' = 1,5 \cdot 0,4478 = 0,6717, \beta = 42^{\circ}12'.$$

Ход луча для этого случая показан на рисунке 12, б.

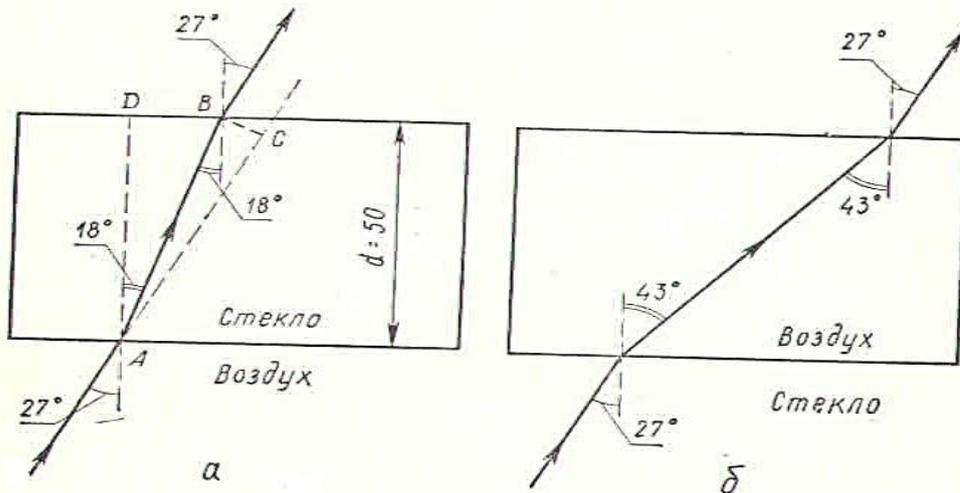


Рис. 12. Чертежи в тетради ученика: а) луч идет из воздуха через стекло в воздух; б) луч идет из стекла через воздух снова в стекло.

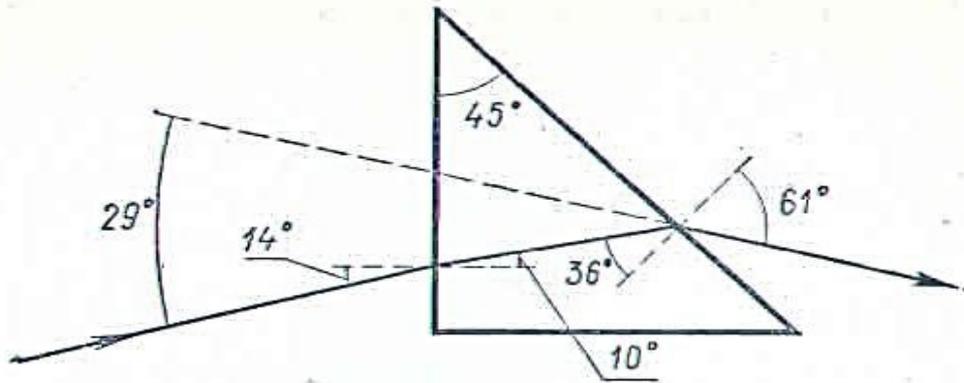


Рис. 13. Чертеж в тетради ученика. Построение хода луча через призму.

Решение для призмы (рис. 13)

5. Угол падения  $\alpha = 14^\circ$ , так как  $\operatorname{tg} \alpha = 0,25$ .
6. Угол преломления вычисляем из соотношения:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

$$\sin \beta = \frac{\sin 14^\circ}{1,5} = \frac{0,2419}{1,5} = 0,161, \quad \beta = 9^\circ 18'.$$

7. Преломляющий угол призмы  $A = 45^\circ$ .
8. Угол падения на вторую грань

$$\alpha_1 = A - \beta, \quad \alpha_1 = 45^\circ - 9^\circ 18' = 35^\circ 42' \approx 36^\circ.$$

9. Угол преломления при выходе из призмы

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{1}{n}, \quad \sin \beta_1 = 1,5 \cdot \sin 35^\circ 42' = 1,5 \cdot 0,5835 = 0,876,$$

$$\beta_1 = 61^\circ 12' \approx 61^\circ.$$

10. Угол полного отклонения луча

$$\sigma = (\alpha - \beta) + (\beta_1 - \alpha_1) = (14^\circ - 9^\circ 18') + (61^\circ 12' - 35^\circ 42') \approx 30^\circ.$$

Решение для линзы

Построение изображения предмета в линзе дано на рисунке 14, а.

11. Фокусное расстояние  $F = 2 \text{ см}$ .
12. Расстояние предмета от линзы  $d = 5 \text{ см}$ .
13. Расстояние до изображения находим по формуле линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

$$f = \frac{Fd}{d - F}, \quad f = \frac{2 \text{ см} \cdot 5 \text{ см}}{5 \text{ см} - 2 \text{ см}} = 3,33 \text{ см} \approx 3,3 \text{ см}.$$

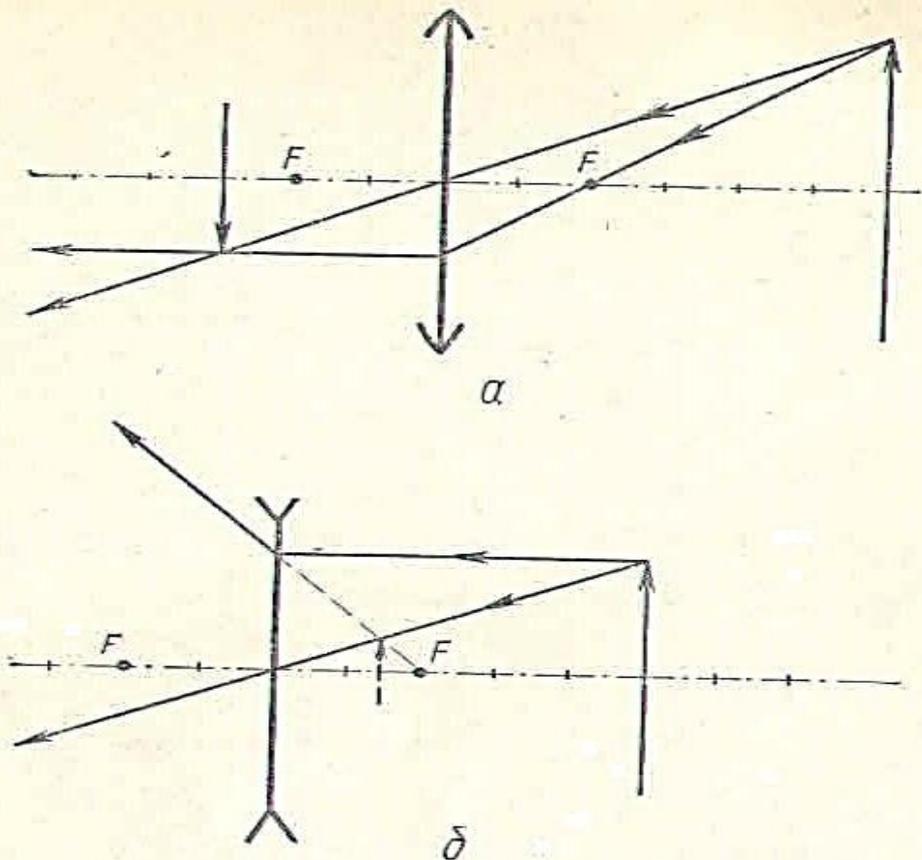


Рис. 14. Чертеж в тетради ученика: а) стеклянная линза в воздухе; б) воздушная линза в стекле.

14. Увеличение

$$\Gamma = \frac{f}{d},$$

$$\Gamma = \frac{3,33 \text{ см}}{5 \text{ см}} = 0,67.$$

15. Радиус кривизны симметричной ( $R_1 = R_2$ ) линзы вычисляем по формуле

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где  $R_2 = R_1 = R$ , тогда  $R = (n - 1)2F$ ,

$$R = (1,5 - 1) \cdot 2 \cdot 2 \text{ см} = 2 \text{ см}.$$

16. В случае воздушной линзы внутри стекла при том же фокусном расстоянии и положении предмета построение показано на рисунке 14, б.

Вопросы к карточкам VII серии — Преломление света

Перечертите верхний левый рисунок в тетрадь.

1. Под каким углом падает луч света на плоскопараллельную пластинку?

2. Каков угол преломления?

Постройте ход луча через плоскопараллельную пластинку

3. На сколько миллиметров сместится луч при выходе из пластинки? Масштаб: сторона клетки — 10 мм.

4. Каков будет угол преломления, если поменять местами материалы окружающей среды и пластинки? Начертите для этого случая ход луча

## Практическая работа №33

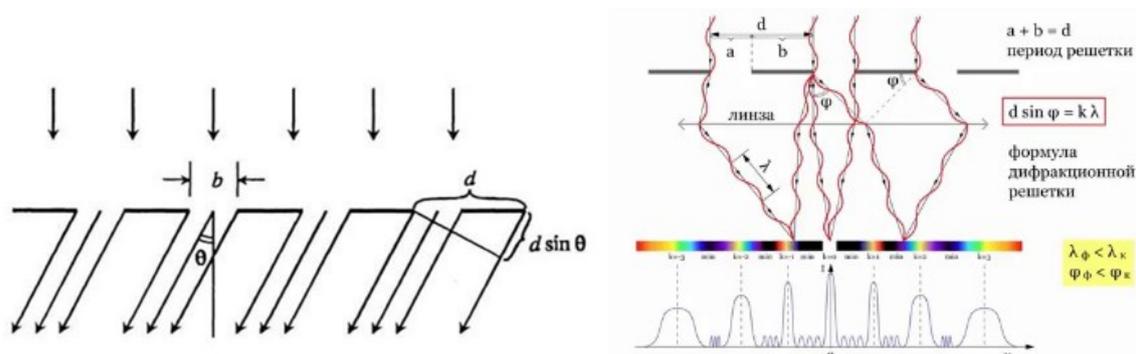
### Тема: Определение длины световой монохроматической волны

Цель: Определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

#### Ход работы

##### 1. Теоретическая часть.

Дифракционная решётка



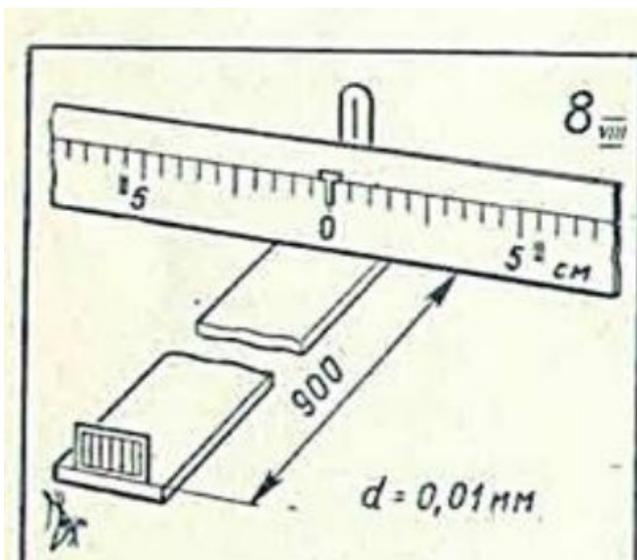
2. Практическая часть. По образцу выполните задания по вариантам на карточках.

На верхнем рисунке карточек VIII серии изображен прибор, который используется в лабораторных работах средней школы для определения длины волны света с помощью дифракционной решетки, указаны расстояние в миллиметрах от шкалы до дифракционной решетки и ее период  $d$ . На шкале даны положения одного-двух максимумов, видимых глазу при рассматривании через решетку (рис. 15).

На нижнем рисунке изображена картина интерференции при освещении плоско-выпуклой линзы, лежащей на плоской поверхности, монохроматическим светом той длины волны, которую измерили выше.

На этой картине показаны темные кольца и для измерения их диаметра измерительная шкала. Рисунок содержит только часть колец Ньютона. Для расчета радиуса кривизны линзы следует измерять диаметр наибольшего начерченного кольца.

Карточки VIII серии рекомендуется использовать после изучения явлений интерференции и дифракции света.



Покажем решение на примере карточки 8

1. Цена деления линейки — 5 мм.
2. Расстояние от 0-го до 1-го максимума — 55 мм.
3. Длину волны в воздухе определяем из формулы

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

для первого максимума

$$\lambda = d \sin \varphi.$$

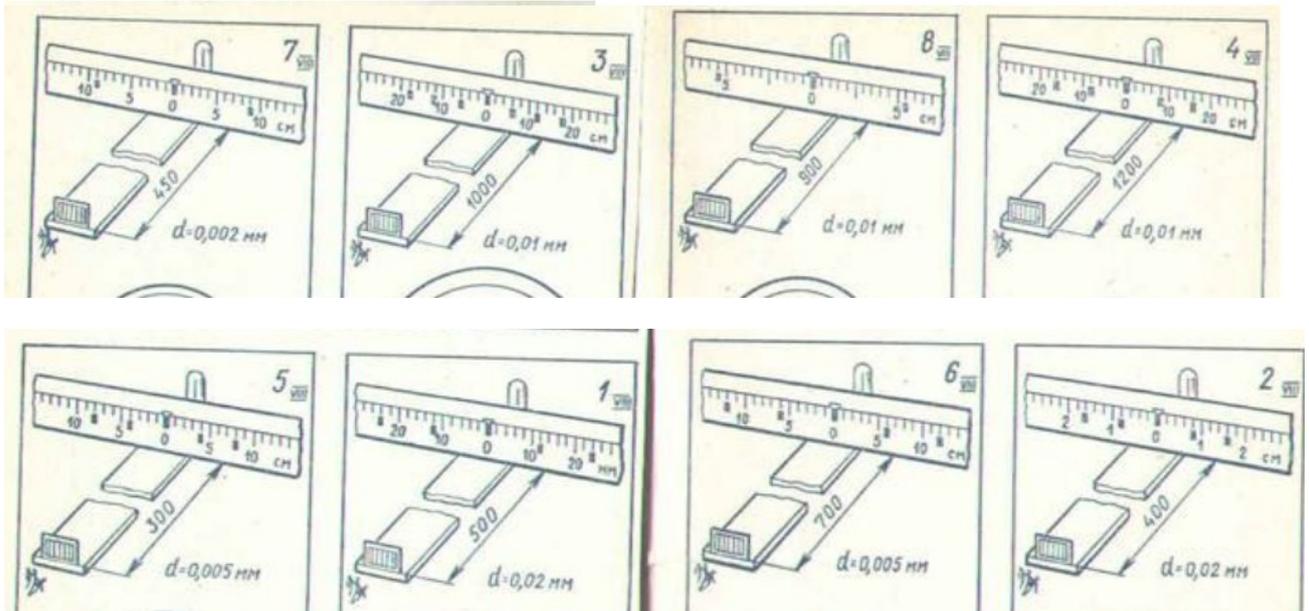
Вследствие малости угла  $\varphi$  синус можно заменить тангенсом. Его определим по отношению расстояния от нулевого до первого максимума к рас-

стоянию от решетки до экрана, на котором глаз видит через решетку этот максимум. Тогда длина волны наблюдаемого монохроматического света:

$$\lambda = \frac{10^{-6} \text{ м} \cdot 55 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{9 \cdot 10^{-1} \text{ м}} = 6,11 \cdot 10^{-7} \text{ м} \approx 610 \text{ нм (нанометров)}.$$

4. Номер темного кольца, видимого в микроскоп — 4.
5. Радиус этого темного кольца — 2,0 мм.
6. Вычисляем радиус кривизны линзы из формулы

$$\lambda = \frac{r^2}{nR}, \quad R = \frac{r^2}{n\lambda}, \quad R = \frac{(2 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4 \cdot 6,11 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1,64 \text{ м} \approx 1,6 \text{ м}.$$



## Контрольные вопросы для вывода

1. Что такое дифракция света?
2. В чем состоит принцип Гюйгенса и принцип Гюйгенса-Френеля?
3. Объясните картину дифракционных максимумов и минимумов.
4. Почему дифракционная решетка может служить дифракционным прибором?
5. Объясните схему экспериментальной установки.
6. Опишите способ определения длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

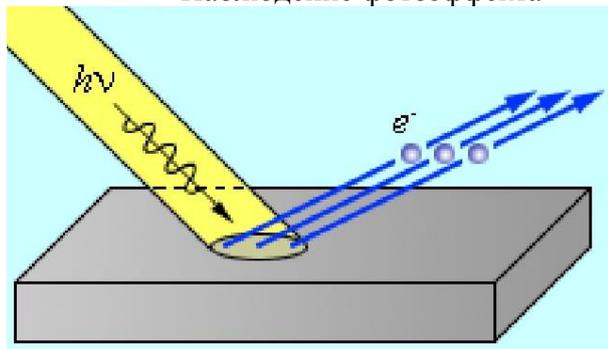
### Практическая работа №34 Тема: Решение задач на фотоэффект

**Цель:** Познакомиться с явлением фотоэффекта и его практическим применением

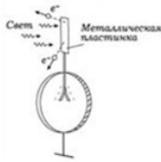
#### Ход работы

##### 1. Теоретическая часть.

##### Наблюдение фотоэффекта



# Фотоэффект



- вырывание электронов из вещества под действием света

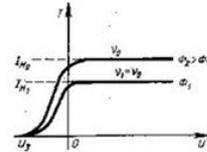
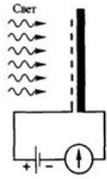
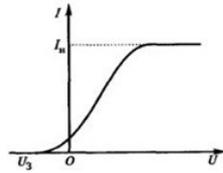
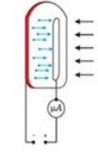
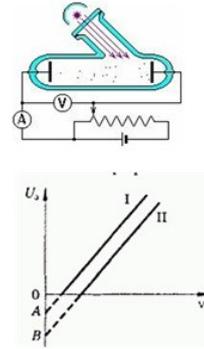
$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_k$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$E_k = \left( \frac{mv^2}{2} \right)_{\text{min}} = eU_3$$

$$A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{min}}$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} - \text{красная граница}$$



## ФОТОЭФФЕКТ

### Анализ результатов

Максимальная скорость электронов  $v_{\text{max}}$ :

$$\frac{m_0 v_{\text{max}}^2}{2} = eU_3 \quad \Rightarrow \quad v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2eU_3}{m_0}}$$

Из классической электродинамики: электрон, взаимодействуя с полем световой (электромагнитной) волны, совершает вынужденные колебания. Амплитуда колебаний может быть достаточной для того, чтобы электрон покинул металл.

Забираемая от волны энергия должна быть пропорциональна интенсивности света и не должна зависеть от частоты волны.

Следовательно, что при  $\omega = \text{const}$  с увеличением светового потока  $\Phi$ , падающего на катод, должна расти максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

## Применение фотоэффекта

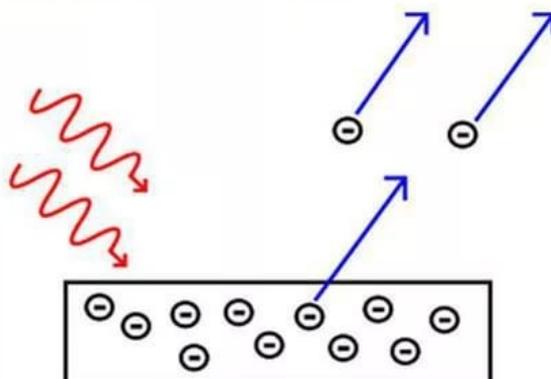
### Внешний фотоэффект Вакуумный фотоэлемент



- Кино: воспроизведение звука
- Фототелеграф.
- Фотометрия: для измерения силы света, яркости, освещенности.
- Управление производственными процессами.

## Внешний фотоэффект

Внешним фотоэффектом (фотоэлектронной эмиссией) называется испускание электронов веществом под действием электромагнитных излучений. Электроны, вылетающие из вещества при внешнем фотоэффекте, называются *фотоэлектронами*, а электрический ток, образуемый ими при упорядоченном движении во внешнем электрическом поле, называется *фототоком*.



## Красная граница фотоэффекта

Предельная минимальная частота  $\nu_{\min}$ , ниже которой фотоэффект невозможен.

$$h\nu_{\min} = A_{\text{ВЫХ}}$$

Максимальная длина световой волны  $\lambda_{\max}$ , при которой еще возможен фотоэффект

$$hc / \lambda = A_{\text{ВЫХ}}$$

**Гипотеза Планка:** процессы излучения и поглощения электромагнитной энергии нагретым телом происходят не непрерывно, а конечными порциями – **квантами**.

**Квант** – это минимальная порция энергии, излучаемой или поглощаемой телом.

- энергия кванта  **$E = h\nu$**   
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с- постоянная Планка  
 $\nu$  - частота кванта

- Импульс кванта  **$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$**

## Гипотеза Планка (1900 г.)

- *Атомы испускают электромагнитную энергию отдельными порциями — **квантами**.*
- *Энергия  $E$  каждой порции прямо пропорциональна частоте излучения:*

$$E = h\nu$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с — постоянная Планка.

## Квант света - фотон

- Масса покоя равна нулю (в покое не существует)
- Скорость фотона в вакууме  $3 \cdot 10^8$  м/с
- Энергия фотона  **$E = h\nu$**
- Импульс фотона  **$p = mc$**
- Заряд фотона = нулю

## Квантовые свойства света проявляются в явлениях:

- 1. фотоэффект
- 2. давление света
- 3. химическое действие

## Фотоэффект

Ф.-это явление вырывания светом электронов из атомов вещества

Внутренний фотоэффект  
в полупроводниках

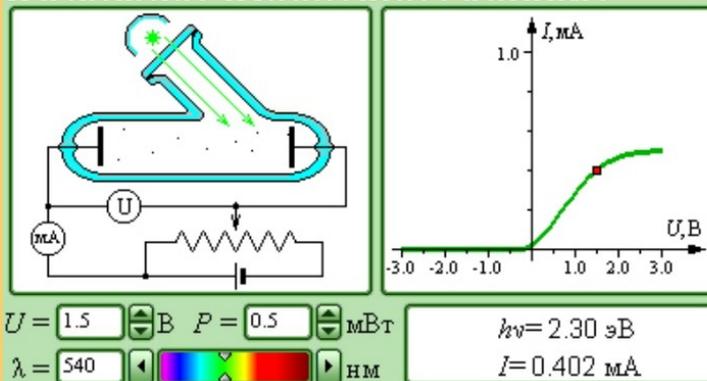
Электроны остаются в веществе

Внешний фотоэффект  
в металлах

Электроны покидают вещество

## Фотоэффект

- Открыл Генрих Герц
- Исследовал Столетов Александр
- Объяснил Эйнштейн Альберт



## 2. Практическая часть.

## VIII СЕРИЯ — ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ И ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

На верхнем рисунке карточек VIII серии изображен прибор, который используется в лабораторных работах средней школы для определения длины волны света с помощью дифракционной решетки, указаны расстояние в миллиметрах от шкалы до дифракционной решетки и ее период  $d$ . На шкале даны положения одного-двух максимумов, видимых глазу при рассматривании через решетку (рис. 15).

На нижнем рисунке изображена картина интерференции при освещении плоско-выпуклой линзы, лежащей на плоской поверхности, монохроматическим светом той длины волны, которую измерили выше.

На этой картине показаны темные кольца и для измерения их диаметра измерительная шкала. Рисунок содержит только часть колец Ньютона. Для расчета радиуса кривизны линзы следует измерять диаметр наибольшего начерченного кольца.

Карточки VIII серии рекомендуется использовать после изучения явлений интерференции и дифракции света.

При ответе на вопросы по верхнему рисунку учащиеся должны вспомнить формулу для главных максимумов от дифракционной решетки.

Для ответа на вопросы по нижнему рисунку учащимся следует дать без вывода формулу, определяющую длину волны по радиусам колец и радиусу кривизны линзы

$$\lambda = \frac{r^2}{nR},$$

где  $r$  — радиус темного кольца;  $n$  — номер кольца;  $R$  — радиус кривизны линзы.

Покажем решение на примере карточки 8

1. Цена деления линейки — 5 мм.

2. Расстояние от 0-го до 1-го максимума — 55 мм.

3. Длину волны в воздухе определяем из формулы

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

для первого максимума

$$\lambda = d \sin \varphi.$$

Вследствие малости угла  $\varphi$  синус можно заменить тангенсом. Его определим по отношению расстояния от нулевого до первого максимума к рас-

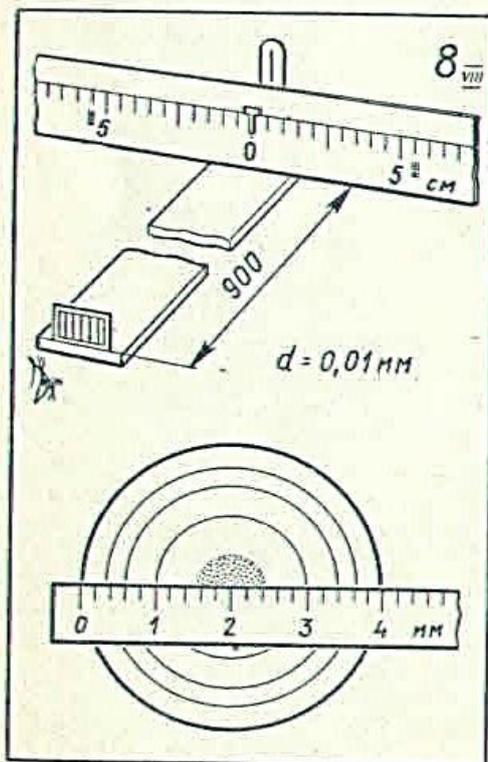


Рис. 15. Образец карточки VIII серии (№ 8).

стоянно от решетки до экрана, на котором глаз видит через решетку этот максимум. Тогда длина волны наблюдаемого монохроматического света:

$$\lambda = \frac{10^{-6} \text{ м} \cdot 55 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{9 \cdot 10^{-1} \text{ м}} = 6,11 \cdot 10^{-7} \text{ м} \approx 610 \text{ нм (нанометров)}.$$

4. Номер темного кольца, видимого в микроскоп — 4.
5. Радиус этого темного кольца — 2,0 мм.
6. Вычисляем радиус кривизны линзы из формулы

$$\lambda = \frac{r^2}{nR}, \quad R = \frac{r^2}{n\lambda}, \quad R = \frac{(2 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4 \cdot 6,11 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1,64 \text{ м} \approx 1,6 \text{ м}.$$

7. Оптическую силу линзы определяем из формулы, связывающей ее фокусное расстояние с радиусами кривизны и показателем преломления стекла, который будем считать равным 1,5.

Для плоско-выпуклой линзы второй радиус кривизны равен бесконечно-сти, поэтому

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \frac{1}{R},$$

$$\frac{1}{F} = (1,5 - 1) \frac{1}{1,6 \text{ м}} \approx 0,31 \text{ дптр (диоптрий)}.$$

8. Расстояние от линзы до изображения предмета находим по формуле линзы, имея в виду, что  $F = 2R$ :

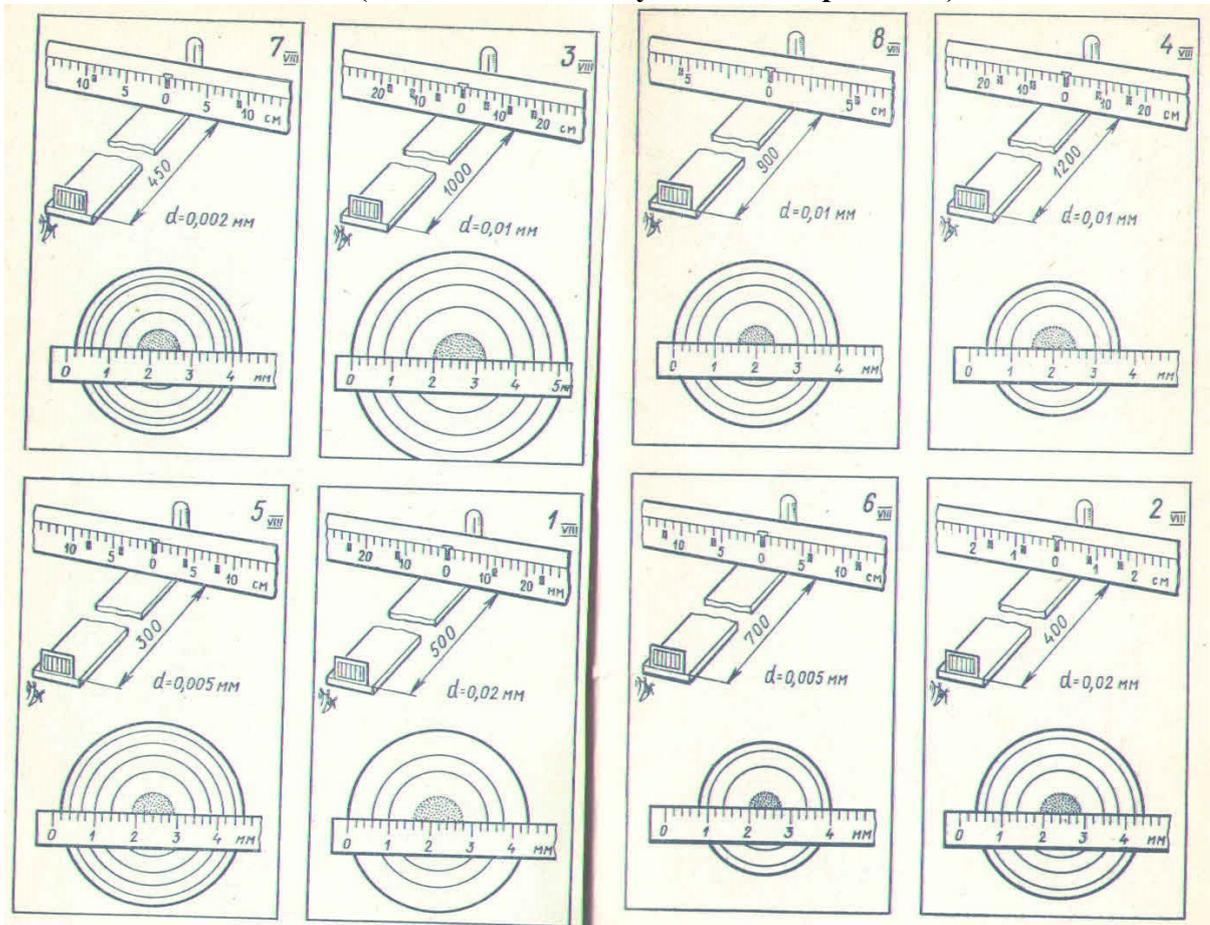
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

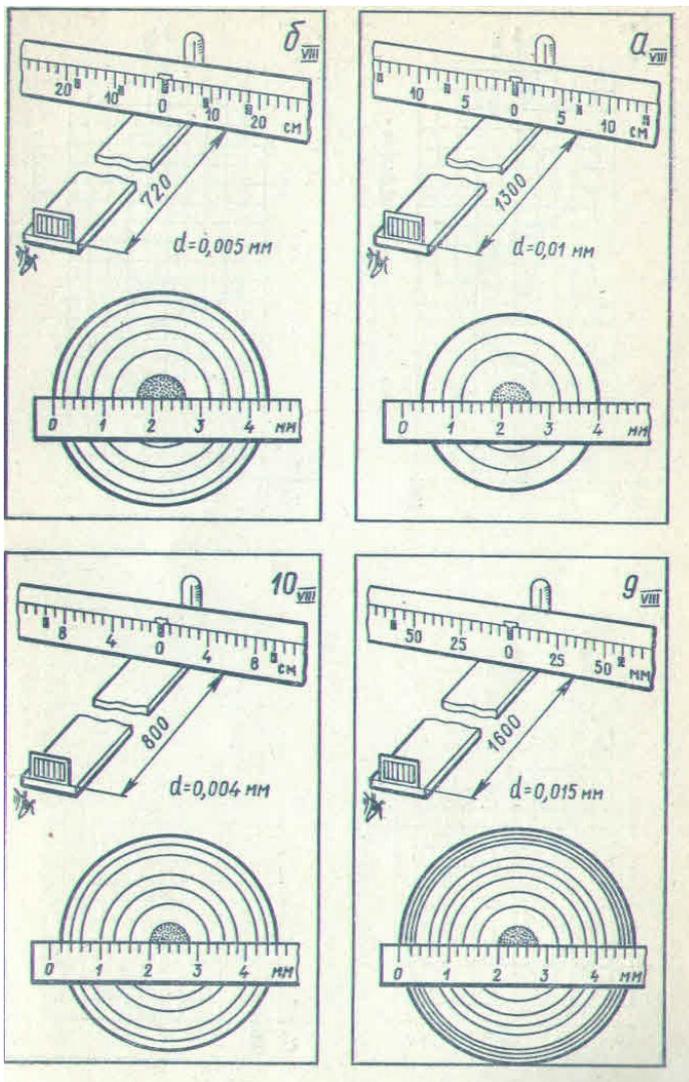
$$f = \frac{Fd}{d - F}, \quad f = \frac{3,28 \text{ м} \cdot 3 \text{ м}}{3 \text{ м} - 3,28 \text{ м}} = -35 \text{ м}.$$

9. Увеличение

$$\Gamma = \frac{f}{d}, \quad \Gamma = \frac{35 \text{ м}}{3 \text{ м}} \approx 12.$$

**Задание (выдается индивидуально по вариантам):**





**Вывод:**

**Ответы.**

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Цена деления, мм	2	2	20	20	10	10	10	5	5	8	10	20
2. Расстояние от 0 до 1-го максимума, мм	12	8	60	80	40	60	90	55	60	96	70	90
3. Длина волны света, нм	480	400	600	670	670	430	400	610	560	480	540	620
4. Номер кольца	3	4	4	3	5	3	5	4	9	6	3	5
5. Радиус кольца, мм	2,2	2,0	2,6	1,6	2,2	1,6	2,0	2,0	2,4	2,2	1,8	2,2
6. Радиус кривизны линзы, м	3,4	2,5	2,8	1,3	1,4	2,0	2,0	1,6	1,1	1,7	2,0	1,6
7. Оптическая сила, дптр	0,15	0,2	0,18	0,39	0,35	0,25	0,25	0,30	0,44	0,30	0,25	0,32
8. Расстояние до изображения, м	-5,4	-7,5	-6,5	17	61	-12	-12	-35	9,5	-28	-12	-93
9. Увеличение	1,8	2,5	2,2	6	20	4	4	12	3,2	9,3	4	31

## Дополнительное задание

### Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна

#### Задание №1

Из какого условия определяется красная граница фотоэффекта?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1)  $\nu = A_{\text{вых}} * h$    2)  $\nu = 2A_{\text{вых}} / h$    3)  $\nu = A_{\text{вых}} / 2h$    4)  $\nu = A_{\text{вых}} / h$

#### Задание №2

Исходя из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта, можно сделать вывод о том, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) линейно убывает при увеличении частоты падающего света  
2) линейно возрастает при увеличении частоты падающего света  
3) не зависит от частоты падающего света  
4) квадратично возрастает при увеличении частоты падающего света

#### Задание №3

Фотоэффектом называется

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) вырывание нейтронов из вещества под действием света.  
2) вырывание электронов из вещества под действием нагревания  
3) вырывание электронов из вещества под действием света.  
4) вырывание протонов из вещества под действием света.

#### Задание №4

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1)  $h\nu = A_{\text{вых}} + mv^2/2$    2)  $h\nu = A_{\text{вых}} + mv/2$    3)  $h\nu = A_{\text{вых}} + mv^2$    4)  $h\nu = A_{\text{вых}} - mv^2/2$

#### Задание №5

Энергия фотона выражается формулой

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1)  $E = \nu / h$    2)  $E = h/\nu$    3)  $E = h\nu$    4)  $E = 2h\nu$

#### Задание №6

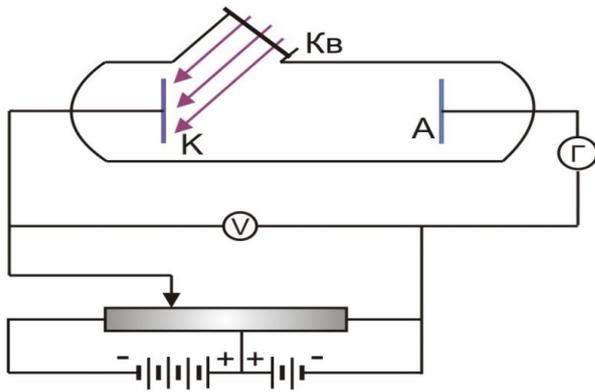
Кто из ученых установил три закона фотоэффекта?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Г. Герц   2) А. Попов   3) А. Столетов   4) П. Капица

#### Задание №7

На рисунке изображена схема установки для исследования явления фотоэффекта. Какой газ находится в баллоне?



Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) вакуум (был откачен воздух)
- 2) кислород
- 3) водород
- 4) гелий

### Задание №8

Из каких предположений удалось объяснить явление фотоэффекта?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Свет обладает волновыми свойствами
- 2) Свет обладает энергией
- 3) Фотоэффект до сих пор никто не объяснил
- 4) Свет обладает свойствами частиц

### Задание №9

Согласно одному из законов фотоэффекта: количество электронов, вырываемых светом ежесекундно с поверхности металла

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) не зависит от поглощенной энергии света
- 2) свет с поверхности металла электронов не вырывает
- 3) пропорционально поглощенной энергии света
- 4) обратно пропорционально поглощенной энергии света

### Задание №10

Согласно одному из законов фотоэффекта: фотоэффект не происходит, если

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) фотоэффект происходит всегда и не зависит от частоты падающего света
- 2) частота падающего света меньше красной границы фотоэффекта
- 3) частота падающего света больше красной границы фотоэффекта
- 4) такого утверждения среди законов фотоэффекта нет

### **Ответы:**

- 1) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 4) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 5) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 7) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 8) (1 б.) Верные ответы: 4;

9) (1 б.) Верные ответы: 3;

10) (1 б.) Верные ответы: 2.

Таблица IX

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Показания микрометра, мм	3,0	4,9	1,9	4,4	3,7	5,14	4,3	2,5	2,88	4,18	3,5	2,66
2. Длина волны, нм	480	690	413	613	540	730	390	448	471	588	520	452
3. Частота, $10^{14}$ гц	6,25	4,35	7,26	4,89	5,56	4,11	5,08	6,70	6,37	5,10	5,78	6,63
4. Энергия фотона, $10^{-20}$ Дж	41	29	48	32	37	27	34	44	42	34	38	43
5. Масса фотона, $10^{-36}$ кг	4,6	3,2	5,3	3,6	4,1	3,0	3,7	4,9	4,6	3,7	4,3	4,8
6. Импульс фотона, $10^{-28}$ кг·м/сек	14	9,6	16	11	12	9,1	11	15	14	11	13	14
7. Энергия фотона, эв	2,6	1,8	3,0	2,0	2,3	1,7	2,1	2,8	2,6	2,1	2,4	2,7
8. Энергия фотоэлектронов, эв	1,2	0,4	1,6	0,63	0,9	0,3	0,7	1,4	1,2	0,7	1,0	1,3
9. Скорость фотоэлектронов, $10^6$ м/сек	0,64	0,37	0,75	0,47	0,56	0,32	0,50	0,70	0,65	0,50	0,59	0,68
10. Число фотоэлектронов в 1 сек, $10^{12}$	17	52	13	33	23	69	29	15	17	29	21	16
11. Сила тока насыщения, мка	2,8	8,2	2,1	5,3	3,7	11	4,6	2,4	2,7	4,7	3,3	2,6

### Практическая работа №36

Тема: Решение задач по теме «Квантовые постулаты Бора. Энергия связи

**Цель:** Рассчитать энергию связи нуклонов в ядре. Радиус орбиты электрона.

#### Ход работы

1. Теоретическая часть.

**Квантовые постулаты Бора.**

**Модель атома водорода по Бору**

«Не бойтесь быть независимыми мыслителями!» Джозеф Томсон



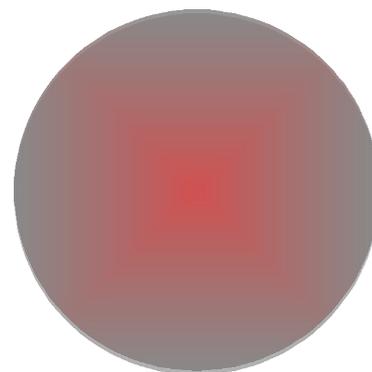
Атомное ядро:  
**Атомное ядро** — тело малых размеров, в котором сконцентрированы почти вся масса и весь положительный заряд атома.

**Диаметр ядра:**  $10^{-14} - 10^{-15}$  м.

**Диаметр атома:**  $10^{-10}$  м.

В случае с атомом, расчеты, основанные на классической механике Ньютона говорят о том, что атомы очень неустойчивы поэтому

**к явлениям, происходящим внутри атомов, необходимо применять квантовую механику.**



**Новая теория Нильса Бора:**

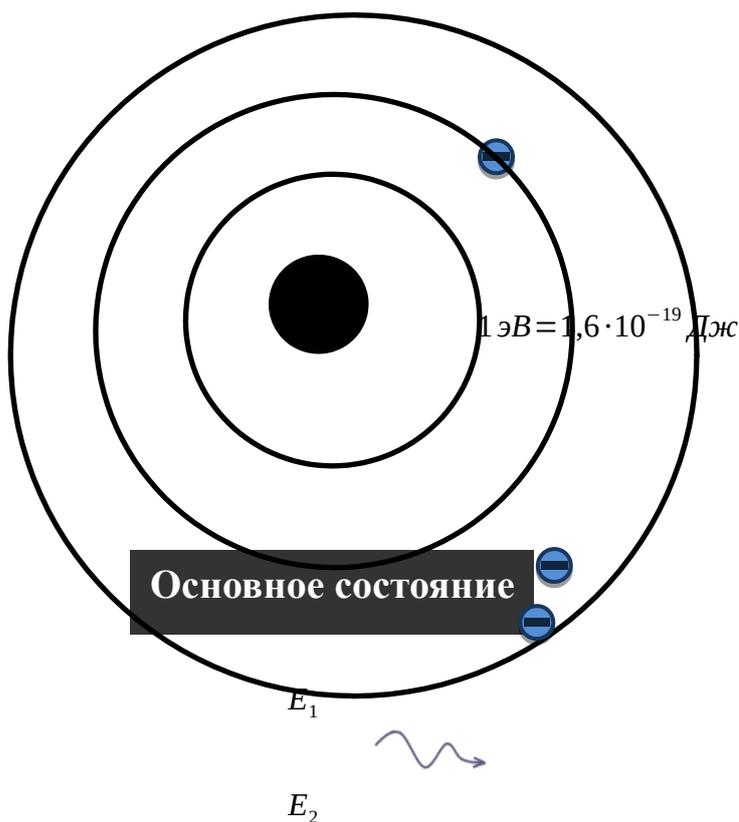
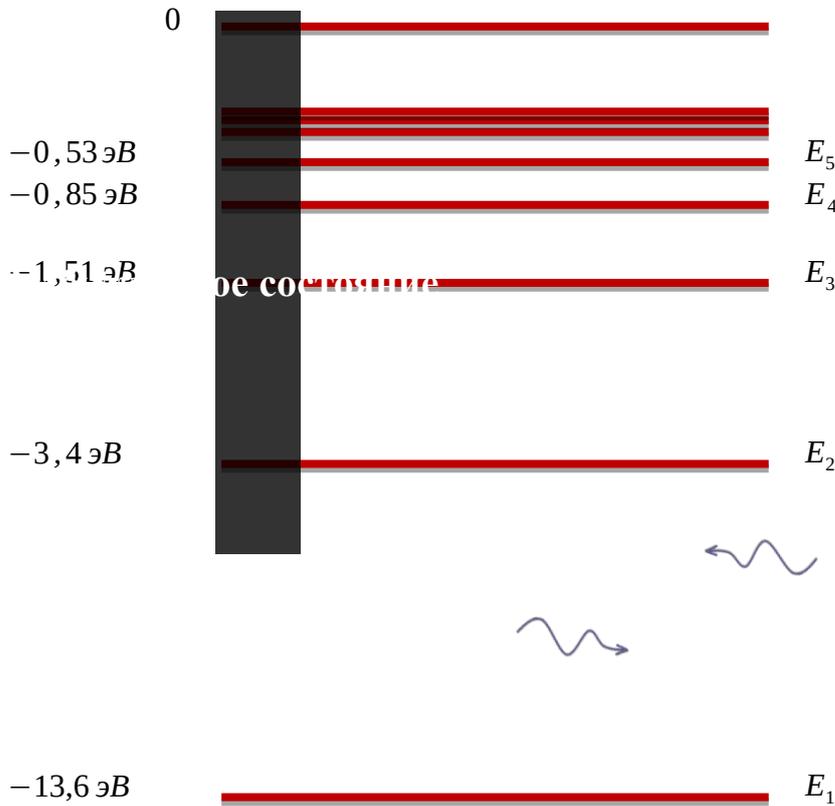
### Первый постулат Бора

Существуют особые, стационарные состояния атома, находясь в которых, атом не излучает энергию, при этом, электроны в атоме движутся с ускорением.

### Второй постулат Бора

Излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией. Энергия излученного фотона

равна разности энергий стационарных состояний:  $\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}$ ;  $h \nu_{kn} = E_k - E_n$ .



### Третий постулат Бора

Стационарные электронные орбиты можно найти из следующего условия:

$$m_e v_n l_n = n \hbar$$

$$2\pi m_e v_n R_n = n \hbar$$

$$m_e v_n R_n = n \hbar$$

$\hbar$  — квантовая постоянная Планка,

$v_n$  — скорость электрона на данной орбите,

$R_n$  — радиус данной орбиты,

$n$  — номер орбиты.

### Правило квантования орбит

$$m_e v_n R_n = n \hbar$$

Из классической физики:

$$F_y = k \frac{Ze \cdot e}{R_n^2}$$

$$F_y = m a_y \quad k \frac{Ze^2}{R_n^2} = m \frac{v_n^2}{R_n} \quad kZe^2 = m v_n^2 R_n$$

Расчет радиуса орбиты электрона теория Бора

$$\begin{cases} m_e v_n R_n = n \hbar \\ m_e v_n^2 R_n = kZe^2 \end{cases} \quad v_n = \frac{Z}{n} \cdot \frac{ke^2}{\hbar} \quad R_n = \frac{n^2}{Z} \cdot \frac{\hbar^2}{m_e ke^2}, \text{ где}$$

$Z$  — зарядовое число,  $n$  — главное квантовое число.

Для водорода:

$$v_1 = \frac{ke^2}{\hbar} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с} \quad R_1 = \frac{\hbar^2}{m_e ke^2} = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Энергия электрона в атоме водорода

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{k^2 m_e e^4}{2 \hbar^2}, \text{ где } E_n = \frac{m_e v_n^2}{2}, \quad v_n = \frac{Z}{n} \cdot \frac{ke^2}{\hbar},$$

$$E_n = \frac{m_e}{2} \cdot \left( \frac{Z}{n} \cdot \frac{ke^2}{\hbar} \right)^2 = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{k^2 m_e e^4}{2 \hbar^2}$$

## 2. Практическая работа

**Задание.** Прочитайте внимательно условие задачи и решите ее, пользуясь подсказками. Полученный ответ сравните с эталоном.

**Задача 1.** Определите частоту волны света, испускаемого атомом водорода при его переходе с пятого энергетического уровня на третий энергетический уровень.

Для решения воспользуемся вторым постулатом Бора и формулой энергии электрона на  $n$ -ом уровне.

Ответ:

$$v_{53} = - \frac{(9 \cdot 10^9)^2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4}{2(1,05 \cdot 10^{-34})^2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}} \cdot \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 2,35 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

**Задача 2. Найдите силу тока, который вызывает электрон, двигаясь в атоме водорода, находящемся в основном состоянии.**

Для решения задачи:

2.1. Напиши формулу силы тока по определению \_\_\_\_\_;

2.2. Нужно учесть, что заряд  $q$  является зарядом электрона  $q=e$ ;

2.3. Период обращения электрона по круговой орбите:  $T = \frac{2\pi R_1}{v_1}$  ;

Ответ:

$$I = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,2 \cdot 10^6}{2\pi \cdot 0,53 \cdot 10^{-10}} = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 1,06 \text{ мА}$$

Проверь себя.

**Строение атома. Энергия связи атомных ядер**

### Задание 1

Определить число протонов и нейтронов, входящих в состав изотопа бора  $B-9$ .

Запишите число:

Число нейтронов \_\_\_\_\_

Число протонов \_\_\_\_\_

### Задание 2

Определить массу нейтрального атома хрома  $Cr - 52$ .

Выберите один из 4 вариантов ответа:

1)  $13,6 \cdot 10^{-24}$  кг

2)  $8,7 \cdot 10^{-26}$  а. е. м

3)  $2,87 \cdot 10^{-23}$  кг

4)  $8,7 \cdot 10^{-26}$  кг

### Задание 3

Ядро урана  ${}_{92}^{235}U$  испытывает радиоактивные превращения и после семи  $\alpha$ - и четырех  $\beta$ -распадов превращается в ядро стабильного изотопа свинца. В этом изотопе свинца содержится нейтронов:

Запишите число:

\_\_\_\_\_

### Задание 4

Определить какую долю кинетической энергии теряет нейтрон при упругом столкновении с покоящимся ядром углерода  $C - 12$ , если после столкновения частицы движутся вдоль одной прямой. Массу нейтрального атома углерода принять равной  $19,9272 \cdot 10^{-27}$  кг.

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) 0,32
- 2) 0,288
- 3) 1
- 4) 0,85

### Задание 5

Определить энергию связи ядра атома  $He - 4$ . Масса нейтрального атома гелия равна  $6,6453 \cdot 10^{-27}$  кг. (Ответ округлить до десятых)

*Запишите число:*

Энергия связи, МэВ \_\_\_\_\_

### Задание 6

Определить, что больше - масса атомного ядра или масса свободных нуклонов, входящих в его состав.

*Выберите один из 3 вариантов ответа:*

- 1) масса свободных нуклонов
- 2) масса атомного ядра
- 3) их массы одинаковы

### Задание 7

Определить массу изотопа  $N - 15$ , если изменение массы при образовании ядра составляет  $0,2508 \cdot 10^{-27}$  кг.

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1)  $7,06 \cdot 10^{-25}$  кг
- 2)  $2,48 \cdot 10^{-26}$  кг
- 3) 4,3 а.е.м.
- 4) 2,8 а.е.м

### Задание 8

При отрыве нейтрона от ядра гелия  $He - 4$  образуется ядро  $He - 3$ . Определите энергию связи, которую необходимо на это затратить. Массы нейтральных атомов соответственно равны  $6,6467 \cdot 10^{-27}$  кг и  $5,0084 \cdot 10^{-27}$  кг. (Ответ округлить до целого числа)

*Запишите число:*

Энергия связи, МэВ \_\_\_\_\_

### Задание 9

Определить плотность ядерного вещества, выражаемую числом нуклонов в  $1 \text{ см}^3$ , если в ядре с массовым числом  $A$  все нуклоны плотно упакованы в пределах его радиуса.

*Выберите один из 4 вариантов ответа:*

- 1)  $8,7 \cdot 10^{37}$
- 2)  $2,56 \cdot 10^{-26}$
- 3)  $5,97 \cdot 10^{-15}$
- 4)  $13,9 \cdot 10^{26}$

### Задание 10

Энергия связи ядра, состоящего из трех протонов и четырех нейтронов, равна 39,3 МэВ. Определите массу нейтрального атома, обладающего этим ядром.

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1)  $2,0035 \cdot 10^{-26}$  кг
- 2)  $1,12 \cdot 10^{-26}$  кг
- 3)  $1,75 \cdot 10^{-26}$  кг
- 4)  $1,165 \cdot 10^{-26}$  кг

Вывод:

#### **Критерии оценки:**

##### **Оценка «5» ставится:**

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

##### **Оценка «3» ставится:**

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

##### **Оценка «2» ставится:**

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктах указанных выше.

#### **Ответы к тесту:**

- 1) (1 б.): Верный ответ: 4.; Верный ответ: 5.;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 3) (1 б.): Верный ответ: 125.;
- 4) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 5) (1 б.): Верный ответ: 28,4.;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 7) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 8) (1 б.): Верный ответ: 21.;
- 9) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 10) (1 б.) Верные ответы: 4.

#### **Практическая работа №37**

**Тема: Способы наблюдения и регистрации заряженных частиц**

**Цель:** Изучить способы наблюдения и регистрации заряженных частиц

## Ход работы.

### 1. Теоретическая часть

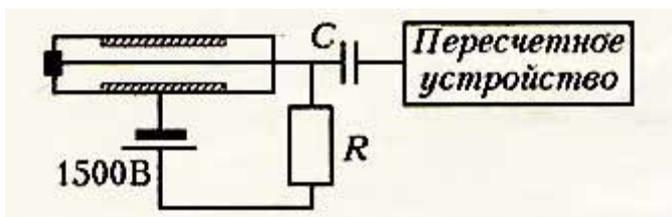
#### МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

##### Счетчик Гейгера

- служит для подсчета количества радиоактивных частиц (в основном электронов).

Это стеклянная трубка, заполненная газом (аргоном), с двумя электродами внутри (катод и анод).

При пролете частицы возникает ударная ионизация газа и возникает импульс электрического тока.



Достоинства:

- компактность
- эффективность
- быстродействие
- высокая точность (10000 частиц/с).

Где используется:

- регистрация радиоактивных загрязнений на местности, в помещениях, одежды, продуктов и т.д.

- на объектах хранения радиоактивных материалов или с работающими ядерными реакторами

- при поиске залежей радиоактивной руды (U, Th)

##### Камера Вильсона

- служит для наблюдения и фотографирования следов от пролета частиц (треков).

Внутренний объем камеры заполнен парами спирта или воды в перенасыщенном состоянии:

при опускании поршня уменьшается давление внутри камеры и понижается температура, в результате адиабатного процесса образуется перенасыщенный пар.

По следу пролета частицы конденсируются капельки влаги и образуется трек – видимый след.

При помещении камеры в магнитное поле по треку можно определить энергию, скорость, массу и заряд частицы.



По длине и толщине трека, по его искривлению в магнитном поле определяют характеристики пролетевшей радиоактивной частицы. Например, альфа-частица дает сплошной толстый трек, протон - тонкий трек, электрон - пунктирный трек.

Пузырьковая камера

- вариант камеры Вильсона



При резком понижении поршня жидкость, находящаяся под высоким давлением, переходит в перегретое состояние. При быстром движении частицы по следу образуются пузырьки пара, т.е. жидкость закипает, виден трек.

Преимущества перед камерой Вильсона:

- большая плотность среды, следовательно короткие треки
- частицы застревают в камере и можно проводить дальнейшее наблюдение частиц
- большее быстроедействие.

Метод толстослойных фотоэмульсий

- служит для регистрации частиц
- позволяет регистрировать редкие явления из-за большого времени экспозиции.

Фотоэмульсия содержит большое количество микрокристаллов бромида серебра.

Влетающие частицы ионизируют поверхность фотоэмульсий. Кристаллики  $AgBr$  распадаются под действием заряженных частиц и при проявлении выявляется след от пролета частицы - трек.

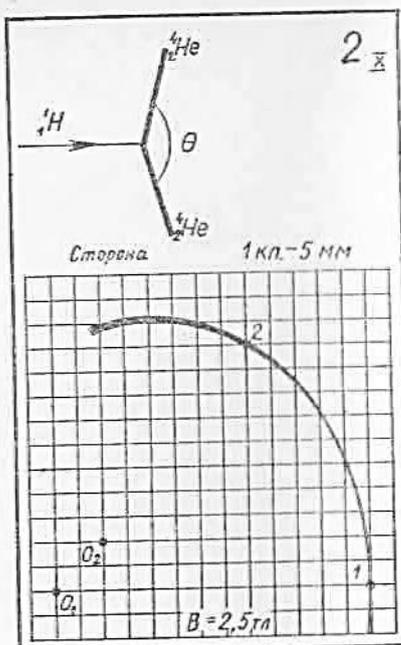
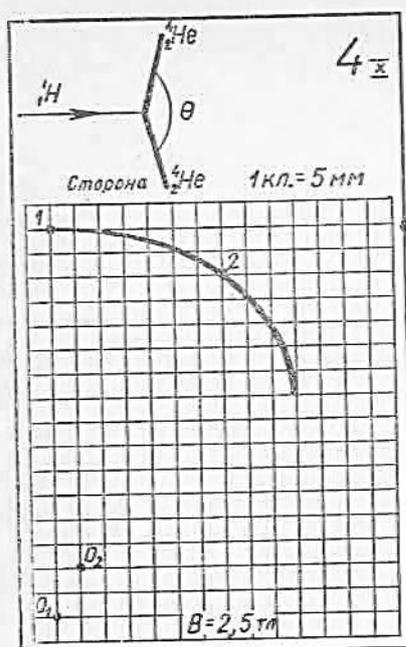
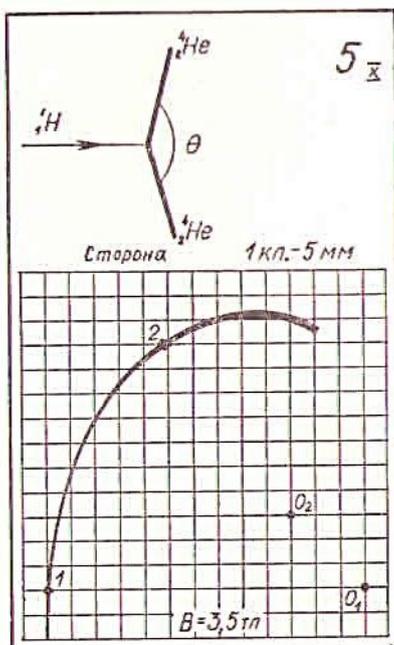
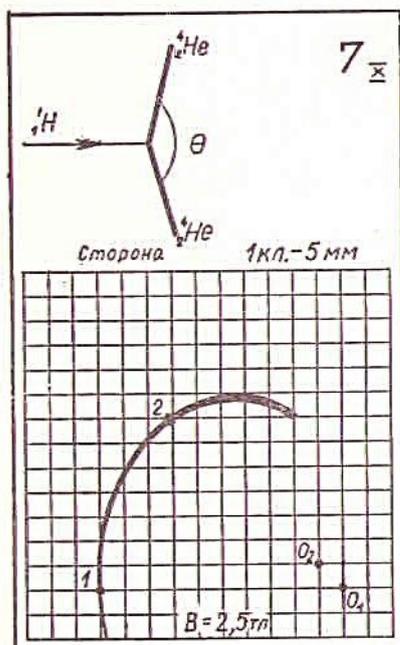
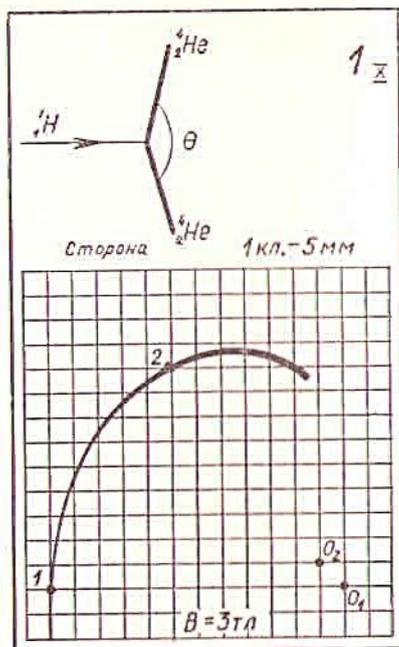
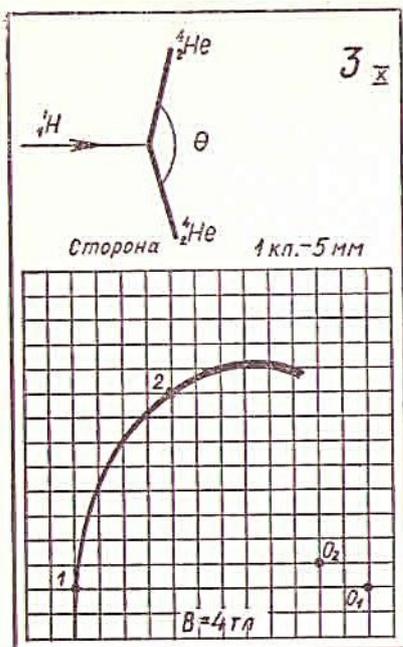
По длине и толщине трека можно определить энергию и массу частиц.

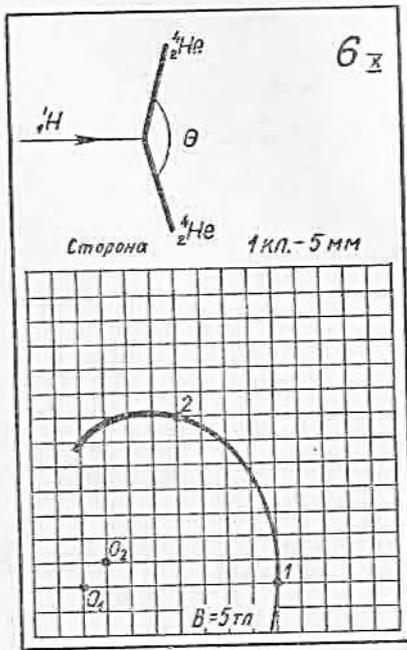
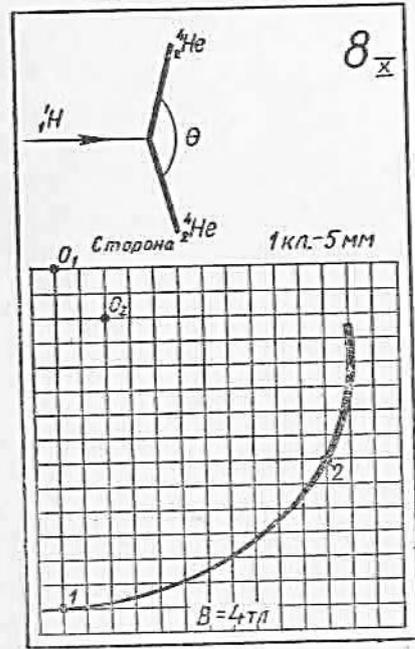
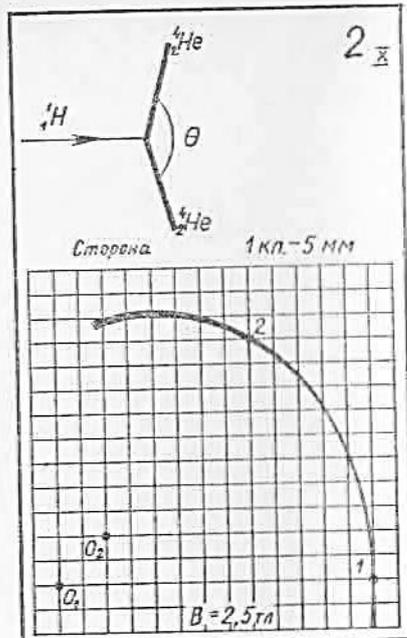
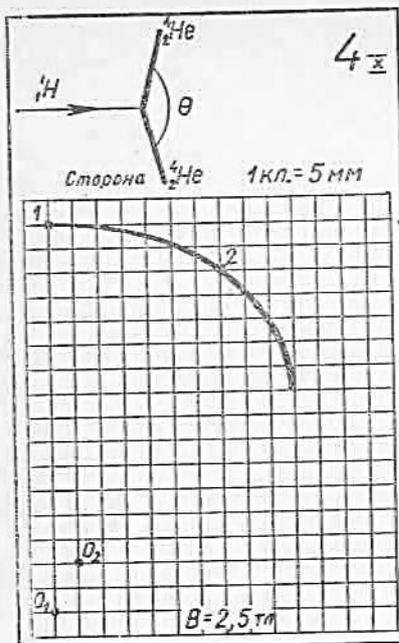
## 2. Практическая часть. Прочитайте внимательно задание и заполните таблицу.

Задание (выдается по вариантам индивидуально):

**Вопросы к карточкам**  
**Треки в камере Вильсона**

1. Определите, используя клетчатую сетку, из центра  $O_1$  радиус кривизны траектории протона в точке 1.
2. Определите из центра  $O_2$  радиус кривизны траектории протона в точке 2.
3. Какую скорость имеет протон в точке 1?
4. Какую скорость имеет протон в точке 2? (Величина магнитной индукции указана в карточке, а вектор направлен перпендикулярно плоскости, в которой лежит траектория движения протонов.) Объясните причину изменения скорости протона.
5. Вычислите импульс протона в точке 1.
6. Вычислите импульс протона в точке 2.
7. Какой кинетической энергией обладает протон в точке 1?
8. Какой кинетической энергией обладает протон в точке 2?
9. Рассчитайте кинетическую энергию каждой альфа-частицы после реакции взаимодействия протона с атомом лития.
10. Каков модуль импульса каждой альфа-частицы после реакции?
11. Вычислите угол, под которым разлетаются альфа-частицы.





## Заполнить таблицу.

Название устройства	Схематическое изображение	Физические принципы действия	Результат
Счетчик Гейгера			
Камера Вильсона			
Пузырьковая камера			
Метод толстослойных фотоэмульсий			
Сцинтилляционный метод			

### Критерии оценки:

#### Оценка «5» ставится:

- при выполнении расчетной части работы в соответствии с исходными данными и без ошибок;
- при правильном выполнении контрольных заданий;
- при наличии вывода в котором присутствует ответ на поставленную цель в данной работе и указаны полученные результаты; должны быть обозначены основные закономерности (если они исследовались); перечислены используемые формулы или правила.

**Оценка «4» ставится:** при неполном выполнении контрольных заданий или неполном, но в целом верном выводе.

#### Оценка «3» ставится:

- при неточных расчетах;
- при формальном выводе без указания изучаемых закономерностей, правил и полученных значений искомой величины;
- при отсутствии контрольных заданий, при полностью отвечающей требованиям работе;
- при отсутствии вывода.

#### Оценка «2» ставится:

- при невыполнении вывода и отсутствии части расчетов;
- при отсутствии расчетной части;
- при небрежном оформлении и отсутствии схем, графиков и части расчетов;
- при невыполненных нескольких пунктов указанных выше.

### ОТВЕТЫ:

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Радиус в точке 1, см	6,0	6,5	6,0	8,0	6,5	4,0	5,0	7,0	6,5	6,0	6,0	5,0
2. Радиус в точке 2, см	5,0	5,0	4,6	6,7	4,3	3,4	4,2	5,4	5,3	4,5	5,0	3,9
3. Скорость в точке 1, $10^7$ м/сек	1,7	1,6	2,3	1,9	2,2	1,9	1,2	2,7	1,8	1,9	1,2	1,9
4. Скорость в точке 2, $10^7$ м/сек	1,5	1,2	1,8	1,6	1,5	1,6	1,0	2,1	1,4	1,4	0,96	1,5
5. Импульс протона в точке 1, $10^{-20}$ кг·м/сек	2,9	2,6	3,8	3,2	3,6	3,2	2,0	4,5	2,9	3,1	1,9	3,2
6. Импульс протона в точке 2, $10^{-20}$ кг·м/сек	2,4	2,0	2,9	2,7	2,4	2,7	1,7	3,5	2,4	2,3	1,6	2,5
7. Кинетическая энергия протона в точке 1, Мэв	1,6	1,3	2,8	1,9	2,5	1,9	0,74	3,8	1,6	1,8	0,70	1,9
8. Кинетическая энергия протона в точке 2, Мэв	1,0	0,74	1,6	1,4	1,1	1,3	0,54	2,2	1,1	0,99	0,48	1,2
9. Кинетическая энергия каждой альфа-частицы, Мэв	9,0	8,9	9,3	9,2	9,1	9,2	8,8	9,6	9,0	9,0	8,7	9,1
10. Импульс каждой альфа-частицы для всех карточек приблизительно равен $14 \cdot 10^{-20}$ кг·м/сек.												
11. Угол между направлениями разлетающихся альфа-частиц для всех карточек приблизительно равен $170^\circ$ .												

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №38

ТЕМА: Определение горизонтальных и экваториальных координат небесных тел

ЦЕЛЬ: 1. Освоить ориентирование на местности по горизонтальным координатам небесных тел ;

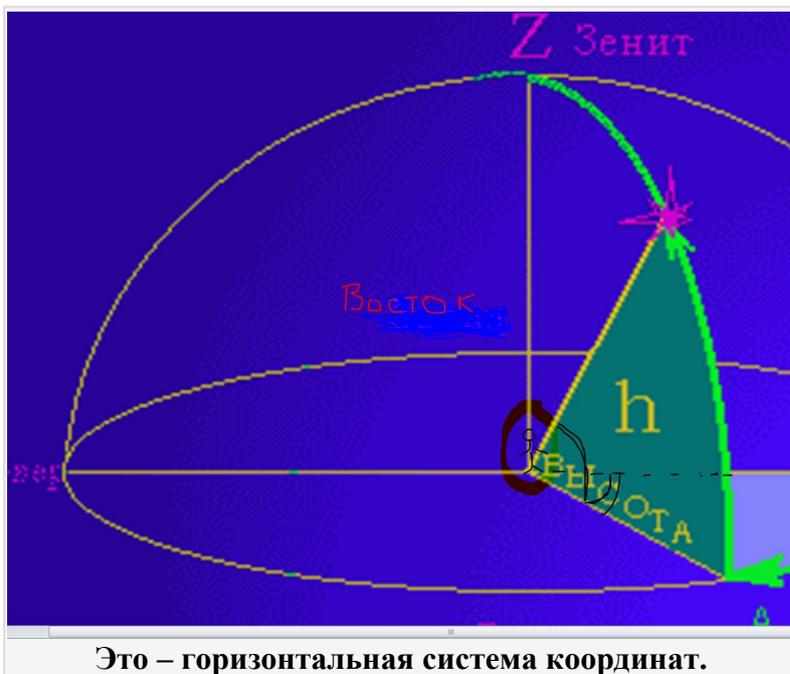
2. Освоить систему экваториальных координат

Время работы: 2 часа

### ХОД РАБОТЫ

#### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Что можно сказать об объекте на небе (Солнце, например)? Можно сказать, что солнце восходит на востоке и заходит на западе. То есть можно определить в какую сторону горизонта нужно посмотреть, чтобы увидеть его.



Направление на объект задают в виде угла, на который нужно повернуться от Юга по часовой стрелке (направо), величина этого угла называется **азимутом** и обозначается “**A**”. Например, азимут Юга равен  $0^\circ$ , азимут Запада равен  $90^\circ$ , азимут Севера –  $180^\circ$ , Востока –  $270^\circ$ . Из опыта догадываемся, что нужно еще одну координату. Светило может быть над самым горизонтом повыше и, наконец, так высоко, что приходится задирать голову и наблюдать становится очень неудобно. Эти варианты математически определяются **высотой** “**h**” углом между плоскостью горизонта и направлением на светило. Например, если светило “касается” горизонта, то его высота  $0^\circ$ , если же светило находится прямо над нами, то его высота –  $90^\circ$ . Точка, которая у нас над головой, называется **зенит** и обозначается “**Z**”.

**Таким образом, чтобы, зная азимут и высоту, определить местонахождение светила на небе, нужно:**

1. **встать лицом к югу**
2. **повернуться на угол A (азимут) по часовой стрелке (направо).**
3. **поднять свой взор на угол h (высота) и мы увидим, то что хотели.**

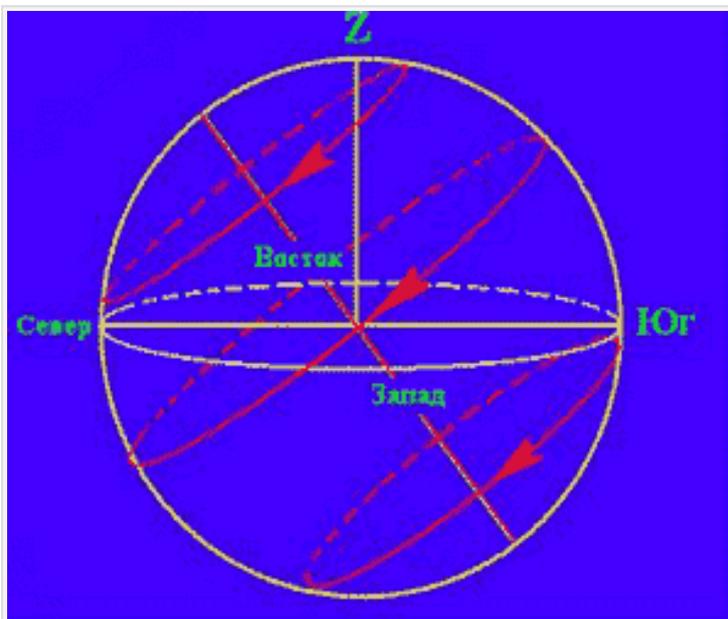
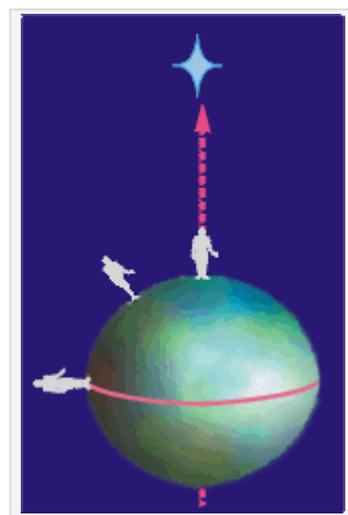
Теперь можно в числах выразить местонахождение небесного объекта, но давайте посмотрим, что происходит на небе. Как мы говорили ранее, небесная сфера вращается, то есть горизонтальные координаты звезд постоянно меняются, они то восходят над горизонтом на востоке, то очертив дугу, заходят на западе. Другие звезды не восходят и не заходят, а вращаются вокруг точки, которая называется полюсом мира, это единственная неподвижная точка небесной сферы, а значит ее горизонтальные координаты не меняются и их можно зафиксировать. Давайте попробуем применить наши знания горизонтальной (от слова «горизонт») системы координат на практике, определим координаты полюса в котором по счастливой случайности оказалась полярная звезда. Во-первых, мы знаем, что эта звезда находится на севере, азимут которого равен  $180^\circ$  (он противоположен югу, от которого ведется отсчет азимута). С высотой посложнее, но немного повоображаем. Полярная звезда находится прямо над северным полюсом, и находясь там ее видно прямо над головой (в зените), а значит она имеет максимально возможную высоту  $90^\circ$ . Если мы немного передвинемся поближе к экватору, то полярная звезда будет видна чуть пониже (высота ее будет меньше  $90^\circ$ ). Чем ближе мы будем двигаться к экватору (географическая

широта будет уменьшаться), тем ниже над горизонтом будет видна и полярная звезда. Находясь на экваторе, полярная звезда видна прямо на линии горизонта, то есть имеет высоту  $0^\circ$ .

**Но географическая широта экватора тоже  $0^\circ$ . Это не простое совпадение, это закономерность.**

**Высота полюса равна широте местности с которой ведется наблюдение.**

Казалось бы, зная горизонтальную систему координат можно немного, определить координаты полюса мира, но по ним можно узнать, во-первых, где север, во-вторых, определив высоту, узнаем широту местности, где мы находимся, а это уже немало. Все же проблема осталась, горизонтальная система удобна для наблюдения небесных объектов, но неудобна для анализа того, что происходит на небе. Важны изменения в картине неба.



Звезды движутся вместе с небесной сферой, но взаиморасположение их не меняется. Созвездия неизменны вот уже многие столетия. Нужна такая система координат, которая бы определяла место каждой звезды на небесной сфере, своеобразный адрес, по которому можно было бы безошибочно найти звезду, да и любое другое небесное тело. Подобно тому, как на глобусе отмечены все земные объекты, нужно отметить небесные объекты на небесном глобусе. Ось этого глобуса проходит через полюсы мира, северный и южный (обозначаются P). Вокруг этой оси все и вращается. Есть у этого

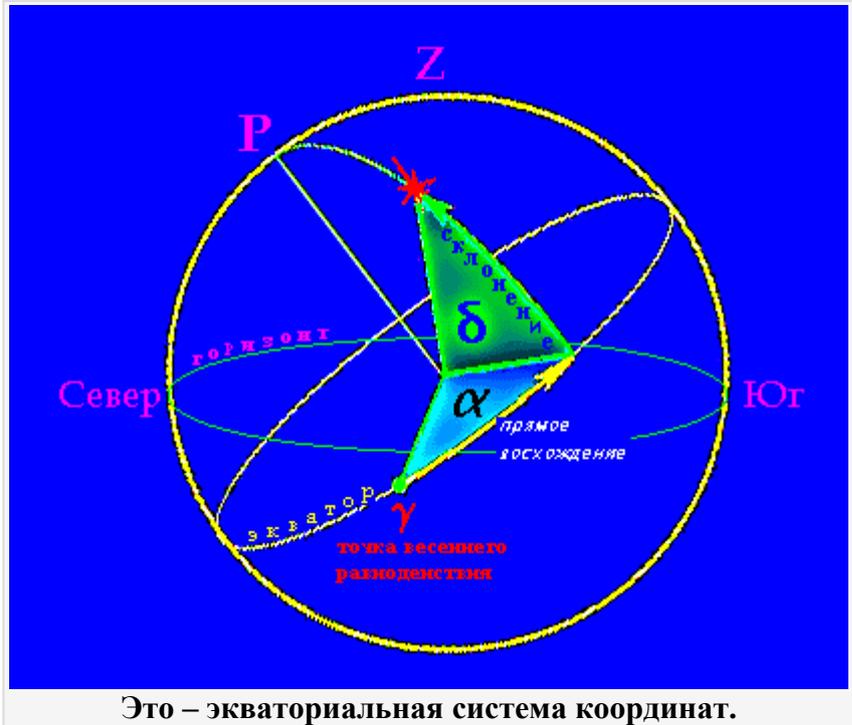
глобуса экватор (небесный, конечно), который проходит там же где и земной, но не под ногами на земле, а над головой на небе. Вообще, земной шар находится внутри небесного глобуса, и система координат, которой пользуются астрономы, похожа на систему географических координат.

Есть у звезд своя широта и долгота, только немного по-другому определяются. Аналогом широты на земле является **склонение**  $\delta$  на небе, которое равно  $0^\circ$  на небесном экваторе и  $90^\circ$  в полюсе мира. Если объект находится ближе к северному полюсу мира от небесного экватора, то склонение положительно, если же объект от экватора ближе к южному полюсу мира, то склонение приобретает минус (отрицательно), то есть склонение меняется от  $-90^\circ$  до  $90^\circ$ .

$$-90^\circ < \delta < 90^\circ$$

Другая координата отсчитывается от точки на небесном

эквадоре, которая называется **точкой весеннего равноденствия** (что это за точка и почему так называется мы поговорим позднее, пока это какая-то точка намертво закрепленная на небесном экваторе). Эта координата называется **прямое восхождение  $\alpha$**  и отсчитывается по экватору против часовой стрелки, она меняется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ,  
 $0^\circ < \alpha < 360^\circ$



Это – экваториальная система координат.

но эту величину принято измерять в часах, минутах и секундах. Если представить себе экватор часовым циферблатом, то время покажет прямое восхождение объекта, находящегося на часовой стрелке (смотреть нужно со стороны южного полюса мира).  $90^\circ = 3^h$  ( $3^h$ ),  $180^\circ = 6^h$  ( $6^h$ ),  $270^\circ = 9^h$  ( $9^h$ ),  $0^\circ = 12^h$  ( $12^h$ ).

Такая система координат называется **экваториальной**. Подобно тому, как в основании горизонтальной системы лежит горизонт, в основании экваториальной системы лежит небесный экватор.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

По карте звездного неба найдите экваториальные координаты или название звезды.

Название звезды	$\alpha$ -Лебедя	$\alpha$ -Ориона	$\alpha$ -Волопаса	$\alpha$ -Льва	?	?
Прямое восхождение, $\alpha$	<b>20ч 40мин</b>	<b>5ч 50мин</b>	?	?	<b>16ч 25мин</b>	<b>18ч 35мин</b>
Склонение, $\delta$	<b>+45°</b>	?	<b>+20</b>	?	<b>-26°</b>	<b>+35°</b>



- С1. Азимут Севера –  $180^\circ$
- С2. Азимут Севера –  $90^\circ$
- С3. Азимут Севера –  $0^\circ$
- Д1. Географическая широта больше высоты Полярной звезды
- Д2. Географическая широта равна высоте Полярной звезды
- Е1. В течении суток азимут и высота всех звезд неизменны
- Е2. В течении суток азимут и высота всех звезд постоянно изменяются
- Е3. В течении суток азимут и высота всех звезд, кроме Полярной, постоянно изменяются
- Ж1. Если звезда находится на небесном экваторе, то ее склонение  $90^\circ$
- Ж2. Если звезда находится на небесном экваторе, то ее склонение  $0^\circ$
- Ж3. Если звезда находится на небесном экваторе, то ее склонение  $-90^\circ$

ВЫВОД:

Критерии оценки:

Оценка «5» - при выполнении двух заданий, и вывода;

Оценка «4» - при выполнении всех заданий с 1 или 2 ошибками, или небрежно заполнен отчет;

Оценка «3» - при выполнении одного задания; при расплывчатых ответах; при неумении выразить четко свою мысль; или при плохом оформлении отчета.

Оценка «2» - при выполнении работы не соответствующем указанным выше требованиям.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №39

ТЕМА: Расчёт линейных и угловых размеров небесных тел (по известному параллаксу)

ЦЕЛЬ: **Определять расстояния в Солнечной системе с помощью горизонтального параллакса**

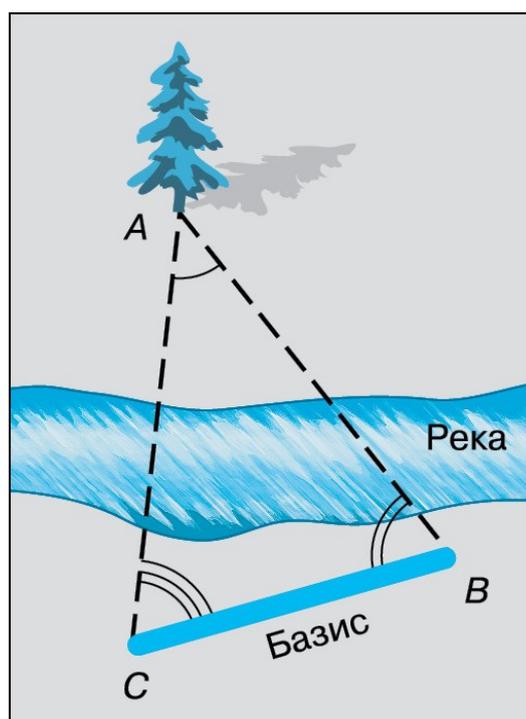
Время работы: 2 часа

### ХОД РАБОТЫ

#### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

а. Определить географическую широту двух пунктов оказывается гораздо проще, чем измерить расстояние между ними. Зачастую непосредственное измерение кратчайшего расстояния между этими пунктами оказывается невозможным из-за различных естественных препятствий (гор, рек и т. п.). Поэтому применяется способ, основанный на явлении *параллактического смещения*

Рис. 3.9. Параллактическое смещение



**Явление параллактического смещения предусматривает вычисление расстояния на основе измерений длины одной из сторон (базиса —  $BC$ ) и двух углов  $B$  и  $C$  в треугольнике  $ABC$  (рис. 3.9).**

**Параллактическим смещением называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя.**

Чем дальше расположен предмет, тем меньше его параллактическое смещение, и чем больше перемещение наблюдателя (базис измерения), тем больше параллактическое смещение.

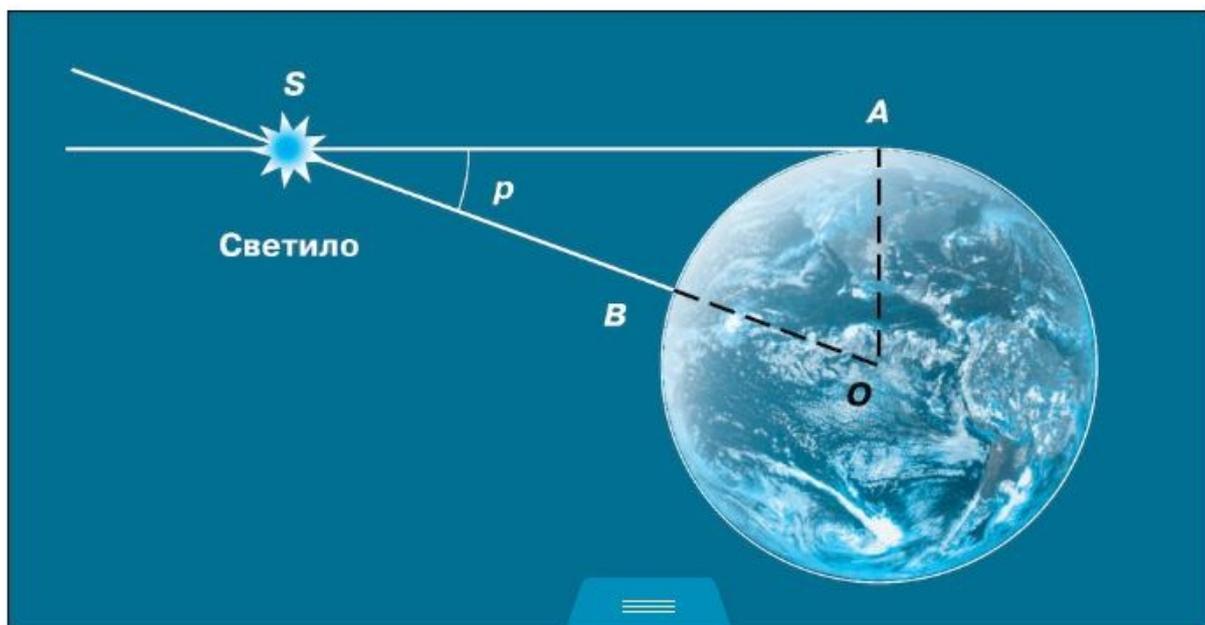
### **в. Определение расстояний в Солнечной системе. Горизонтальный параллакс**

Измерить расстояние от Земли до Солнца удалось лишь во второй половине XVIII в., когда был впервые определён *горизонтальный параллакс* Солнца. По сути дела, при этом измеряется параллактическое смещение объекта, находящегося за пределами Земли, а базисом является её радиус.

Рис. 3.11. Горизонтальный параллакс светила

Из треугольника  $OAS$  можно выразить величину — расстояние  $OS = D$ :

**Горизонтальным параллаксом ( $p$ ) называется угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения (рис. 3.11).**



$$D = \frac{R}{\sin p},$$

где  $R$  — радиус Земли. По этой формуле можно вычислить расстояние в радиусах Земли, а зная его величину, — выразить расстояние в километрах.

Очевидно, что чем дальше расположен объект, тем меньше его параллакс. Наибольшее значение имеет параллакс Луны, который меняется в связи с тем, что Луна обращается по эллиптической орбите, и в среднем составляет 57'. Параллаксы планет и Солнца значительно меньше. Так, параллакс Солнца равен 8,8". значению параллакса соответствует расстояние до Солнца, примерно равное 150 млн км. Это расстояние принимается за одну астрономическую единицу (1 а. е.) и используется при измерении расстояний между телами Солнечной системы.

Известно, что для малых углов  $\sin p \approx p$ , если угол  $p$  выражен в радианах!!!! В одном радиане содержится 206 265". Тогда, заменяя  $\sin p$  на  $p$  и выражая этот угол в радианной мере, получаем формулу в виде, удобном для вычислений:

$$D = \frac{206\,265''}{p} R,$$

или (с достаточной точностью)

$$D = \frac{(2 \cdot 10^5)''}{p} R.$$

### 1.3. Определение размеров светил

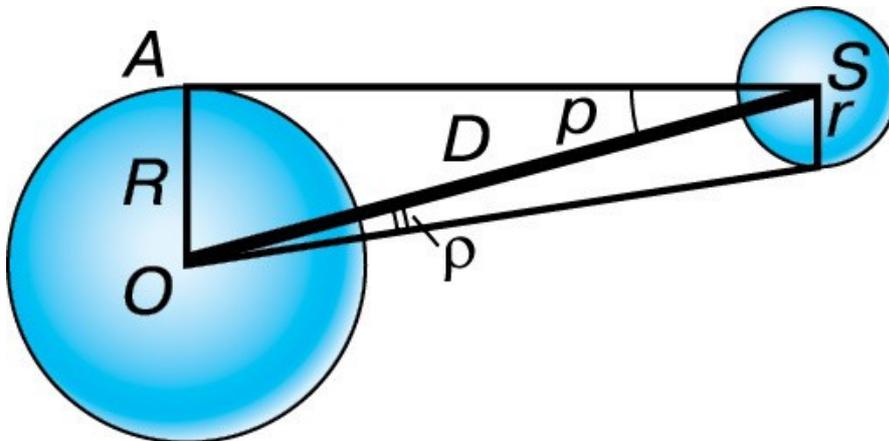


Рис. 3.12. Угловые размеры светила

Зная расстояние до светила, можно определить его линейные размеры, если измерить его угловой радиус  $\rho$  (рис. 3.12). Формула, связывающая эти величины, аналогична формуле для определения параллакса:

$$D = \frac{r}{\sin \rho}.$$

Учитывая, что угловые диаметры даже Солнца и Луны составляют примерно 30', а все планеты видны невооружённым глазом как точки, можно воспользоваться соотношением:  $\sin \rho \approx \rho$ . Тогда:

$$D = \frac{R}{p} \quad \text{и} \quad D = \frac{r}{\rho}.$$

Следовательно,

$$r = \frac{\rho}{p} R.$$

Если расстояние  $D$  известно, то

$$r = D\rho,$$

где величина  $\rho$  выражена в радианах.

#### 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

1. Чему равен горизонтальный параллакс Юпитера, наблюдаемого с Земли в противостоянии, если Юпитер в 5 раз дальше от Солнца, чем Земля?
2. Расстояние Луны от Земли в ближайшей к Земле точке орбиты (перигее) 363 000 км, а в наиболее удалённой (апогее) — 405 000 км. Определите горизонтальный параллакс Луны в этих положениях.
3. Во сколько раз Солнце больше, чем Луна, если их угловые диаметры одинаковы, а горизонтальные параллаксы равны 8,8" и 57' соответственно?
4. Чему равен угловой диаметр Солнца, видимого с Нептуна?

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

*Критерии оценки:*

- Оценка «5» - при выполнении двух заданий, и вывода;  
 Оценка «4» - при выполнении всех заданий с 1 или 2 ошибками, или небрежно заполнен отчет;  
 Оценка «3» - при выполнении одного задания; при расплывчатых ответах; при неумении выразить четко свою мысль; или при плохом оформлении отчета.  
 Оценка «2» - при выполнении работы не соответствующем указанным выше требованиям.

#### Приложение к практической работе 5.

##### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

На каком расстоянии от Земли находится Сатурн, когда его горизонтальный параллакс равен 0,9"?

**Дано:**  
 $p_1 = 0,9''$

**Решение:**  
 Известно, что параллакс Солнца на расстоянии в 1 а. е. равен 8,8".

$$D_{\odot} = 1 \text{ а. е.}$$

$$p_{\odot} = 8,8''$$

$$D_1 = ?$$

Тогда, написав формулы для расстояния до Солнца и до Сатурна и поделив их одна на другую, получим:

$$\frac{D_1}{D_{\odot}} = \frac{p_{\odot}}{p_1}$$

Откуда

$$D_1 = \frac{D_{\odot} p_{\odot}}{p_1} = \frac{1 \text{ а. е.} \cdot 8,8''}{0,9''} = 9,8 \text{ а. е.}$$

**Ответ:**  $D_1 = 9,8 \text{ а. е.}$

Чему равен линейный диаметр Луны, если она видна с расстояния 400 000 км под углом примерно 30'?

$$D = 400\,000 \text{ км}$$

$$p = 30'$$

$$d = ?$$

**Решение:**  
Если  $p$  выразить в радианах, то  
 $d = Dp$ .  
Следовательно,

$$d = \frac{400\,000 \text{ км} \cdot 30' \cdot 3600''}{296\,265''} = 3490 \text{ км.}$$

**Ответ:**  $d = 3490 \text{ км.}$

### Практическая работа №41

Тема: Определение понятий 1-ой, 2-ой, 3-ей космической скорости и изображение **формы движения орбит относительно Земли**

Цель: Определить 1-ую, 2-ую и 3-ью космические скорости .

Ход работы.

3. Теоретическая часть.

Применим закон всемирного тяготения для определения двух характерных «космических» скоростей, связанных с размерами и полем тяготения некоторой планеты. Планету будем считать одним шаром.

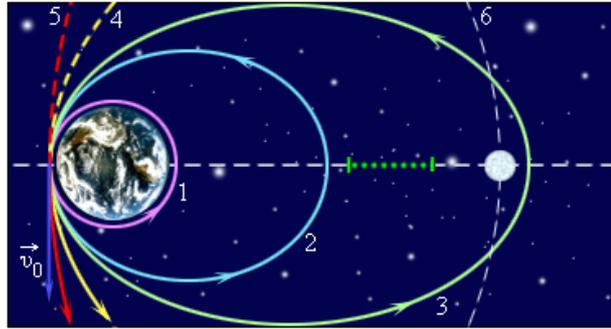


Рис. 5.8. Различные траектории движения спутников вокруг Земли

**Первой космической скоростью**  $v_I$  называют такую горизонтально направленную минимальную скорость, при которой тело могло бы двигаться вокруг Земли по круговой орбите, то есть превратиться в искусственный спутник Земли.

Это, конечно идеализация, во-первых планета не шар, во-вторых, если у планеты есть достаточно плотная атмосфера, то такой спутник — даже если его удастся запустить — очень быстро сгорит. Другое дело, что, скажем спутник Земли, летающий в ионосфере на средней высоте над поверхностью в 200 км имеет радиус орбиты отличающийся от среднего радиуса Земли всего, примерно, на 3 %.

На спутник, движущийся по круговой орбите радиусом  $r$  (рис. 5.9), действует сила притяжения Земли, сообщая ему нормальное ускорение

$$a_n = \frac{v_I^2}{r}.$$

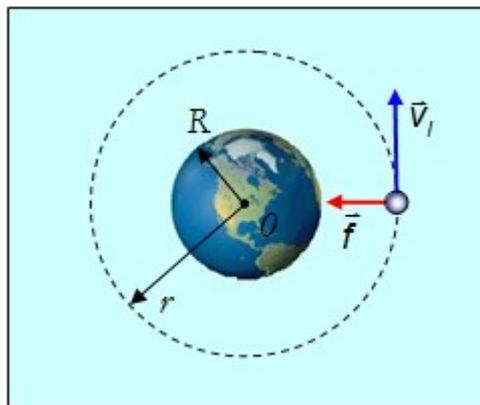


Рис. 5.9. Движение искусственного спутника Земли по круговой орбите

По второму закону Ньютона имеем

$$\frac{mv_I^2}{r} = f = \frac{GM_3 m}{r^2}.$$

Если спутник движется недалеко от поверхности Земли, то

$$r \approx R_3$$

и

$$\frac{GM_3}{R_3^2} = g.$$

Поэтому для  $v_I$  на Земле получаем

$$v_I = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3}} = \sqrt{gR_3} = \sqrt{9.81 \cdot 6.38 \cdot 10^6} \approx 7.9 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Видно, что  $v_I$  действительно определяется параметрами планеты: её радиусом и массой.

Период обращения спутника вокруг Земли равен

$$T = \frac{2\pi R}{v},$$

где  $R$  — радиус орбиты спутника, а  $v$  — его орбитальная скорость.

Минимальное значение периода обращения достигается при движении по орбите, радиус которой равен радиусу планеты:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \approx 84.3 \text{ мин}$$

так что первую космическую скорость можно определить и так: скорость спутника на круговой орбите с минимальным периодом обращения вокруг планеты.

Период обращения растёт с увеличением радиуса орбиты.

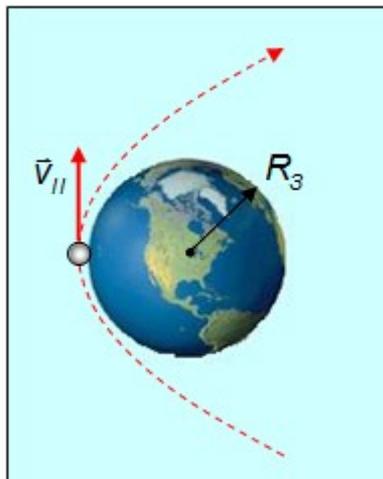
Если период обращения спутника равен периоду обращения Земли вокруг своей оси и их направления вращения совпадают, а орбита расположена в экваториальной плоскости, то такой спутник называется **геостационарным**.

Геостационарный спутник постоянно висит над одной и той же точкой поверхности Земли (рис. 5.10).

*Рис. 5.10. Движение геостационарного спутника*

Для того чтобы тело могло выйти из сферы земного притяжения, то есть могло удалиться на такое расстояние, где притяжение к Земле перестаёт играть существенную роль, необходима **вторая космическая скорость** (рис. 5.11).

**Второй космической скоростью**  $v_{II}$  называют наименьшую скорость, которую необходимо сообщить телу, чтобы его орбита в поле тяготения Земли стала параболической, то есть чтобы тело могло превратиться в спутник Солнца.



*Рис. 5.11. Вторая космическая скорость*

Для того чтобы тело (при отсутствии сопротивления среды) могло преодолеть земное притяжение и уйти в космическое пространство, необходимо, чтобы кинетическая

энергия тела на поверхности планеты была равна (или превосходила) работу, совершаемую против сил земного притяжения. Напишем закон сохранения механической энергии  $E$  такого тела. На поверхности планеты, конкретно — Земли

$$E = \frac{mv_{II}^2}{2} - G \frac{mM_3}{R_3}$$

Скорость  $v_{II}$  получится минимальной, если на бесконечном удалении от планеты тело будет покоиться

$$E = \frac{m0^2}{2} - G \frac{mM_3}{\infty} = 0$$

Приравнивая эти два выражения, получаем

$$G \frac{mM_3}{R_3} = \frac{mv_{II}^2}{2},$$

откуда для второй космической скорости имеем

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2GM_3}{R_3}} = \sqrt{2gR_3} = 11.2 \cdot 10^3 \frac{M}{c} = 11.2 \frac{KM}{c}.$$

Для сообщения запускаемому объекту необходимой скорости (первой или второй космической) выгодно использовать линейную скорость вращения Земли, то есть запускать его как можно ближе к экватору, где эта скорость составляет, как мы видели, 463 м/с (точнее 465,10 м/с). При этом направление запуска должно совпадать с направлением вращения Земли — с запада на восток. Легко подсчитать, что таким способом можно выиграть несколько процентов в энергетических затратах.

В зависимости от начальной скорости  $v$ , сообщаемой телу в точке бросания  $A$  на поверхности Земли, возможны следующие виды движения (рис. 5.8 и 5.12):

- если  $v < v_I$ , то тело упадет на Землю.
- если  $v_I < v < v_{II}$ , то тело будет двигаться по эллиптической траектории.
- если  $v = v_I$ , то тело «уйдет на бесконечность» по параболической траектории
- если  $v > v_I$ , то тело «уйдет на бесконечность» по гиперболической траектории.

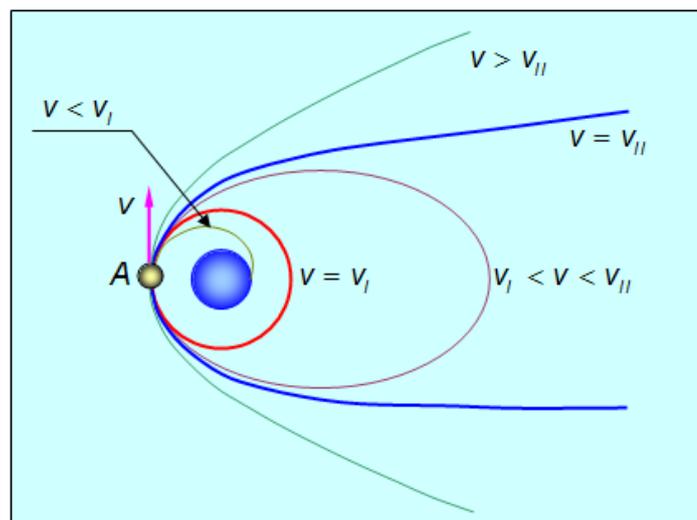


Рис. 5.12. Формы траектории частицы в зависимости от скорости бросания

Совершенно аналогично рассчитывается движение в гравитационном поле любого другого космического тела, например, Солнца. Чтобы преодолеть силу притяжения

светила и покинуть Солнечную систему, объекту, покоящемуся относительно Солнца и находящемуся от него на расстоянии, равном радиусу земной орбиты  $R_C$  (см. выше), необходимо сообщить минимальную скорость  $V_{KP}$ , определяемую из равенства

$$G \frac{mM_C}{R_C} = \frac{mv_{KP}^2}{2},$$

где  $R_C$ , напомним, это радиус земной орбиты, а  $M_C$  — масса Солнца.

Отсюда следует формула, аналогичная выражению для второй космической скорости, где надо заменить массу Земли на массу Солнца и радиус Земли на радиус земной орбиты:

$$v_{KP} = \sqrt{\frac{2GM_C}{R_C}} = 42.1 \cdot 10^3 \frac{M}{C} = 42.1 \frac{KM}{C}.$$

Подчеркнем, что  $v_{kp}$  — это минимальная скорость, которую надо придать неподвижному телу, находящемуся на земной орбите, чтобы оно преодолело притяжение Солнца.

Отметим также связь

$$v_{KP} = \sqrt{2}v_3.$$

с орбитальной скоростью Земли  $v_3$ . Эта связь, как и должно быть — Земля спутник Солнца, такая же, как и между первой и второй космическими скоростями  $v_I$  и  $v_{II}$ .

На практике мы запускаем ракету с Земли, так что она заведомо участвует в орбитальном движении вокруг Солнца. Как было показано выше, Земля движется вокруг Солнца с линейной скоростью

$$v_3 = \sqrt{\frac{GM_C}{R_C}} = 29.8 \frac{KM}{C}.$$

Ракету целесообразно запускать в направлении движения Земли вокруг Солнца.

Скорость, которую необходимо сообщить телу на Земле, чтобы оно навсегда покинуло пределы Солнечной системы, называется **третьей космической скоростью**  $v_{III}$ .

Скорость  $v_{III}$  зависит от того, в каком направлении космический корабль выходит из зоны действия земного притяжения. При оптимальном запуске эта скорость составляет приблизительно  $v_{III} = 6,6$  км/с.

Понять происхождение этого числа можно также из энергетических соображений. Казалось бы, достаточно ракете сообщить относительно Земли скорость

$$v_{OT} = v_{KP} - v_3 = 42.1 - 29.8 = 12.3 \frac{KM}{C}$$

в направлении движения Земли вокруг Солнца, и она покинет пределы Солнечной системы. Но это было бы правильно, если бы Земля не имела собственного поля тяготения. Такую скорость тело должно иметь, уже удалившись из сферы земного притяжения. Поэтому подсчет третьей космической скорости очень похож на вычисление второй космической скорости, но с дополнительным условием — тело на большом расстоянии от Земли должно все еще иметь скорость  $v_{OT}$ :

$$\frac{mv_{III}^2}{2} - G \frac{mM_3}{R_3} = \frac{mv_{OT}^2}{2}.$$

В этом уравнении мы можем выразить потенциальную энергию тела на поверхности Земли (второе слагаемое в левой части уравнения) через вторую космическую скорость  $v_{II}$  в соответствии с полученной ранее формулой для второй космической скорости

$$\frac{mv_{III}^2}{2} - \frac{mv_{II}^2}{2} = \frac{mv_{OT}^2}{2}.$$

Отсюда находим

$$v_{III} = \sqrt{v_{II}^2 + v_{OT}^2} = \sqrt{11.2^2 + 12.3^2} = 16.6 \frac{KM}{c}.$$

4. Практическая часть.

- 2.1. Составьте алгоритм определения космических скоростей .
- 2.2. Каковы должны быть условия движения спутника?
- 2.3. Чему равна центростремительная сила?
- 2.4. Напишите вывод.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №42

ТЕМА: Изучение устройства и назначения телескопа

ЦЕЛЬ: Произвести расчёт простейшего телескопа-рефрактора для требуемого увеличения.

Время работы: 1 час

### ХОД РАБОТЫ

#### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

#### **Перечень вопросов, рассматриваемых на уроке:**

- 1) практическое применение основных понятий и законов геометрической оптики в изучаемых приборах;
- 2) принцип действия микроскопа, телескопа, фотоаппарата и проектора;
- 3) применение оптических приборов на практике.

#### **Глоссарий по теме:**

**Оптические приборы** – устройства, в которых электромагнитное излучение преобразуется для нормального восприятия его человеческим глазом.

**Угловое увеличение** – отношение угла зрения при наблюдении предмета через оптический прибор к углу зрения при наблюдении простым глазом.

**Угол зрения** – угол, образованный прямыми, проведенными от краев предмета в оптический центр глаза.

**Луна** – собирающая короткофокусная линза (или система линз), вставленная в оправу, позволяющая получить увеличенное изображение мелких предметов.

**Микроскоп** – увеличительный прибор для рассматривания предметов, неразличимых простым глазом.

**Увеличение микроскопа** – отношение угла зрения, при котором предмет виден при наблюдении через микроскоп, к углу зрения при наблюдении невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения

**Телескоп** (от греч. *теле* – вдалеку и *скопео* – смотрю) – астрономический инструмент для наблюдения удаленных объектов путем сбора электромагнитного излучения.

**Фотоаппарат (фотографический аппарат)** – устройство для получения и фиксации неподвижных изображений материальных объектов при помощи электромагнитного излучения.

**Дагертопия** – ранний фотографический процесс, основанный на светочувствительности йодистого серебра.

**Кинокамера** – устройство, предназначенное для записи движущегося изображения на киноплёнку.

**Кинопроектор (кинопроекторный аппарат)** – аппарат, предназначенный для воспроизведения движущегося изображения и звука, записанных на киноплёнке.

**Проектор** – оптический прибор, предназначенный для создания действительного изображения плоского предмета небольшого размера на большом экране.

**Диaproектор (слайд-проектор)** – разновидность проекционного аппарата для демонстрации диапозитивов, и других прозрачных носителей неподвижного изображения.

**Диапозитив** – позитивное фотографическое изображение на прозрачном материале, предназначенное для демонстрации на экране с помощью проектора.

**Оверхед-проектор (кодоскоп)** – оптический прибор, предназначенный для проекции прозрачных оригиналов с изображением на большой экран.

**Разрешающая способность оптических приборов** – величина, характеризующая способность этих приборов давать раздельное изображение двух близких друг к другу объектов.

### **Список обязательной и дополнительной литературы:**

Мякишев Г. Я., Буховцев Б.Б., Чаругин В.М.. Физика.11 класс. Учебник для общеобразовательных организаций М.: Просвещение, 2017. С. 172 -202.

### **Теоретический материал для самостоятельного изучения**

Практическое применение электромагнитного излучения, разумное использование законов геометрической оптики привело человечество к изобретению оптических

приборов, вооружающих глаз. Первым оптическим прибором были очки. Вслед за очками появилась лупа для рассмотрения мелких предметов. Люди стали получать изображения, используя систему нескольких линз и зеркал. Так стали получаться более сложные оптические приборы.

Оптические приборы разделены на две большие группы: 1) визуальные приборы, которые действуют только совместно с человеческим органом зрения и не образуют изображений на экране. К ним относятся лупа, микроскоп, телескоп и др. 2) приборы, при помощи которых получают оптические изображения на экране. К этой группе относятся фотоаппараты, проекционные аппараты и др.

Принцип действия лупы основан на использовании свойства собирающей линзы создавать мнимое, прямое, увеличенное изображение.

Увеличение лупы  $\Gamma$  равно:

где  $d_0$  - расстояния наилучшего зрения (около 25 см), равное расстоянию  $f$  от линзы до изображения;  $F$  – фокусное расстояние.

Расстояние  $d$  от предмета до линзы приблизительно равно фокусному расстоянию:

Наряду с увеличением размеров предмета, лупа дает угловое увеличение, что позволяет лучше рассмотреть предмет.

Оптические системы, как правило, состоят из набора линз или набора линз и зеркал, в которых последовательно получают изображения предмета. Изображение, полученное в первой линзе, является предметом для второй линзы. Изображение, полученное во второй линзе, является предметом для третьей и т.д. Эта последовательность в получении изображения лежит в основе создания микроскопа и телескопа.

Полное увеличение микроскопа:

где  $\Gamma_{об}$  - увеличение объектива;

$\Gamma_{ок}$  – увеличение окуляра.

Для нормального глаза при удалении от объекта на расстояние наилучшего видения минимальное разрешение составляет примерно 0,08 мм. Микроскоп дает возможность различать структуры с расстоянием между элементами до 0,20 мкм.

В 1609 г. Галилео Галилей, на основании дошедших до него сведений об изобретённой в Голландии подзорной трубе (автор Иоанн Липперсгей), строит свой первый телескоп, дающий приблизительно трехкратное увеличение. Вскоре учёный построил телескоп с увеличением в 32 раза и с помощью него были обнаружены горы, кратеры на Луне и пятна на Солнце; открыты четыре спутника Юпитера - Ио, Европа, Ганимед, Каллиосто; фазы Венеры; выяснилось, что Млечный путь состоит из множества звезд.

В середине XVII века изготовление телескопов стало обычным делом, но техника создания телескопов совершенствуется и по сей день.

Телескопы для наблюдений в световых лучах называют оптическими, а для приема радиоволн – радиотелескопами.

У всех телескопов принципиальная схема устройства одинакова: любой оптический телескоп состоит из окуляра и объекта, треноги или фундамента, на который устанавливается труба, монтировки с осями наведения на объект.

По своей оптической схеме телескопы делятся на: линзовые (рефракторы или диоптрические); зеркальные (рефлекторы или катаптрические); зеркально-линзовые (катадиоптрические).

Основными параметрами телескопа являются светосила, видимое увеличение и разрешающая способность.

Светосилу телескопа определяют диаметр объектива и его фокусное расстояние:

$A$  – светосила телескопа;

$d$  – диаметр объектива;

$F$  – фокусное расстояние объектива.

Увеличение телескопа:

$W$  – увеличение телескопа;

$F_{об}$  – фокусное расстояние объектива;

$F_{ок}$  – фокусное расстояние окуляра.

Предельное разрешение (в секундах дуги) визуальных телескопов, рассчитанных на восприятие световых волн с длиной 550 нм (жёлто-зелёные лучи), которые наиболее эффективно воздействуют на человеческий глаз находится по формуле:

$\Theta$  - минимальное угловое расстояние между двумя точками, которые можно четко различить в телескоп;

$D$  – диаметр объектива (в мм).

Для получения значительного увеличения объективы в телескопах должны длиннофокусными (фокусное расстояние в несколько метров), а окуляры – короткофокусными (несколько миллиметров).

В больших телескопах в качестве объективов применяют не линзы, а сферические зеркала. Такие телескопы называют рефлекторами. Зеркала, в отличие от линз, не обладают хроматической аберрацией. Также чтобы уменьшить негативное влияние атмосферы на качество добываемой информации, телескопы устанавливают в высокогорных районах. Например, самым крупным телескопом в России считается Большой Телескоп Азимутальный Специальной астрофизической обсерватории РАН, установленный в горах Северного Кавказа.

Помимо наземных обсерваторий появились орбитальные обсерватории, которые значительно увеличивает возможности по работе в недоступном прежде угловом разрешении. Первым космическим телескопом является телескоп им. Эдвина Хаббла, созданный в США и запущенный в 1990 г. Благодаря отсутствию влияния атмосферы разрешающая способность телескопа в 7 – 10 раз больше, чем у аналогичных наземных телескопов.

С помощью современных телескопов учёные пытаются уточнить возраст Вселенной, объяснить механизмы и эволюцию звезд, галактик и планетных систем и т. д.

Визуально-оптическое наблюдение, проводимое человеческим глазом, не позволяет регистрировать изображение до последующего изучения или документирования результатов наблюдения. Для этих целей используют фотоаппараты, кинопроекторные аппараты, проекторы.

Большое значение имеют оптические измерительные приборы, в которых визирование (совмещение границ контролируемого размера предмета с визирной линией, перекрестием и т. п.) или определение размера осуществляется с помощью устройства с оптическим принципом действия

### **Разбор тренировочного задания.**

1. Заполните пропуски в тексте:

«Основное назначение телескопов состоит не в достижении \_\_\_\_\_ увеличения, а в том, чтобы \_\_\_\_\_ как можно больше световой \_\_\_\_\_ от небесного тела и различить как можно \_\_\_\_\_ детали»

**Варианты ответов:** собрать; мало; большого; разложить; меньшие; энергии; большие.

**Правильный вариант:** большого; собрать; энергии; меньшие.

2. Объектив телескопа имеет фокусное расстояние 10 м, а окуляр 5 см. Определите увеличение, даваемое телескопом. Выберите **неверные** ответы.

**Варианты ответов:**

2000;

200;

24;

50.

**Правильный вариант:** 1); 3); 4).

Решение:

Увеличение телескопа:

Ответ: 200.

### Устройство телескопа

Телескоп любого типа имеет объектив и окуляр.

Линза, обращенная к объекту наблюдения, называется Объективом, а линза, к которой прикладывает свой глаз наблюдатель – Окуляр.

Может быть дополнительная лупа, которая позволяет приблизить глаз к фокальной плоскости и рассматривать изображение с меньшего расстояния, т. е. под большим углом зрения.

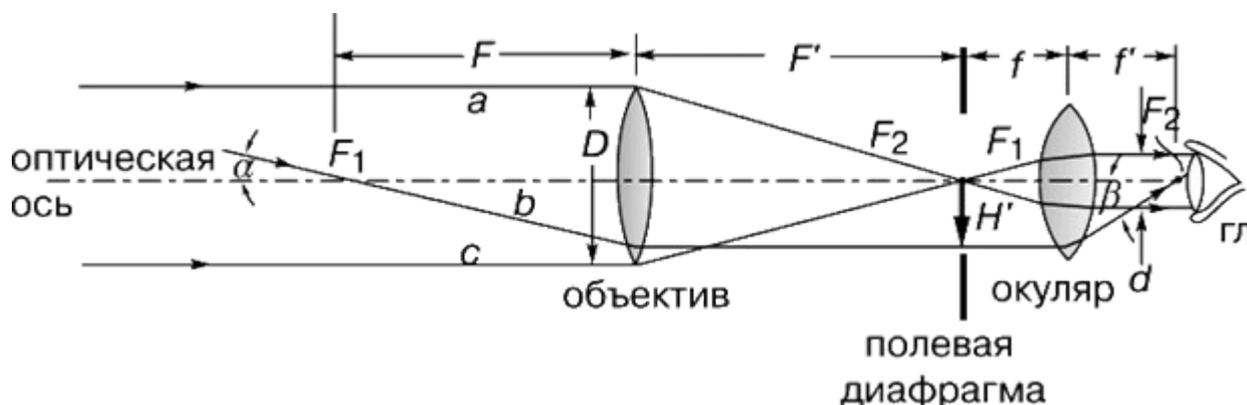
Таким образом, телескоп можно изготовить, расположив на одной оси одна за другой две линзы - объектив и окуляр. Для наблюдений близких земных предметов суммарное расстояние фокусов должно быть увеличено. Меняя окуляры, можно получить различные увеличения при одном и том же объективе.

Если линза толще посередине, чем на краях, она называется Собирающей или Положительной, в противном случае – Рассеивающей или Отрицательной.

Прямая, соединяющая центры этих поверхностей, называется Оптической осью линзы.

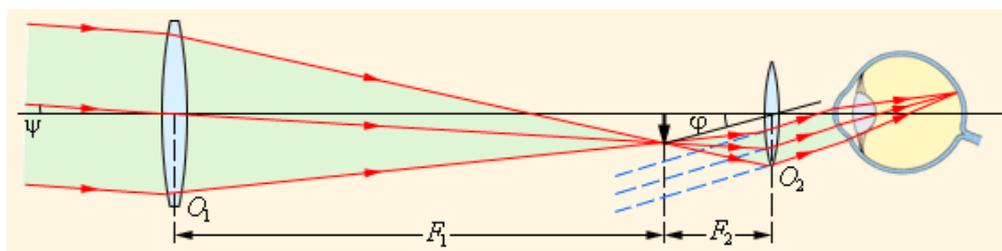
Если на такую линзу попадают лучи, идущие параллельно оптической оси, они, преломляясь в линзе, собираются в точке оптической оси, называемой Фокусом линзы.

Расстояние от центра линзы до её фокуса называют фокусным расстоянием. Чем больше кривизна поверхностей собирающей линзы, тем меньше фокусное расстояние. В фокусе такой линзы всегда получается действительное изображение предмета.



Телескоп принято характеризовать угловым увеличением  $\gamma$ . В отличие от микроскопа, предметы, наблюдаемые в телескоп, всегда удалены от наблюдателя.

$$\gamma = -\frac{F_1}{F_2}$$



Назначение телескопа

Телескопы бывают самыми разными – оптические (общего астрофизического назначения, коронографы, телескопы для наблюдения искусственных спутников Земли), радиотелескопы, инфракрасные, нейтринные, рентгеновские. При всем своем многообразии, все телескопы, принимающие электромагнитное излучение, решают две основных задачи.

**Первая задача телескопа** - создать максимально резкое изображение и, при визуальных наблюдениях, увеличить угловые расстояния между объектами (звездами, галактиками и т. п.); собрать как можно больше энергии излучения, увеличить освещенность изображения объектов.

**Вторая задача телескопа** – увеличивать угол, под которым наблюдатель видит объект. Способность увеличивать угол характеризуется увеличением телескопа. Оно равно отношению фокусных расстояний объектива и окуляра

### **Принцип работа телескопа**

Принцип работы телескопа заключается не в увеличении объектов, а в сборе света. Чем больше у него размер главного светособирающего элемента - линзы или зеркала, тем больше света он собирает. Важно, что именно общее количество собранного света в конечном счете определяет уровень детализации видимого - будь то удаленный ландшафт или кольца Сатурна. Хотя увеличение, или сила для телескопа тоже важно, оно не имеет решающего значения в достижении уровня детализации.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.**

Для того, чтобы построить простой **телескоп-рефрактор**, нужны всего две собирающие линзы - длиннофокусная (с малой оптической силой) – для объектива и короткофокусная (сильная лупа) для окуляра.

**Первая линза** - объектив телескопа, если навести ее без всего остального на какой-нибудь удаленный предмет, создаст его перевернутое изображение за собой, на расстоянии, примерно равном своему фокусному расстоянию. Вы увидите увеличенное перевернутое изображение удаленного предмета, при этом **коэффициент увеличения будет равен фокусному расстоянию линзы в см, деленному на 25** - расстояние наилучшего зрения человеческого глаза. Если фокусное расстояние линзы будет меньше 25 см, то изображение получится уменьшенным. Простейший телескоп, в принципе, готов!

Теперь будем его усовершенствовать. Полученное первой линзой - объективом изображение рассматривают не невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения, а *через окуляр с меньшего расстояния, примерно равного фокусному расстоянию окуляра.* В этом случае **увеличение телескопа будет равно отношению фокусных расстояний объектива и окуляра.**

**Задание.** Для окуляра с фокусным расстоянием 4 см подберите линзу-объектив такую, чтобы увеличение простейшего телескопа составило 25, 50, 75 и 100 раз.

<b>Объектив, см</b>	<b>Окуляр</b>	<b>Увеличение</b>
	<b>4 см</b>	<b>25</b>
		<b>50</b>
		<b>75</b>
		<b>100</b>

Расчеты: 1)  $F_1=4*25=100\text{см}$

2)  $F_1=4*50=200\text{см}$

ВЫВОД:

Критерии оценки:

Оценка «5» - при выполнении всех четырех заданий, и написании вывода;

Оценка «4» - при выполнении всех заданий с 1 или 2 ошибками, или небрежно заполнен отчет;

Оценка «3» - при выполнении двух заданий из четырех; при непонятных ответах; при неумении выразить четко свою мысль; или при плохом оформлении отчета.

Оценка «2» - при выполнении работы не соответствующем указанным выше требованиям.

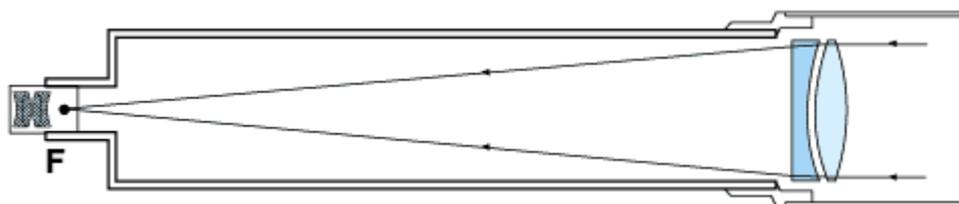
Приложение к практической работе

### Типы телескопов

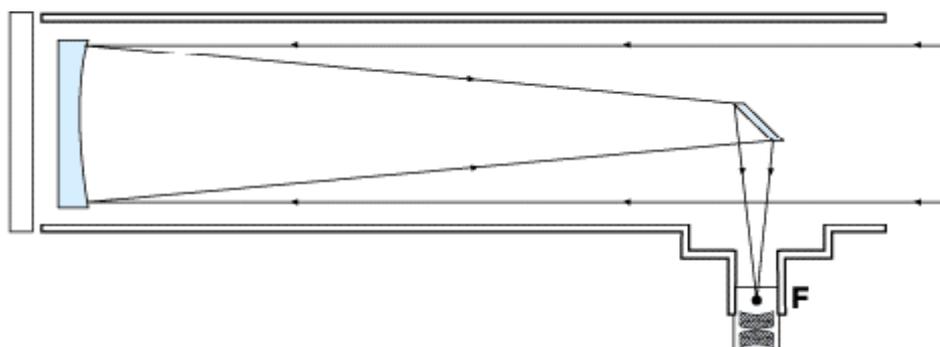
Все телескопы подразделяются на три оптических класса.

Преломляющие телескопы, или **рефракторы**, в качестве главного светособирающего элемента используют большую линзу-объектив.

Рефракторы всех моделей включают ахроматические (двухэлементные) объективные линзы - таким образом сокращается или практически устраняется ложный цвет, который влияет на получаемый образ, когда свет проходит через линзу. При создании и установке больших стеклянных линз возникает ряд трудностей; кроме того, толстые линзы поглощают слишком много света. Самый большой рефрактор в мире, имеющий объектив с линзой диаметром в 101 см, принадлежит Йеркской обсерватории.

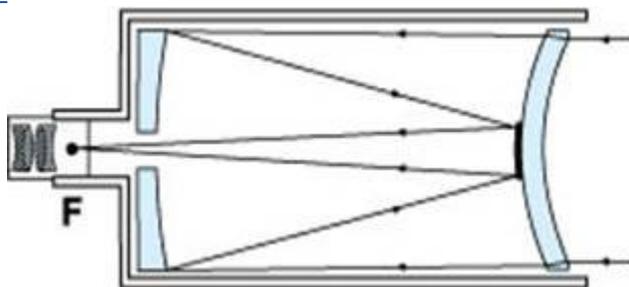


Все большие астрономические телескопы представляют собой **рефлекторы**. Рефлекторные телескопы популярны и у любителей, поскольку они не так дороги, как рефракторы. Это отражающие телескопы, и для сбора света и формирования изображения в них используется вогнутое главное зеркало. В рефлекторах ньютоновского типа, маленькое плоское вторичное зеркало отражает свет на стенку главной трубы.



Зеркально-линзовые (катадиоптрические) телескопы используют как линзы, так и зеркала, за счет чего их оптическое устройство позволяет достичь великолепного качества изображения с высоким разрешением, при том, что вся конструкция состоит из очень коротких портативных оптических труб.

1.



### История телескопа

Первый телескоп был построен в 1609 году итальянским астрономом Галилео Галилеем. Телескоп имел скромные размеры (длина трубы 1245 мм, диаметр объектива 53 мм, окуляр 25 диоптрий), несовершенную оптическую схему и 30-кратное увеличение. Однако он позволил сделать целую серию замечательных открытий (фазы Венеры, горы на Луне, спутники Юпитера, пятна на Солнце, звезды в Млечном Пути). Очень плохое качество изображения в первых телескопах заставило оптиков искать пути решения этой проблемы. Оказалось, что увеличение фокусного расстояния объектива значительно улучшает качество изображения.

В 1663 году Грегори создал новую схему телескопа-рефлектора. Грегори первым предложил использовать в телескопе вместо линзы зеркало.

Первый телескоп-рефлектор был построен Исааком Ньютоном в 1668 году. Схема, по которой он был построен, получила название «схема Ньютона». Длина телескопа составляла 15 см.

В 1672 году Кассегрен предложил схему двухзеркальной системы, вскоре ставшую наиболее популярной. Первое зеркало было параболическим, второе имело форму выпуклого гиперboloида и располагалось перед фокусом первого. В настоящее время практически все телескопы являются зеркальными. Самый большой в мире зеркальный телескоп имени Кека имеет диаметр 10 м и находится на Гавайских островах. В России на Кавказе работает телескоп размером 6 м.

В двадцатом веке астрономы сделали много шагов в изучении вселенной.

Эти шаги были бы невозможны без использования больших и сложных телескопов, расположенных на высокогорных лабораториях и управляемых большим количеством квалифицированных специалистов.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №43

ТЕМА: Знакомство с диаграммами «спектр–светимость» и «масса–светимость»

ЦЕЛЬ: Прочитать диаграмму «спектр–светимость» и определять по диаграмме характеристики звезд.

Время работы: 1 час

## ХОД РАБОТЫ

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

#### Звезды

#### Характеристики звезд

##### Спектр звезды

Спектры звезд – это их паспорта с описанием всех звездных особенностей. Звезды состоят из тех же химических элементов, которые известны на Земле, но в процентном отношении в них преобладают легкие элементы: водород и гелий. По спектру звезды можно узнать ее светимость, расстояние до звезды, температуру, размер, химический состав ее атмосферы, скорость вращения вокруг оси, особенности движения вокруг общего центра тяжести. Спектральный аппарат, устанавливаемый на телескопе, раскладывает свет звезды по длинам волн в полоску спектра. По спектру можно узнать, какая энергия приходит от звезды на различных длинах волн и оценить очень точно ее температуру.

Цвет и спектр звезд связан с их температурой. В холодных звездах с температурой фотосферы 3 000 К преобладает излучение в красной области спектра. В спектрах таких звезд много линий металлов и молекул. В горячих голубых звездах с температурой свыше 10 000–15 000 К большая часть атомов ионизована. Полностью ионизованные атомы не дают спектральных линий, поэтому в спектрах таких звезд линий мало.

Согласно спектрам звезды делятся на *спектральные классы*:

Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Особенности спектра	Типичные звезды
	Голубой	80 000	Излучения в линиях гелия, азота, кислорода	Звезда Вольфа–Райе, 2 Парусов
	Голубой	40 000	Интенсивные линии ионизированного гелия, линий металлов нет	Минтака
	Голубовато-белый	20 000	Линии нейтрального гелия. Слабые линии Н и К ионизированного кальция	Спика
	Белый	10 000	Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Видны линии Н и К ионизированного кальция, слабые линии металлов	Сириус, Вега
	Желтоватый	7 000	Ионизированные металлы. Линии водорода ослабевают	Процион, Канопус



Химический состав наружных слоев звезд, откуда к нам непосредственно приходит их излучение, характеризуется полным преобладанием водорода. На втором месте находится гелий, а количество остальных элементов достаточно невелико. Приблизительно на каждые десять тысяч атомов водорода приходится тысяча атомов гелия, около 10 атомов кислорода, немного меньше углерода и азота и всего лишь один атом железа. Примеси остальных элементов совершенно ничтожны. Без преувеличения можно сказать, что звезды состоят из водорода и гелия с небольшой примесью более тяжелых элементов.

Хорошим индикатором температуры наружных слоев звезды является ее *цвет*. Горячие звезды спектральных классов О и В имеют голубой цвет; звезды, сходные с нашим Солнцем (спектральный класс которого G2), представляются желтыми, звезды же спектральных классов К и М – красные. В астрофизике имеется тщательно разработанная и вполне объективная система цветов. Она основана на сравнении наблюдаемых звездных величин, полученных через различные строго эталонированные светофильтры. Количественно цвет звезд характеризуется разностью двух величин, полученных через два фильтра, один из которых пропускает преимущественно синие лучи («В»), а другой имеет кривую спектральной чувствительности, сходную с человеческим глазом («V»). Техника измерений цвета звезд настолько высока, что по измеренному значению В-V можно определить спектральный класс звезды с точностью до подкласса. Для слабых звезд анализ цветов – единственная возможность их спектральной классификации.

## 1. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Вопрос: Какую главную закономерность ты заметил(ла) при изучении диаграмм «спектр–светимость» и «масса–светимость»?

ВЫВОД:

*Критерии оценки:*

Оценка «5» - при выполнении двух заданий, и вывода;

Оценка «4» - при выполнении всех заданий с 1 или 2 ошибками, или небрежно заполнен отчет;

Оценка «3» - при выполнении одного задания; при расплывчатых ответах; при неумении выразить четко свою мысль; или при плохом оформлении отчета.

Оценка «2» - при выполнении работы не соответствующем указанным выше требованиям.

Приложение

## Классификация звезд

### 6.2.1. Диаграмма Герцшпрунга - Рассела

Звезды сильно различаются по размерам, светимости, температуре и другим характеристикам.

Благодаря огромной площади поверхности, гиганты излучают неизмеримо больше энергии, чем нормальные звезды вроде Солнца, несмотря на то, что температура их поверхности значительно ниже. Радиус красного *сверхгиганта* Бетельгейзе (? Ориона) во много раз превосходит радиус Солнца. Напротив, размер нормальной красной звезды, как правило, не превосходит одной десятой размера Солнца. По контрасту с гигантами их называют *карликами*. Например, две звезды, имеющие одинаковый спектральный класс М2, Бетельгейзе и Лаланд 21185, различаются по светимости в 600 000 раз. Светимость

Бетельгейзе в 3 000 раз больше светимости Солнца, а Лаланд 21185 – в 200 раз меньше. Гигантами и карликами звезды бывают на разных стадиях своей эволюции, и гигант, достигнув «пожилого возраста», может превратиться в белый карлик.

Наряду с красными гигантами и сверхгигантами встречаются белые и голубые сверхгиганты: Регул (? Льва), Ригель (? Ориона).

Сопоставление светимостей звезд с их спектральными классами впервые было сделано в начале XX века Эйнаром Герцшпрунгом и Генри Расселом, поэтому *диаграмму спектр-светимость* часто называют *диаграммой Герцшпрунга–Рассела*. На этой диаграмме по оси абсцисс откладываются спектральные классы (или эффективные температуры), по оси ординат – светимости  $L$  (или абсолютные звездные величины  $M$ ). Если бы между светимостями и их температурами не было никакой зависимости, то все звезды распределялись на такой диаграмме равномерно. Но на диаграмме обнаруживаются несколько закономерностей, которые называют последовательностями.

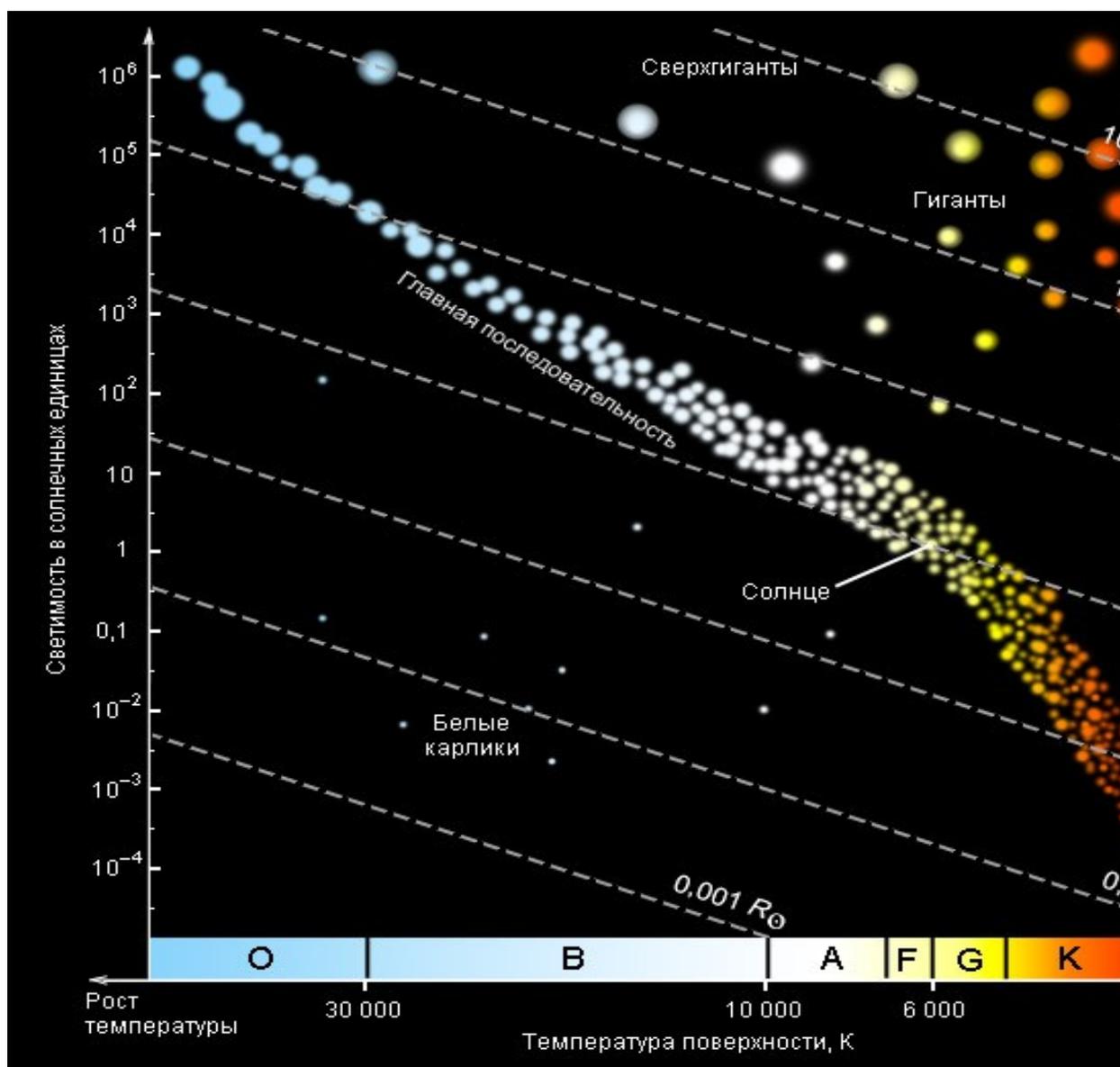


Рисунок 6.2.1.2. Диаграмма Герцшпрунга–Рассела

Большинство звезд (около 90 %), располагаются на диаграмме вдоль длинной узкой полосы, называемой *главной последовательностью*. Она протянулась из верхнего левого угла (от голубых сверхгигантов) в нижний правый угол (до красных карликов). К звездам

главной последовательности относится Солнце, светимость которого принимают за единицу.

Точки, соответствующие гигантам и сверхгигантам, располагаются над главной последовательностью справа, а соответствующие белым карликам – в нижнем левом углу, под главной последовательностью.

По распределению звезд в соответствии с их светимостью и температурой на диаграмме Герцшпрунга–Рассела выделены следующие **классы светимости**:

сверхгиганты – I класс светимости;

гиганты – II класс светимости;

звезды главной последовательности – V класс светимости;

субкарлики – VI класс светимости;

белые карлики – VII класс светимости.

Принято указывать класс светимости после спектрального класса звезды. Солнце – звезда G2V.

В настоящее время выяснилось, что звезды главной последовательности – нормальные звезды, похожие на Солнце, в которых происходит сгорание водорода в термоядерных реакциях. Главная последовательность – это последовательность звезд разной массы.

Самые большие по массе звезды располагаются в верхней части главной последовательности и являются голубыми гигантами. Самые маленькие по массе звезды – карлики. Они располагаются в нижней части главной последовательности. Параллельно главной последовательности, но несколько ниже ее располагаются **субкарлики**. Они отличаются от звезд главной последовательности меньшим содержанием металлов.

## Классификация звезд

### 6.2.2. Эволюция звезды на диаграмме спектр–светимость

Выяснилось, что положение звезды на диаграмме Герцшпрунга–Рассела изменяется в зависимости от возраста звезды.

Большую часть своей жизни звезда проводит на главной последовательности. В этот период ее цвет, температура, светимость и другие параметры почти не меняются. Но до того, как звезда достигнет этого устойчивого состояния, еще в состоянии протозвезды, она имеет красный цвет и в течение короткого времени большую светимость, чем будет иметь на главной последовательности.

Звезды большой массы (сверхгиганты) щедро расходуют свою энергию, и эволюция таких звезд продолжается всего сотни миллионов лет. Поэтому голубые сверхгиганты являются молодыми звездами.

Стадии эволюции звезды после главной последовательности также короткие. Типичные звезды становятся при этом красными гигантами, очень массивные звезды – красными сверхгигантами. Звезда быстро увеличивается в размере, и ее светимость возрастает. Именно эти фазы эволюции отражаются на диаграмме Герцшпрунга–Рассела.

