

Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное  
учреждение  
«Ульяновский техникум железнодорожного транспорта»

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**УП . 10 ФИЗИКА (УГЛУБЛЕННЫЙ УРОВЕНЬ)**

*общеобразовательный цикл*

*программы подготовки специалистов среднего звена*

*по специальности*

*13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)*

**ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ**

г. Ульяновск, 2021 год

Составитель: Белов Н.А., преподаватель ОГБПОУ УТЖТ

Учебно-методический комплекс по дисциплине УП .10 Физика (профильный уровень) составлен в соответствии с требованиями к минимуму результатов освоения УП. 10 Физика (профильный уровень), изложенными в Федеральном государственном стандарте среднего профессионального образования по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), утвержденном приказом Министерства образования и науки РФ от 14 декабря 2017 г. №1216.

Учебно-методический комплекс по дисциплине УП .10 Физика входит в *общеобразовательный цикл дисциплин* и является частью основной профессиональной образовательной программы ОГБПОУ «Ульяновский техникум железнодорожного транспорта» по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), разработанной в соответствии с примерной программой Протокол ФУМО 9/18 от 14.11.2018 по специальности, номер в реестре 13.02.07-181204.

Учебно-методический комплекс по дисциплине УП .10 Физика (профильный уровень) адресован студентам очной формы обучения.

УМКД включает теоретический блок, перечень практических занятий и/или лабораторных работ, задания по самостоятельному изучению тем дисциплины, вопросы для самоконтроля, перечень точек рубежного контроля, а также вопросы и задания по промежуточной аттестации (при наличии).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Наименование разделов</b>	<b>стр.</b>
1. Введение	4
2. Образовательный маршрут	7
3. Содержание дисциплины	
3.1 Раздел 1. Механика	8
3.2 Раздел 2. Основы молекулярной физики и термодинамики	37
3.3 Раздел 3. Колебания и волны	59
3.4 Раздел 4. Электродинамика	79
3.5 Раздел 5. Оптика	113
3.6 Раздел 6. Основы специальной теории относительности	124
3.7 Раздел 7. Элементы квантовой физики	130
4. Контроль и оценка результатов освоения учебной дисциплины	154
5. Глоссарий	156
6. Информационное обеспечение дисциплины	162

## УВАЖАЕМЫЙ СТУДЕНТ!

Учебно-методический комплекс по дисциплине УП.10 Физика (профильный уровень) создан Вам в помощь для работы на занятиях, при выполнении домашнего задания, самостоятельной работы и подготовки к различным видам контроля по дисциплине, а так же при самостоятельном изучении дисциплины.

УМК по дисциплине УП.10 Физика (профильный уровень) включает теоретический блок, перечень практических занятий, задания для самостоятельного изучения тем дисциплины, вопросы для самоконтроля, перечень точек рубежного контроля, а также вопросы и задания по промежуточной аттестации (при наличии экзамена, дифференцированного зачета).

Приступая к изучению новой учебной дисциплины УП.10 Физика (профильный уровень), Вы должны внимательно изучить список рекомендованной основной и вспомогательной литературы. Из всего массива рекомендованной литературы следует опираться на литературу, указанную как основную.

По каждой теме в УМК перечислены основные понятия и термины, вопросы, необходимые для изучения (план изучения темы), а также краткая информация по каждому вопросу из подлежащих изучению. Наличие тезисной информации по теме позволит Вам вспомнить ключевые моменты, рассмотренные преподавателем на занятии.

Основные понятия, используемые при изучении содержания дисциплины УП.10 ФИЗИКА (профильный уровень), приведены в глоссарии.

После изучения теоретического блока приведен перечень практических работ, выполнение которых обязательно. Наличие положительной оценки по практическим работам необходимо для получения дифференцированного зачета по дисциплине УП.10 ФИЗИКА (профильный уровень), поэтому в случае отсутствия на уроке по уважительной или неуважительной причине Вам потребуются найти время и выполнить пропущенную работу.

В процессе изучения дисциплины УП.10 ФИЗИКА (профильный уровень) предусмотрена самостоятельная внеаудиторная работа.

Содержание рубежного контроля (точек рубежного контроля) разработано на основе вопросов самоконтроля, приведенных по каждой теме.

По итогам изучения дисциплины УП.10 ФИЗИКА (профильный уровень) проводится дифференцированный зачет.

В зачетную книжку выставляется дифференцированная оценка. дифференцированный зачет выставляется на основании оценок за практические работы и точки рубежного контроля.

В результате освоения дисциплины УП.10 ФИЗИКА (профильный уровень) Вы должны уметь:

***личностные:***

– чувство гордости и уважения к истории и достижениям отечественной физической науки; физически грамотное поведение в профессиональной деятельности и быту при обращении с приборами и устройствами;

– готовность к продолжению образования и повышения квалификации в избранной профессиональной деятельности и объективное осознание роли физических компетенций в этом;

– умение использовать достижения современной физической науки и физических технологий для повышения собственного интеллектуального развития в выбранной профессиональной деятельности;

– умение самостоятельно добывать новые для себя физические знания, используя для этого доступные источники информации;

– умение выстраивать конструктивные взаимоотношения в команде по решению общих задач;

– умение управлять своей познавательной деятельностью, проводить самооценку уровня собственного интеллектуального развития;

***метапредметные:***

– использование различных видов познавательной деятельности для решения физических задач, применение основных методов познания (наблюдения, описания, измерения, эксперимента) для изучения различных сторон окружающей действительности;

– использование основных интеллектуальных операций: постановки задачи, формулирования гипотез, анализа и синтеза, сравнения, обобщения, систематизации, выявления причинно-следственных связей, поиска аналогов, формулирования выводов для изучения различных сторон физических объектов, явлений и процессов, с которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере;

– умение генерировать идеи и определять средства, необходимые для их реализации;

– умение использовать различные источники для получения физической информации, оценивать ее достоверность;

– умение анализировать и представлять информацию в различных видах;

– умение публично представлять результаты собственного исследования, вести дискуссии, доступно и гармонично сочетая содержание и формы представляемой информации;

**Внимание!** Если в ходе изучения дисциплины УП.10 ФИЗИКА (профильный уровень) у Вас возникают трудности, то Вы всегда можете к преподавателю прийти на дополнительные занятия, которые проводятся согласно графику. Время проведения дополнительных занятий Вы сможете узнать у преподавателя, а также познакомившись с графиком их проведения, размещенном на двери кабинета преподавателя.

В случае, если Вы пропустили занятия, Вы также всегда можете прийти на консультацию к преподавателю в часы дополнительных занятий.

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МАРШРУТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ/МДК

*Таблица 1*

<b>Формы отчетности, обязательные для сдачи</b>	<b>Количество</b>
лабораторные занятия	не предусмотрено
практические занятия	58
Точки рубежного контроля	6
Промежуточная аттестация (при наличии)	дифференцированный зачет экзамен

**Желаем Вам удачи!**

# СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Раздел 1. Механика

### Тема 1.1. Кинематика

**Основные понятия и термины по теме:** материальная точка, система отсчета, механическое движение, равномерное движение, неравномерное движение по окружности, криволинейное движение, траектория, путь перемещение, скорость, ускорение, тангенциальное ускорение, нормальное ускорение, периодическое движение.

Цель урока: Обобщить знания по кинематике; продолжить формирование умения применять теоретические знания для решения практических задач.

**Задачи:**

**Обучающие:**

повторить и обобщить знания по теме «Кинематика» и применить их при решении задач: расчетных, качественных, экспериментальных и графических.

**Развивающие:**

сформировать у студентов личностную мотивацию, познавательный интерес к данной теме; развивать творческие способности, умения быстро ориентироваться в нестандартных ситуациях.

**Воспитательная:**

формировать навыки коллективной работы в сочетании с самостоятельной деятельностью студентов.

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

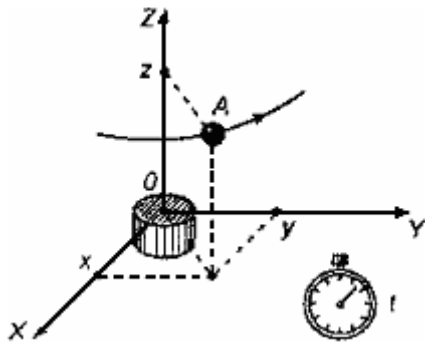
1. Что такое материальная точка? Обладает ли она массой? Имеет ли она размеры?
2. Что такое система отсчета?
3. Что называется механическим движением? Приведите примеры.
4. Что такое путь и траектория тела?
5. Определение перемещения тела. Единицы измерения.
6. Чем путь отличается от перемещения, траектория от перемещения?
7. Какое движение называется равномерным?
8. Определение скорости равномерного прямолинейного движения. Формула.
9. Как найти проекцию вектора перемещения тела, движущегося прямолинейно и равномерно, если известна проекция вектора скорости движения?
10. Что такое ускорение? /определение и формула/.
11. Какое движение называется равноускоренным?

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

*Кинематика* - часть механики, в которой изучают движение материальной точки, не рассматривая причины, вызывающие это движение.

*Механическим движением тела* называется изменение его положения в пространстве относительно других тел с течением времени.

*Основная задача механики* - определить положение тела в пространстве в любой момент времени.



Движение, при котором все точки тела движутся одинаково, называется *поступательным движением тела*.

Тело, размерами которого в условиях изучаемого движения можно пренебречь, называется *материальной точкой*.

*Тело отсчета* - это любое тело, условно принимаемое за неподвижное, относительно которого рассматривается движение других тел.

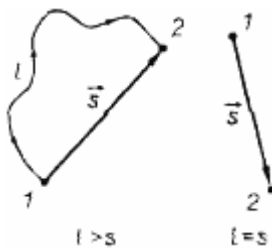
*Часы* - прибор, в котором периодическое движение используется для измерения промежутков времени.

*Система отсчета* представляет собой тело отсчета, связанную с ним систему координат и часы.

## **ТРАЕКТОРИЯ, ПУТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ**

*Траектория* - линия, которую описывает при своем движении материальная точка.

Путь - это длина траектория движения тела.



*Перемещением тела* называют вектор, соединяющий начальное положение тела с его конечным положением.

## **ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И СКОРОСТЬ ПРИ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ**

*Прямолинейное движение* - движение, траекторией которого является прямая линия.



Движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения называют *равномерным движением*.

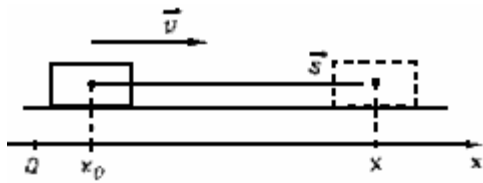
*Скорость равномерного прямолинейного движения* - отношение вектора перемещения тела за любой промежуток времени к величине этого промежутка:

$$\vec{V} = \frac{\vec{s}}{t}$$

Зная скорость, можно найти перемещение за известный промежуток времени по формуле

$$\vec{s} = \vec{V} t$$

При прямолинейном равномерном движении векторы скорости и перемещения имеют одинаковое направление.



Проекция перемещения на ось  $x$ :  $s_x = v_x t$ . Так как  $s_x = x - x_0$ , то координата тела  $x = x_0 + s_x$ . Аналогично для оси  $y$ :  $y = y_0 + s_y$ .

В результате получаем уравнения прямолинейного равномерного движения тела в проекциях на оси  $x$  и  $y$ :

$$x = x_0 + v_x t, \quad (1)$$

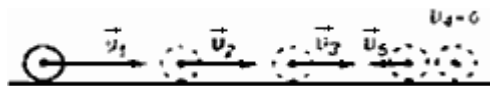
$$y = y_0 + v_y t. \quad (2)$$

## ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Положение тела относительно, то есть оно различно в разных системах отсчета. Следовательно, относительно и его движение.

## СКОРОСТЬ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

*Неравномерным* называется движение, при котором скорость тела со временем изменяется.



Средняя скорость неравномерного движения равна отношению вектора перемещения к времени нахождения в пути

$$\vec{V}_{cp} = \frac{\vec{s}}{t}$$

Тогда перемещение при неравномерном движении

$$\vec{s} = \vec{V}_{cp} t$$

*Мгновенной скоростью* называется скорость тела в данный момент времени или в данной точке траектории.

## **УСКОРЕНИЕ. РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ**

*Равноускоренным* называется движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково.

*Ускорением тела* называют отношение изменения скорости тела ко времени, за которое это изменение произошло.

Ускорение характеризует быстроту изменения скорости.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \quad (1)$$

$$[a] = \frac{м/с}{с} = \frac{м}{с^2}$$

Ускорение - векторная величина. Оно показывает, как изменяется мгновенная скорость тела за единицу времени.

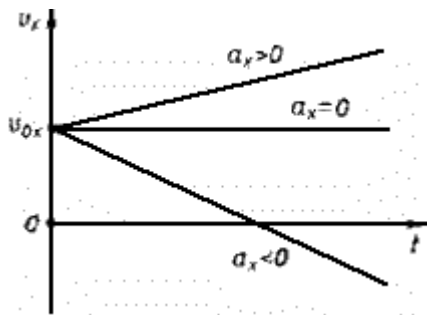
Зная начальную скорость тела и его ускорение, из формулы (1) можно найти скорость в любой момент времени:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad (2)$$

Для этого уравнение нужно записать в проекциях на выбранную ось:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Графиком скорости при равноускоренном движении является прямая.



## **ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ПУТЬ ПРИ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ РАВНОУСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ**

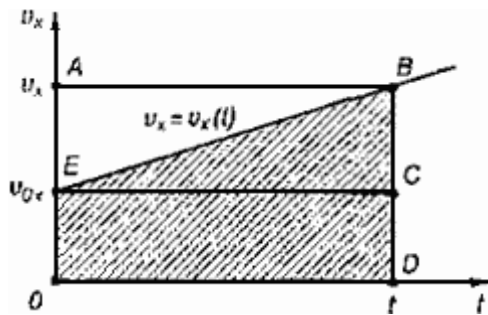
Предположим, что тело совершило перемещение за время  $t$ , двигаясь с ускорением. Если скорость изменяется от  $\vec{v}_0$  до  $\vec{v}$  и учитывая, что,

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \text{ получим}$$

$$\vec{s} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}_0 + \vec{a}t}{2} t = \frac{2\vec{v}_0 t + \vec{a}t^2}{2},$$

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

Используя график скорости, можно определить пройденный телом за известное время путь - он численно равен площади заштрихованной поверхности.



## СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ

Движение тел в безвоздушном пространстве под действием силы тяжести называют *свободным падением*.

Свободное падение - это равноускоренное движение. Ускорение свободного падения в данном месте Земли постоянно для всех тел и не зависит от массы падающего тела:  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

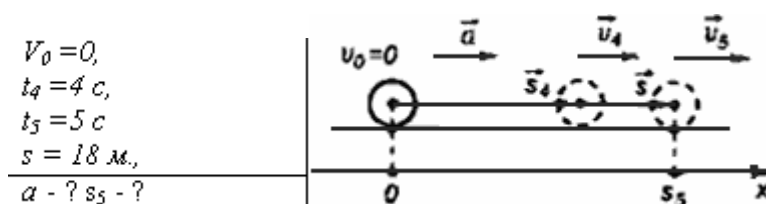
Для решения различных задач из раздела "Кинематика" необходимы два уравнения:

$$\vec{s} = \vec{V}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$

и

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_0 + \vec{a} t$$

**Пример:** Тело, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, за пятую секунду прошло путь 18 м. Чему равно ускорение и какой путь прошло тело за 5 с?



$$\begin{aligned} V_0 &= 0, \\ t_4 &= 4 \text{ с}, \\ t_5 &= 5 \text{ с} \\ s &= 18 \text{ м}, \\ a - ? \quad s_5 - ? \end{aligned}$$

$$x = x_0 + V_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \Rightarrow x - x_0 = \frac{a t^2}{2}$$

За пятую секунду тело прошло путь  $s = s_5 - s_4$  и  $s_5$  и  $s_4$  - расстояния, пройденные телом соответственно за 4 и 5 с.

$$s = \frac{a t_5^2}{2} - \frac{a t_4^2}{2} = \frac{a}{2} (t_5^2 - t_4^2) \Rightarrow a = \frac{2s}{t_5^2 - t_4^2}$$

$$a = \frac{2 \cdot 18 \text{ м}}{25 \text{ с}^2 - 16 \text{ с}^2} = 4 \text{ м/с}^2$$

$$s_5 = \frac{4 \text{ м/с}^2 \cdot 25 \text{ с}^2}{2} = 50 \text{ м}$$

**Ответ:** тело, двигаясь с ускорением  $4 \text{ м/с}^2$ , за 5 с прошло 50 м.

**Практические занятия** - не предусмотрено

**Задания для самостоятельного выполнения**

1. 1. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразовательных учреждений: базовый и профильный уровни /Мякишев Г.Я, Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. – 16-е изд. – М.: Просвещение, 2017. – 366 с. Используя дополнительную литературу, составьте сообщение о происхождении религии или искусства.

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**  
устный опрос

**Вопросы для самоконтроля по теме** - не предусмотрено

### **Тема 1.2. Законы механики Ньютона**

**Основные понятия и термины по теме:** *Законы Ньютона, сила, импульс, масса, закон всемирного тяготения, силы в механике.*

Цель урока: актуализировать знания законов Ньютона

Задачи урока:

- предметные: актуализировать знания по теме; уметь определять понятия, связанные с законами Ньютона; вспомнить основные формулы для решения задач
- личностные: развить учебно-познавательный интерес к решению физических задач
- регулятивные: развить умение читать и записывать информацию, планировать действия в соответствии с поставленной задачей, с использованием конкретных формул;
- коммуникативные: уметь формулировать, аргументировать и отстаивать свою точку зрения, организовать сотрудничество с преподавателем и сверстниками.
- метапредметные: Математика (прямая и обратная пропорциональность, выражение искомой величины через известные величины);

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

- 1) Как формулируется закон сохранения энергии в механике?
- 2) Какие есть законы сохранения?
- 3) Какой закон является законом сохранения?
- 4) Когда полная механическая энергия сохраняется?

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Импульсом тела называется величина, равная произведению массы тела на его скорость.

$$\vec{p} = m \vec{v}, [p] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

Изменение импульса тела равно импульсу силы.

$$\vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0$$

**Закон сохранения импульса:** Геометрическая сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, остается постоянной при любых движениях и взаимодействиях тел системы.

$$\vec{p}_{01} + \dots + \vec{p}_{0n} = \vec{p}_1 + \dots + \vec{p}_n = \text{const}$$

Работа постоянной силы равна произведению модулей векторов силы и перемещения на косинус угла между этими векторами.

$$A = FS \cos \alpha$$

Кинетическая энергия равна половине произведения массы тела на квадрат его скорости.

$$E_k = \frac{m v^2}{2}$$

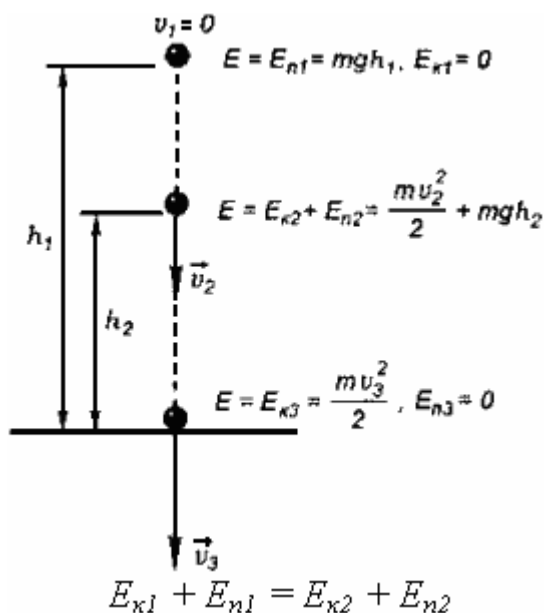
*Кинетическая энергия* – это физическая величина, характеризующая движущееся тело; изменение этой величины равно работе силы, приложенной к телу.

*Величина  $mgh$*  - это потенциальная энергия тела, поднятого на высоту  $h$  над нулевым уровнем.

Работа силы упругости равна изменению потенциальной энергии упруго деформированного тела ( пружины), взятому с противоположным знаком.

Потенциальная энергия деформированного тела равна работе силы упругости.

**Закон сохранения энергии:** Полная механическая энергия замкнутой системы тел, взаимодействующих силами тяготения или силами упругости, остается неизменной при любых движениях тел системы.



*Мощностью* называется величина, равная отношению совершенной работы к промежутку времени, за который она совершена:

$$N = \frac{A}{t}$$

$$[N] = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт (Ватт)}$$

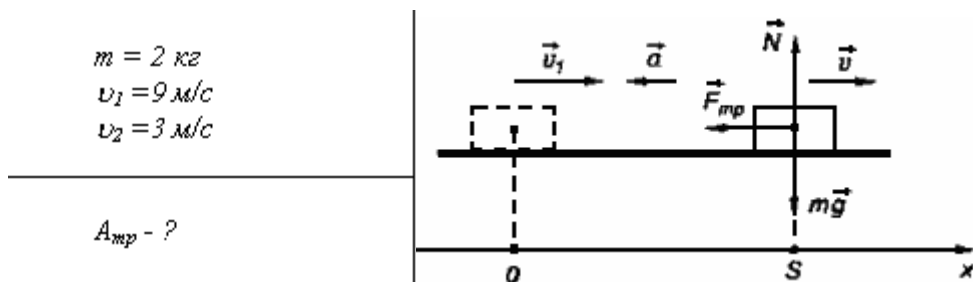
*Коэффициентом полезного действия* называется величина, равная отношению полезной работы ко всей совершенной работе.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}}$$

*КУП* показывает, насколько эффективно данная машина использует подводимую к ней энергию. Коэффициент полезного действия не может быть больше единицы. КУП можно записать в процентах:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}} \cdot 100\%$$

**Пример.** Тело массой 2 кг при скорости 9 м/с начинает двигаться по инерции по горизонтальной поверхности. Определите работу силы трения, совершаемую с начала этого движения до уменьшения начальной скорости втрое.



Изменение полной механической энергии тела  $\Delta E_{12} = E_2 - E_1$  равно работе силы трения

$$A_{\text{тр}}: E_2 - E_1 = A_{\text{тр}}$$

Так как  $E_{n1} = E_{n2}$ , то

$$E_2 - E_1 = (E_{k2} + E_{n2}) - (E_{k1} + E_{n1}) = E_{k2} - E_{k1}$$

где  $E_{k1}$ ,  $E_{k2}$  - кинетические энергии тела в конце и начале движения. Поскольку

$$E_{k2} = \frac{m v_2^2}{2}, \quad E_{k1} = \frac{m v_1^2}{2},$$

$$A_{\text{тр}} = E_2 - E_1 = E_{k2} - E_{k1} = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2}$$

Работа силы трения  $A_{\text{тр}} < 0$ , так как  $v_2 < v_1$ . Подставим значения:

$$A_{\text{тр}} = -\frac{2\text{кг} \cdot (81(\text{м/с})^2 - 27(\text{м/с})^2)}{2} = -72 \text{ Дж}$$

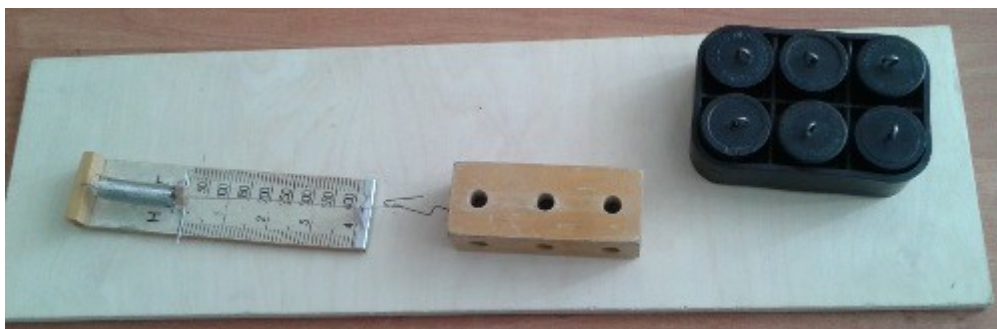
## Практические занятия

### № 1 Исследование движения тела под действием постоянной силы

**Цель работы:** 1. выяснить, зависит ли сила трения скольжения от силы нормального давления, если зависит, то как.

2. Определить коэффициент трения дерева по дереву.

**Приборы и материалы:** динамометр, деревянный брусок, деревянная линейка или деревянная плоскость, набор грузов по 100 г.



## Теория

**Сила трения** – это сила, которая возникает в том месте, где тела соприкасаются друг с другом, и препятствует перемещению тел.

Сила трения - это сила электромагнитной природы.

Возникновение силы трения объясняется двумя причинами:

- 1) Шероховатостью поверхностей
- 2) Проявлением сил молекулярного взаимодействия.

Силы трения всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям и **подразделяются** на *силы трения покоя, скольжения, качения*.

В данной работе исследуется зависимость силы трения скольжения от веса тела.

**Сила трения скольжения** – это сила, которая возникает при скольжении предмета по какой-либо поверхности. По модулю она почти равна максимальной силе трения покоя. Направление силы трения скольжения противоположно направлению движения тела. Сила трения в широких пределах не зависит от площади соприкасающихся поверхностей. В данной работе надо будет убедиться в том, что сила трения скольжения пропорциональна силе давления (силе реакции опоры):

$F_{тр} = \mu N$ , где  $\mu$  - коэффициент пропорциональности, называется **коэффициентом трения**. Он характеризует не тело, а сразу два тела, трущихся друг о друга.

### Ход работы

1. Определите цену деления шкалы динамометра.



2. Определите массу бруска. Подвесьте брусок к динамометру, показания динамометра - это вес бруска. Для нахождения массы бруска разделите вес на  $g$ . Принять  $g=10 \text{ м/с}^2$ .
2. Положите брусок на горизонтально расположенную деревянную линейку. На брусок поставьте груз 100 г.
3. Прикрепив к бруску динамометр, как можно более равномерно тяните его вдоль линейки. Запишите показания динамометра, это и есть величина силы трения скольжения.
4. Добавьте второй, третий, четвертый грузы, каждый раз измеряя силу трения. С увеличением числа грузов растет сила нормального давления.
5. Результаты измерений занесите в таблицу.

№ опыта	Масса бруска, $m_1$ , кг	Масса груза, $m_2$ , кг	Общий вес тела (сила нормального давления),	Сила трения, $F_{тр}$ , Н	Коэффициент трения, $\mu$	Среднее значение коэффициента трения,



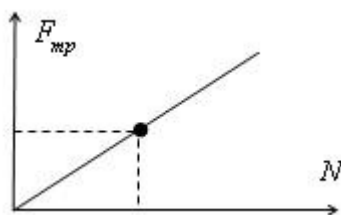
			$P=N=(m_1+m_2)g,$ Н			$\mu_{cp}$
1						
2						
3						
4						
5						

6. Сделайте вывод: зависит ли сила трения скольжения от силы нормального давления, и если зависит, то как?

7. В каждом опыте рассчитать коэффициент трения по формуле:  $\mu = \frac{F_{тр}}{N}$ .  
Принять  $g=10 \text{ м/с}^2$ .

Результаты расчётов занести в таблицу.

8. По результатам измерений постройте график зависимости силы трения от силы нормального давления. При построении графика по результатам опытов экспериментальные точки могут не оказаться на прямой, которая соответствует формуле. Это связано с погрешностями измерения. В этом случае график надо проводить так, чтобы примерно одинаковое число точек оказалось по разные стороны от прямой. После построения графика возьмите точку на прямой (в средней части графика), определите по нему соответствующие этой точке значения силы трения и силы нормального давления и вычислите коэффициент трения. Это и будет средним значением коэффициента трения. Запишите его в таблицу.



9. Исходя из цели работы, запишите вывод и ответьте на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы.

1. Что называется силой трения?
2. Какова природа сил трения?
3. Назовите основные причины, от которых зависит сила трения?
4. Перечислите виды трения.

5. Можно ли считать явление трения вредным? Почему?

**Вариант выполнения лабораторной работы.**

5. Результаты измерений:

№ опыта	Масса бруска, $m_1$ , кг	Масса груза, $m_2$ , кг	Общий вес тела (сила нормального давления), $P=N=(m_1+m_2)g$ , Н	Сила трения, $F_{тр}$ , Н	Коэффициент трения, $\mu$	Среднее значение коэффициента трения, $\mu_{ср}$
1	0,07	0,1		0,4		
2		0,2		0,6		
3		0,3		0,8		
4		0,4		1		
5		0,5		1,2		

*№ 2 Исследование закона сохранения импульса*

*Цель:* экспериментально проверить справедливость закона сохранения импульса тел при прямом упругом сУПарении

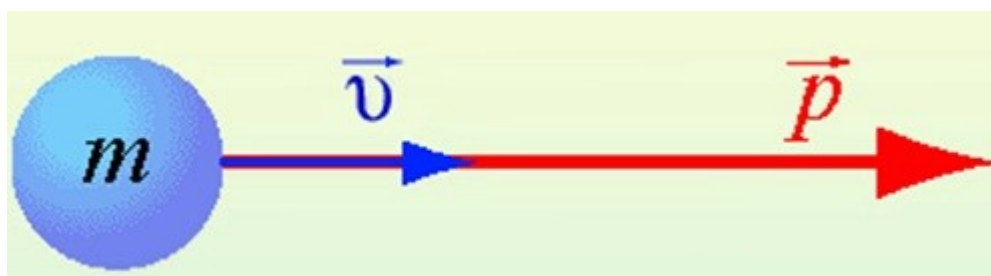
*Оборудование:* 1. Два металлических шарика разной массы.

2. Рама для подвеса шариков.

3. Измерительная линейка.

**Теория**

Величина, равная произведению массы материальной точки на ее скорость, называется **импульсом**.



$p = mv$

$p$  — импульс тела

$m$  — масса тела

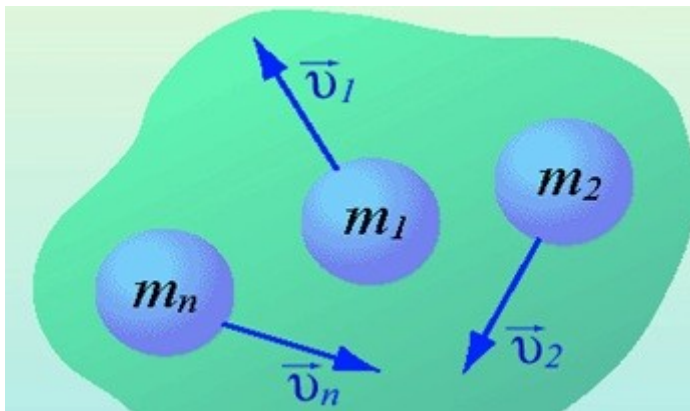
$v$  — скорость тела

Импульс тела **направлен в ту же сторону, что и скорость тела.**

**Единицей измерения импульса в СИ является 1 кг·м/с.**

Изменение импульса тела происходит при взаимодействии тел, например, при ударах.

Для системы материальных точек полный импульс равен сумме импульсов. При этом следует иметь в виду, что импульс – это векторная величина, и поэтому в общем случае импульсы складываются как векторы, т.е. по правилу параллелограмма.



$$\vec{p}_{\text{сист}} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$$

Если на систему тел не действуют внешние силы со стороны других тел, такая система называется замкнутой. **Замкнутая система** – это система тел, которые взаимодействуют только друг с другом.

**Закон сохранения импульса:** в замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

$m_1, m_2$  — массы взаимодействующих тел, кг

$v_1, v_2$  — скорости тел до столкновения, м/с

$v'_1, v'_2$  — скорости тел после столкновения, м/с

Закон сохранения импульса можно сформулировать и так: **если на тела системы действуют только силы взаимодействия между ними («внутренние силы»), то полный импульс системы тел не изменяется со временем, т.е. сохраняется. Этот закон применим к системе, состоящей из любого числа тел.** Отметим еще раз, что импульс – величина векторная, поэтому сохранение полного импульса означает сохранение не только его величины, но и направления.

Закон сохранения импульса выполняется при распаде тела на части и при абсолютно неупругом ударе, когда сУПаряющиеся тела соединяются в одно. Если распад или удар происходят в течение малого промежутка времени, то закон сохранения импульса приближенно выполняется для этих процессов даже при наличии внешних сил, действующих на тела системы со стороны тел, не входящих в нее, т.к. за малое время внешние силы не успевают значительно изменить импульс системы.

Под ударом в механике понимается кратковременное взаимодействие двух или более тел, возникающее в результате их соприкосновения (сУПарение шаров, удар молота о наковальню и др.). Самым простым является прямой (центральный) удар, то есть такой удар, при котором скорости сУПаряющихся тел до удара направлены по линии, соединяющей центры тел. При сУПарении взаимодействие длится такой короткий промежуток времени (иногда измеряемый тысячными долями секунды) и возникают столь большие внутренние силы взаимодействия, что внешними силами можно пренебречь и систему сУПаряющихся тел можно считать замкнутой и применять к ней закон сохранения импульса.

В зависимости от упругих свойств тел сУПарения могут протекать весьма различно. Принято выделять два крайних случая: абсолютно упругий и абсолютно неупругий удары.

**Абсолютно упругим** называется удар, при котором после взаимодействия тела полностью восстанавливают свою форму. Таких ударов в природе не существует, так как всегда часть энергии затрачивается на необратимую деформацию тел. Однако для некоторых тел, например стальных закаленных шаров, потерями механической энергии при столкновении можно пренебречь и считать удар абсолютно упругим. В случае центрального абсолютно упругого удара двух тел с массами  $m_1, m_2$  и скоростями  $v_1, v_2$  до удара и  $v'_1, v'_2$  после удара можно записать закон сохранения импульса тел:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

**Абсолютно неупругим** называется удар, при котором после соприкосновения тел они не восстанавливают полностью свою форму, соединяются вместе и движутся как единое целое с одной скоростью. При этом ударе часть их механической энергии переходит в работу деформации тел (внутреннюю энергию). Столкновение двух шаров из пластилина, когда после столкновения шары слипаются и движутся вместе, является примером абсолютно неупругого удара. В случае центрального абсолютно неупругого удара двух тел с массами  $m_1, m_2$  движущихся со скоростями  $v_1, v_2$  до удара и  $v'$  после удара можно записать законы сохранения импульса тел:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}'$$

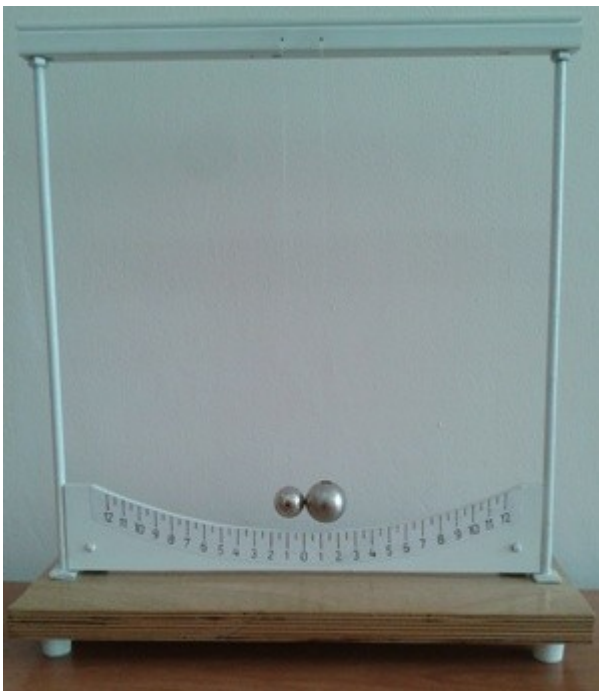
$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'$$

Закон сохранения импульса служит основой для объяснения обширного круга явлений природы, применяется в различных науках:

1. Закон строго выполняется в явлениях отдачи при выстреле, явлении реактивного движения, взрывных явлениях и явлениях столкновения тел.
2. Закон сохранения импульса применяют: при расчетах скоростей тел при взрывах и сУПарениях; при расчетах реактивных аппаратов; в военной промышленности при проектировании оружия; в технике - при забивании свай, ковке металлов и т.д

### Описание работы

Установка состоит из двух стальных шаров, на длинных подвесах и измерительной линейки под шарами. Центры масс соприкасающихся шаров лежат на одном уровне от точки подвеса. Отведя один из шаров (например, большей массы) в сторону и отпустив его, можно произвести прямой (центральный) удар шаров.



Если до столкновения один из шаров покоился  $v_2=0$ , то выражение закона сохранения импульса упростится. При прямом ударе оба шара после столкновения движутся по одной прямой, поэтому от векторной формы записи закона сохранения импульса можно перейти к алгебраической и учитывая, что после столкновения оба шара движутся в одном направлении, получим:

$$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

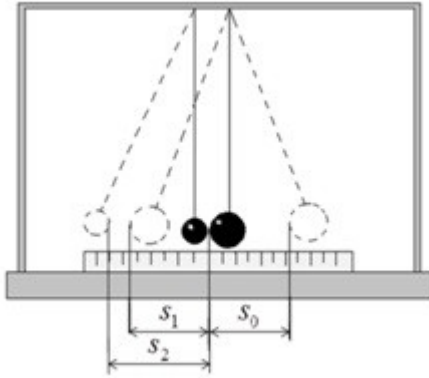


рис. 2

Для определения скорости первого шара  $v_1$  до удара и скоростей шаров  $v'_1$  и  $v'_2$  после удара воспользуемся законом сохранения механической энергии. Потенциальная энергия шара в положении максимального отклонения

равняется его кинетической энергии при ударе  $mgh = \frac{mv^2}{2}$ , отсюда  $v = \sqrt{2gh}$ .

Высоту подъёма шара можно определить по его максимальному отклонению  $s$  от положения равновесия (рис.3,а).

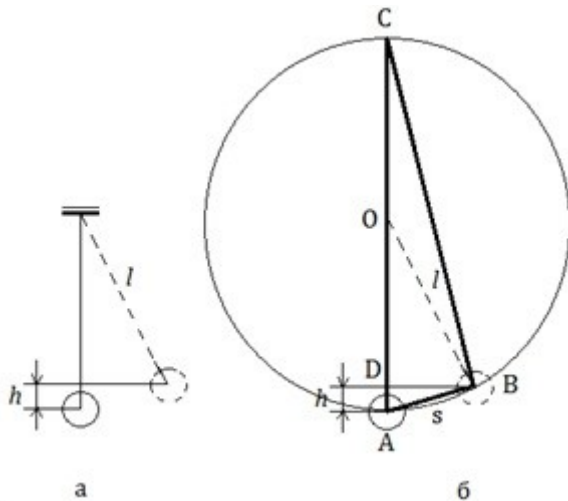


рис. 3

Треугольник ABC прямоугольный (опирается на диаметр). Катет AB является средней пропорциональной величиной между гипотенузой  $AC=2l$  и своей проекцией на гипотенузу AD (рис.3,б):  $AB^2=AC \cdot AD$  то есть  $s^2 = 2lh$ ,

откуда  $h = \frac{s^2}{2l}$ . Следовательно, величины скоростей можно выразить

$$v_1 = s_0 \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad v'_1 = s_1 \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad v'_2 = s_2 \sqrt{\frac{g}{l}},$$

так: где  $s_0, s_1$  - максимальные

отклонения первого шара до и после удара;  $S_2$  - максимальное отклонение второго шара после удара.

Запишем уравнение закона сохранения через выражения скоростей:

$$m_1 s_0 \sqrt{\frac{g}{l}} = m_1 s_1 \sqrt{\frac{g}{l}} + m_2 s_2 \sqrt{\frac{g}{l}} \quad \text{или} \quad m_1 \cdot S_0 = m_1 \cdot S_1 + m_2 \cdot S_2.$$

Таким образом, проверка закона сохранения импульса в данной работе сводится к проверке справедливости последнего уравнения.

**При малых углах отклонения шара от положения равновесия  $S_0$ ,  $S_1$  и  $S_2$  можно заменить соответствующими величинами, отсчитанными по горизонтальной шкале.**

### Выполнение работы.

1. Перенесите рисунок 2 в отчет по работе.
2. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№	$m_1$	$m_2$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$m_1 \cdot S_0$	$m_1 \cdot S_1$	$m_2 \cdot S_2$	$m_1 \cdot S_1 + m_2 \cdot S_2$
	г	г	мм	мм	мм	г·мм	г·мм	г·мм	г·мм
1									
2									
3									

3. Определите массы шаров  $m_1$  и  $m_2$ . Запишите их результат в таблицу.
4. Отрегулируйте подвеску шаров так, чтобы их центры и точка касания находились на одной горизонтальной линии.
5. Отклоните шар большей массы на 3 см от положения равновесия ( $S_0$ ) и затем отпустите его. Заметьте **максимальное отклонение шара большей массы после удара ( $S_1$ )**. Повторите опыт 5 раз и найдите среднее значение отклонения  $S_{1cp}$ . Запишите его в таблицу ( $S_1$ ).
6. Повторите опыт, но теперь заметьте после удара **максимальное отклонение шара с меньшей массой ( $S_2$ )**. Повторите опыт 5 раз, и найдите среднее значение отклонения  $S_{2cp}$ . Запишите его в таблицу ( $S_2$ ).
7. Повторите опыт, отклоняя шар большей массы на 4 см и 5 см. Результаты измерений запишите в таблицу.
8. Используя значения  $S_0$ ,  $S_1$  и  $S_2$ , вычислите импульс шара до удара  $m_1 \cdot S_0$  и сумму импульсов шаров после удара  $m_1 \cdot S_1 + m_2 \cdot S_2$  и внесите в таблицу их результаты.
9. Сравните импульс шара до удара с суммой импульсов шаров после удара. Запишите вывод по полученным результатам работы.

10. Ответьте на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Что называется импульсом материальной точки? По какой формуле он находится? В каких единицах он измеряется?
2. Импульс – величина векторная или скалярная?
3. Запишите формулу и формулировку закона сохранения импульса.
4. При каких условиях выполняется закон сохранения импульса?
5. Какое сУПарение называется абсолютно упругим?
6. Для каких видов сУПарений выполняется закон сохранения импульса?

### Вариант выполнения измерений.

1. Определяем массы шариков  $m_1$  и  $m_2$  при помощи динамометра (или весов) и записываем в таблицу:

$$m_1=62 \text{ г}$$

$$m_2=27,5 \text{ г}$$

2. Отклоняем большой шар от положения равновесия на 3 см и отпускаем его.

$$S_0=3 \text{ см}=30 \text{ мм}$$

Замечаем его максимальное отклонение после удара. Повторяем опыт 5 раз, находим среднее значение отклонения и записываем в таблицу  $S_{1cp}$ .

$$S_1=13\text{мм} \quad S_1=15\text{мм} \quad S_1=18\text{мм} \quad S_1=14\text{мм} \quad S_1=16\text{мм}$$

$$S_{1cp}=(13\text{мм}+15\text{мм}+18\text{мм}+14\text{мм}+16\text{мм})/5=15,2 \text{ мм}$$

3. Повторяем этот же опыт, но теперь замечаем после удара отклонение шара меньшей массы. Повторяем опыт 5 раз, находим среднее значение и записываем в таблицу  $S_{2cp}$ .

$$S_2=31\text{мм} \quad S_2=34\text{мм} \quad S_2=36\text{мм} \quad S_2=35\text{мм} \quad S_2=32\text{мм}$$

$$S_{2cp}=(31\text{мм}+34\text{мм}+36\text{мм}+35\text{мм}+32\text{мм})/5=34\text{мм}$$

4. Повторяем опыт, отклоняя шар большей массы на 4 см и 5 см.

$$S_0=4 \text{ см}=40 \text{ мм}$$

$$S_1=18 \text{ мм} \quad S_1=19 \text{ мм} \quad S_1=23 \text{ мм} \quad S_1=22 \text{ мм} \quad S_1=18 \text{ мм}$$

$$S_{1cp}=(18 \text{ мм}+19 \text{ мм}+23 \text{ мм}+22 \text{ мм}+18 \text{ мм})/5=20 \text{ мм}$$

$$S_2=43 \text{ мм} \quad S_2=44 \text{ мм} \quad S_2=46 \text{ мм} \quad S_2=47 \text{ мм} \quad S_2=45 \text{ мм}$$

$$S_{2cp}=(43 \text{ мм} + 44 \text{ мм} + 46 \text{ мм} + 47 \text{ мм} + 45 \text{ мм})/5=45 \text{ мм}$$

$$S_0=5 \text{ см}=50 \text{ мм}$$



Результаты измерений записываем в таблицу.

№	$m_1$	$m_2$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$m_1 \cdot S_0$	$m_1 \cdot S_1$	$m_2 \cdot S_2$	$m_1 \cdot S_1 + m_2 \cdot S_2$
	г	г	мм	мм	мм	г·мм с	г·мм с	г·мм с	
1	62,0	27,5	30	15	34				
2	62,0	27,5	40	20	45				
3	62,0	27,5	50	25	56				

*№ 3 Исследование закона сохранения механической энергии при движении тела под действием сил тяжести и упругости*

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

**Цель:** 1) научиться измерять потенциальную энергию поднятого над землей тела и упруго деформированной пружины;

2) сравнить две величины—уменьшение потенциальной энергии прикрепленного к пружине тела при его падении и увеличение потенциальной энергии растянутой пружины.

**Приборы и материалы:** 1) динамометр, жесткость пружины которого равна 40 Н/м; 2) линейка измерительная; 3) груз из набора по механике; масса груза равна (0,100 ± 0,002) кг; 4) фиксатор; 5) штатив с муфтой и лапкой.

**Основные сведения.**

Если тело способно совершить работу, то говорят, что оно обладает энергией.

**Механическая энергия тела** – это скалярная величина, равная максимальной работе, которая может быть совершена в данных условиях.

Обозначается **E** Единица энергии в СИ [1Дж = 1Н\*м]

**Кинетическая энергия** – это энергия тела, обусловленная его движением.

*Физическая величина, равная половине произведения массы тела на квадрат его скорости, называется кинетической энергией тела:*

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Кинетическая энергия – это энергия движения. Кинетическая энергия тела массой  $m$ , движущегося со скоростью  $\vec{v}$  равна работе, которую должна совершить сила, приложенная к покоящемуся телу, чтобы сообщить ему эту скорость:

$$A = \frac{mv^2}{2} = E_k$$

Наряду с кинетической энергией или энергией движения в физике важную роль играет понятие **потенциальной энергии** или **энергии взаимодействия тел**.

**Потенциальная энергия** – энергия тела, обусловленная взаимным расположением взаимодействующих между собой тел или частей одного тела.

**Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести** (потенциальная энергия тела, поднятого над землёй).

$$E_p = mgh$$

Она равна работе, которую совершает сила тяжести при опускании тела на нулевой уровень.

Растянутая (или сжатая) пружина способна привести в движение прикрепленное к ней тело, то есть сообщить этому телу кинетическую энергию. Следовательно, такая пружина обладает запасом энергии. Потенциальной энергией пружины (или любого упруго деформированного тела) называют величину

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$
 где  $k$  – жесткость пружины,  $x$  - абсолютное удлинение тела.

**Потенциальная энергия упруго деформированного тела равна работе силы упругости при переходе из данного состояния в состояние с нулевой деформацией.**

Потенциальная энергия при упругой деформации – это энергия взаимодействия отдельных частей тела между собой силами упругости.

Если тела, составляющие **замкнутую механическую систему**, взаимодействуют между собой только силами тяготения и упругости, то работа этих сил равна изменению потенциальной энергии тел, взятому с противоположным знаком:

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}).$$

По теореме о кинетической энергии эта работа равна изменению кинетической энергии тел:

$$A = E_{k2} - E_{k1}$$

$$\text{Следовательно } E_{k2} - E_{k1} = -(E_{p2} - E_{p1}) \quad \text{или} \quad E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}.$$

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

Это утверждение выражает **закон сохранения энергии** в механических процессах. Он является следствием законов Ньютона.

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

**Полная механическая энергия замкнутой системы тел, взаимодействующих между собой только консервативными силами, при любых движениях этих тел не изменяется. Происходят лишь взаимные превращения потенциальной энергии тел в их кинетическую энергию, и наоборот, или переход энергии от одного тела к другому.**

$$E = E_k + E_p = \text{const}$$

Закон сохранения механической энергии выполняется только тогда, когда тела в замкнутой системе взаимодействуют между собой консервативными силами, то есть силами, для которых можно ввести понятие потенциальной энергии.

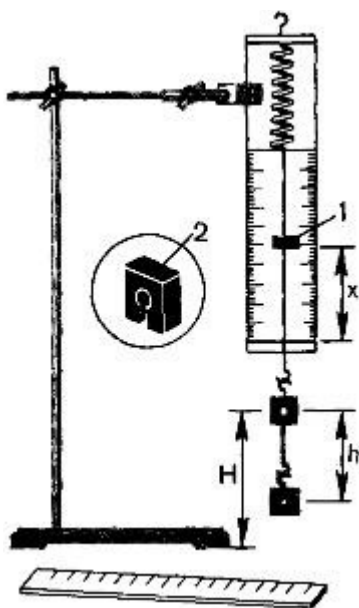
В реальных условиях практически всегда на движущиеся тела наряду с силами тяготения, силами упругости и другими консервативными силами действуют силы трения или силы сопротивления среды.

Сила трения не является консервативной. Работа силы трения зависит от длины пути.

Если между телами, составляющими замкнутую систему, действуют силы трения, то механическая энергия не сохраняется. Часть механической энергии превращается во внутреннюю энергию тел (нагревание).

### **Описание установки.**

Для работы используется установка, показанная на рисунке. Она представляет собой укрепленный на штативе динамометр с фиксатором 1.



Пружина динамометра заканчивается проволочным стержнем с крючком. Фиксатор (в увеличенном масштабе он показан отдельно — помечен цифрой 2) — это легкая пластинка из пробки (размерами 5 X 7 X 1,5 мм), прорезанная ножом до ее центра. Ее насаживают на проволочный стержень

динамометра. Фиксатор должен перемещаться вдоль стержня с небольшим трением, но трение все же должно быть достаточным, чтобы фиксатор сам по себе не падал вниз. В этом нужно убедиться перед началом работы. Для этого фиксатор устанавливают у нижнего края шкалы на ограничительной скобе. Затем растягивают и отпускают.

Фиксатор вместе с проволочным стержнем должен подняться вверх, отмечая этим максимальное удлинение пружины, равное расстоянию от упора до фиксатора.

Если поднять груз, висящий на крючке динамометра, так, чтобы пружина не была растянута, то потенциальная энергия груза по отношению, например, к поверхности стола равна  $mgh$ . При падении груза (опускание на расстояние  $x = h$ ) потенциальная энергия груза уменьшится на

$$E_1 = mgh$$

а энергия пружины при ее деформации увеличивается на

$$E_2 = kx^2/2$$

### Порядок выполнения работы

1. Груз из набора по механике прочно укрепите на крючке динамометра.
2. Поднимите рукой груз, разгружая пружину, и установите фиксатор внизу у скобы.
3. Отпустите груз. Падая, груз растянет пружину. Снимите груз и по положению фиксатора измерьте линейкой максимальное удлинение  $x$  пружины.
4. Повторите опыт пять раз. Найдите среднее значение  $h$  и  $x$
5. Подсчитайте  $E_{1cp} = mgh$  и  $E_{2cp} = kx^2/2$
6. Результаты занесите в таблицу:

№ опыта	$h = x_{max}$ , м	$h_{cp} = x_{cp}$ , м	$E_{1cp}$ , Дж	$E_{2cp}$ , Дж	$E_{1cp} / E_{2cp}$
1					
2					
3					
4					
5					

7. Сравните отношение  $E_{1cp} / E_{2cp}$  с единицей и сделайте вывод о погрешности, с которой был проверен закон сохранения энергии.

8. Ответьте на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы.

1. Раскройте понятие механической энергии?
  2. Какая энергия называется кинетической? По какой формуле она находится?
  3. Какая энергия называется потенциальной? По какой формуле она находится?
  4. Что называется полной механической энергией?
  5. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
  6. Как связано изменение потенциальной энергии падающего груза с изменением энергии пружины, растянутой при его падении?
- Вариант выполнения измерений.

1. Определяем максимальное удлинение  $x$  пружины и заносим в таблицу:

№ опыта	$h=x_{\max}$ , м	$h_{\text{ср}}=x_{\text{ср}}$ , м	$E_{1\text{ср}}$ , Дж	$E_{2\text{ср}}$ , Дж	$E_{1\text{ср}}/ E_{2\text{ср}}$
1	0,048				
2	0,054				
3	0,052				
4	0,050				
5	0,052				

2. Выполняем расчеты по методичке.

*№ 4 Исследование зависимости работы силы от изменения кинетической энергии тела.*

**Цель:** экспериментальная проверка теоремы о кинетической энергии.

**Оборудование:** 1) штативы для фронтальных работ — 2 шт.;

2) динамометр учебный;

3) шар;

4) нитки;

5) линейка измерительная 30 см с миллиметровыми делениями;

6) весы учебные;

### Краткая теория:

Теорема о кинетической энергии утверждает, что работа силы, приложенной к телу, равна изменению кинетической энергии тела:

Для экспериментальной проверки этого утверждения можно воспользоваться установкой, изображенной на рисунке.

В лапке штатива закрепляют горизонтально динамометр. К его крючку привязывают шар на нити длиной 60—80 см. На другом штативе на такой же высоте, как и динамометр, закрепляют лапку. Установив шар на краю лапки, штатив вместе с шаром отодвигают от первого штатива на такое расстояние, чтобы на шар действовала сила упругости  $F_{упр}$  со стороны пружины динамометра. Затем шар отпускают. Под действием силы упругости шар приобретает скорость, его кинетическая энергия изменяется от 0 до . Следовательно, изменение кинетической энергии будет равно:

Для определения модуля скорости  $v$  шара, приобретенной под действием силы упругости  $F_{упр}$ , можно измерить дальность полета  $s$  шара при свободном падении с высоты  $H$ . Так как скорость при падении шара можно определить по формуле: а время, затраченное на падение, по формуле: .

Отсюда модуль скорости  $v$  равен: , а изменение кинетической энергии равно соответственно:

Сила упругости во время действия на шар по закону Гука изменяется линейно от до  $F_{упр2}=0$ , тогда среднее значение силы упругости равно:

Измерив деформацию пружины (ее удлинение) динамометра  $x$ , можно вычислить работу силы упругости:

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Укрепите на штативах динамометр и лапку для шара на одинаковой высоте  $H = 40$  см от поверхности стола. Зацепите за крючок динамометра нить с привязанным шаром.

2. Удерживая шар на лапке, отодвигайте штатив до тех пор, пока показание динамометра станет равным  $= 2H$ .

Измерьте деформацию пружины динамометра  $x$  при данной силе. Отпустите шар с лапки и заметьте место его падения на столе. Опыт повторите 2—3 раза и определите среднее значение дальности полета  $S$  шара:  $S_{cp} = (S_1 + S_2 + S_3)/3$  и среднее значение деформации пружины динамометра  $x_{cp}$ . Данные занести в таблицу.

3. Измерьте массу шара с помощью весов (или используйте готовую, если масса известна) и вычислите изменение кинетической энергии шара под действием силы упругости используя среднее значение дальности полета ( $S_{cp}$ ):

4. Вычислите работу  $A$  силы упругости и занести данные в таблицу:

5. Сравните полученные значения работы  $A$  силы упругости и изменения кинетической энергии  $E_k$  шара. Сделайте вывод.

#### **Таблица**

<b>№ опыт а</b>	<b><math>H</math>, м</b>	<b><math>F_{упр.1}</math>, Н</b>	<b><math>X</math>, м</b>	<b><math>X_{cp}</math>, м</b>	<b><math>S</math>, м</b>	<b><math>S_{cp}</math>, м</b>	<b><math>\Delta E</math>, Дж</b>	<b><math>A</math>, Дж</b>
1	0,4	2						
2								
3								

*№ 5 Сохранение механической энергии при движении тела под действием сил тяжести и упругости*

**Цель:** 1) научиться измерять потенциальную энергию поднятого над землей тела и упруго деформированной пружины;

2) сравнить две величины—уменьшение потенциальной энергии прикрепленного к пружине тела при его падении и увеличение потенциальной энергии растянутой пружины.

**Приборы и материалы:** 1) динамометр, жесткость пружины которого равна 40 Н/м; 2) линейка измерительная; 3) груз из набора по механике; масса груза равна  $(0,100 \pm 0,002)$  кг; 4) фиксатор; 5) штатив с муфтой и лапкой.

**Основные сведения.**

Если тело способно совершить работу, то говорят, что оно обладает энергией.

**Механическая энергия тела** – это скалярная величина, равная максимальной работе, которая может быть совершена в данных условиях.

Обозначается  $E$  Единица энергии в СИ [ $1\text{Дж} = 1\text{Н}\cdot\text{м}$ ]

**Кинетическая энергия** – это энергия тела, обусловленная его движением.

*Физическая величина, равная половине произведения массы тела на квадрат его скорости, называется кинетической энергией тела:*

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Кинетическая энергия – это энергия движения. Кинетическая энергия тела массой  $m$ , движущегося со скоростью  $\vec{v}$  равна работе, которую должна совершить сила, приложенная к покоящемуся телу, чтобы сообщить ему эту скорость:

$$A = \frac{mv^2}{2} = E_k$$

Наряду с кинетической энергией или энергией движения в физике важную роль играет понятие **потенциальной энергии** или **энергии взаимодействия тел**.

**Потенциальная энергия** – энергия тела, обусловленная взаимным расположением взаимодействующих между собой тел или частей одного тела.

**Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести** (потенциальная энергия тела, поднятого над землей).

$$E_p = mgh$$

Она равна работе, которую совершает сила тяжести при опускании тела на нулевой уровень.

Растянутая (или сжатая) пружина способна привести в движение прикрепленное к ней тело, то есть сообщить этому телу кинетическую энергию. Следовательно, такая пружина обладает запасом энергии. Потенциальной энергией пружины (или любого упруго деформированного тела) называют величину

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$

где  $k$  – жесткость пружины,  $x$  – абсолютное удлинение тела.

**Потенциальная энергия упруго деформированного тела равна работе силы упругости при переходе из данного состояния в состояние с нулевой деформацией.**

Потенциальная энергия при упругой деформации – это энергия взаимодействия отдельных частей тела между собой силами упругости.

Если тела, составляющие замкнутую механическую систему, взаимодействуют между собой только силами тяготения и упругости, то работа этих сил равна изменению потенциальной энергии тел, взятому с противоположным знаком:

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}).$$

По теореме о кинетической энергии эта работа равна изменению кинетической энергии тел:

$$A = E_{k2} - E_{k1}$$

$$\text{Следовательно } E_{k2} - E_{k1} = -(E_{p2} - E_{p1}) \quad \text{или} \quad E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}.$$

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

Это утверждение выражает **закон сохранения энергии** в механических процессах. Он является следствием законов Ньютона.

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

**Полная механическая энергия замкнутой системы тел, взаимодействующих между собой только консервативными силами, при любых движениях этих тел не изменяется. Происходят лишь взаимные превращения потенциальной энергии тел в их кинетическую энергию, и наоборот, или переход энергии от одного тела к другому.**

$$E = E_k + E_p = \text{const}$$

Закон сохранения механической энергии выполняется только тогда, когда тела в замкнутой системе взаимодействуют между собой консервативными



силами, то есть силами, для которых можно ввести понятие потенциальной энергии.

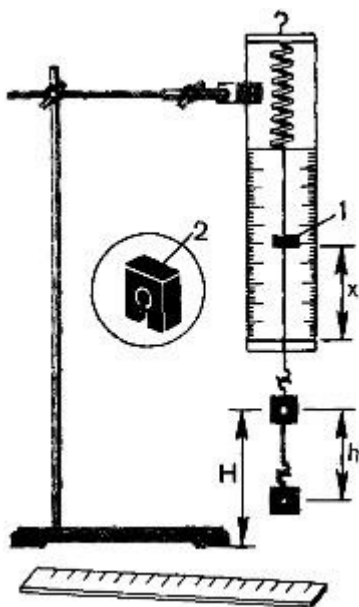
В реальных условиях практически всегда на движущиеся тела наряду с силами тяготения, силами упругости и другими консервативными силами действуют силы трения или силы сопротивления среды.

Сила трения не является консервативной. Работа силы трения зависит от длины пути.

Если между телами, составляющими замкнутую систему, действуют силы трения, то механическая энергия не сохраняется. Часть механической энергии превращается во внутреннюю энергию тел (нагревание).

### Описание установки.

Для работы используется установка, показанная на рисунке. Она представляет собой укрепленный на штативе динамометр с фиксатором 1.



Пружина динамометра заканчивается проволочным стержнем с крючком. Фиксатор (в увеличенном масштабе он показан отдельно — помечен цифрой 2) — это легкая пластинка из пробки (размерами 5 X 7 X 1,5 мм), прорезанная ножом до ее центра. Ее насаживают на проволочный стержень динамометра. Фиксатор должен перемещаться вдоль стержня с небольшим трением, но трение все же должно быть достаточным, чтобы фиксатор сам по себе не падал вниз. В этом нужно убедиться перед началом работы. Для этого фиксатор устанавливают у нижнего края шкалы на ограничительной скобе. Затем растягивают и отпускают.

Фиксатор вместе с проволочным стержнем должен подняться вверх, отмечая этим максимальное удлинение пружины, равное расстоянию от упора до фиксатора.

Если поднять груз, висящий на крючке динамометра, так, чтобы пружина не была растянута, то потенциальная энергия груза по отношению, например, к поверхности стола равна  $mgh$ . При падении груза (опускание на расстояние  $x = h$ ) потенциальная энергия груза уменьшится на

$$E_1 = mgh$$

а энергия пружины при ее деформации увеличивается на

$$E_2 = kx^2/2$$

### Порядок выполнения работы

1. Груз из набора по механике прочно укрепите на крючке динамометра.
2. Поднимите рукой груз, разгружая пружину, и установите фиксатор внизу у скобы.
3. Отпустите груз. Падая, груз растянет пружину. Снимите груз и по положению фиксатора измерьте линейкой максимальное удлинение  $x$  пружины.
4. Повторите опыт пять раз. Найдите среднее значение  $h$  и  $x$
5. Подсчитайте  $E_{1cp} = mgh$  и  $E_{2cp} = kx^2/2$
6. Результаты занесите в таблицу:

№ опыта	$h = x_{max}$ , м	$h_{cp} = x_{cp}$ , м	$E_{1cp}$ , Дж	$E_{2cp}$ , Дж	$E_{1cp} / E_{2cp}$
1					
2					
3					
4					
5					

7. Сравните отношение  $E_{1cp} / E_{2cp}$  с единицей и сделайте вывод о погрешности, с которой был проверен закон сохранения энергии.

8. Ответьте на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы.

1. Раскройте понятие механической энергии?
2. Какая энергия называется кинетической? По какой формуле она находится?
3. Какая энергия называется потенциальной? По какой формуле она находится?
4. Что называется полной механической энергией?
5. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.

6. Как связано изменение потенциальной энергии падающего груза с изменением энергии пружины, растянутой при его падении?  
 Вариант выполнения измерений.

1. Определяем максимальное удлинение  $x$  пружины и заносим в таблицу:

№ опыта	$h=x_{\max}$ , м	$h_{\text{ср}}=x_{\text{ср}}$ , м	$E_{1\text{ср}}$ , Дж	$E_{2\text{ср}}$ , Дж	$E_{1\text{ср}}/ E_{2\text{ср}}$
1	0,048				
2	0,054				
3	0,052				
4	0,050				
5	0,052				

2. Выполняем расчеты по методичке.

### Задания для самостоятельного выполнения

1. 1. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразовательных учреждений: базовый и профильный уровни /Мякишев Г.Я, Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. – 16-е изд. – М.: Просвещение, 2017. – 366 с. Используя дополнительную литературу, составьте сообщение о происхождении религии или искусства.

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**  
 устный опрос

**Вопросы для самоконтроля по теме** - не предусмотрено.

### Раздел 2. Основы молекулярной физики и термодинамики

#### Тема 2.1. Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ.

**Основные понятия и термины по теме:** *основное положение МКТ, идеальный газ, температура, газовые законы*

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

**Идеальный газ.** Идеальный газ с точки зрения молекулярно-кинетической теории простейшая физическая модель реального газа.

Под моделью в физике понимают не увеличенную или уменьшенную копию реального объекта. Физическая модель – это создаваемая учеными общая картина реальной системы или явления, которая отражает наиболее существенные, наиболее характерные свойства системы.

В физической модели газа принимаются во внимание лишь те основные свойства молекул, учет которых необходим для объяснения главных закономерностей поведения реального газа в определенных интервалах давления и температуры.

**В молекулярно-кинетической теории идеальным газом называют газ, состоящий из молекул, взаимодействие между которыми пренебрежимо мало.** Иными словами, предполагается, что средняя кинетическая энергия молекул идеального газа во много раз больше потенциальной энергии их взаимодействия.

Реальные газы ведут себя подобно идеальному газу при достаточно больших разрежениях, т. е. когда среднее расстояние между молекулами во много раз больше их размеров. В этом случае силами притяжения между молекулами можно полностью пренебречь. Силы же отталкивания проявляются лишь на ничтожно малых интервалах времени при столкновениях молекул друг с другом.

В простейшей модели газа молекулы рассматривают как очень маленькие твердые шарики, обладающие массой. Движение отдельных молекул подчиняется законам механики Ньютона. Конечно, нет никакой гарантии, что с помощью такой модели можно объяснить все процессы в разреженных газах. Ведь известно, что молекулы отличаются не только массами. Они имеют сложное строение.

Но сейчас мы поставим и будем решать достаточно узкую задачу: вычислим давление газа с помощью молекулярно-кинетической теории. Для этой задачи простейшая модель газа оказывается удовлетворительной. Она приводит к результатам, которые подтверждаются опытом.

**Давление газа в молекулярно-кинетической теории.** Пусть газ находится в закрытом сосуде. Манометр показывает давление газа  $p_0$ . (Напомним: давление определяется отношением модуля  $F$  силы, действующей

$$p = \frac{F}{S}$$

перпендикулярно поверхности, к площади поверхности  $S$ ). Давление выражается в паскалях или миллиметрах ртутного столба:  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$ ) Но как возникает это давление? Каждая молекула газа, ударяясь о стенку, в течение малого промежутка времени действует на нее с определенной силой. В результате беспорядочных ударов о стенку сила, действующая со стороны всех молекул на единицу площади стенки, т. е. давление, будет быстро меняться со временем примерно так, как показано на рисунке 18. Однако действия, вызванные ударами отдельных молекул, настолько слабы, что манометром они не регистрируются. Манометр фиксирует среднюю по времени силу, действующую на каждую единицу площади его чувствительного элемента – мембраны. Несмотря на небольшие изменения давления, среднее значение давления  $p_0$  практически оказывается

вполне определенной величиной, так как ударов о стенку очень много, а массы молекул очень малы.

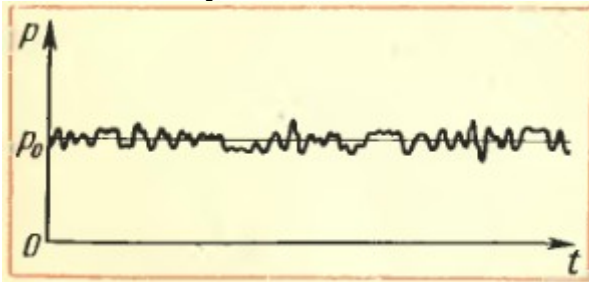


Рис. 18

Давление газа будет тем больше, чем больше молекул ударяется о стенку за некоторый интервал времени и чем больше скорости  $v$  движущихся со стенкой молекул.

Возникновение давления газа можно пояснить с помощью простой механической модели. Возьмем диск (он играет роль мембраны манометра) и закрепим его на стержне так, чтобы он располагался вертикально и мог поворачиваться вместе со стержнем вокруг вертикальной оси (рис. 19). С помощью наклонного желоба на диск направим струйку мелкой дроби (дробинки играют роль молекул). В результате многочисленных ударов дробинок на диск будет действовать некоторая средняя сила, вызывающая поворот стержня и изгиб упругой пластины П. Эффект же от ударов отдельных дробинок не заметен.

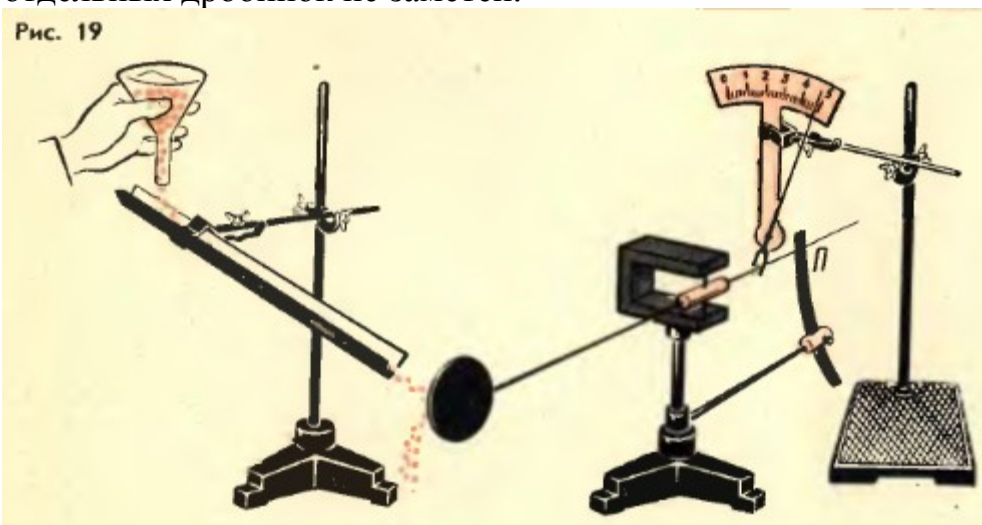


Рис. 19

### Тепловое

**движение молекул.** С самого начала нужно отказаться от попыток проследить за движением всех молекул, из которых состоит газ. Их слишком много, и из-за столкновений друг с другом они движутся очень сложно. Нам и не нужно знать, как движется каждая молекула. Мы должны выяснить, к какому результату приводит совокупное движение всех молекул.

Характер же движения всей совокупности молекул газа известен из опыта (см. § 3). *Молекулы участвуют в хаотическом (тепловом) движении.* Это означает, что скорость любой молекулы может оказаться как очень большой, так и очень малой, а направление движения молекул беспрестанно меняется при их столкновениях друг с другом.

Скорости отдельных молекул могут быть любыми, однако среднее значение модуля их скорости вполне определенное. Точно так же рост учеников в классе не одинаков. Но среднее значение роста – определенная величина. Чтобы ее найти, надо сложить вместе рост учеников и разделить эту сумму на количество учеников.

**Среднее значение квадрата модуля скорости.** В дальнейшем нам понадобится среднее значение не самой скорости, а квадрата скорости, от которого зависит средняя кинетическая энергия молекул.

Обозначим модули скоростей отдельных молекул через  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_N$ . Среднее значение квадрата скорости определится следующей формулой:

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_N^2}{N}, \quad (1.8)$$

где  $N$  — число молекул в газе.

Но квадрат модуля вектора скорости равен сумме квадратов проекций скорости на оси координат  $Ox, Oy, Oz$ <sup>1</sup>:

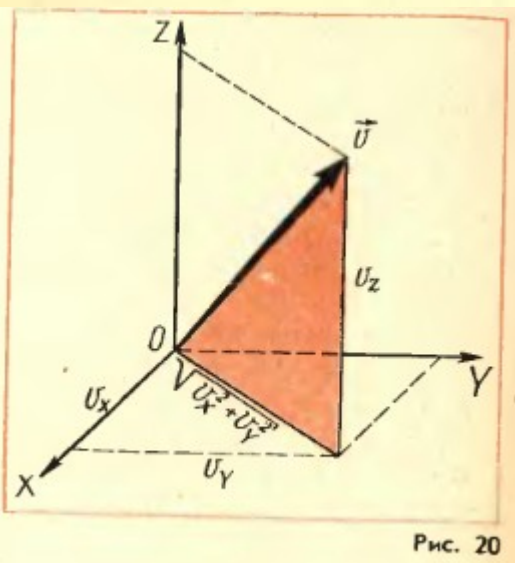
$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2. \quad (1.9)$$

Средние значения  $\overline{v_x^2}, \overline{v_y^2}$  и  $\overline{v_z^2}$  можно определить с помощью формул, аналогичных формуле (1.8). Между средним значением

<sup>1</sup> Такое соотношение справедливо для любого вектора. Доказать его вы можете самостоятельно с помощью рисунка 20 и теоремы Пифагора.

$\overline{v^2}$  и средними значениями квадратов проекций существует такое же соотношение, как (1.9):

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}. \quad (1.10)$$



Действительно, для каждой молекулы справедливо выражение (1.9). Сложив эти выражения для отдельных молекул и разделив обе части полученного уравнения на число молекул  $N$ , мы придем к формуле (1.10).

Так как направления  $Ox, Oy$  и  $Oz$  вследствие хаотичности движения молекул равноправны, средние значения квадратов проекций скорости равны друг другу:

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} \quad (1.11)$$

Учитывая соотношение (1.11), подставим в формулу (1.10)  $\overline{v_x^2}$  вместо  $\overline{v_y^2}$  и  $\overline{v_z^2}$ . Тогда средний квадрат проекции скорости

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}, \quad (1.12)$$

т.е. средний квадрат проекции скорости равен  $1/3$  среднего квадрата самой скорости. Множитель  $1/3$  появляется вследствие трехмерности пространства и, соответственно, существования трех проекций у любого вектора.

**Практические занятия** - не предусмотрено

### **Задания для самостоятельного выполнения**

1. Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2017- 210 с.

#### **Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

- Выполни тест и заполни таблицу
- 1. Давление газа на стенку сосуда обусловлено
  - А. притяжением молекул друг к другу
  - Б. столкновениями молекул со стенками сосудов
  - В. столкновением молекул газа между собой
  - Г. проникновением молекул сквозь стенки сосуда
- 2. Как изменилось давление идеального газа, если в данном объеме скорость каждой молекулы газа увеличилась в 2 раза, а концентрация молекул осталась без изменения?
  - А. увеличилось в 2 раза
  - Б. увеличилось в 4 раза
  - В. уменьшилось в 2 раза
  - Г. уменьшилось в 4 раза
- 3. При повышении температуры идеального газа в запаянном сосуде его давление увеличивается. Это объясняется тем, что с ростом температуры...
  - А. увеличиваются размеры молекул газа
  - Б. увеличивается энергия движения молекул газа
  - В. увеличивается потенциальная энергия молекул газа
  - Г. увеличивается хаотичность движения молекул газа
- 4. Как изменится концентрация молекул газа при уменьшении объема сосуда в 2 раза?
  - А. увеличится в 2 раза
  - Б. уменьшится в 2 раза
  - В. не изменится
  - Г. уменьшится в 4 раза

5. При уменьшении температуры средняя кинетическая энергия молекул
- А. увеличится
  - Б. уменьшится
  - В. не изменится
  - Г. иногда увеличится, иногда уменьшится
6. Какое утверждение неправильно?  
При неизменных условиях
- А. давление газа постоянно
  - Б. скорости всех молекул одинаковы
  - В. внутренняя энергия газа постоянна
  - Г. температура газа постоянна
7. В сосуде водород. Как изменится давление газа, если водород заменить кислородом так, что количество молекул и температура останутся неизменными?
- А. увеличится в 4 раза
  - Б. уменьшится в 16 раз
  - В. не изменится
  - Г. увеличится в 16 раз

**Вопросы для самоконтроля по теме - не предусмотрено**

## **Тема 2.2. Термодинамика**

**Основные понятия и термины по теме:** *внутренняя энергия системы, работа и теплота как форма передачи энергии, первое начало термодинамики, термодинамическая шкала температур*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. Внутренняя энергия системы. Основные понятия и определения. Внутренняя энергия системы. Внутренняя энергия идеального газа.
2. Работа и теплота как формы передачи энергии. Теплоемкость. Удельная теплоемкость. Уравнение теплового баланса.
3. Первое начало термодинамики. Адиабатный процесс. Принцип действия тепловой машины. КУП теплового двигателя. Второе начало термодинамики
4. Термодинамическая шкала температур. Холодильные машины. Тепловые двигатели. Охрана природы.

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

### **ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ**

Под внутренней энергией термодинамической системы понимают кинетическую энергию теплового движения ее молекул и потенциальную энергию их взаимодействия. Она зависит от параметров состояния  $V, T$ .



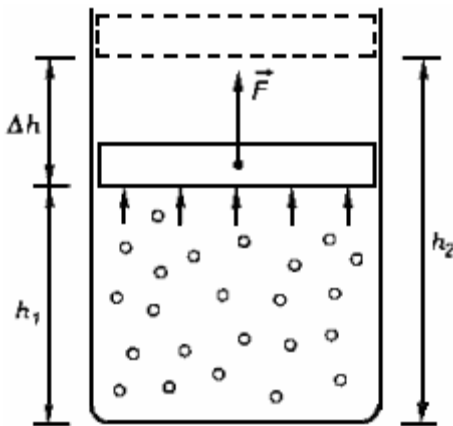
Внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре:

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} \nu RT$$

Для газов, состоящих из более сложных молекул, также  $U \sim T$ , но коэффициент пропорциональности другой. Это объясняется тем, что такие молекулы не только движутся поступательно, но и вращаются.

## РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

Если газ расширяется при постоянном давлении  $p$ , то сила, действующая со стороны газа на поршень:  $F = pS$ , где  $S$  - площадь поршня.



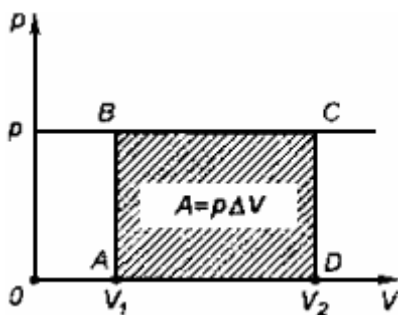
При подъеме поршня на высоту  $\Delta h = h_2 - h_1$  газ совершает работу

$$A' = F\Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1) = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$

где  $\Delta V$  - изменение объема газа.

При медленном сжатии газа работа, совершаемая внешними телами над газом, будет отличаться только знаком:

$$A = F\Delta h = pS(h_1 - h_2) = p(V_1 - V_2) = -p\Delta V$$



Работа, совершаемая термодинамической системой при постоянном давлении, равна

$$A' = -A = p\Delta V$$

## КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

Процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы называют теплообменом.

Количество теплоты - это энергия, переданная телу в результате теплообмена.

Теплоемкость  $C$  - количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой  $m$  на  $1$  К. Удельная теплоемкость  $c$  - это количество теплоты, которое получает или отдает  $1$  кг вещества при изменении его температуры на  $1$  К:  
 $c=C/m$

Для изменения температуры вещества массой  $m$  от  $T_1$  до  $T_2$  ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q = cm \cdot (T_2 - T_1) = cm\Delta T$$

Коэффициент  $c$  в этой формуле называют удельной теплоемкостью:  $[c]=1$  Дж/(кг\*К).

При нагревании тела  $Q > 0$ , при охлаждении  $Q < 0$ .

Для того, чтобы жидкость массы  $m$  полностью превратить в пар, ей необходимо передать количество теплоты

$$Q = r m$$

где  $r$  - удельная теплота парообразования:  $[r] = 1$  Дж/кг .

Удельная теплота парообразования - это количество теплоты, которое необходимо для превращения  $1$  кг жидкости в пар при постоянной температуре.

*Конденсация* - процесс, обратный испарению.

Для того, чтобы расплавить полностью тело массой  $m$ , ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q = \lambda m$$

где  $\lambda$  - удельная теплота плавления:  $[\lambda] = 1$  Дж/кг .

*Удельная теплота плавления* - это количество теплоты, которое необходимо для плавления  $1$  кг кристаллического вещества при температуре плавления.

*Кристаллизация* - процесс, обратный плавлению.

Для замкнутой системы, состоящей из  $N$  тел, можно записать уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + \dots + Q_n = 0$$

где  $Q_1, \dots, Q_n$  - количества теплоты, полученные или отданные телами.

## **ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ**

*Закон сохранения энергии*

Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она только переходит из одной формы в другую. Закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления, называется первым законом термодинамики.

### Первый закон термодинамики

Изменение внутренней энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:

$$\Delta U = A + Q$$

Этот закон можно сформулировать иначе:

Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами:

$$Q = \Delta U + A'$$

В первой формулировке  $A$  - работа, совершаемая над системой (над газом), во второй  $A'$  - это работа, совершаемая системой (газом).

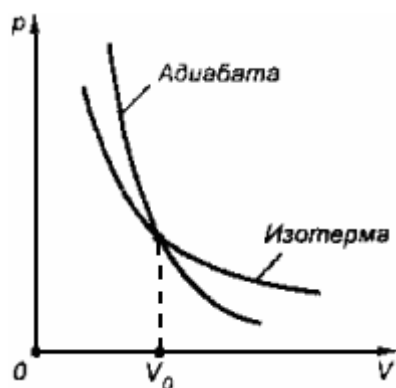
Вечный двигатель первого рода - устройство, способное совершать неограниченное количество работы без подведения энергии извне.

Из первого закона термодинамики следует невозможность создания вечного двигателя первого рода. Если к системе не поступает теплота, то

$$Q = 0 \Rightarrow A' = -\Delta U$$

Иными словами, работа совершается системой за счет уменьшения ее внутренней энергии. После того, как запас энергии будет исчерпан, двигатель перестанет работать.

Процесс, протекающий в теплоизолированной системе, называют адиабатным.



Абсолютно исключить теплопередачу невозможно, но иногда реальные процессы близки к адиабатным. Они протекают за очень малый промежуток времени, в течение которого не происходит существенного теплообмена между системой и внешними телами.

## ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

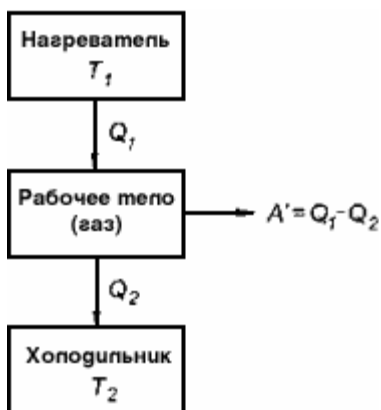
*Тепловые двигатели* - устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Любой тепловой двигатель состоит из трех основных частей.

*Рабочее тело* - газ, совершающий работу  $A'$  при расширении.

*Нагреватель* - устройство, от которого рабочее тело получает количество теплоты  $Q_1$

*Холодильник* - устройство, которому рабочее тело передает количество теплоты  $Q_2$



*Коэффициентом полезного действия (КУП)* теплового двигателя называют отношение работы, совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Так как  $Q_2 < Q_1$ , то  $\eta$  всегда  $< 1$ .

*Идеальная тепловая машина Карно* - модель теплового двигателя, в котором рабочим телом является идеальный газ. КУП машины Карно

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

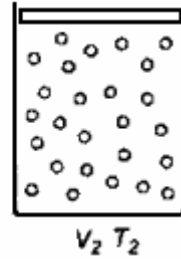
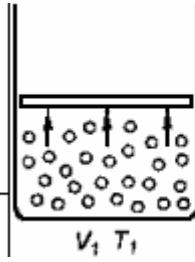
где  $T_1$  - температура нагревателя,  $T_2$  - температура холодильника.

Реальная тепловая машина не может иметь КУП, превышающий КУП идеальной тепловой машины.

**Пример.** Объем кислорода массой 160 г, температура которого  $27^\circ\text{C}$ , при изобарном нагревании увеличился вдвое. Найдите работу газа при расширении, количество теплоты, которое пошло на нагревание кислорода, изменение внутренней энергии.

$$\begin{aligned}
 M &= 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль} \\
 m &= 0,16 \text{ кг} \\
 T_1 &= 300 \text{ К} \\
 V_2 &= 2V_1 \\
 p &= \text{const}
 \end{aligned}$$

$$A' - ? \quad \Delta U - ? \quad Q - ?$$



Величина работы, совершаемой газом при изобарном процессе, когда  $V = V_2 - V_1 = V_1$ , определяется выражением

$$A' = p \Delta V = p V_1$$

С учетом уравнения состояния

$$p V_1 = \frac{m}{M} R T_1$$

можно записать

$$A' = \frac{m}{M} R T_1$$

$$A' = \frac{0,16 \text{ кг}}{3,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 300 \text{ К} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

Изменение внутренней энергии двухатомного газа, с учетом уравнения состояния, будет выглядеть:

$$\Delta U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} p V_1$$

Учитывая, что  $A' = p V_1$ , получим:  $\Delta U = 2,5 A'$ .

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot 1,25 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 3,13 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

Количество теплоты, переданное газу, согласно первому закону термодинамики, идет на изменение его внутренней энергии и совершение газом работы:

$$Q = \Delta U + A'$$

$$Q = 3,13 \cdot 10^4 \text{ Дж} + 1,25 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 4,38 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

## Практические занятия

### №6 Изучение газовых законов

**Цель работы:** изучение законов идеального газа и методов определения термического коэффициента давления и коэффициента объемного расширения.

**Литература:** §§ 41-42.

**Приборы и материалы:** колба, водяной манометр, термометр, барометр-анероид, сосуд с водой, электрическая плитка.

Состояние некоторой массы газа определяется значением трех параметров: давления  $P$ , объема  $V$ , температуры  $T$ . Соотношение  $f = f(P, V, T)$ ,

устанавливающее связь между параметрами какого-либо тела, называется уравнением состояния этого тела. Уравнение состояния идеального газа для любой массы газа имеет следующий вид:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (1.1)$$

где  $\mu$  - молярная масса (для воздуха  $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$  кг/моль);  $R$  - газовая постоянная. Давление данной массы газа при изохорическом процессе изменяется линейно с температурой

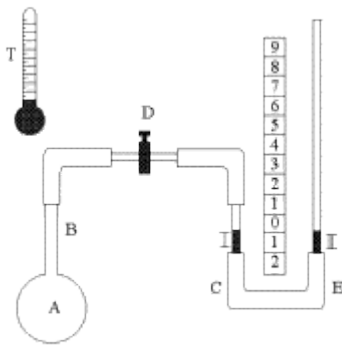
$$P = P_0(1 + \alpha t^0), \quad (1.2)$$

где  $P$  - давление газа при температуре  $t^\circ\text{C}$ ;  $P_0$  - давление газа при температуре  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  - термический коэффициент давления газа.

Объем данной массы газа при изобарическом процессе изменяется линейно с температурой

$$V = V_0(1 + \beta t^0), \quad (1.3)$$

где  $V$  - объем газа при температуре  $t^\circ\text{C}$ ;  $V_0$  - объем газа при температуре  $0^\circ\text{C}$ ;  $\beta$  - коэффициент объемного расширения газа. Если газ точно подчиняется



законом идеального газа,

$$\alpha = \beta = \frac{1}{273} \text{град}^{-1}.$$

то

1) Для изучения законов идеального газа используется прибор, состоящий из колбы А с узкой стеклянной трубкой В, на конце которой имеется кран Д (рис.1). Кран Д при помощи резиновой трубки соединяется с водяным манометром С и служит для сообщения воздуха, находящегося в колбе А, с манометром.

Манометр состоит из двух стеклянных трубок 1 и 2, соединенных между собой резиновой трубкой Е. Трубка 1 проградуирована в кубических сантиметрах ( $\text{см}^3$ ). Манометр закреплен на вертикальной подставке с миллиметровой шкалой, причем трубку 2 манометра можно перемещать вверх и вниз и закреплять на желаемой высоте. Для изменения состояния газа колба А помещается в сосуд с подогретой водой.

2) Прежде чем приступить к измерениям, подготовим установку к работе. Для этого опускаем трубку 2 вниз до отказа, вынимаем кран Д и устанавливаем уровень воды в трубках 1 и 2 манометра на нулевом делении

шкалы (в случае необходимости - долить или отлить воды). Затем вставляем кран Д так, чтобы воздух колбы А сообщался с манометром. Отсчитываем начальные параметры воздуха: давление  $P_1$  по барометру-анероиду (в мм. рт. ст.), температуру комнаты  $t^{\circ}$  по прилагаемому к работе термометру, объем  $V$  исследуемой массы воздуха колбы известен.

Итак, **первое** состояние воздуха колбы:  $P_1, V_1, T_1$ , где  $T_1 = t_0^{\circ} + 273^{\circ}$ .

3) **Переведем газ из первого состояния во второе изохорически.** Для этого нагреваем воду в сосуде до температуры  $t_1^{\circ} \approx 30^{\circ} - 35^{\circ}\text{C}$  и погружаем в него колбу так, чтобы она полностью находилась в воде, для чего колбу придерживаем. Воздух в колбе стремится расшириться, но, поднимая трубку 2, поддерживаем объем воздуха постоянным, т.е. чтобы уровень воды в 1 трубке был на нулевом делении шкалы манометра. Закрепляем трубку 2 и отсчитываем по шкале манометра высоту столба воды  $h$  в миллиметрах (рис.2). Давление воздуха в колбе в этом случае будет  $P_2 = P_1 + h$ , где  $h$  - давление столба воды, выраженное в миллиметрах ртутного столба (мм.рт.ст.). Итак, второе состояние воздуха колбы:  $P_2, V_1, T_1^1$ , где  $T_1^1 = t_1^{\circ} + 273^{\circ}$   $P_2 = P_1 + h$ .

**Переведем газ из второго состояния в третье изобарически.** Для этого нагреваем воду в сосуде до температуры  $t_2^{\circ} \approx 40^{\circ} - 45^{\circ}$  и снова погружаем в него колбу. При этом газ будет изобарически расширяться. Отсчитываем по делениям, нанесенным на 1-ю трубку, изменение объема воздуха колбы  $\Delta V$  в  $\text{см}^3$  (рис.3). Объем воздуха станет  $V_2 = V_1 + \Delta V$ .

Итак, **третье** состояние воздуха колбы:  $P_2; V_2; T_2$ , где  $T_2 = t_2^{\circ} + 273^{\circ}$ ,  $P_2 = P_1 + h$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ:** после отсчета  $\Delta V$  следует перекрыть кран Д и опустить трубку 2 вниз до предела и снова установить кран Д так, чтобы воздух колбы А сообщался с манометром.

5) Опыт повторяем еще два раза так, как указано в пунктах 2, 3, 4. Воду каждый раз нагреваем до разных температур.

**Таблица 1**

	1 состояние				2 состояние						3 состояние				
	Начальные параметры				Изохорическое нагревание						Изобарическое нагревание				
№	$t_0^{\circ}$	$T_1$	$P_1$	$V_1$	$t_1$	$T_1^1$	$h$	$H$	$P_2$	$V_1$	$t_2$	$T_2$	$\Delta V$	$V_2$	$P_2$
Ед. изм.							ммН <sub>2</sub> О	мм Hg	мм Hg						
1															

### Упражнение №1

а) Пользуясь данными таблицы 1 для изохорического процесса, определить термический коэффициент давления воздуха  $\alpha$ .

Применяя для 1 и 2 состояний формулу (1.2), можно записать

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0(1 + \alpha t_0); \\ P_2 &= P_0(1 + \alpha t_1). \end{aligned}$$

Поделим эти уравнения друг на друга, получим

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{1 + \alpha t_0}{1 + \alpha t_1}. \quad (1.4)$$

Откуда

$$\alpha = \frac{P_2 - P_1}{P_1 t_1 - P_2 t_0}. \quad (1.5)$$

Зная  $P_1$ ;  $P_2$ ;  $t_0$ ;  $t_1$ , по формуле (1.5) вычисляем термический коэффициент давления газа для каждого из трех опытов. Оцениваем точность эксперимента путем подсчета средней квадратичной погрешности с надежностью  $\alpha = 0,9$ . Результаты измерений заносим в таблицу. В отчете представить полный расчет величин.

б) Зная значения параметров  $P_1$ ;  $T_1$ ;  $P_2$ ;  $T_1^1$  (из таблицы 1), проверить правильность закона Шарля:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_1^1}. \quad (1.6)$$

**Таблица 2**

	№	$P_1$	$t_0$	$P_2$	$t_1$	$\alpha$	$\alpha_{\text{ср}}$	$\Delta\alpha$	$(\Delta\alpha_{\text{ср}}/\alpha_{\text{ср}}) \cdot 100\%$
Ед. изм.									
1									

Объяснить причины приближенного выполнения этого равенства. Пользуясь равенством (1.4), получить формулу (1.6).

**Упражнение №2**

Пользуясь данными таблицы 1 для изобарического процесса, определить коэффициент объемного расширения воздуха  $\beta$ . Применяя для 2 и 3 состояний формулу (1.3), можно записать

$$\begin{aligned} V_1 &= V_0(1 + \beta t_1); \\ V_2 &= V_0(1 + \beta t_2). \end{aligned} \quad (1.7)$$



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 + \beta t_1}{1 + \beta t_2}.$$

Откуда

$$\beta = \frac{V_2 - V_1}{V_1 t_2 - V_2 t_1}. \quad (1.8)$$

Зная  $V_1$ ;  $V_2$ ;  $t_1$ ;  $t_2$ , по формуле (1.8) вычисляем коэффициент объемного расширения воздуха для каждого из трех опытов.

**Таблица 3**

№	$V_1$	$t_1$	$V_2$	$t_2$	$\beta$	$\beta_{\text{ср}}$	$\Delta\beta$	$(\Delta\beta_{\text{ср}}/\beta_{\text{ср}}) \cdot 100\%$
Ед. изм.								
1								

б) Зная значения параметров  $V_1$ ;  $T_1^1$ ;  $V_2$ ;  $T_2$  (из таблицы 1), проверим правильность законов Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1^1}{T_2} \quad (1.9)$$

Объяснить причины приближенного выполнения этого закона в данной работе. Пользуясь равенством (1.7), получить формулу (1.9).

Учебник Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2017- 210 с.

**Задания для самостоятельного выполнения** - не предусмотрено

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

**Контрольные вопросы**

1. Какой газ называется идеальным? Какими параметрами характеризуется состояние газа?
2. Какие процессы называются изотермическими, изобарическими, изохорическими? Сформулировать и записать газовые законы (Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро).
3. Что называется термическим коэффициентом давления, в каких единицах он измеряется?

4. Сформулировать и записать уравнение состояния идеального газа для моля; для любой массы газа.
5. Сформулируйте первое начало термодинамики, примените к изопроцессам. Каков физический смысл, численное значение и единица измерения газовой постоянной  $R$ ?

**Вопросы для самоконтроля по теме - не предусмотрено**

### Тема 2.3. Свойства паров, жидкостей, твердых тел.

**Основные понятия и термины по теме:** *испарения и конденсация, процесс кипения, свойства жидкостей и характеристики жидкого состояния, свойства твердых тел*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. **Свойства паров.** Испарение и конденсация. Насыщенный пар и его свойства. Абсолютная и относительная влажность воздуха. Точка росы. Кипение. Зависимость температуры кипения от давления. Перегретый пар и его использование в технике.

2. **Свойства жидкостей.** Характеристика жидкого состояния вещества. Поверхностный слой жидкости. Энергия поверхностного слоя. Явления на границе жидкости с твердым телом. Капиллярные явления.

3. **Свойства твердых тел.** Характеристика твердого состояния вещества. Упругие свойства твердых тел. Закон Гука. Механические свойства твердых тел. Тепловое расширение твердых тел и жидкостей. Плавление и кристаллизация.

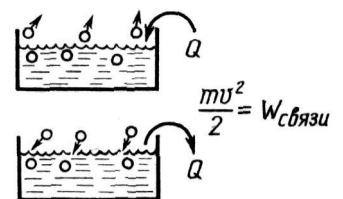
**Краткое изложение теоретических вопросов:**

#### *I. Свойства паров*

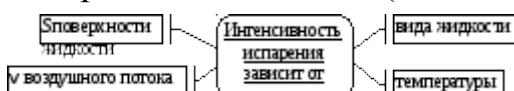
##### *Испарение и конденсация*

*Парообразование*— переход вещества из жидкого состояния в газообразное.

*Испарение*— парообразование со свободной поверхности жидкости (с поглощением  $Q$ ) при  $T = \text{const}$ .



*Конденсация*— переход вещества из газообразного состояния в жидкое (с выделением  $Q$ ) при  $T = \text{const}$ .



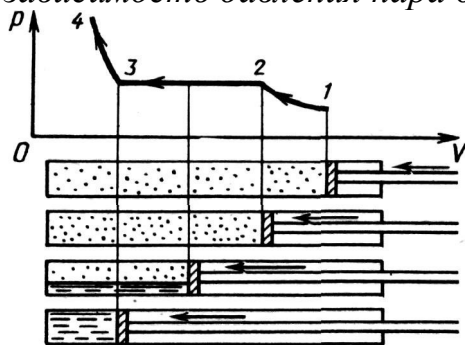
#### **Насыщенный пар**

Число покинувших единицу времени	молекул, жидкость за	Число вернувшихся единицу времени	молекул, в жидкость за	Тип пара
----------------------------------	----------------------	-----------------------------------	------------------------	----------

100	20	
100	35	Пар ненасыщенный
100	40	
100	100	Пар насыщенный: динамическое равновесие между жидкостью и паром

### Свойства насыщенного пара

На рисунке приведена изотерма реального газа (ненасыщенного пара), зависимость давления пара от объема при постоянной температуре. (1–2 —



ненасыщенный пар, 2–3 — насыщенный пар 3–4 — жидкость)

1. Давление насыщенного пара:

а) не зависит от объема над испаряющейся жидкостью при  $T = \text{const}$ ;

б) зависит от вида жидкости;

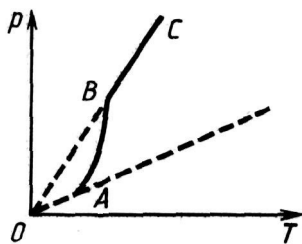
в) зависит от температуры: чем  $> T_{\text{тем}} > p$ ;

г)  $p = p_{\text{max}}$  при  $T_{\text{кипения}}$ .

2. Закон  $PV = \frac{m}{M} RT$  — к насыщенным и ненасыщенным парам, но тем точнее, чем дальше от насыщения.

Закон  $\frac{PV}{T} = R$  к насыщенным парам неприменим, так как изменяется  $m$  газа.

3	Пар можно перевести из ненасыщенного в насыщенный: уменьшить $V$ , понизить $t$ (потеют стекла, стены в ванной комнате и т. д.)	Из насыщенного в ненасыщенный: увеличить $V$ , повысить $t$ .
	Насыщенный (участок А–В) Лужа	Ненасыщенный (участок В–С) Лужи нет



4. Зависимость  $p_{\text{н.п.}}$  от  $T$ . Участок А–В: закон Шарля не выполняется, так как изменяется концентрация молекул. Участок В–С: закон Шарля выполняется.

5. Зависимость давления  $p_{\text{насыщенного}}$  пара от вида жидкости:

кПа		мм ст.	рт.			
1,2	– вода	– 17,5		}		

3,2	–	спирт	–	44		$t = 20^\circ\text{C}$
38,7	–	эфир	–	437		

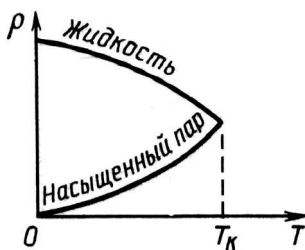
## Кипение

Парообразование со всего объема жидкости при  $T = \text{const}$  — кипение.

Кипение жидкости начинается при температуре, когда  $p_{\text{насыщенного пара}}$  в пузырьках равно  $p_{\text{внеш.}}$ . Например, для воды при  $t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$   $p_{\text{н.п.}} = 10^5 \text{Па}$ ,  $p_{\text{атм.}} = 10^5 \text{Па}$ . Следовательно, вода закипит.  $T_{\text{к}}$  зависит от  $r_{\text{на}}^2$  поверхности жидкости. Если  $H_{\text{горы}} = 7000 \text{ м}$ ,  $p_{\text{атм.}} = 4 \cdot 10^4 \text{Па}$ ,  $T_{\text{к}} = 70^\circ\text{C}$ , так как  $p_{\text{н.п.}}$  при  $70^\circ\text{C}$  равно  $4 \cdot 10^4 \text{Па}$ . При кипении  $T_{\text{ж}}$  постоянна. С понижением давления на поверхности жидкости  $T_{\text{к}}$ , уменьшается.

При подъеме пузырьки водяного пара конденсируются.	При подъеме пузырьков температура выравнивается, давление с высотой уменьшается, пузырьки растут, лопаются, жидкость кипит.
 <p>а) <math>t_2 &lt; t_1</math> Не кипит</p>	 <p>б) <math>t_2 = t_1</math> Кипит</p>

## Перегретая жидкость



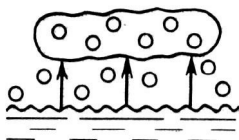
1.  $T_{\text{п.ж.}} > T_{\text{к.}}$

2. Критическая температура ( $T_{\text{кр}}$ ) — температура, при которой исчезает различие в физических свойствах между жидкостью и насыщенным паром.

3. При  $T_{\text{кр}}$  плотность  $\rho_{\text{н.п.}}$  и  $\rho_{\text{ж.}}$  становятся максимальными,  $\rho_{\text{ж.}}$  — минимальной. С ростом температуры уменьшается  $L$ , а при  $T_{\text{кр}}$  она равна нулю.

4. Если  $T \geq T_{\text{кр}}$ , то газ нельзя обратить в жидкость при любом давлении.

5. Газ обращается в жидкость, если  $T < T_{\text{кр}}$  и повышается давление.

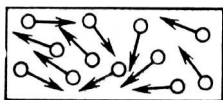


## Водяной пар в атмосфере

В воздухе всегда есть водяной пар (~1%). Он образуется в результате испарения с поверхностей океанов, морей, озер; в течение года образуется  $4,25 \cdot 10^{14} \text{ т}$ .

**Абсолютная влажность воздуха. Парциальное давление водяного пара.** Выражается  $\rho \text{ в } \text{кг/м}^3$ .

Абсолютная влажность воздуха (упругость пара) показывает, какая



масса  $m$  воды содержится в единице объема  $V$ :  $\rho = \frac{m}{V}$

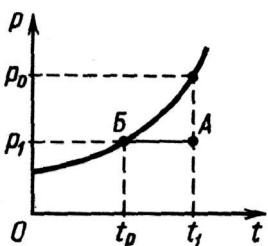
Давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, называется парциальным давлением ( $P_n$ ).

### Относительная влажность воздуха

Относительной влажностью воздуха  $\phi$  называется величина, равная отношению давления водяного пара в воздухе к давлению насыщенного пара

$$\phi = \frac{P_n}{P_0} \cdot 100\%$$

при той же температуре.

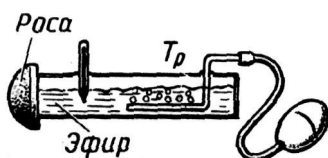


Если  $P = \frac{\rho RT}{M}$ , то  $P_n = \frac{\rho_n RT}{M}$ ;  $P_0 = \frac{\rho_0 RT}{M} \rightarrow \phi = \frac{P_n}{P_0} \rightarrow \phi = \frac{\rho_n}{\rho_0} \cdot 100\%$

### Точка росы

Понижается  $t$  при  $p_{\text{атм}} = \text{const}$ , и при определенной  $t$  пар становится насыщенным.

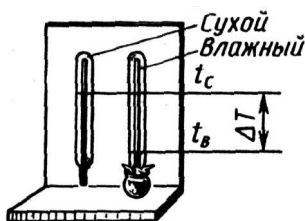
Температура, при которой водяной пар становится насыщенным, называется точкой росы. (на рисунке переход из точки А в точку В)



### Экспериментальное определение относительной влажности воздуха

1. Гигрометр. Зная точки росы и воздуха, по таблицам находим  $p_{\text{н}}$  и определяем относительную влажность:

$$\phi = \frac{P_n}{P_0} \cdot 100\%$$



### 2. Психрометр (от греческого «психрия» — холод)

Зная  $t$  сухого и влажного термометров и разность  $\Delta t$ , по таблицам определяем  $\phi$ .

### Значение влажности

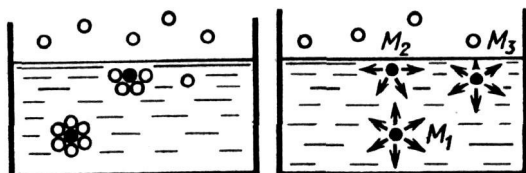
1. Самочувствие человека; наиболее благоприятная влажность от 40 до 50%.
2. Прогноз погоды.
3. Развитие флоры и фауны.
4. Сохранность произведений искусств и архитектуры.
5. Сушка изделий.

## II. Поверхностное натяжение жидкостей

### Поверхность жидкости

На каждую молекулу жидкости действует равнодействующая сила  $F_p$ , направленная вниз. Наибольшая  $F_p$  действует на молекулу, находящуюся в

поверхностном слое жидкости. Молекулы с поверхности жидкости втягиваются внутрь жидкости. Молекулы оставшиеся на поверхности находятся на расстояниях больших чем молекулы внутри жидкости (поэтому между ними преобладают силы притяжения), они имеют большую энергию. Поверхностный слой создает давление на жидкость — молекулярное давление.



### Сила поверхностного натяжения

Сила, которая действует вдоль поверхности жидкости, перпендикулярной к линии, ограничивающей эту поверхность, и стремится сократить ее до минимума, называется силой поверхностного натяжения.  $F \sim l$  ( $l$ —периметр границы тв.тело–жидкость),  $F = \sigma l$ .

$2F = F_1$ , где $F_1$ — модуль силы упругости; $F = \frac{F_1}{2}$ , где $F$ — модуль силы поверхностного натяжения	$\sigma$ зависит от вида жидкости, температуры, состояния жидкости

+Коэффициент поверхностного натяжения жидкости отношение энергии поверхностного слоя молекул к площади поверхности жидкости.

$$\sigma = \frac{E}{S} \rightarrow \frac{Н}{м}$$

### Практические занятия - №7 Измерение влажности воздуха

**Цель:** освоить прием определения относительной влажности воздуха, основанный на использовании психрометра..

**Оборудование:** 1. Психрометр.

**Выполнение работы.**

**Задание 1.** Измерить влажность воздуха с помощью психрометра.

Подготовили таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ опыта	$t_{\text{сухого}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{влажного}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\phi, \%$
1	24	21	3	77

Рассмотрели устройство психрометра.

Показания сухого термометра  $t_{\text{сухого}} = 24^{\circ}\text{C}$ .

Показания влажного термометра  $t_{\text{влажного}} = 21^{\circ}\text{C}$ .

Разность показаний термометров:

$$\Delta t = t_{\text{сухого}} - t_{\text{влажного}}$$

$$\Delta t = 24^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C} = 3^{\circ}\text{C}$$

По психрометрической таблице определяем влажность воздуха  $\phi$ :

### Психрометрическая таблица.

$t_{\text{сухого}}, ^{\circ}\text{C}$	Разность показаний сухого и влажного термометров											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	45	40	34	29

$$\phi = 77\%$$

**Вывод:** в ходе лабораторной работы определили относительную влажность воздуха в кабинете, она равна 77%. Это повышенная влажность воздуха.

### Ответы на контрольные вопросы.

1. Почему при продувании воздуха через эфир, на полированной поверхности стенки камеры гигрометра появляется роса? В какой момент появляется роса?



При продувании воздуха через эфир, он быстро испаряется и охлаждает стенки камеры гигрометра. Слой водяного пара, находящийся вблизи поверхности камеры, тоже охлаждается. При определенной температуре водяной пар, содержащийся в воздухе, становится насыщенным и начинает конденсироваться. На отполированной поверхности камеры гигрометра появляются капельки воды.

## **2. Почему показания «влажного» термометра меньше показаний «сухого» термометра?**

Резервуар «влажного» термометра обернут марлей, опущенной в сосуд с водой. Вода смачивает марлю на резервуаре термометра и при её испарении он охлаждается.

## **3. Могут ли в ходе опытов температуры «сухого» и «влажного» термометров оказаться одинаковыми?**

Да. В ходе опытов температуры «сухого» и «влажного» термометров могут оказаться одинаковыми при влажности 100%, т.к. в этом случае испарения с марли «влажного» термометра происходить не будет и он не будет охлаждаться.

## **4. При каком условии разности показаний термометров наибольшая?**

Наибольшая разность показаний термометров будет при сухом воздухе (когда влажность воздуха близка к 0%)



**5. Может ли температура «влажного» термометра оказаться выше температуры «сухого» термометра?**

Температура «влажного» термометра никогда не может оказаться выше температуры «сухого» термометра, т.к. с марли на резервуаре «влажного» термометра испаряется вода и при её испарении он охлаждается

**6. «Сухой» и «влажный» термометр психрометра показывают одну и ту же температуру. Какова относительная влажность воздуха?**

Если «сухой» и «влажный» термометр психрометра показывают одну и ту же температуру, то влажность воздуха 100%

**7. Каким может быть предельное значение относительной влажности воздуха?**

Предельное значение относительной влажности воздуха 100%

**Задания для самостоятельного выполнения**

Учебник Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2017- 210 с.

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

тест

**Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Какую площадь может занять капля оливкового масла объемом  $0,02 \text{ см}^3$  при расплывании ее на поверхности воды?
2. Считая диаметр атома вольфрама  $d \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ , оценить количество атомов, покрывающих поверхность острия иглы. Острие считать полушаром радиуса  $5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ .
3. Определить молярные массы водорода и гелия.
4. Во сколько раз число атомов в 12 кг углерода превышает число молекул в 16 кг кислорода?
5. Каково количество вещества (в молях), содержащегося в 1 г воды?
6. Чему равно число молекул в 10 г кислорода?
7. Молярная масса азота равна  $0,028 \text{ кг/моль}$ . Чему равна масса молекулы азота?
8. Определить число атомов в  $1 \text{ м}^3$  меди. Молярная масса меди  $M = 0,0635 \text{ кг/моль}$ ; ее плотность  $\rho = 9000 \text{ кг/м}^3$ .
9. Плотность алмаза  $3500 \text{ кг/м}^3$ . Какой объем займут  $10^{22}$  атомов этого вещества?
10. Как изменится давление газа, если концентрация его молекул увеличится в 3 раза, а средняя скорость молекул уменьшится в 3 раза?

11. Под каким давлением находится газ в сосуде, если средний квадрат скорости его молекул  $v^2 = 10^6 \text{ м}^2/\text{с}^2$ , концентрация молекул  $n = 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ , масса каждой молекулы  $m_0 = 5 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ ?
12. В колбе объемом 1,2 л содержится  $3 \cdot 10^{22}$  молекул гелия. Какова средняя кинетическая энергия каждой молекулы? Давление газа в колбе  $10^5 \text{ Па}$ .
13. Вычислить средний квадрат скорости движения молекул газа, если его масса  $m = 6 \text{ кг}$ , объем  $V = 4,9 \text{ м}^3$  и давление  $p = 200 \text{ кПа}$ .

### Раздел 3. Колебания и волны

#### Тема 3.1. Механические колебания. Упругие волны

**Основные понятия и термины по теме:** *колебательное движение, гармонические колебания, свободные механические колебания, линейные механические колебательные системы, свободные затухающие механические колебания, поперечные и продольные волны, понятие о дифракции волн, звуковые волны.*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. **Механические колебания.** Колебательное движение. Гармонические колебания. Свободные механические колебания. Линейные механические колебательные системы. Превращение энергии при колебательном движении. Свободные затухающие механические колебания. Вынужденные механические колебания.

2. **Упругие волны.** Поперечные и продольные волны. Характеристики волны. Уравнение плоской бегущей волны. Интерференция волн. Понятие о дифракции волн. Звуковые волны. Ультразвук и его применение.

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Упругие волны (механические волны) - Механические колебания и волны - МЕХАНИКА

Возмущения, распространяющиеся в пространстве, удаляясь от места их возникновения, называют *волнами*.

*Упругие волны — это возмущения, распространяющиеся в твердой, жидкой и газообразной средах благодаря действию в них сил упругости.*

Сами эти среды называют *упругими*. Возмущение упругой среды — это любое отклонение частиц этой среды от своего положения равновесия.

Возьмем, например, длинную веревку (или резиновую трубку) и прикрепим один из ее концов к стене. Туго натянув веревку, резким боковым движением руки создадим на ее незакрепленном конце кратковременное возмущение. Мы увидим, что это возмущение побежит вдоль веревки и, дойдя до стены, отразится назад (рис. 1.64).

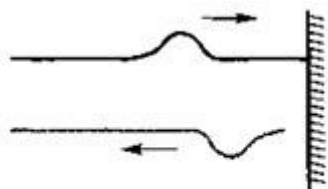


Рис. 1.64

Начальное возмущение среды, приводящее к появлению в ней волны, вызывается действием в ней какого-нибудь инородного тела, которое называют *источником волны*. Это может быть рука человека, ударившего по веревке, камешек, упавший в воду, и т. д.

Если действие источника носит кратковременный характер, то в среде возникает так называемая *одиночная волна* (см. рис. 1.64). Если же источник волны совершает длительное колебательное движение, то волны в среде начинают идти одна за другой. Подобную картину можно увидеть, поместив над ванной с водой вибрирующую пластину, имеющую наконечник, опущенный в воду.

Необходимым условием возникновения упругой волны является появление в момент возникновения возмущения сил упругости, препятствующих этому возмущению. Эти силы стремятся сблизить соседние частицы среды, если они расходятся, и отдалить их, когда они сближаются. Действуя на все более удаленные от источника частицы среды, силы упругости начинают выводить их из положения равновесия. Постепенно все частицы среды одна за другой вовлекаются в колебательное движение. Распространение этих колебаний и проявляется в виде волны.

В любой упругой среде одновременно существуют два вида движения: колебания частиц среды и распространение возмущения. Волна, в которой частицы среды колеблются вдоль направления ее распространения, называется *продольной*, а волна, в которой частицы среды колеблются поперек направления ее распространения, называется *поперечной*.

### ***Продольная волна***

*Волна, в которой колебания происходят вдоль направления распространения волны, называется продольной.*

В упругой продольной волне возмущения представляют собой сжатия и разрежения среды. Деформация сжатия сопровождается возникновением сил упругости в любой среде. Поэтому продольные волны могут распространяться во всех средах (и в жидких, и в твердых, и в газообразных) (рис. 1.65).

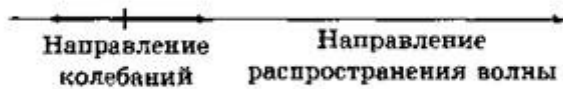


Рис. 1.65

Пример распространения продольной упругой волны изображен на рис. 1.66. По левому концу длинной пружины, подвешенной на нитях, ударяют рукой. От удара несколько витков сближаются, возникает сила упругости, под действием которой эти витки начинают расходиться. Продолжая движение по инерции, они будут продолжать расходиться, минуя положение равновесия и образуя в этом месте разрежение (рис. 1.66 б). При ритмичном воздействии витки на конце пружины будут то сближаться, то отходить друг от друга, т. е. колебаться возле своего положения равновесия. Эти колебания постепенно передадутся от витка к витку вдоль всей пружины. По пружине распространятся сгущения и разрежения витков, или упругая волна.

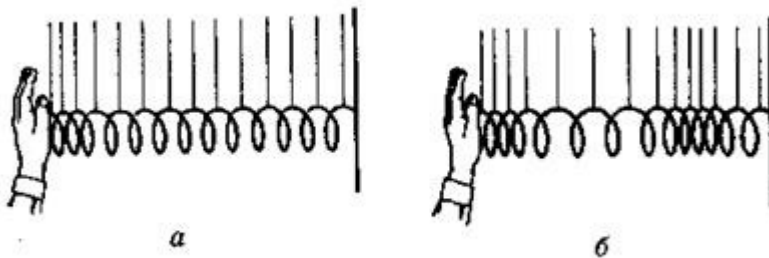


Рис. 1.66

### **Поперечная волна**

*Волны, в которых колебания происходят перпендикулярно направлению их распространения, называются поперечными.*

В поперечной упругой волне возмущения представляют собой смещения (сдвиги) одних слоев среды относительно других (рис. 1.67).

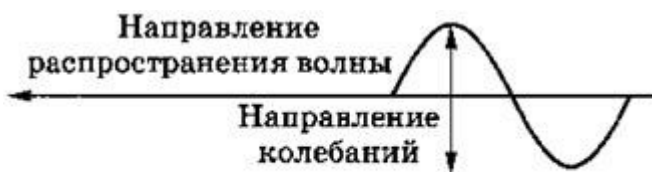


Рис. 1.67

Деформация сдвига приводит к появлению сил упругости только в твердых телах: сдвиг слоев в газах и жидкостях возникновением сил упругости не сопровождается. Поэтому поперечные волны могут распространяться только в твердых телах (см. рис. 1.64).

### **Плоская волна**

*Плоская волна — это волна, у которой направление распространения одинаково во всех точках пространства.*

В такой волне амплитуда не меняется со временем (по мере удаления от источника). Получить такую волну можно, если большую пластину, находящуюся в сплошной однородной упругой среде, заставить колебаться перпендикулярно плоскости. Тогда все точки среды, примыкающей к пластине, будут колебаться с одинаковыми амплитудами и одинаковыми фазами. Распространяться эти колебания будут в виде волн в направлении нормали к пластине, причем все частицы среды, лежащие в плоскостях, параллельных пластине, будут колебаться с одинаковыми фазами.

Геометрическое место точек, в которых фаза колебаний имеет одно и то же значение, называется *волновой поверхностью*, или *фронтом волны*.

С этой точки зрения плоской волне можно дать и следующее определение.

*Волна называется плоской, если ее волновые поверхности представляют совокупность плоскостей, параллельных друг другу (рис. 1.68).*

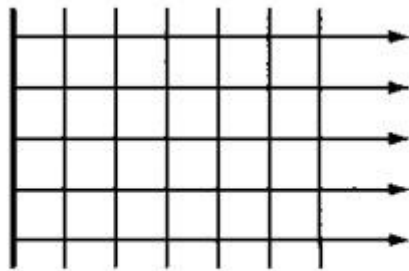


Рис. 1.68

Линия, нормальная к волновой поверхности, называется *лучом*.

Вдоль лучей происходит перенос энергии волны. Для плоских волн лучи — это параллельные прямые.

Уравнение плоской синусоидальной волны имеет вид:

$$s = s_m \sin[\omega(t - x/v) + \varphi_0],$$

где  $s$  — смещение колеблющейся точки,  $s_m$  — амплитуда колебаний,  $\omega$  — циклическая частота,  $t$  — время,  $x$  — текущая координата,  $v$  — скорость распространения колебаний или скорость волны,  $\varphi_0$  — начальная фаза колебаний.

### **Сферическая волна**

*Сферической называется волна, волновые поверхности которой имеют вид концентрических сфер. Центр этих сфер называется центром волны.*

Лучи в такой волне направлены вдоль радиусов, расходящихся от центра волны (рис. 1.69). На рис. 1.69 источником волны является пульсирующая сфера.

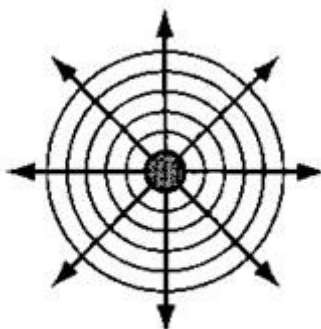


Рис. 1. 69

Амплитуда колебаний частиц в сферической волне обязательно убывает по мере удаления от источника. Энергия, излучаемая источником, равномерно распределяется по поверхности сферы, радиус которой непрерывно увеличивается по мере распространения волны. Уравнение сферической волны имеет вид:

$$s = \frac{a_0}{r} \sin \left[ \omega \left( t - \frac{r}{v} \right) + \varphi_0 \right].$$

В отличие от плоской волны, где  $sm=A$  — амплитуда волны постоянная величина, в сферической волне она убывает с расстоянием от центра волны.

*Учебник Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2017- 210 с.*

### **Практические занятия**

#### *№ 8 Изучение математического и пружинного маятников*

#### **Цель работы:**

исследовать, от каких величин зависит, а от каких не зависит период колебаний математического и пружинного маятников.

#### **Приборы и материалы:**

штатив, 3 груза разной массы (шарик, груз массой 100 г, гирька), нить длиной 60 см, 2 пружины разной жёсткости, измерительная лента, секундомер (или часы с секундной стрелкой), полосовой магнит.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изготовьте маятник, прикрепив к нити груз, и подвесьте его к штативу. Наблюдайте его колебания.

2. Исследуйте зависимость периода колебаний математического маятника от длины нити. Для этого определите время 20 полных колебаний маятников длиной 25 и 49 см. Вычислите период колебаний в каждом случае. Результаты измерений и вычислений с учётом погрешности измерений занесите в таблицу 8. Считайте, что погрешность измерения времени равна цене деления секундомера. Сделайте вывод.

Таблица 8

$l, \text{ м}$	$n$	$t \pm \Delta t, \text{ с}$	$T \pm \Delta T, \text{ с}$
0,25	20		
0,49	20		

3. Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от значения силы, действующей на груз в вертикальном направлении. Для этого под маятником длиной 25 см поместите полосовой магнит. Определите период колебаний, сравните его с периодом колебаний маятника в отсутствие магнита. Сделайте вывод.

4. Покажите, что период колебаний математического маятника не зависит от массы груза. Для этого к нити неизменной длины подвешивайте грузы разной массы. Для каждого случая определите период колебаний, сохраняя одинаковой амплитуду. Сделайте вывод.

5. Покажите, что период колебаний математического маятника не зависит от амплитуды колебаний. Для этого маятник отклоните сначала на 3 см, а затем на 4 см от положения равновесия и определите период колебаний в каждом случае. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 9. Сделайте вывод.

Таблица 9

$A, \text{ см}$	$n$	$t + \Delta t, \text{ с}$	$T + \Delta T, \text{ с}$
3	10		
4	10		

6. Покажите, что период колебаний пружинного маятника зависит от массы груза. Прикрепляя к пружине грузы разной массы, определите период колебаний маятника в каждом случае, измерив время 10 колебаний. Сделайте вывод.

7. Покажите, что период колебаний пружинного маятника зависит от жёсткости пружины. Сделайте вывод.

8. Покажите, что период колебаний пружинного маятника не зависит от амплитуды. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 10. Сделайте вывод.

**Таблица 10**

$A, \text{ см}$	$n$	$t + \Delta t, \text{ с}$	$T + \Delta T, \text{ с}$
3	10		
4	10		

**Задание 24**

- Исследуйте область применимости математического маятника. Для этого изменяйте длину нити маятника и размеры тела. Проверьте, зависит ли период колебаний от длины маятника, если тело имеет большие размеры, а длина нити мала.
- Вычислите длины секундных маятников, установленных на полюсе ( $g = 9,832 \text{ м/с}^2$ ), на экваторе ( $g = 9,78 \text{ м/с}^2$ ), в Москве ( $g = 9,816 \text{ м/с}^2$ ), в Санкт-Петербурге ( $g = 9,819 \text{ м/с}^2$ ).
- Как влияют изменения температуры на ход маятниковых часов?
- Как изменится частота маятниковых часов при подъеме в гору?
- Девочка качается на качелях. Изменится ли период колебаний качелей, если на них сядут две девочки? Если девочка будет качаться не сидя, а стоя?

**Задания для самостоятельного выполнения**

- Учебник В.В. Артемов, Ю.Н. Лубченков «История», стр. 54, §12 – В каких областях культуры арабы оставили наиболее существенный вклад? Назовите известных вам арабских ученых, деятелей культуры.

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

- устный опрос

**Вопросы для самоконтроля по теме - не предусмотрено**

**Тема 3.2. Электромагнитные колебания и волны**

**Основные понятия и термины по теме:** электромагнитные колебания, свободные электромагнитные колебания, вынужденные электрические колебания, переменный ток, генератор переменного тока, емкостное и индуктивное сопротивления переменного тока, генераторы тока, трансформаторы, токи высокой частоты, электромагнитное поле как особый вид материи, электромагнитные волны, вибратор Герца, открытый колебательный контур.

**План изучения темы (перечень вопросов, обязательных к изучению):**

- Электромагнитные колебания. Свободные электромагнитные колебания. Превращение энергии в колебательном контуре. Затухающие электромагнитные колебания. Генератор незатухающих электромагнитных



колебаний. Вынужденные электрические колебания. Переменный ток. Генератор переменного тока.

2. Закон Ома для электрической цепи переменного тока. Работа и мощность переменного тока. Генераторы тока.

3. Электромагнитные волны. Электромагнитное поле как особый вид материи. Электромагнитные волны. Вибратор Герца. Открытый колебательный контур. Изобретение радио А.С. Поповым. Понятие о радиосвязи. Применение электромагнитных волн.

#### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

#### **Электромагнитные колебания. свободные и вынужденные электрические колебания.**

Электромагнитные колебания - взаимосвязанные колебания электрического и магнитного полей.

Электромагнитные колебания появляются в различных электрических цепях. При этом колеблются величина заряда, напряжение, сила тока, напряженность электрического поля, индукция магнитного поля и другие электродинамические величины.

Свободные электромагнитные колебания возникают в электромагнитной системе после выведения ее из состояния равновесия, например, сообщением конденсатору заряда или изменением тока в участке цепи.

Это затухающие колебания, так как сообщенная системе энергия расходуется на нагревание и другие процессы.

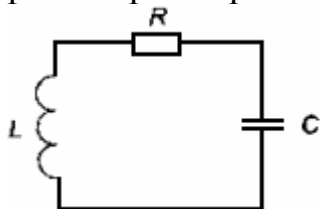
Вынужденные электромагнитные колебания - незатухающие колебания в цепи, вызванные внешней периодически изменяющейся синусоидальной ЭДС.

Электромагнитные колебания описываются теми же законами, что и механические, хотя физическая природа этих колебаний совершенно различна.

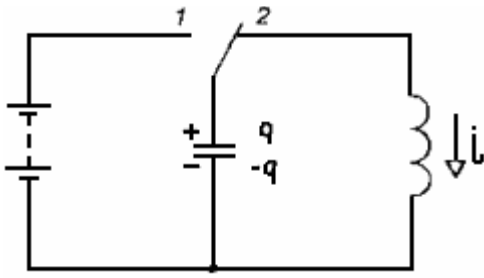
Электрические колебания - частный случай электромагнитных, когда рассматривают колебания только электрических величин. В этом случае говорят о переменном токе, напряжении, мощности и т.д.

#### **колебательный контур**

Колебательный контур - электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора емкостью  $C$ , катушки индуктивностью  $L$  и резистора сопротивлением  $R$ .



Состояние устойчивого равновесия колебательного контура характеризуется минимальной энергией электрического поля (конденсатор не заряжен) и магнитного поля (ток через катушку отсутствует).



Величины, выражающие свойства самой системы (параметры системы):  $L$  и  $m$ ,  $1/C$  и  $k$

величины, характеризующие состояние системы:

$$E_p = \frac{q^2}{2C} \text{ и } E_p = \frac{kx^2}{2}$$

$$E_k = \frac{Li^2}{2} \text{ и } E_k = \frac{mv^2}{2}$$

величины, выражающие скорость изменения состояния системы:  $u = x'(t)$  и  $i = q'(t)$ .

### характеристики электромагнитных колебаний

Можно показать, что уравнение свободных колебаний для заряда  $q = q(t)$  конденсатора в контуре имеет вид

$$q'' = -\frac{1}{LC} \cdot q \text{ или } q'' = -\omega_0^2 \cdot q \quad (1)$$

где  $q''$  - вторая производная заряда по времени. Величина

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

является циклической частотой. Такими же уравнениями описываются колебания тока, напряжения и других электрических и магнитных величин.

Одним из решений уравнения (1) является гармоническая функция

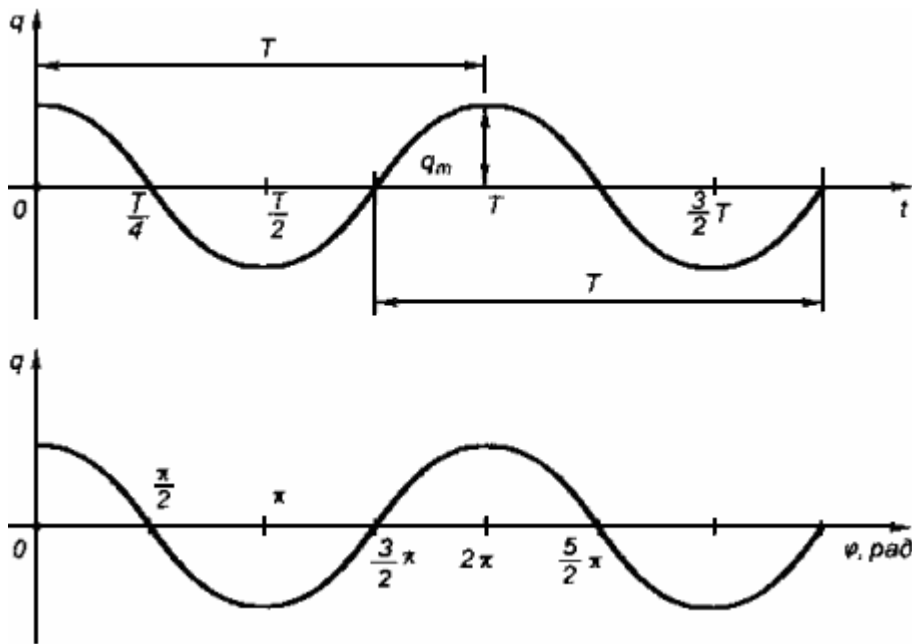
$$q = q_m \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2)$$

Период колебаний в контуре дается формулой (Томсона):

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{LC} \quad (3)$$

Величина  $\varphi = \omega t + \varphi_0$ , стоящая под знаком синуса или косинуса, является фазой колебания.

Фаза определяет состояние колеблющейся системы в любой момент времени  $t$ .

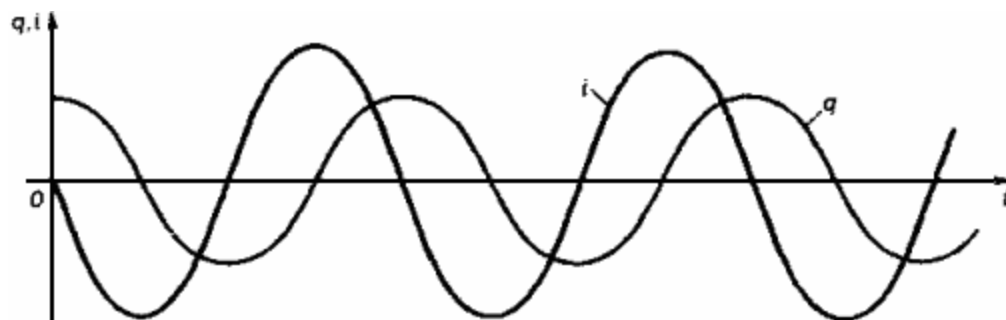


Ток в цепи равен производной заряда по времени, его можно выразить

$$i = q' = -q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (4)$$

Чтобы нагляднее выразить сдвиг фаз, перейдем от косинуса к синусу

$$i = \omega q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi/2) \quad (5)$$

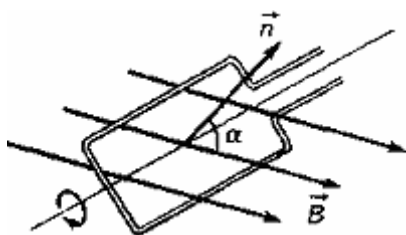


## ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

1. Гармоническая ЭДС возникает, например, в рамке, которая вращается с постоянной угловой скоростью в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ . Магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий рамку с площадью  $S$ ,

$$\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos \omega t$$

где  $\alpha = \omega t$  угол между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции.



По закону электромагнитной индукции Фарадея ЭДС индукции равна

$$\varepsilon_i = - \Delta\Phi / \Delta t$$

где -  $\Delta\Phi / \Delta t$  скорость изменения потока магнитной индукции.

Гармонически изменяющийся магнитный поток вызывает синусоидальную ЭДС индукции

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BS\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t$$

где -  $\varepsilon_m = BS\omega$  амплитудное значение ЭДС индукции.

2. Если к контуру подключить источник внешней гармонической ЭДС

$$e = \varepsilon_m \sin \omega t$$

то в нем возникнут вынужденные колебания, происходящие с циклической частотой  $\omega$ , совпадающей с частотой источника.

При этом вынужденные колебания совершают заряд  $q$ , разность потенциалов  $u$ , сила тока  $i$  и другие физические величины. Это незатухающие колебания, так как к контуру подводится энергия от источника, которая компенсирует потери. Гармонически изменяющиеся в цепи ток, напряжение и другие величины называют переменными. Они, очевидно, изменяются по величине и направлению. Токи и напряжения, изменяющиеся только по величине, называют пульсирующими.

В промышленных цепях переменного тока России принята частота 50 Гц.

Для подсчета количества теплоты  $Q$ , выделяющейся при прохождении переменного тока по проводнику с активным сопротивлением  $R$ , нельзя использовать максимальное значение мощности, так как оно достигается только в отдельные моменты времени. Необходимо использовать среднюю за период мощность - отношение суммарной энергии  $W$ , поступающей в цепь за период, к величине периода:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{T} = \frac{1}{2} I_m U_m = \frac{1}{2} I_m^2 R$$

Поэтому количество теплоты, выделится за время  $T$ :

$$Q = \frac{1}{2} I_m U_m T$$

Действующее значение  $I$  силы переменного тока равно силе такого постоянного тока, который за время, равное периоду  $T$ , выделяет такое же количество теплоты, что и переменный ток:

$$I^2 RT = \frac{1}{2} I_m^2 RT$$

Отсюда действующее значение тока

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Аналогично действующее значение напряжения

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

## ТРАНСФОРМАТОР

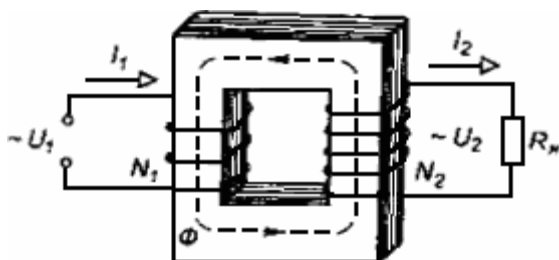
*Трансформатор* - устройство, увеличивающее или уменьшающее напряжение в несколько раз практически без потерь энергии.

Трансформатор состоит из стального сердечника, собранного из отдельных пластин, на котором крепятся две катушки с проволочными обмотками. Первичная обмотка подключается к источнику переменного напряжения, а к вторичной присоединяют устройства, потребляющие электроэнергию.

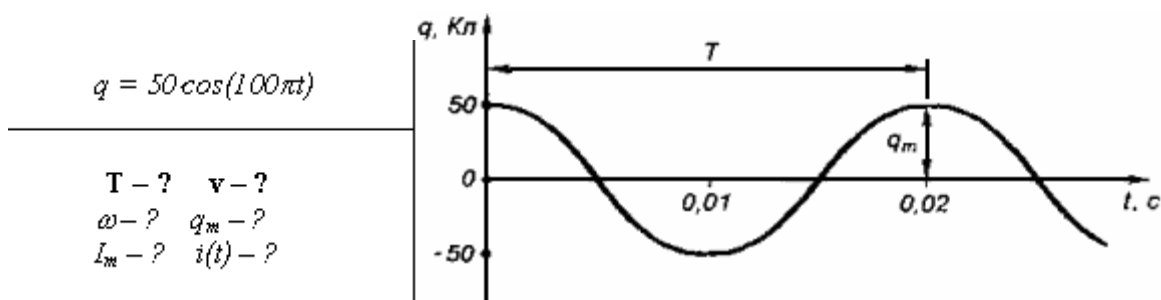
Величину

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

называют коэффициентом трансформации. Для понижающего трансформатора  $K > 1$ , для повышающего  $K < 1$ .



**Пример.** Заряд на пластинах конденсатора колебательного контура изменяется с течением времени в соответствии с уравнением  $q = 50 \cos(100\pi t)$ . Найдите период и частоту колебаний в контуре, циклическую частоту, амплитуду колебаний заряда и амплитуду колебаний силы тока. Запишите уравнение  $i = i(t)$ , выражающее зависимость силы тока от времени.



Из уравнения следует, что  $q_m = 50 \text{ Кл}$ ,  $\omega = 100\pi \text{ рад/с}$ . Период определим по формуле циклической частоты  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{100\pi \text{ рад/с}} = 0,02 \text{ с}$$

Частота колебаний

$$\nu = \frac{1}{T} \Rightarrow \nu = \frac{1}{0,02\text{с}} = 50 \text{ Гц}$$

Зависимость силы тока от времени имеет вид:

$$i = q' = -q_m \omega \sin \omega t \text{ или } i = -50 \cdot 100\pi \sin 100\omega t = -5000\pi \sin 100\pi t$$

Амплитуда силы тока.

$$I_m = 5000\pi \cdot \text{А.}$$

**Ответ:** заряд совершает колебания с периодом 0,02 с и частотой 50 Гц, которой соответствует циклическая частота 100 рад/с, амплитуда колебаний силы тока равна  $5\pi \cdot 10^3$  А, ток изменяется по закону:

$$i = -5000\pi \sin 100\pi t$$

### **Практические занятия**

*№ 9 Изучить свободные электромагнитные колебания*

*№ 10 Изучить превращение энергии в колебательные контуры*

Цель работы: Изучение характеристик свободного колебательного процесса, возбуждаемого импульсным воздействием в простом LCR контуре.

### Приборы и оборудование:

1. Модули «ФПЭ-10/11», «ПИ» и два магазина сопротивления «МС».
  2. Постоянное оборудование: источник питания «ИП», генератор ГЗ-112, осциллограф
- С1-93 (С1-83), два цифровых вольтметра, комплект соединительных кабелей.

### Теоретическая часть

#### Описание свободного колебательного процесса

#### Уравнение процесса. Характеристики затухания.

Простой колебательный контур состоит из последовательно соединенных индуктивности L, емкости C, и активного сопротивления R. Если предварительно

запаси энергию, например, зарядив конденсатор от внешнего источника

тока (рис.14.1), а затем подключить конденсатор к катушке индуктивности, то в образовавшемся изолированном контуре возникнут свободные электромагнитные колебания.

Действительно, при разряде конденсатора появляются изменяющиеся во времени ток и пропорциональное ему магнитное поле. Меняющееся магнитное поле порождает в контуре ЭДС самоиндукции  $E$ , которая по закону Ленца сначала замедляет скорость разряда конденсатора, а после того, как конденсатор полностью разрядится, продолжает поддерживать ток в прежнем направлении. В результате происходит перезарядка конденсатора.

Затем процесс разряда конденсатора продолжается, но в обратном направлении и т.д. Возникающие свободные колебания заряда  $q$ , тока и напряжений (7 на элементах контура совершаются с циклической частотой  $\omega$ , а колебания электрической и магнитной энергий с удвоенной частотой (максимумы энергий появляются дважды за период  $T$ ).

Вследствие джоулевых потерь в активном сопротивлении контура  $R$  часть энергии колебаний превращается в теплоту, что приводит к затуханию колебаний. При больших величинах  $R$  колебания могут вообще не возникнуть - наблюдается аperiодический разряд конденсатора.

Найдем уравнение, описывающее свободные затухающие колебания в контуре.

$$q = C \cdot U; \quad I = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{dU}{dt}; \quad \mathcal{E}_s = -L \cdot \frac{dI}{dt} = -L \cdot C \cdot \frac{d^2U}{dt^2}. \quad (14.1)$$

По закону Кирхгофа для полной цепи имеем

$$I \cdot R = -U + \mathcal{E}_s. \quad (14.2)$$

С учетом соотношений (14.1) уравнение (14.2) для переменной  $U$  приобретает вид

$$\frac{d^2U}{dt^2} + 2 \cdot \delta \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 \cdot U = 0, \quad (14.3)$$

Легко показать, что точно такой же вид имеют уравнения для заряда конденсатора  $q$  и тока  $I$ .

Затухание нарушает периодичность колебаний и строгое применение понятия периода и частоты к ним не применимо. Однако при малом затухании условно пользуются понятием периода как промежутка времени между последующими максимумами (или минимумами) колеблющейся величины. С учетом этой оговорки период свободных затухающих колебаний в контуре равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{4 \cdot L^2}}}. \quad (14.5)$$

С увеличением затухания период колебаний растет, обращаясь в бесконечность т.е. движение перестает быть периодическим. В данном случае напряжение на конденсаторе асимптотически приближается к нулю при  $t \rightarrow 0$  и уже будет описываться функцией, отличной от вида (14.4). Такой процесс называется аperiодическим. Переход к нему происходит при величине сопротивления контура

$$R \geq R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

### Фазовая плоскость

В ряде случаев удобно изучать колебательные и нелинейные процессы в системе координат (1Д) - «ток-напряжение». В механике аналогичными координатами являются скорость и перемещение. Плоскость таких координат носит название плоскости состояний

или фазовой плоскости, а кривая, изображающая зависимость этих координат называется фазовой кривой.

Рассмотрим фазовую кривую для процессов в LCR-контуре. Для нахождения силы тока проинтегрируем функцию  $U(t)$  (14.4) по времени

$$I = I_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos(\omega t + \psi). \quad (14.11)$$

Фазовая кривая  $I(U)$  описывается в параметрической форме системой из двух уравнений

$$\begin{cases} U = U_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos \omega t, \\ I = I_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos(\omega t + \psi) \end{cases} \quad (14.12)$$



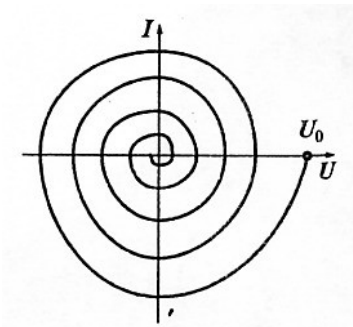


Рис.14.4. Фазовая кривая для LCR-контура при  $R > 0$ .

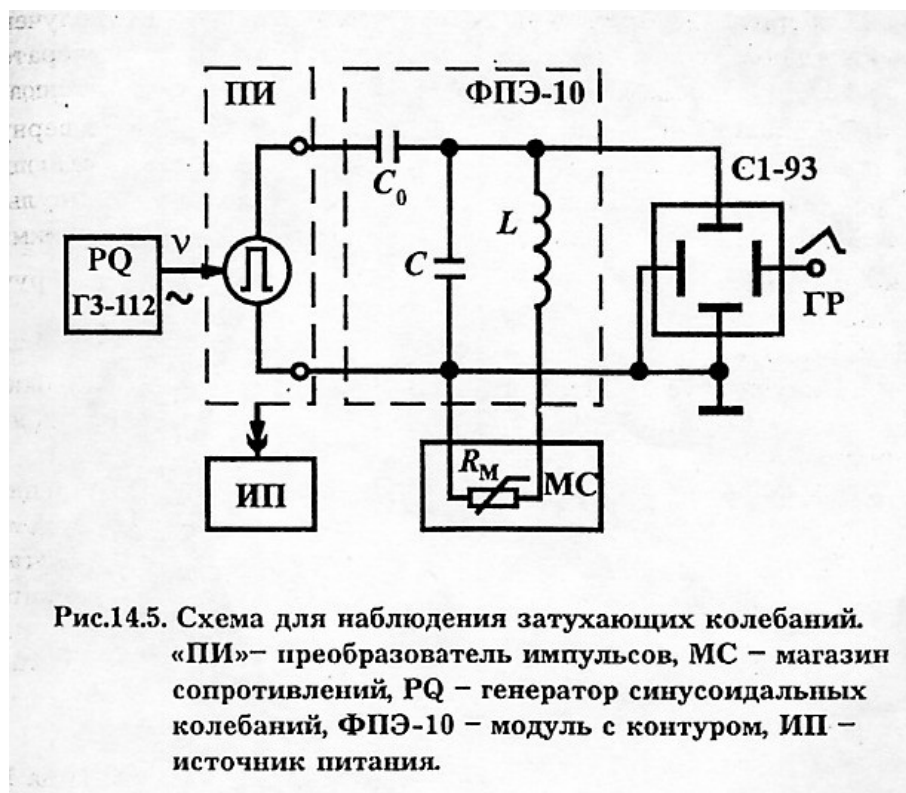
При  $R = 0$  ( $\alpha = 0$ ) опережение тока по фазе составляет  $\pi/2$  и фазовая кривая будет представлять собой эллипс, как в случае сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний с постоянными амплитудами, сдвинутых по фазе на четверть периода.

В реальной ситуации при наличии затухания ( $R > 0$ ) амплитуды напряжения и тока в контуре непрерывно убывают, не повторяясь через период  $T$ , и фазовая кривая получается незамкнутой (рис.14.4).

#### Методика измерений

Для наблюдения зависимости напряжения на конденсаторе контура от времени  $U(t)$  используется электрическая схема, изображенная на рис.14.5. Колебания в контуре возбуждаются короткими импульсами напряжения от преобразователя «ПИ»,

периодически повторяющимися с частотой  $V$  задающего генератора «PQ».



Контур соединен с генератором импульсов через разделительный конденсатор  $C$  (емкостью значительно меньшей емкости контура  $C$ ). Для уменьшения влияния генератора на параметры контура.

Затухание контура определяется его полным эквивалентным сопротивлением  $R$ , которое включает в себя, в основном, сопротивление обмотки катушки, сопротивление потерь на

гистерезис в сердечнике катушки, внешнее сопротивление магазина  $R_m$ , а также сопротивление, вносимое в контур генератором импульсов. Сопротивление  $R$  заранее неизвестно и определяется из измерений характеристик затухания реального контура.

### Порядок выполнения работы

#### Задание 1.

Измерение периода колебаний, логарифмического декремента и параметров контура.

1. Соберите электрическую схему согласно рис.14.5. Для получения возбуждающих импульсов на модуль «ПИ» подайте от генератора ГЗ-112 синусоидальное напряжение « 3,5 В. Установите частоту генератора  $\nu$  т 40... 70 Гц, задающую периодичность вырабатываемых импульсов. Длительность импульсов установите равную примерно 1...2 мс.

2. Включите приборы.
3. Получите устойчивую осциллограмму затухающих колебаний, в которой укладывается примерно 10-20 периодов. Режим синхронизации - внутренняя.
4. Измерьте период колебаний  $T$  при минимальном внешнем сопротивлении  $R = 0$  (гнезда магазина МС замкните проводом).
5. Измерьте амплитуды колебаний, отстоящих друг от друга на  $n = 5 \dots 15$  периодов и вычислите логарифмический декремент по формуле (14.7а). Рассчитайте коэффициент затухания, добротность и время релаксации.
6. Повторите измерения по пп. 4 и 5 при других значениях внешнего сопротивления  $R$  в интервале от 1 до 10 Ом. (Для расширения пределов регулирования сопротивления при

возможности включите последовательно два магазина сопротивлений).  
Данные

измерений и вычислений занесите в таблицу 14.1.

7- Постройте график зависимости  $\lambda(R_M)$ . Поскольку период  $T$  при малых затуханиях практически постоянен, то зависимость  $\lambda(R_M)$  можно аппроксимировать линейной функцией.

8. Используя формулу

$$\lambda = \frac{R}{2 \cdot L} \cdot T = \frac{R_K + R_M}{2 \cdot L} \cdot T,$$

вычислите индуктивность  $L$ .

9. Модифицировав формулу (14.5), определите емкость контура

С. Данные занесите в таблицу 14.1.

10. Подберите сопротивление магазина  $R$  (качественно) при котором происходит переход к апериодическому режиму. Сравните полученное значение с рассчитанным по формуле

#### Результаты измерений

<b><math>R_M,</math> <b>Ом</b></b>	<b><math>T,</math> с</b>	<b><math>U_i,</math> дел</b>	<b><math>U_{i+n},</math> дел</b>
--	--------------------------	------------------------------	--------------------------------------

0	0,60	2,4	0,90
3	0,60	2,4	0,85
6	0,58	2,4	0,75
9	0,59	2,3	0,65
12	0,60	2,3	0,55
15	0,60	2,3	0,50
18	0,60	2,25	0,30
20	0,60	2,2	0,28

Константы:

$C=0,09$  мкФ;

$L=90$  мГн;

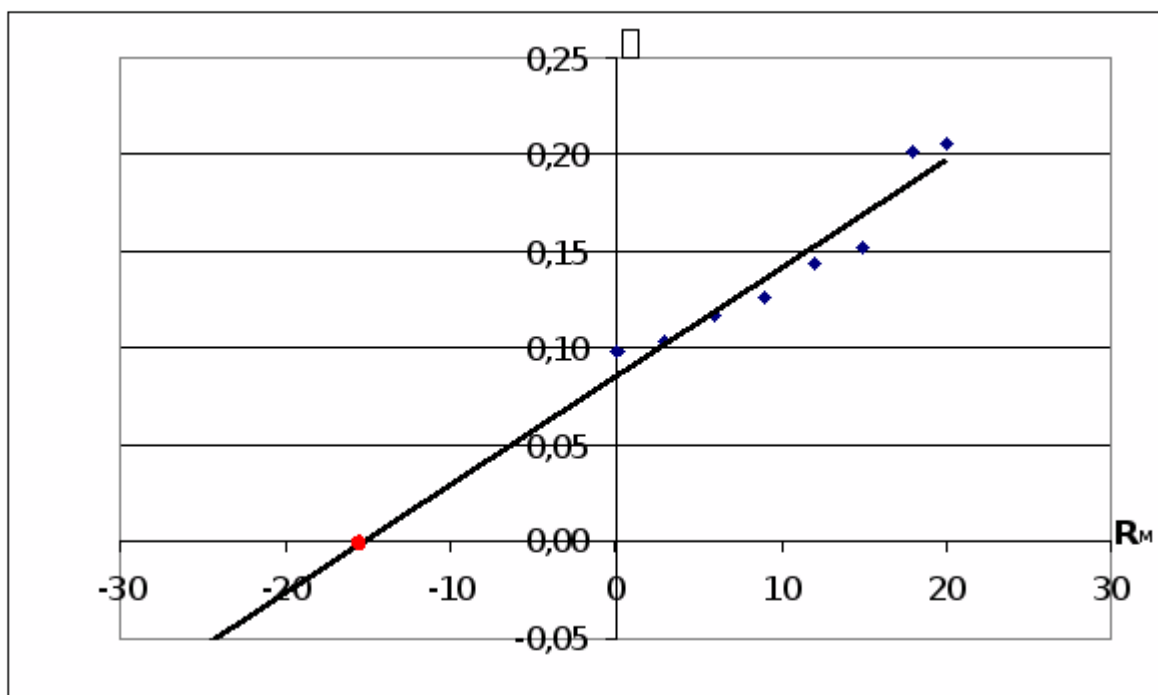
$n=10$ .

### Расчеты

<b>R<sub>m</sub>, Ом</b>	<b>T, с</b>	<b>U<sub>i</sub>, дел</b>	<b>U<sub>i+n</sub>, дел</b>	<b>n</b>	<b>lambda</b>	<b>delta</b>	<b>Q</b>	<b>tau</b>	<b>L</b>	<b>C</b>	<b>R, Ом</b>
0	0,60	2,4	0,90	10	0,098	0,163	32,0	6,1	47,1	0,000194	15,4
3	0,60	2,4	0,85	10	0,104	0,173	30,3	5,8	53,2	0,000172	18,4

6	0,58	2,4	0,75	10	0,116	0,201	27,0	5,0	53,3	0,000160	21,4
9	0,59	2,3	0,65	10	0,126	0,214	24,9	4,7	56,9	0,000155	24,4
12	0,60	2,3	0,55	10	0,143	0,238	22,0	4,2	57,4	0,000159	27,4
15	0,60	2,3	0,50	10	0,153	0,254	20,6	3,9	59,7	0,000153	30,4
18	0,60	2,25	0,30	10	0,201	0,336	15,6	3,0	49,7	0,000183	33,4
20	0,60	2,2	0,28	10	0,206	0,344	15,2	2,9	51,5	0,000177	35,4

Строим график зависимости логарифмического декремента от сопротивления магазина:



По графику определяем эквивалентное сопротивление контура  $R_K=15,4$  Ом.

### Расчет погрешностей

Найдём погрешность вычисления индуктивности и ёмкости.

Вычисление погрешности  $\Delta L$ .

$$L_{cp} = 53,6.$$

№ опыта	L	L	$\Delta(L)$	$\Delta\Sigma(L)$	$\Delta/N(N-1)$	$\Sigma$
1	47,1	6,5	42,25			
2	53,2	0,4	0,16			
3	53,3	0,3	0,09			
4	56,9	3,3	10,89	124,66	2,226	1,49
5	57,4	3,8	14,44			
6	59,7	6,1	37,21			
7	49,7	3,9	15,21			
8	51,5	2,1	4,41			

Коэффициент Стьюдента для 8 опытов при доверительной вероятности 95% равен 2,2.

$$\Delta L = 1,49 \cdot 2,2 \sigma 3,3.$$

$$\approx L = 100\% \cdot \Delta L / L_{cp} \delta 6,2\%$$

Аналогично найдём  $\Delta C$ .

$$C_{cp} = 169,1 \cdot 10^{-6}$$

№ опыта	$C \approx 10^{-6}$	$\times C $	$\Delta(C)$	$\Delta\Sigma(C)$	$\Delta/N(N-1)$	$\Sigma \sigma 10^{-6}$
---------	---------------------	-------------	-------------	-------------------	-----------------	-------------------------

1	194	24,9	620,01	1527	27,27	5,22
2	172	2,9	8,41			
3	160	9,1	82,81			
4	155	14,1	198,81			
5	159	10,1	102,01			
6	153	16,1	259,21			
7	183	13,9	193,21			
8	177	7,9	62,41			

Коэффициент Стьюдента для 8 опытов при доверительной вероятности 95% равен 2,2.

$$\Delta L = 5,22 \cdot 10^{-6} \cdot 2,2 \times 11,5 \cdot 10^{-6}$$

$$\approx L = 100\% \cdot \Delta L / L \text{ ср } \delta 6,8\%$$

**Задания для самостоятельного выполнения** - не предусмотрено

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**  
устный опрос

**Вопросы для самоконтроля по теме** - не предусмотрено

## Раздел 4. Электродинамика

### Тема 4.1. Электрическое поле

**Основные понятия и термины по теме:** -законов: сохранения заряда;

Закон Кулона; напряженности электрического поля и принципа суперпозиции полей;

- понятий: работы сил электростатического поля; соединений конденсаторов в батарею и энергии заряженного конденсатора.

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. **Электрическое поле.** Электрические заряды. Закон сохранения заряда. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперп

2. **Потенциал.** Разность потенциалов. Эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и разностью потенциалов электрического поля. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Проводники в электрическом поле.

3. **Конденсаторы.** Соединение конденсаторов в батарею. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля.

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

Электрическое поле

По современным представлениям, электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно. Каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве *электрическое поле*. Это поле оказывает силовое действие на другие заряженные тела. Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой. Таким образом, взаимодействие заряженных тел осуществляется не непосредственным их воздействием друг на друга, а через электрические поля, окружающие заряженные тела.

Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого *пробного заряда* – небольшого по величине точечного заряда, который не производит заметного перераспределения исследуемых зарядов.

Для количественного определения электрического поля вводится **силовая характеристика** – *напряженность электрического поля*.

**Напряженностью электрического поля называют физическую величину, равную отношению силы, с которой поле действует на положительный пробный заряд, помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда:**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Напряженность электрического поля – векторная физическая величина.

Направление вектора  $\vec{E}$  в каждой точке пространства совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд.



Электрическое поле неподвижных и не меняющихся со временем зарядов называется *электростатическим*. Во многих случаях для краткости это поле обозначают общим термином – электрическое поле

Если с помощью пробного заряда исследуется электрическое поле, создаваемое несколькими заряженными телами, то результирующая сила оказывается равной геометрической сумме сил, действующих на пробный заряд со стороны каждого заряженного тела в отдельности. Следовательно, **напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности:**

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

Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется принципу суперпозиции.

В соответствии с законом Кулона напряженность электростатического поля, создаваемого точечным зарядом  $Q$  на расстоянии  $r$  от него, равна по модулю

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

Это поле называется *кулоновским*. В кулоновском поле направление вектора  $\vec{E}$  зависит от знака заряда  $Q$ : если  $Q > 0$ , то вектор  $\vec{E}$  направлен по радиусу от заряда, если  $Q < 0$ , то вектор  $\vec{E}$  направлен к заряду.

Для наглядного изображения электрического поля используют *силовые линии*. Эти линии проводят так, чтобы направление вектора  $\vec{E}$  в каждой точке совпадало с направлением касательной к силовой линии (рис. 1.2.1). При изображении электрического поля с помощью силовых линий, их густота должна быть пропорциональна модулю вектора напряженности поля.

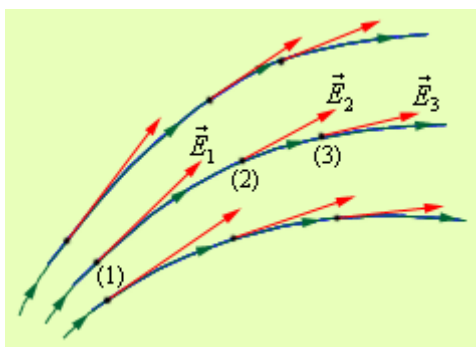


Рисунок 1.2.1.

### Силовые линии электрического поля

Силовые линии кулоновских полей положительных и отрицательных точечных зарядов изображены на рис. 1.2.2. Так как электростатическое поле, создаваемое любой системой зарядов, может быть представлено в виде суперпозиции кулоновских полей точечных зарядов, изображенные на рис. 1.2.2 поля можно рассматривать как элементарные структурные единицы («кирпичики») любого электростатического поля.



Рисунок 1.2.2.

### Силовые линии кулоновских полей

Кулоновское поле точечного заряда  $Q$  удобно записать в векторной форме.

Для этого нужно провести радиус-вектор  $\vec{r}$  от заряда  $Q$  к точке наблюдения.

Тогда при  $Q > 0$  вектор  $\vec{E}$  параллелен  $\vec{r}$ , а при  $Q < 0$  вектор  $\vec{E}$

антипараллелен  $\vec{r}$ . Следовательно, можно записать:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^3} \vec{r},$$

где  $r$  – модуль радиус-вектора  $\vec{r}$ .

В качестве примера применения принципа суперпозиции полей на рис. 1.2.3. изображена картина силовых линий поля **электрического диполя** – системы из двух одинаковых по модулю зарядов разного знака  $q$  и  $-q$ , расположенных на некотором расстоянии  $l$ .

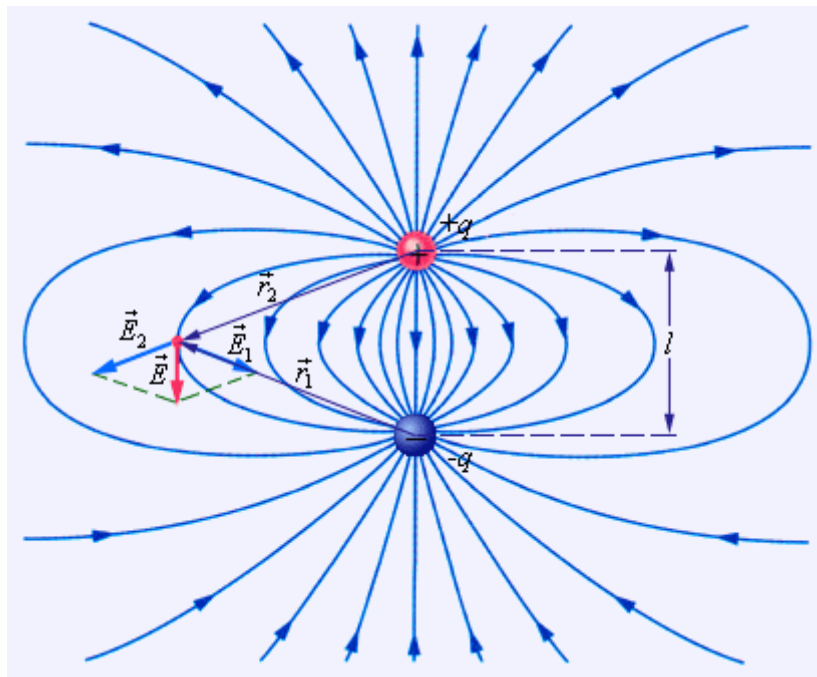


Рисунок 1.2.3.

Силовые линии поля электрического диполя  

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

Важной характеристикой электрического диполя является так называемый **дипольный момент**  $\vec{p}$ :

$$\vec{p} = \vec{l}q,$$

где  $\vec{l}$  – вектор, направленный от отрицательного заряда к положительному,  $|\vec{l}| = l$ .  
 модуль Диполь может служить электрической моделью многих молекул.

Электрическим дипольным моментом обладает, например, нейтральная молекула воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ), так как центры двух атомов водорода располагаются не на одной прямой с центром атома кислорода, а под углом  $105^\circ$  (рис. 1.2.4). Дипольный момент молекулы воды  $p = 6,2 \cdot 10^{-30}$  Кл · м.

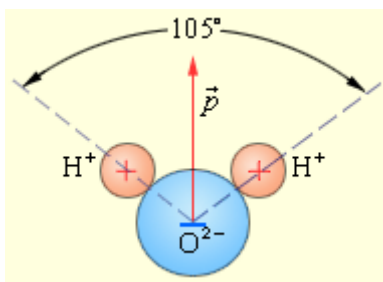


Рисунок 1.2.4.

### Дипольный момент молекулы воды

Во многих задачах электростатики требуется определить электрическое поле  $\vec{E}$  по заданному распределению зарядов. Пусть, например, нужно найти электрическое поле длинной однородно заряженной нити (рис. 1.2.5) на расстоянии  $R$  от нее.

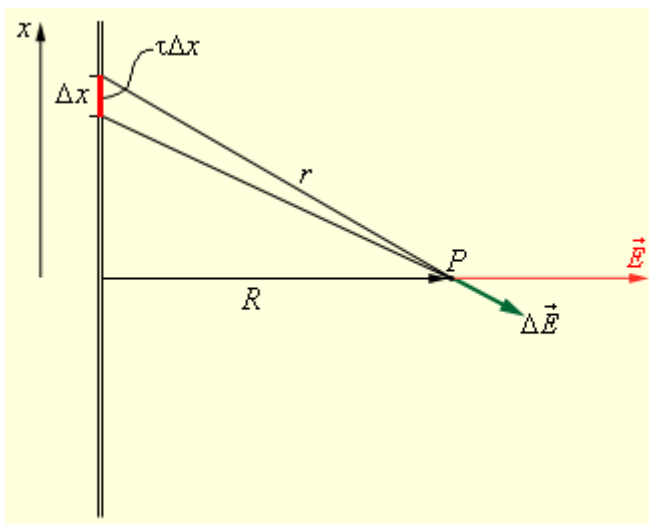


Рисунок 1.2.5.

### Электрическое поле заряженной нити

Поле в точке наблюдения  $P$  может быть представлено в виде суперпозиции кулоновских полей, создаваемых малыми элементами  $\Delta x$  нити, с зарядом  $\tau \Delta x$ , где  $\tau$  – заряд нити на единицу длины. Задача сводится к суммированию  $\Delta \vec{E}$ .

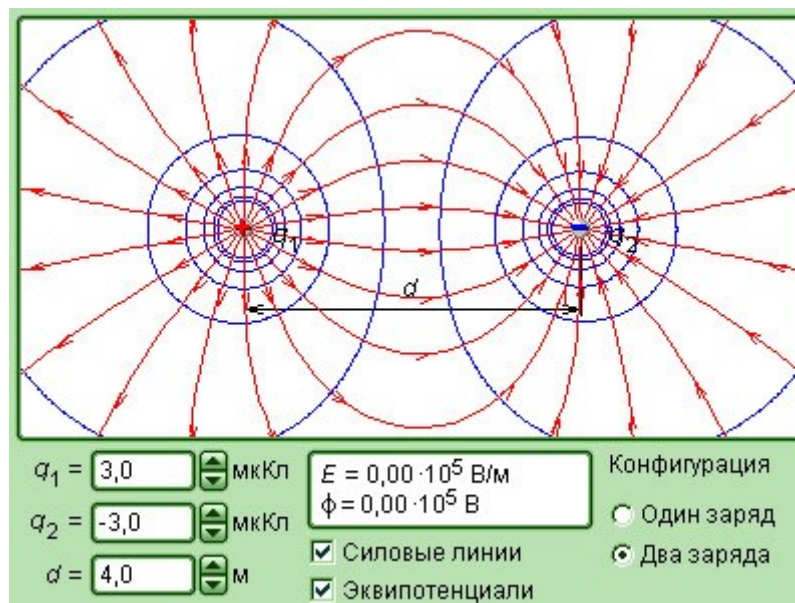
(интегрированию) элементарных полей. Результирующее поле оказывается равным

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 R^2}$$

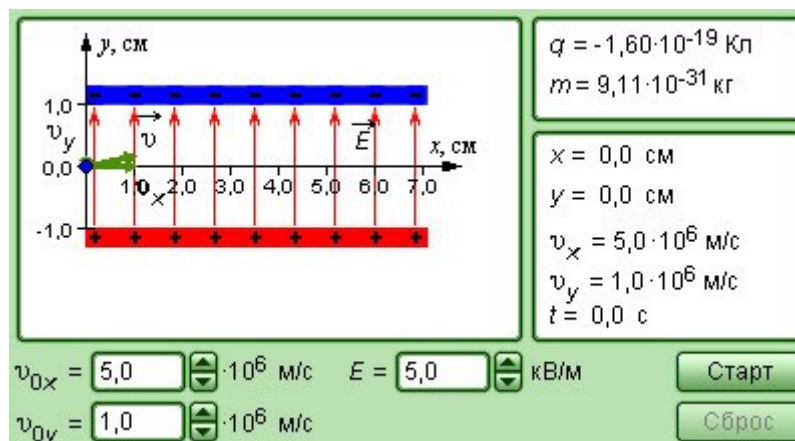
$\vec{E}$

$\vec{R}$

Вектор  $\vec{E}$  везде направлен по радиусу  $\vec{R}$ . Это следует из симметрии задачи. Уже этот простой пример показывает, что прямой путь определения поля по заданному распределению зарядов приводит к громоздким математическим выкладкам. В ряде случаев можно значительно упростить расчеты, если воспользоваться теоремой Гаусса, которая выражает фундаментальное свойство электрического поля.



Модель. Электрическое поле точечных зарядов



Модель. Движение заряда в электрическом поле

## **Практические занятия - № 11 Изучение напряженности электрических полей**

Установите на поверхности прозрачной пластины с электродами кювету, заполненную касторовым маслом, на поверхность масла насыпьте манную крупу и слегка размешайте эту смесь.

Электроды подключите к источнику высокого напряжения, в качестве которого можно использовать электрофорную машину.

Приведите в движение ручку электрофорной машины и наблюдайте за поведением крупинок манки, которые выстраиваются вдоль силовых линий электрического поля.

Используя одну и ту же пластину с электродами, проведите серию наблюдений за выстраиванием цепочек из крупинок, всякий раз замечая положение цепочек вблизи одной из точек пространства между электродами. Обратите внимание на то, что всякий раз цепочки крупинок проходят через разные места в окрестностях выбранной точки, т.е их расположение носит случайный характер, тем не менее отражает общую картину электрического поля.

Проведите аналогичные наблюдения с пластинами с другой конфигурации электродов и зарисуйте картины силовых линий электрического поля для каждого случая.

### *№ 12 Изучение конденсаторов*

#### **Задания для самостоятельного выполнения**

*Цель работы:* определение ёмкости конденсаторов при различных их соединениях с помощью моста переменного тока. Ознакомление с работой моста Сотти.

#### **Теоретическое введение**

Рассмотрим уединённый заряженный проводник. При равновесном распределении заряда потенциал  $\varphi$  любой его точки одинаков и прямо пропорционален заряду:  $\varphi \sim q$ , а коэффициент пропорциональности – это ёмкость проводника:

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (3.1)$$

**Емкость уединенного проводника** показывает, какой заряд нужно сообщить данному проводнику, чтобы его потенциал изменился на единицу. Единицей емкости в системе СИ является 1 фарад – это емкость такого проводника, потенциал которого при сообщении заряда в 1 кулон изменяется на 1 вольт:

$$[C] = \frac{[q]}{[\varphi]} = \frac{Кл}{В} = \Phi$$

**Емкость** уединенного проводника – это одна из его характеристик, которая **показывает, какой заряд нужно сообщить данному проводнику, чтобы его потенциал изменился на единицу**, и определяется по формуле:

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi} \quad (3.1a)$$

где  $C$  – емкость проводника;  $\Delta \varphi$  – измерение потенциала проводника при сообщении ему заряда  $\Delta q$ . Емкость проводника зависит от его размеров, формы, наличия по соседству других проводников и от диэлектрической проницаемости среды.

**Конденсатором называется совокупность двух любых проводников с одинаковыми по абсолютному значению, но противоположными по знаку зарядами.** Напряжение на конденсаторе  $U$  (разность потенциалов обкладок) тем больше, чем больше заряд конденсатора:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \sim q$$

Коэффициентом пропорциональности между ними является ёмкость конденсатора  $C$ :

$$U = \frac{q}{C} \quad (3.2)$$

**Ёмкость конденсатора определяется отношением заряда на одной из его обкладок к разности потенциалов (напряжению) между обкладками:**

$$C = \frac{q}{U} \quad (3.2a)$$

Ёмкость конденсатора зависит от формы и размера обкладок, их взаимного расположения и электрических свойств окружающей среды. В большинстве случаев форма обкладок конденсатора и их взаимное расположение подбирают таким образом, чтобы внешние поля существенно не влияли на электрическое поле между ними и силовые линии, начинающиеся на одной из обкладок, обязательно заканчивались на другой. Благодаря этому всегда обеспечивается равенство абсолютных значений зарядов на обкладках.

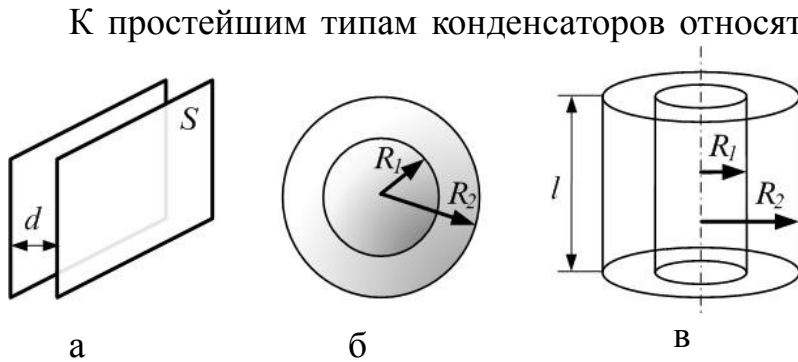


Рис.3.1

К простейшим типам конденсаторов относятся плоские, сферические и цилиндрические. Ёмкость приведенных на рисунке 3.1 конденсаторов может быть рассчитана по формулам:

плоский конденсатор (рис.3.1,а):

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}; \quad (3.3)$$

сферический конденсатор (рис.3.1,б):

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}; \quad (3.4)$$

цилиндрический конденсатор (рис.3.1,в):

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}. \quad (3.5)$$

Докажем формулы (3.3-3.5):

Для вычисления разности потенциалов на обкладках конденсатора воспользуемся формулой связи напряженности электростатического поля и потенциала:

$$\vec{E} = -grad\varphi;$$

$$grad\varphi = -\vec{E} \Leftrightarrow d\varphi = -\vec{E}d\vec{r} \Leftrightarrow \int_1^2 d\varphi = -\int_1^2 \vec{E}d\vec{r} \Leftrightarrow \varphi_2 - \varphi_1 = -\int_1^2 \vec{E}d\vec{r}$$

Здесь  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – потенциалы одной и второй обкладки конденсатора соответственно. То есть:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi_{12} = \int_1^2 \vec{E}d\vec{r}. \quad (3.6)$$

В плоском конденсаторе поле однородно, поэтому  $U = E \cdot d$ . Напряжённость поля плоского конденсатора равна  $E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$ , где  $\sigma = \frac{q}{S}$  –

поверхностная плотность заряда обкладок. Тогда



$$C_{пл.} = \frac{q}{U} = \frac{q}{E \cdot d} = \frac{\sigma \cdot S}{\frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0} \cdot d} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot S}{d}$$

Для вычисления напряжённости поля **сферического конденсатора** используем теорему Остроградского-Гаусса (3.7), согласно которой **поток вектора напряжённости электростатического поля через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме свободных зарядов, охваченных поверхностью, деленной на  $\epsilon \epsilon_0$ :**

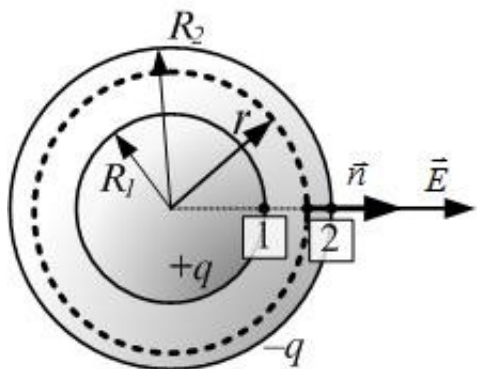


Рис. 3.2

пунктиром,  $\alpha$  – угол между нормалью и вектором напряжённости. Радиус гауссовой поверхности равен  $r$ , причём  $R_1 < r < R_2$ . Из-за симметрии напряженность поля в любой точке гауссовой поверхности одинакова и совпадает по направлению с нормалью к поверхности в данной точке, тогда

$$\cos \alpha = 1 \quad \vec{E} d\vec{S} = EdS \cos \alpha = EdS \quad , \text{ и}$$

$$\oint_S E \cos \alpha dS = E \cdot \oint_S dS = E \cdot 4\pi \cdot r^2$$

Здесь учтено, что  $\oint_S dS = 4\pi r^2$  – площадь сферы. Суммарный заряд, охваченный Гауссовой поверхностью, – это заряд внутренней обкладки  $q$ .

Тогда

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{q}{4\pi \epsilon \epsilon_0 r^2} \quad (3.8)$$

Из (3.6):

$$U = \int_1^2 \vec{E} d\vec{r} = \int_{R_1}^{R_2} E dr = \int_{R_1}^{R_2} \frac{q}{4\pi \epsilon \epsilon_0 r^2} dr = \frac{q}{4\pi \epsilon \epsilon_0} \left( -\frac{1}{r} \right) \Big|_{R_1}^{R_2} = \frac{q}{4\pi \epsilon \epsilon_0} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Теперь можно рассчитать ёмкость сферического конденсатора:

$$C_{\text{сф.}} = \frac{q}{U} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

Аналогично для **цилиндрического конденсатора** (рис.3.3) по теореме Гаусса:

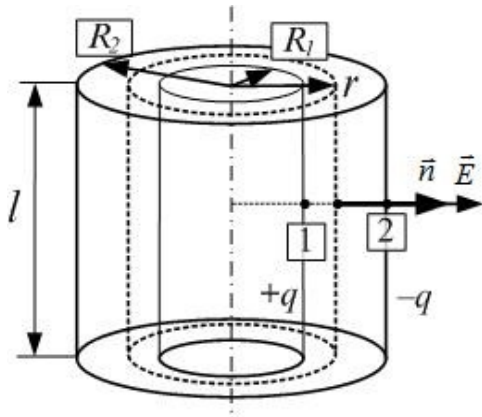


Рис. 3.3

$$E \cdot 2\pi r l = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{q}{2\pi \cdot r \cdot l \epsilon\epsilon_0}$$

В качестве Гауссовой поверхности здесь взяли цилиндр, коаксиальный обкладкам цилиндрического конденсатора, радиусом  $r$  ( $r_1 < r < r_2$ ) и длиной  $l$ . Здесь

$$\oint_S dS = 2\pi r \cdot l$$

площадь боковой поверхности этого цилиндра. Поток вектора напряжённости через основания цилиндра учитывать не

надо; он равен нулю, так как напряжённость поля перпендикулярна нормали к основанию:

$$\cos\alpha = 0$$

Далее, из (3.6):

$$U = \int_{R_1}^{R_2} \frac{q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r l} dr = \frac{q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l} (\ln r) \Big|_{R_1}^{R_2} = \frac{q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l} (\ln R_2 - \ln R_1)$$

По определению ёмкости

$$C_{\text{цил.}} = \frac{q}{U} = \frac{q}{\frac{q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l} \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

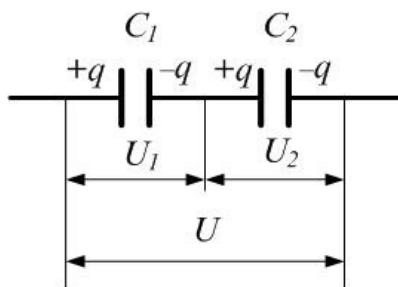


Рис.3.4

одинаковыми, а напряжения складываются (рис.3.4):

Конденсаторы характеризуются не только их электрической ёмкостью, но также и напряжением пробоя – такой минимальной разностью потенциалов обкладок, при которой происходит электрический разряд через слой диэлектрика в конденсаторе.

Последовательно конденсаторы соединяют в том случае, когда их нужно включить в цепь с напряжением выше того, на которое рассчитан отдельный конденсатор. При **последовательном соединении** заряды конденсаторов оказываются

$$q = q_i$$

$$U = \sum_{i=1}^n U_i$$

Здесь  $n$  – общее число соединённых последовательно конденсаторов,  $U_i$  – напряжение на  $i$ -том конденсаторе. Из определения ёмкости

$$U = \frac{q}{C_{\text{общ.}}} \quad U_i = \frac{q}{C_i}$$

тогда после преобразований:

$$\frac{q}{C_{\text{общ.}}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q}{C_i} \right) \Rightarrow \frac{q}{C_{\text{общ.}}} = q \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{C_i} \right) \quad (3.9)$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ.}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

Величина, обратная ёмкости батареи, равна сумме обратных величин ёмкостей отдельных конденсаторов.

**При последовательном соединении** заряды на конденсаторах одинаковы, напряжение на них распределяется в зависимости от их емкостей, что уменьшает возможность пробоя конденсатора.

В тех случаях, когда ёмкости одного конденсатора оказывается недостаточно, конденсаторы соединяют **параллельно** (рис.3.5). При этом напряжение на них одинаково и равно общему:

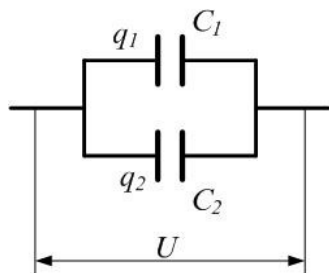


Рис.3.5

а заряды складываются:

$$U_i = U$$

$$q = \sum_{i=1}^n q_i$$

Из определения ёмкости.

$$q = C_{\text{общ.}} U$$

$$q_i = C_i U$$

Тогда

$$C_{\text{общ.}} U = \sum_{i=1}^n (C_i U) \Rightarrow C_{\text{общ.}} U = U \sum_{i=1}^n (C_i)$$

(3.10)

$$C_{\text{общ.}} = \sum_{i=1}^N C_i$$

Ёмкость батареи конденсаторов равна сумме ёмкостей отдельных конденсаторов.

### Экспериментальная часть

*Приборы и оборудование:* магазин ёмкостей, микроамперметр, набор конденсаторов, трансформатор, резисторы.

### Схема и описание установки

В данной работе для определения ёмкости конденсатора используется его способность пропускать переменный ток, создавая при этом определенное сопротивление току, связанное с ёмкостью:

$$R_c = \frac{1}{\omega C} \quad (3.11)$$

где  $\omega$  – циклическая частота тока,  $C$  – ёмкость.

Соотношение (3.11) позволяет свести измерение ёмкости к измерению ёмкостного сопротивления  $R_c$ .

Установка смонтирована в металлическом корпусе. Схема её представлена на рис.3.6. Главной частью установки является мост Сотти (мост переменного тока). Здесь  $C_x$  – конденсатор с неизвестной ёмкостью;  $C_э$  – эталонная ёмкость (магазин ёмкостей);  $R_1$  и  $R_2$  – известные сопротивления:  $R_2=10$  кОм;  $R_1$  можно менять, устанавливая 12 кОм или 2 кОм.

**Условием равновесия моста Сотти является** отсутствие тока в его диагонали АВ, то есть равенство друг другу потенциалов точек А и В. Тогда напряжение на ёмкости  $C_x$  должно быть равно напряжению на ёмкости  $C_э$ , а напряжение на  $R_1$  равно напряжению на  $R_2$ . Отсюда можно получить:

$$\frac{R_C}{R_{CX}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (3.12)$$

Поскольку (см.(3.11)), то

$$R_{CX} = \frac{1}{\omega C_X} \quad (3.13)$$

$$\frac{C_X}{C_э} = \frac{R_2}{R_1}$$

Подобрав такое значение  $C_э$ , при котором ток микроамперметра равен нулю, из (3.13) найдем значение неизвестной ёмкости:

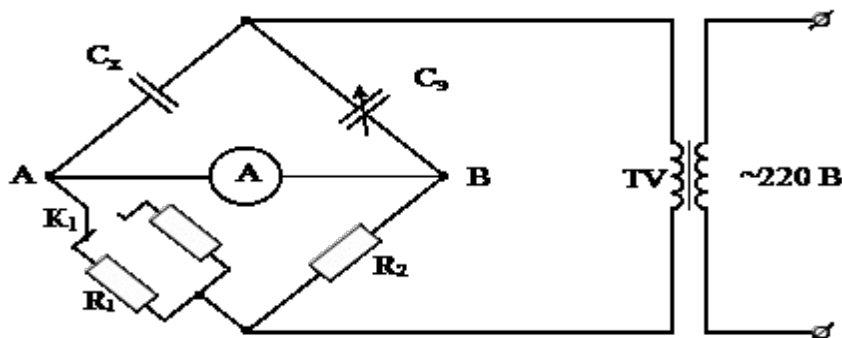


Рис 3.6

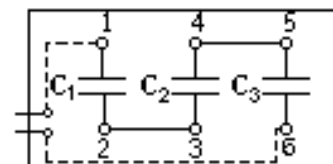


Рис 3.7

(3.14)

$$C_X = C_3 \frac{R_2}{R_1}$$

Панель с набором конденсаторов, ёмкость которых необходимо определить, показана на рис. 3.7. Для подключения конденсатора  $C_1$  вставьте штекеры в клеммы 1 и 2; для  $C_2$  – клеммы 3 и 4; для  $C_3$  – клеммы 5 и 6; переключки при этом не используются. Для подключения последовательно соединённых конденсаторов вставьте штекеры в клеммы 1 и 6, также без использования переключек. Для подключения параллельно соединённых конденсаторов соедините переключками клеммы 1-ю – с 4-ой и 3-ю – с 6-ой, подключив штекеры к клеммам 1 и 2.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с экспериментальной установкой.
2. Подготовить таблицы 3.1 и 3.2.
3. Подключить сопротивление  $R_1=2$  кОм.
4. Подключить при помощи штекеров конденсатор ёмкостью  $C_1$ .
5. Поворачивая рукоятки магазина эталонных ёмкостей, начиная с левой, добиться равновесия моста.
6. Записать в таблицу 3.1 полученное значение  $C_3$ .
7. Вычислить ёмкость  $C_x$  первого конденсатора по формуле (3.14):

(3.14)

$$C_X = C_3 \frac{R_2}{R_1}$$

8. Аналогично (пункты 4-7) повторить измерения для конденсатора  $C_2$ , а затем  $C_3$ . Величину измеренной ёмкости  $C_3$  и вычисленной  $C_x$  записать в таблицу 3.1.

Таблица 3.1.

	$R_1=2$ кОм		$R_1=12$ кОм		Средние	
Измеряемая ёмкость	$C_3$ , мкФ	$C_x$ , мкФ	$C_3$ , мкФ	$C_x$ , мкФ	$C_x$ , мкФ	$\omega C_x$ , мкФ

$C_1$						
$C_2$						
$C_3$						
Параллельно соединённые $C_1, C_2$ и $C_3$						
Последовательно соединённые $C_1, C_2$ и $C_3$						

8. Соединить  $C_1, C_2, C_3$  сначала последовательно, а затем параллельно и измерить ёмкость батареи конденсаторов в этих двух случаях (см. пункты 4-7); все результаты записать в таблицу 3.1.

9. Подключить сопротивление  $R_1=12$  кОм и повторить все измерения и вычисления по пунктам 4-8; результаты записать в табл. 3.1.

10. Усреднить полученные в двух сериях опытов (с сопротивлениями  $R_1=2$  кОм и  $R_1=12$  кОм) значения  $C_x$  для ёмкостей  $C_1, C_2, C_3, C_{\text{парал.}}$  и  $C_{\text{послед.}}$ .

11. Оценить погрешность  $\Delta C_x$  определения ёмкости  $C_x$ . Из (3.14):

$$\Delta C_x = C_x \sqrt{\left(\frac{\Delta C_3}{C_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2}$$

где  $\Delta C_3$  – приборная погрешность, равная  $\Delta C_3=0.001$  мкФ, относительные погрешности сопротивлений равны 10%:

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_2}{R_2} = 0.1$$

12. Вычислить теоретические значения ёмкостей при последовательном и параллельном соединениях, подставив в общие формулы (3.9) и (3.10) усреднённые значения  $C_1, C_2$  и  $C_3$ :

$$C_{\text{парал. теор.}} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_{\text{послед. теор.}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

13. Сравнить теоретические значения  $C_{\text{паралл.}}$  и  $C_{\text{послед.}}$  с экспериментальными; оценить относительную погрешность  $E(C)$  для последовательно и параллельно соединённых ёмкостей по формуле:

$$E(C) = \frac{|C_{\text{ТЕОР.}} - C|}{C} \cdot 100\%$$

все результаты занести в таблицу 3.2.

14. Сравнить полученные экспериментальные значения  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  с номиналами с учётом их погрешности. Номиналы и их погрешности указаны на корпусах ёмкостей. Все результаты и данные о номиналах записать в таблицу 3.2.

15. Сделать выводы.

Таблица 3.2.

Ёмкость	Экспериментальная, мкФ	Номинал, мкФ	Погрешность номинала, %
$C_1$			
$C_2$			
$C_3$			
	Экспериментальная	Теоретическая	$E(C)$ , %
Общая ёмкость при параллельном соединении	$C_{\text{паралл.}}$ , мкФ	$C_{\text{паралл. ТЕОР.}}$ , мкФ	
Общая ёмкость при последовательном соединении	$C_{\text{послед.}}$ , мкФ	$C_{\text{послед. ТЕОР.}}$ , мкФ	

### Вопросы для допуска к выполнению практической работы

1. Что такое ёмкость уединённого проводника? От чего она зависит? В каких единицах измеряется?
2. Что такое конденсатор? Какие виды конденсаторов Вы знаете?
3. Дайте определение ёмкости конденсатора. От чего она зависит?
4. Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса. Для чего она используется в данной работе?
5. Как связаны между собой потенциал и напряжённость электростатического поля?
6. В каких случаях используют параллельно соединённые конденсаторы, а в каких – последовательно? Чему равна общая ёмкость батареи в этих двух случаях?
7. Чему равно и от чего зависит ёмкостное сопротивление?
7. Нарисуйте мост Сотти. Как он используется в данной работе? Запишите условие равновесия моста.

### Контрольные вопросы

1. Что называется ёмкостью проводника? Конденсатора?
2. Выведите формулу для ёмкости уединённого шара.
3. Чему равна ёмкость плоского конденсатора? Докажите эту формулу.

4. Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса. С её помощью получите выражения для напряжённости поля сферического и цилиндрического конденсаторов.

5. Выведите формулу для ёмкости сферического и цилиндрического конденсаторов.

6. Нарисуйте конденсаторы, соединённые параллельно; соединённые последовательно. Выведите формулы для общей ёмкости в этих двух случаях.

7. Нарисуйте мост Сотти. Что значит: «мост уравновешен»? Докажите формулу (3.12) для условия равновесия моста, используя правила Кирхгофа. Изменится ли равновесие моста Сотти при изменении частоты переменного тока?

8. Получите расчётную формулу (3.14).

#### **Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

1. Что называется электрическим полем?
2. Назовите основное свойство электрического поля
3. Какая величина вводится для характеристики электрического поля?
4. Что называется напряжённостью электрического поля ?
5. В каких единицах измеряется напряжённость?
6. Как направлен вектор напряжённости в любой точке поля?
7. Изобразите силовые линии электрического поля положительного и отрицательного заряда
8. Охарактеризуйте особенности электрического поля двух разноименно заряженных тел.
9. Изобразите силовые линий электрического поля двух одноименно заряженных тел.
10. Выполните рисунок, поясняющий способ нахождения вектора напряжённости электрического поля, образованного двумя разноименно заряженными телами.

#### **Вопросы для самоконтроля по теме – не предусмотрено**

#### **Тема 4.2. Законы постоянного тока**

**Основные понятия и термины по теме:** сила тока, напряжение, сопротивление, удельное сопротивление, ЭДС, сторонние силы, ток короткого замыкания, работа и мощность электрического тока, сверхпроводимость, электронная и дырочная проводимость, электрохимический эквивалент, электролитическая диссоциация, электролиз;- **законов и формул:** закон Ома для участка цепи, закон Ома для замкнутой цепи, законы последовательного и параллельного соединения проводников, закона Джоуля-Ленца.

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):



1. Сила тока. Условия, необходимые для возникновения и поддержания электрического тока. Сила тока и плотность тока.

2. Закон Ома для участка цепи без ЭДС. Зависимость электрического сопротивления от материала, длины и площади поперечного сечения проводника. Зависимость электрического сопротивления проводников от температуры.

3. Закон Ома для полной цепи. Соединение проводников. Соединение источников электрической энергии в батарею.

4. Электрический ток в различных средах. Электрический ток в металлах, электролитах, в газах. Понятие плазмы. Закон Фарадея. Виды газовых разрядов. Работа выхода.

5. Электрический ток в полупроводниках. Собственная проводимость полупроводников. Полупроводниковые приборы.

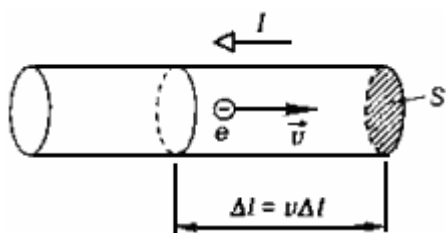
### Краткое изложение теоретических вопросов:

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

*Электрический ток* - это упорядоченное движение заряженных частиц.

За направление тока принято направление движения положительных зарядов.

Электрический ток вызывает нагревание проводника. Вокруг проводника с током существует магнитное поле. Электрический ток способен оказывать химическое действие.



Сила тока - заряд, переносимый через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$[I] = 1 \text{ A (Ампер)}$$

При токе 1 А через поперечное сечение проводника за 1 с проходит заряд 1 Кл.

За время  $\Delta t$  через поперечное сечение проводника  $S$  проходят заряженные частицы, содержащиеся в объеме

$$\Delta V = S\Delta l = Sv\Delta t$$

где  $v$  - их средняя скорость направленного движения.

Если заряд каждой частицы равен  $q_0$ , а их концентрация  $n$ , то общий заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время  $t$  равен

$$\Delta q = q_0 n S v \Delta t$$

Отсюда сила тока

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q_0 n v S$$

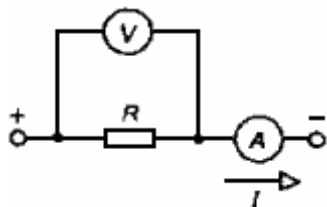
Электрический ток возникает при наличии свободных заряженных частиц и электрического поля.

Концентрация свободных носителей заряда в проводниках существенно выше, чем в диэлектриках. Для создания стационарного электрического поля внутри проводника между его концами должна поддерживаться разность потенциалов. Если она длительное время остается неизменной, то по проводнику проходит постоянный электрический ток.

### Закон Ома для участка цепи

Сила тока прямо пропорциональна приложенному напряжению  $U$  и обратно пропорциональна сопротивлению проводника  $R$  :

$$I = U/R$$



Сопротивление проводника равно 1 Ом, если при напряжении 1 В через него течет ток 1 А. Сопротивление  $R$  проводника прямо пропорционально его длине  $l$  и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$ :

$$R = \rho \frac{l}{S}, [R] = 1 \text{ Ом}$$

где  $\rho$ - удельное сопротивление материала

$$[\rho] = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

При последовательном соединении двух проводников:  $I = I_1 = I_2$ ,  $U = U_1 + U_2$

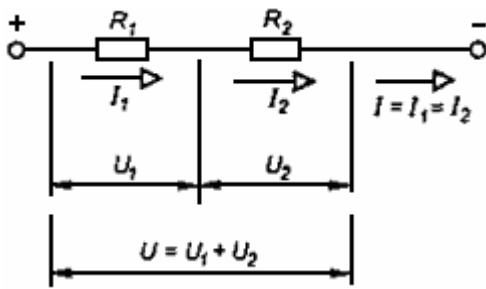
Разделив второе равенство на первое, получаем:

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} \Rightarrow R = R_1 + R_2$$

Так как  $I = U_1/R_1 = U_2/R_2$

то

$$U_1/U_2 = R_1/R_2$$



При параллельном соединении двух проводников:

$$I = I_1 + I_2, \quad U = U_1 = U_2$$

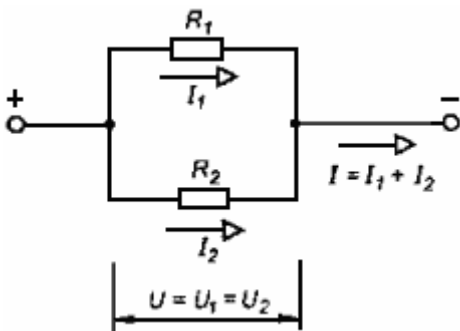
Разделив первое равенство на второе, получаем:

$$\frac{I}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Так как

$$U = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

$$\text{то } I_1 / I_2 = R_1 / R_2$$



## РАБОТА И МОЩНОСТЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При прохождении тока через проводник происходит его нагревание, значит электрическая энергия переходит в тепловую.

Работа электрического поля по перемещению заряда  $\Delta q$  из одной точки в другую равна произведению напряжения  $U$  между этими точками на величину заряда  $\Delta q$ :  $A = \Delta q U$ .

Учитывая, что  $\Delta q = I \Delta t$ , получаем:

$$A = IU \Delta t$$

Итак, энергия, выделяющаяся при протекании тока на участке цепи, пропорциональна силе тока, напряжению и времени.

$$A = IU \Delta t = I^2 R \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t$$

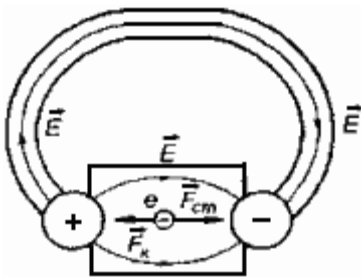
Так как  $U = IR$ , то разделив последнее равенство на  $t$ , получаем выражения для мощности электрического тока:

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

## ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

Если два заряженных тела соединить проводником, то через него пойдет кратковременный ток. Избыточные электроны с отрицательно заряженного тела перейдут на положительно заряженное. Потенциалы тел окажутся одинаковыми, значит, напряжение на концах проводника станет равно нулю, и ток прекратится. Для существования длительного тока в проводнике нужно поддерживать разность потенциалов на его концах неизменной. Этого можно достичь, перенося свободные электроны с положительного тела на отрицательное так, чтобы заряды тел не менялись со временем.

Силы электрического взаимодействия сами по себе не способны осуществлять подобное разделение зарядов. Они вызывают притяжение электронов к положительному телу и отталкивание от отрицательного. Поэтому внутри источника тока должны действовать сторонние силы, имеющие неэлектрическую природу и обеспечивающие разделение электрических зарядов.



ЭДС источника равна сумме напряжений на внешнем и внутреннем участках цепи

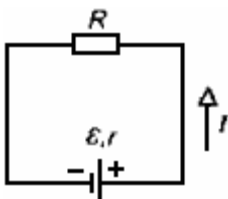
$$\varepsilon = U_1 + U_2 = IR + Ir = I(R + r)$$

где  $r$  - внутреннее сопротивление источника.

## Закон Ома для полной цепи

Сила тока прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$



Работа сторонних сил по перемещению вдоль замкнутого контура заряда  $q = I \Delta t$  равна

$$A_{\text{см}} = \varepsilon I \Delta t$$

Она идет на нагревание внешнего и внутреннего участков цепи:

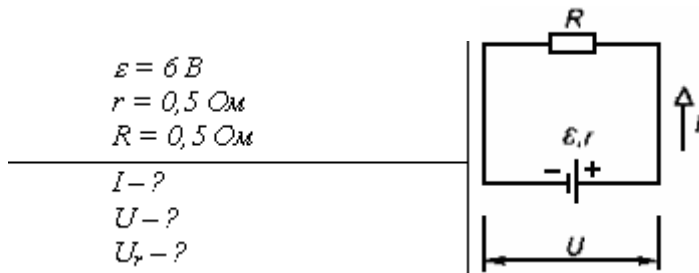
$$A_{\text{см}} = Q$$

$$\varepsilon I \Delta t = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t$$

Сокращая, получаем:  $\varepsilon = IR + Ir$ .

В случае, когда последовательная цепь содержит несколько источников тока, результирующая ЭДС равна алгебраической сумме ЭДС источников с учетом их знаков:  $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots$ , а внутреннее сопротивление - сумме всех их внутренних сопротивлений:  $r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$ .

**Пример.** ЭДС батареи 6,0 В, ее внутреннее сопротивление 0,5 Ом, сопротивление внешней цепи 11,5 Ом. Найдите силу тока в цепи, напряжение на зажимах батареи и падение напряжения внутри батареи.



Пусть  $R$  - сопротивление внешнего участка цепи,  $r$  - внутреннее сопротивление батареи.

Тогда по закону Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

где  $\varepsilon$  - ЭДС батареи,  $I$  - сила тока в цепи. Так как сила тока  $I$  одинакова как для внешнего, так и для внутреннего участков цепи, то напряжение на зажимах батареи, т.е. на внешнем участке цепи с сопротивлением  $R$ , по закону Ома для этого однородного участка есть:

$$U = IR = \frac{\varepsilon R}{R + r}$$

Аналогично, для внутреннего участка цепи, имеющего сопротивление  $r$ , можно записать  $U_r = I \cdot r$ . Учитывая формулу силы тока, имеем для  $U_r$ :

$$U_r = \frac{\varepsilon r}{R + r}$$

Подставляем значения и проводим расчеты  $I$ ,  $U$ ,  $U_r$ :

$$I = \frac{6\text{В}}{11,5\text{Ом} + 0,5\text{Ом}} = 0,5\text{А}$$

$$U = \frac{6\text{В} \cdot 11,5\text{Ом}}{11,5\text{Ом} + 0,5\text{Ом}} \approx 5,75\text{В}$$

$$U_r = \frac{6\text{В} \cdot 0,5\text{Ом}}{11,5\text{Ом} + 0,5\text{Ом}} = 0,25\text{В}$$

### Практические занятия –

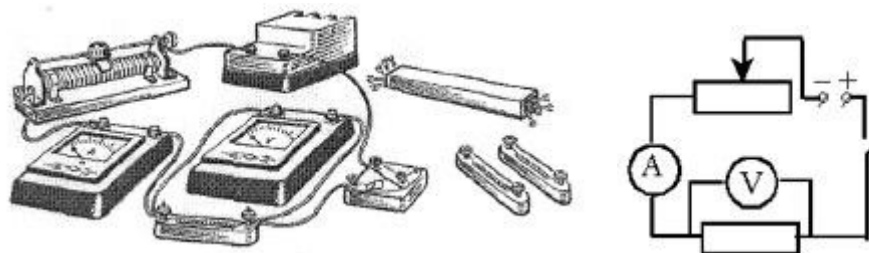
*№ 13 Исследование закона Ома для полной цепи. Изучение закона Ома для участка цепи*

Цель установить на опыте зависимость силы тока от напряжения и сопротивления.

**Оборудование:** амперметр лабораторный, вольтметр лабораторный, источник питания, набор из трёх резисторов сопротивлениями 1 Ом, 2 Ом, 4 Ом, реостат, ключ замыкания тока, соединительные провода.

### Ход работы. Практическая часть

1. Для выполнения работы соберите электрическую цепь из источника тока, амперметра, реостата, проволочного резистора сопротивлением 2 Ом и ключа. Параллельно проволочному резистору присоедините вольтметр (см. схему).



2. **Опыт 1.** Исследование зависимости силы тока от напряжения на данном участке цепи. Включите ток. При помощи реостата доведите напряжение на зажимах проволочного резистора до 1 В, затем до 2 В и до 3 В. Каждый раз при этом измеряйте силу тока и результаты записывайте в табл. 1.

Таблица 1. Сопротивление участка 2 Ом

Напряжение, В			
Сила тока, А			

3. По данным опытов постройте график зависимости силы тока от напряжения. Сделайте вывод.

4. **Опыт 2.** Исследование зависимости силы тока от сопротивления участка цепи при постоянном напряжении на его концах. Включите в цепь по той же схеме проволочный резистор сначала сопротивлением 1 Ом, затем 2 Ом и 4 Ом. При помощи реостата устанавливайте на концах участка каждый раз

одно и то же напряжение, например, 2 В. Измеряйте при этом силу тока, результаты записывайте в табл 2.

Таблица 2. Постоянное напряжение на участке 2 В

Сопrotивление участка, Ом			
Сила тока, А			

5. По данным опытов постройте график зависимости силы тока от сопротивления. Сделайте вывод.

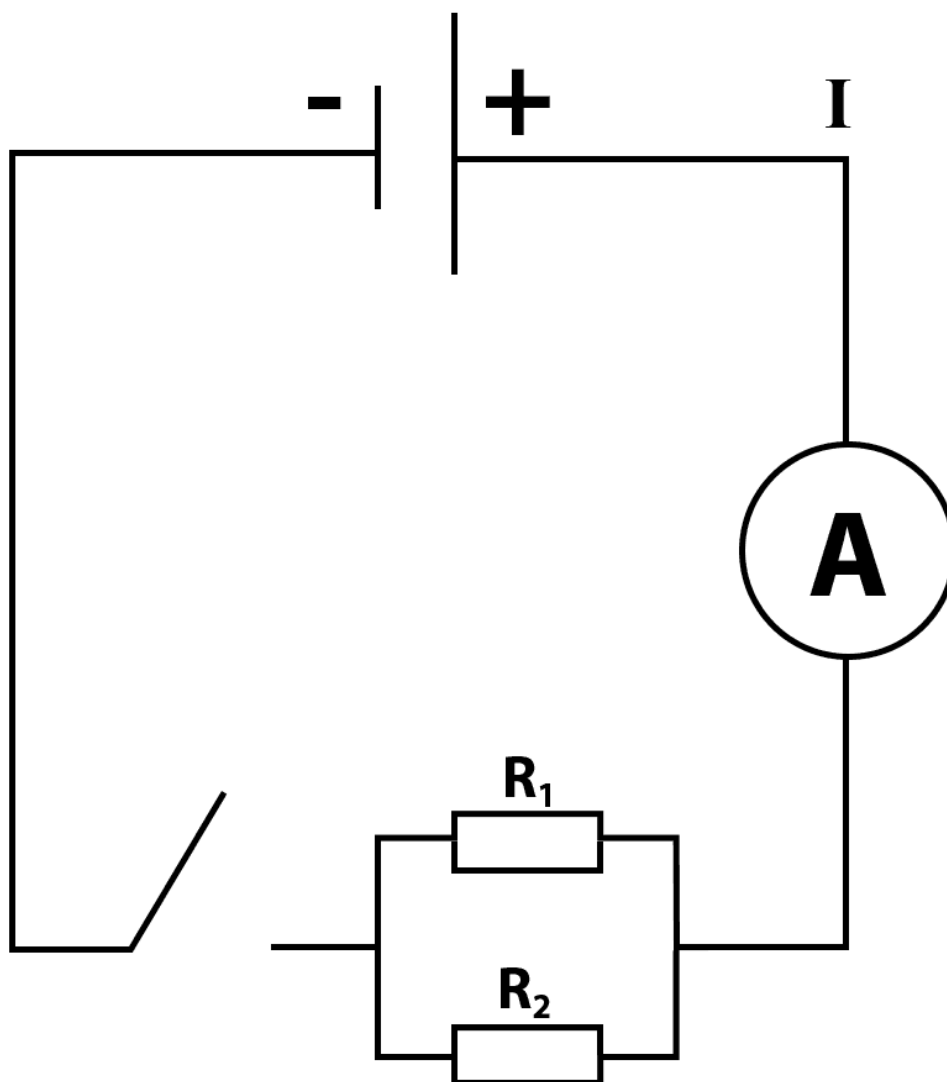
*№ 14 Исследование последовательного и параллельного соединения проводников*

Соберите электрическую цепь согласно рисунку, не включая вольтметр. После проверки цепи учителем замкните ключ. Запишите в таблицу показание  $I_0$  амперметра. Можно ли утверждать, что ток силой  $I_0$  протекает по каждому из резисторов? Почему?

$$I_0 = 0.95 \text{ А};$$

$$U_0 = 2.6 \text{ В}.$$

2. Подключите вольтметр к точкам ММ и NN цепи. Запишите в таблицу показание  $U_0$  вольтметра. Изобразите схему полной цепи. Напряжение на каком из резисторов измеряет вольтметр?



$$U_2 = 2.6 \text{ В}$$

3. Применяя закон Ома к разветвленному участку MNMN, определите и запишите в таблицу его сопротивление  $R_0 = U_0 / I_0$ .

$$R_0 = U_0 / I_0 = 2.60 / 0.95 = 2.7 \text{ Ом}$$

2. Проверка закономерностей параллельного соединения.

1. Запишите в таблицу паспортные значения  $R_1$  и  $R_2$  резисторов, указанные на их панельках, и по формуле  $R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$  вычислите и запишите в таблицу значение сопротивления участка MNMN.

$$R = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 6 \cdot 56 / (6 + 56) = 3011 = 2.72 \text{ Ом}$$



2. Сравните рассчитанное значение  $R_R$  с сопротивлением участка  $R_{R0}$ , найденным по результатам измерений. Сделайте вывод.

$R_{R1}$  почти в 2 раза больше  $R_{R0}$ .

4. Сравните значения силы токов  $I_{I1}$ ,  $I_{I2}$  в отдельных резисторах и значение силы тока  $I_{I0}$  в неразветвленной части цепи. Сделайте вывод.

$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$0,95 = 0,85 + 0,1$$

$I_{I0}$ , А  $U_{U2}$ , В  $R_{R0}$ , Ом  $R_{R1}$ , Ом  $R_{R2}$ , Ом  $R_R$ , Ом  $I_{I1}$ , А  $I_{I2}$ , А 0,95 2,6 2,7 6 5 2,72 0,85 0,1

### 3. Ответы на контрольные вопросы

1. Как соединены потребители электрической энергии в вашей квартире? Почему?

Электрическая энергия в квартире соединена параллельно, т.к. такое соединение позволяет подключить к источнику независимо друг от друга различные потребительские приборы, несмотря на их рабочий ток.

2. Чему равно сопротивление участка цепи, содержащего  $N$  параллельно соединенных одинаковых резисторов сопротивлением  $R_1$  каждый?

Сопротивление участка цепи, содержащего  $N$  параллельно соединённых резисторов сопротивлением:  $R_0 = R_1 / N$ .

Почему параллельное присоединение к участку цепи дополнительного резистора уменьшает сопротивление участка?

Потому что работа электрического тока на участке цепи зависит от перенесённого заряда и напряжения на этом участке. Ток начинает идти ещё и по дополнительному резистору, что и уменьшает сопротивление.

(Присоединение увеличивает площадь поперечного сечения участка цепи).

**Задания для самостоятельного выполнения** – не предусмотрено

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

– Устный опрос

**Вопросы для самоконтроля по теме**

1. Что такое электрический ток?

2. Дайте определение силы тока. Как обозначается? По какой формуле находится?

3. Какова единица измерения силы тока?

4. Каким прибором измеряется сила тока? Как он включается в электрическую цепь?

5. Дайте определение напряжения. Как обозначается? По какой формуле находится?
6. Какова единица измерения напряжения?
7. Каким прибором измеряется напряжение? Как он включается в электрическую цепь?
8. Дайте определение сопротивления. Как обозначается? По какой формуле находится?
9. Какова единица измерения сопротивления?
10. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.

#### **Тема 4.2. Магнитное поле. Электромагнитная индукция**

**Основные понятия и термины по теме:** *магнитное поле, постоянные магниты, магнитное поле тока, магнитная индукция, линии магнитной индукции, сила Ампера, сила Лоренца.- законов: Закона Ампера. - явлений: электромагнитная индукция, самоиндукции.*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. **Магнитное поле.** Вектор индукции магнитного поля. Действие магнитного поля на прямолинейный проводник с током.
2. **Закон Ампера.** Взаимодействие токов. Магнитный поток. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Действие магнитного поля на движущийся заряд
3. **Сила Лоренца.** Определение удельного заряда. Ускорители заряженных частиц.
4. **Электромагнитная индукция.** Электромагнитная индукция. Вихревое электрическое поле. Самоиндукция. Энергия магнитного поля.

#### **Краткое изложение теоретических вопросов:**

Электрические и магнитные поля создаются одними и теми же источниками – электрическими зарядами. Отсюда естественнее было предположить, что между этими полями имеется связь. Экспериментально это предположение было доказано в 1831 г. английским учёным М. Фарадеем, открывшим явление электромагнитной индукции. Все опыты Фарадея по изучению явления электромагнитной индукции объединял один признак – магнитный поток пронизывающий замкнутый контур проводника менялся. При всяком изменении магнитного потока через замкнутый контур, в нем возникал индукционный ток.

**Сила индукционного тока** пропорциональна ЭДС индукции.

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$$

Направление индукционного тока менялось в зависимости от направления движения магнита относительно катушки. Это направление тока, можно найти используя правило Ленца.

М. Фарадеем экспериментально было установлено, что при изменении магнитного потока, в проводящем контуре возникает **электродвижущая сила индукции**, которая равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Знак минус в этой формуле отражает правило Ленца.

Закон электромагнитной индукции формулируется для ЭДС индукции.

**ЭДС индукции в замкнутом контуре** равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

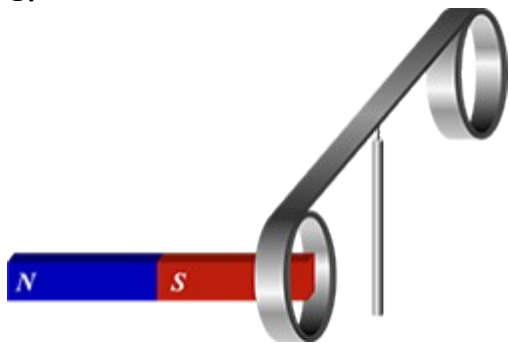
**ЭДС индукции в движущихся проводниках:**

$$\varepsilon_i = Blv \sin\alpha.$$

Джеймс Максвелл в 1860 году сделал вывод что переменное со временем магнитное поле всегда порождает вихревое электрическое поле, а переменное во времени электрическое поле в свою очередь порождает магнитное поле. Следовательно, существует единая теория электромагнитного поля.

### Разбор типового контрольного задания

1.



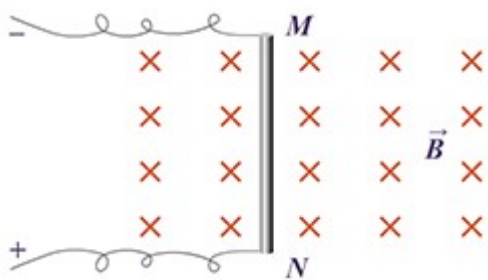
На рисунке изображен момент демонстрационного эксперимента по проверке правила Ленца, когда все предметы неподвижны. Южный полюс магнита находится внутри сплошного металлического кольца, но не касается его. Коромысло с металлическими кольцами может свободно вращаться вокруг вертикальной опоры. При выдвигении магнита из кольца влево кольцо будет

- 1) оставаться неподвижным
- 2) перемещаться вправо
- 3) совершать колебания
- 4) перемещаться вслед за магнитом

При выдвигении магнита из кольца влево магнитный поток от магнита через кольцо будет уменьшаться. В замкнутом кольце возникает индукционный ток. Направление этого тока по правилу Ленца такое, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока. Так как коромысло вокруг вертикальной оси может свободно вращаться, и магнитное поле магнита неоднородно, коромысло под действием сил Ампера начнёт двигаться так, чтобы препятствовать изменению магнитного потока. Следовательно, коромысло начнёт перемещаться вслед за магнитом.

Ответ:4) перемещаться вслед за магнитом.

2.



Проводник MN с длиной активной части 1м и сопротивлением 2 Ом находится в однородном магнитном поле индукцией 0,2 Тл. Проводник подключён к источнику тока с ЭДС 4 В (внутренним сопротивлением источника и сопротивлением подводящих проводников пренебречь). Какова сила тока в проводнике, если:

№1 проводник покоится;

№2 проводник движется в право со скоростью 6 м/с.

Дано:

$$l = 1 \text{ м}$$

$$R = 2 \text{ Ом}$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$\mathcal{E} = 4 \text{ В}$$

$$I = ?$$

Решение:

№1: Ток в неподвижном проводнике течёт от N к M

$$v = 0; \text{ Закон Ома для полной цепи } I = \mathcal{E}/R = 4\text{В}/2\text{Ом} = 2\text{А}$$

№2: Если проводник движется в право со скоростью 6 м/с, то по правилу правой руки индукционный ток потечёт от точки N к точке M:

$$I = \frac{\mathcal{E} + B \cdot l \cdot v}{R} = \frac{4\text{В} + 0,2 \text{ Тл} \cdot 1\text{м} \cdot 6\text{м/с}}{2 \text{ Ом}} = 2,6\text{А}$$

Ответ: №1 2А

№2 2,6А

### Практические занятия

#### № 14 Изучение магнитного поля постоянного магнита и катушки

Цель: исследовать взаимодействие магнита и катушки с током на качественном уровне.

Приборы: постоянный магнит, катушка, источник питания, провода, сердечник.

Теоретическая часть:

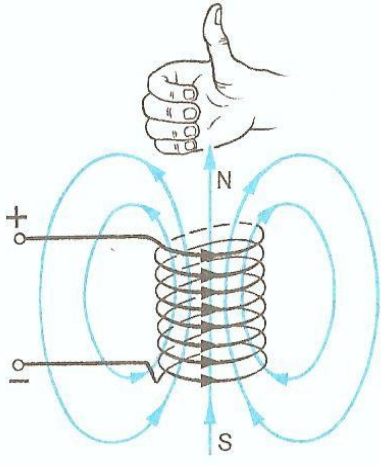
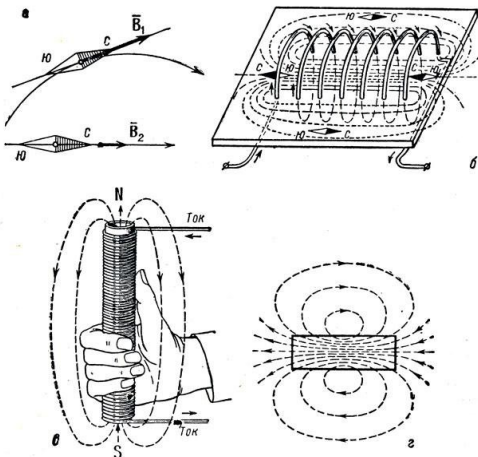
1. Тела, длительное время сохраняющие намагниченность, называются **постоянными магнитами**.

2. Полюсами магнита называются те места, где обнаруживаются наиболее сильные магнитные действия. Полюса - северный N и южный S.

3. Хорошо притягиваются магнитом чугун, сталь, железо и некоторые сплавы, слабее – никель и кобальт.

4. Разноименные магнитные полюса притягиваются, одноименные отталкиваются.

5. **Катушка с током**, как магнит и магнитная стрелка, имеет два полюса — северный и южный.

<p>Для определения полюсов катушки используют правило обхвата (правой рукой обхватываем катушку, при этом 4 пальца - по направлению тока, большой палец показывает направление силовых линий магнитного поля).</p> <p>Силовые линии выходят из северного полюса <b>N</b>, и входят в южный <b>S</b>.</p>		
--	---	--

Изучите по рисункам определение полюсов у катушки и проволочного витка с током, применив правило обхвата.

<p style="text-align: center; background-color: #008000; color: white; padding: 2px;">Самостоятельная работа</p>  <p style="text-align: center;">отталкиваются</p>	<p style="text-align: center; background-color: #008000; color: white; padding: 2px;">Самостоятельная работа</p>  <p style="text-align: center;">отталкиваются</p>
--	---

**Выполните задание:**

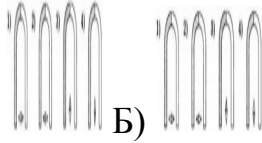
**Часть 1. Ответьте на вопросы, выбирая правильный ответ:**

1. Тела, длительное время сохраняющие намагниченность, называются  
 А) электромагнитами Б) постоянными магнитами В) электродами

1. Полюсы постоянных магнитов

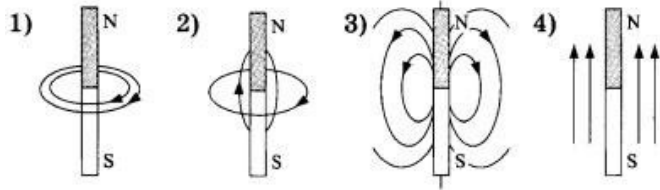
- А) не взаимодействуют
- Б) только отталкиваются
- В) только притягиваются
- Г) притягиваются, если они разноименные, и отталкиваются, если они одноименные

1. Вблизи полюсов постоянного магнита магнитная стрелка установится в положение, показанное на рисунке



- А)
- Б)

1. Магнитные линии постоянного полосового магнита правильно показаны на рисунке

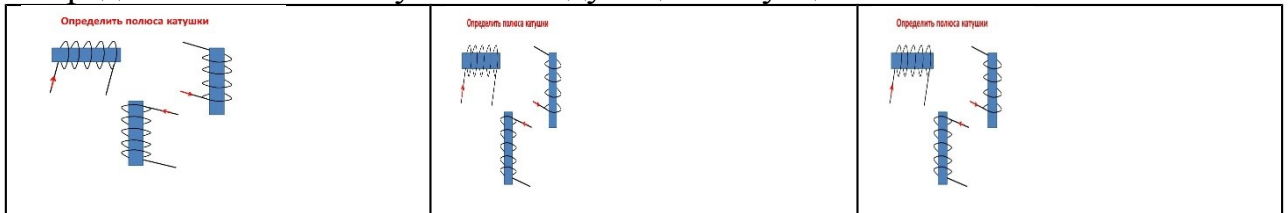


1. Катушка с током и постоянный магнит

- А) не взаимодействуют между собой
- Б) будут всегда отталкиваться
- В) будут всегда притягиваться
- Г) будут притягиваться или отталкиваться в зависимости от направления тока в катушке

**Часть 2. Зарисуйте рисунки.**

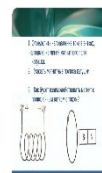
Определите полюса катушки в следующих ситуациях:



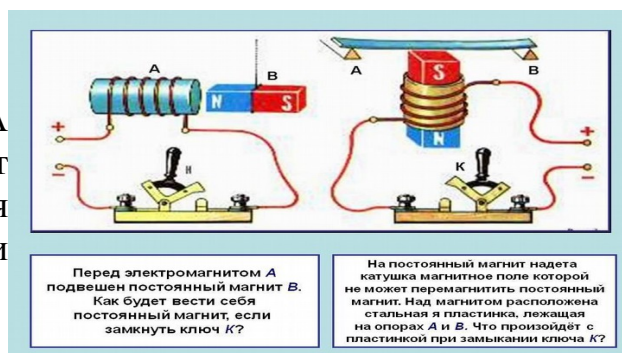
Определите направление тока в витках и направление линий магнитного поля катушки.



Указать магнитные полюса мотка проволоки



Перед электромагнитом А подвешен постоянный магнит В. как будет вести себя постоянный магнит, если замкнуть ключ К?



### № 15 Изучение явления электромагнитной индукции

Цель – изучение явления электромагнитной индукции.

Оборудование:

1. Миллиамперметр.
2. Магнит.
3. Катушка-моток.
4. Источник тока.
5. Реостат.
6. Ключ.
7. Катушка от электромагнита.
8. Соединительные провода.



Рис. 1. Экспериментальное оборудование

#### **Опыт 1. Выводы**

Начнем лабораторную работу со сбора установки. Чтобы собрать схему, которую мы будем использовать в лабораторной работе, присоединим моток-катушку к миллиамперметру и используем магнит, который будем приближать или удалять от катушки. Одновременно с этим мы должны

вспомнить, что будет происходить, когда будет появляться индукционный ток.

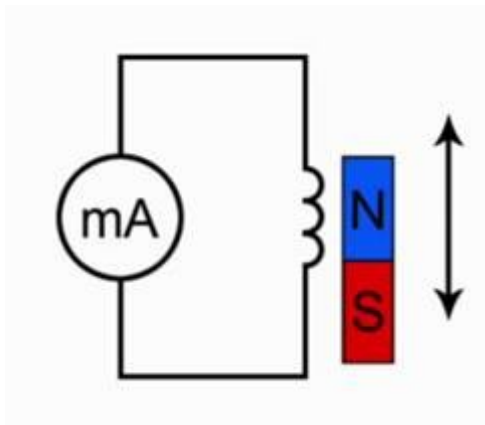


Рис. 2. Эксперимент 1

Подумайте над тем, как объяснить наблюдаемое нами явление. Каким образом влияет магнитный поток на то, что мы видим, в частности происхождение электрического тока. Для этого посмотрите на вспомогательный рисунок.

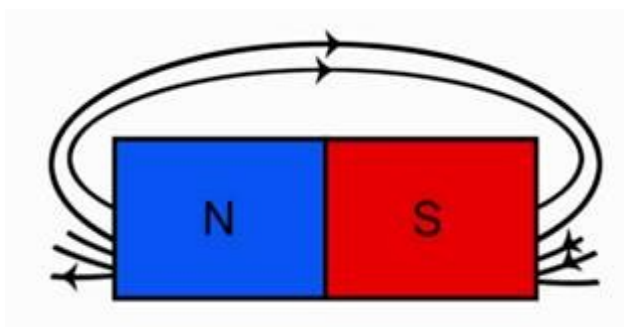


Рис. 3. Линии магнитного поля постоянного полосового магнита

Обратите внимание, что линии магнитной индукции выходят из северного полюса, входят в южный полюс. При этом количество этих линий, их густота различна на разных участках магнита. Обратите внимание, что направление индукции магнитного поля тоже изменяется от точки к точке. Поэтому можно сказать, что **изменение магнитного потока приводит к тому, что в замкнутом проводнике возникает электрический ток, но только при движении магнита, следовательно, изменяется магнитный поток, пронизывающий площадь, ограниченную витками этой катушки.**

### Опыт 2. Выводы

Следующий этап нашего исследования электромагнитной индукции связан с определением **направления индукционного тока**. О направлении индукционного тока мы можем судить по тому, в какую сторону отклоняется



стрелка миллиамперметра. Воспользуемся дугообразным магнитом и увидим, что при приближении магнита стрелка отклонится в одну сторону. Если теперь магнит двигать в другую сторону, стрелка отклонится в другую сторону. В результате проведенного эксперимента мы можем сказать, что от направления движения магнита зависит и направление индукционного тока. Отметим и то, что от полюса магнита тоже зависит направление индукционного тока.

Обратите внимание, что величина индукционного тока зависит от скорости перемещения магнита, а вместе с тем и от скорости изменения магнитного потока.

Вторая часть нашей лабораторной работы связана будет с другим экспериментом. Посмотрим на схему этого эксперимента и обсудим, что мы будем теперь делать.

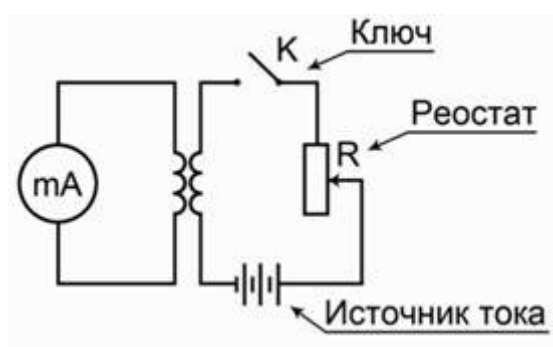


Рис. 4. Эксперимент 2

Во второй схеме в принципе ничего не изменилось относительно измерения индукционного тока. Тот же самый миллиамперметр, присоединенный к мотку катушки. Остается все, как было в первом случае. Но теперь изменение магнитного потока мы будем получать не за счет движения постоянного магнита, а за счет изменения силы тока во второй катушке.

В первой части будем исследовать наличие **индукционного тока** при замыкании и размыкании цепи. Итак, первая часть эксперимента: мы замыкаем ключ. Обратите внимание, ток нарастает в цепи, стрелка отклонилась в одну сторону, но обратите внимание, сейчас ключ замкнут, а электрического тока миллиамперметр не показывает. Дело в том, что нет изменения магнитного потока, мы уже об этом говорили. Если теперь ключ размыкать, то миллиамперметр покажет, что направление тока изменилось.

Во втором эксперименте мы проследим, как возникает **индукционный ток**, когда меняется электрический ток во второй цепи.

Следующая часть опыта будет заключаться в том, чтобы проследить, как будет изменяться индукционный ток, если менять величину тока в цепи за счет реостата. Вы знаете, что если мы изменяем электрическое сопротивление в цепи, то, следуя закону Ома, у нас будет меняться и электрический ток. Раз изменяется электрический ток, будет изменяться магнитное поле. В момент перемещения скользящего контакта реостата изменяется магнитное поле, что приводит к появлению индукционного тока.

### **Генератор**

В заключение лабораторной работы мы должны посмотреть на то, как создается индукционный электрический ток в генераторе электрического тока.



Рис. 5. Генератор электрического тока

Главная его часть – это магнит, а внутри этих магнитов располагается катушка с определенным количеством намотанных витков. Если теперь вращать колесо этого генератора в обмотке катушки будет наводиться индукционный электрический ток. Из эксперимента видно, что увеличение числа оборотов приводит к тому, что лампочка начинает гореть ярче.

**Задания для самостоятельного выполнения** - не предусмотрено

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

– Проверка тетрадей

**Вопросы для самоконтроля по теме** - не предусмотрено

## **Глава 5 Оптика**

### **Тема 5.1. Природа света**

**Основные понятия и термины по теме:** скорость распространения света; полное отражение; линзы; глаза как оптической системы. -законы: отражения и преломления света.

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. **Природа света.** Скорость распространения света. Законы отражения и преломления света. Полное отражение. Линзы. Глаз как оптическая система. Оптические приборы.

2. **Линзы.** Глаз как оптическая система. Оптические приборы.

### Краткое изложение теоретических вопросов:

Первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян. По мере изобретения и совершенствования различных оптических приборов (параболических зеркал, микроскопа, зрительной трубы) эти представления развивались и трансформировались. В конце XVII века возникли две теории света: *корпускулярная* (И. Ньютон) и *волновая* (Р. Гук и Х. Гюйгенс).

Согласно корпускулярной теории, свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами. Ньютон считал, что движение световых корпускул подчиняется законам механики. Так, отражение света понималось аналогично отражению упругого шарика от плоскости. Преломление света объяснялось изменением скорости корпускул при переходе из одной среды в другую. Для случая преломления света на границе вакуум–среда корпускулярная теория приводила к следующему виду закона преломления:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{v}{c} = n$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $v$  – скорость распространения света в среде. Так как  $n > 1$ , из корпускулярной теории следовало, что скорость света в средах должна быть больше скорости света в вакууме. Ньютон пытался также объяснить появление интерференционных полос, допуская определенную периодичность световых процессов. Таким образом, корпускулярная теория Ньютона содержала в себе элементы волновых представлений.

Волновая теория, в отличие от корпускулярной, рассматривала свет как волновой процесс, подобный механическим волнам. В основу волновой теории был положен *принцип Гюйгенса*, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, становится центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение *волнового фронта* в следующий момент времени. С помощью принципа Гюйгенса были объяснены законы отражения и преломления. Для случая преломления света на границе вакуум–среда волновая теория приводит к следующему выводу:

$$\frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \frac{c}{v} = n$$

Закон преломления, полученный из волновой теории, оказался в противоречии с формулой Ньютона. Волновая теория приводит к выводу:  $v < c$ , тогда как согласно корпускулярной теории  $v > c$ .

Таким образом, к началу XVIII века существовало два противоположных подхода к объяснению природы света: корпускулярная теория Ньютона и волновая теория Гюйгенса. Обе теории объясняли прямолинейное распространение света, законы отражения и преломления. Весь XVIII век стал веком борьбы этих теорий. Однако в начале XIX столетия ситуация

коренным образом изменилась. Корпускулярная теория была отвергнута и восторжествовала волновая теория. Большая заслуга в этом принадлежит английскому физику Т. Юнгу и французскому физику О. Френелю, исследовавшим явления интерференции и дифракции. Исчерпывающее объяснение этих явлений могло быть дано только на основе волновой теории. Важное экспериментальное подтверждение справедливости волновой теории было получено в 1851 году, когда Ж. Фуко (и независимо от него А. Физо) измерил скорость распространения света в воде и получил значение  $v < c$ .

Хотя к середине XIX века волновая теория была общепризнана, вопрос о природе световых волн оставался нерешенным.

В 60-е годы XIX века Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что *свет – это электромагнитные волны*. Электромагнитная природа света получила признание после опытов Г. Герца (1887–1888 гг.) по исследованию электромагнитных волн. В начале XX века после опытов П. Н. Лебедева по измерению светового давления (1901 г.) электромагнитная теория света превратилась в твердо установленный факт.

Важнейшую роль в выяснении природы света сыграло опытное определение его скорости. Начиная с конца XVII века предпринимались неоднократные попытки измерения скорости света различными методами (астрономический метод А. Физо, метод А. Майкельсона). Современная лазерная техника позволяет измерять скорость света с очень высокой точностью на основе независимых измерений длины волны  $\lambda$  и частоты света  $\nu$  ( $c = \lambda \cdot \nu$ ). Таким путем было найдено значение

$$c = 299792458 \pm 1,2 \text{ м/с}$$

превосходящее по точности все ранее полученные значения более чем на два порядка.

Параметры, характеризующие электромагнитную волну, связаны между собой соотношением:

$$c = \nu \lambda$$

$c$  – скорость света;

$\nu$  – частота световой волны;

$\lambda$  – длина световой волны.

Для измерения длин волн в оптическом диапазоне используются единицы длины 1 **нанометр** (нм) и 1 **микрометр** (мкм):

$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$$

$$1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$$

Видимый свет занимает диапазон приблизительно от 400 нм до 780 нм или от 0,40 мкм до 0,78 мкм.

Электромагнитная теория света позволила объяснить многие оптические явления, такие как интерференция, дифракция, поляризация и т. д. Однако, эта теория не завершила понимание природы света. Уже в начале XX века выяснилось, что эта теория недостаточна для истолкования явлений атомного масштаба, возникающих при взаимодействии света с веществом. Для объяснения таких явлений, как излучение черного тела, фотоэффект, эффект Комптона и др. потребовалось введение *квантовых представлений*. Наука вновь вернулась к идее корпускул – световых квантов. Тот факт, что свет в одних опытах обнаруживает волновые свойства, а в других – корпускулярные, означает, что свет имеет сложную двойственную природу, которую принято характеризовать термином корпускулярно-волновой дуализм.

**Задания для самостоятельного выполнения** - не предусмотрено

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

Проверка тетради

**Вопросы для самоконтроля по теме** – не предусмотрено

**Тема 5.2. Волновые свойства света**

*Основные понятия и термины по теме: скорость распространения света; полное отражение; линзы; глаза как оптической системы. -законы: законы отражения и преломления света.*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. **Волновые свойства света.** Интерференция света. Когерентность световых лучей. Интерференция в тонких пленках. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона. Использование интерференции в науке и технике.

2. **Дифракция света.** Дифракция на щели в параллельных лучах. Дифракционная решетка. Понятие о голографии. Поляризация поперечных волн. Поляризация света. Двойное лучепреломление. Поляроиды.

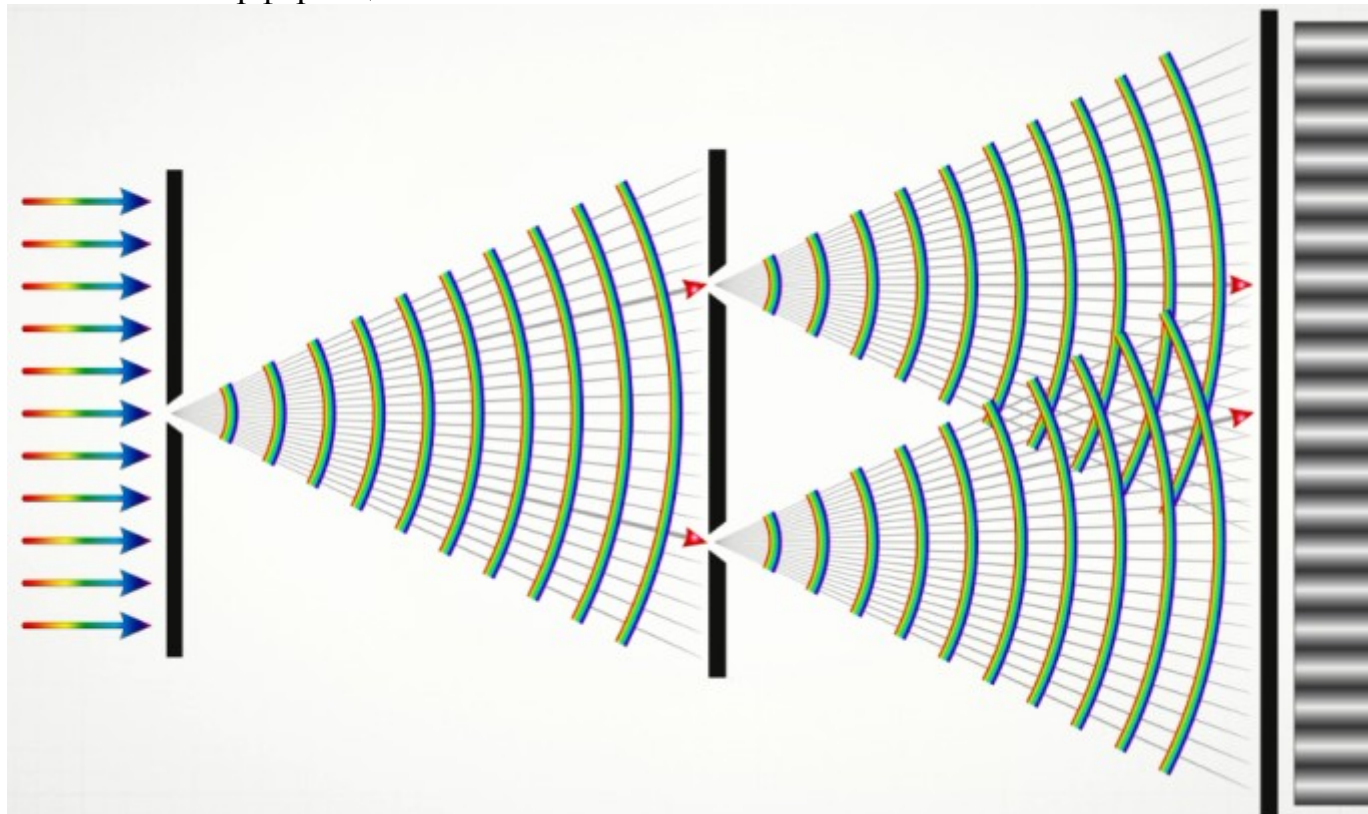
3. **Дисперсия света.** Виды спектров. Спектры испускания. Спектры поглощения. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Рентгеновские лучи. Их природа и свойства.

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

**Теоретический материал для самостоятельного изучения**

Какова роль знаний о световых явлениях и волновых свойствах света для объяснения принципов функционирования и применения световых приборов?

Начнём с интерференции света.



Интерференция света принципиально не отличается от интерференции других волн. Однако наблюдение и исследование интерференции световых волн затруднено, так как свет не является строго монохроматическим. Впервые эту проблему решил английский физик Томас Юнг.

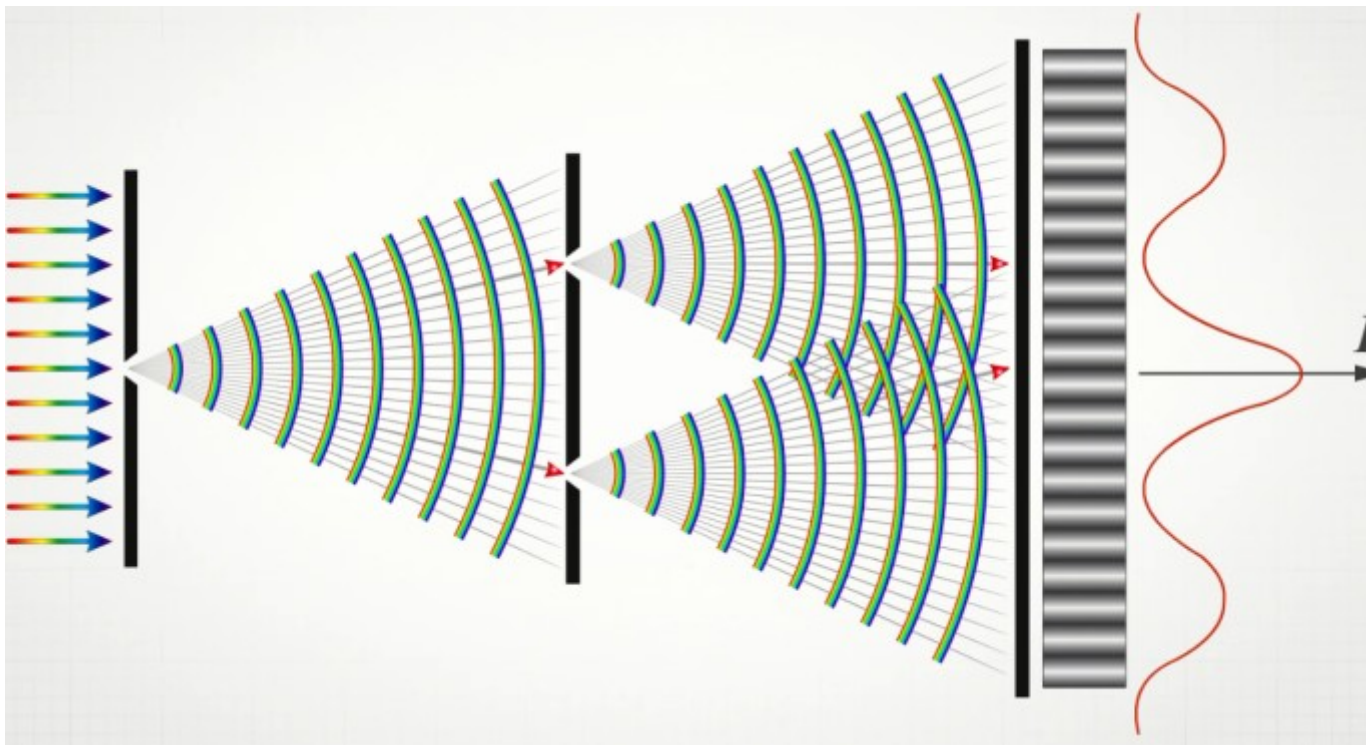
Опыт Юнга заключался в следующем: свет падает на экран, в котором имеется узкая щель. проходя через щель, волна попадает на второй экран с двумя щелями. Каждая из этих щелей создает свою волну с одинаковыми свойствами. Эти волны могут интерферировать. Результатом интерференции является появление светлых и темных полос на третьем экране. Светлая полоса свидетельствует о том, что волны на экран пришли в одной фазе и усиливают друг друга, а темная полоса является результатом ослабления двух волн. Для усиления волн необходима одинаковая фаза. Следовательно, разность расстояний (разность хода) должна быть кратной четному числу длин полуволн.

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$$

Для ослабления волн они должны приходиться в точку в противофазе. То есть для этого разность расстояний должна быть кратной нечетному числу длин полуволн.

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Если интерференционной картине сопоставить график интенсивности света  $I$ , то он будет иметь вид синусоиды.



Положение максимумов и минимумов синусоиды будет зависеть от длины волны света, падающего на щель.

Как мы уже говорили ранее, белый свет полихроматический, т.е. включает спектр цветов от красного до фиолетового. Поэтому при интерференции мы наблюдаем максимумы не белого цвета, а всего спектра. Положение цветной полоски зависит от длины волны каждого света, входящего в белый.

Таким образом, не только с помощью призмы, но и с помощью интерференции можно разложить свет на спектр.

Наиболее эффективно для разложения света использовать не одну, а несколько щелей. Устройство, состоящее из многих равноотстоящих щелей, стали называть дифракционной решёткой. И чем больше щелей и чем они плотнее, тем больше эффективность дифракционной решетки как спектрального прибора. С помощью дифракционной решётки можно определить длину световой волны.

$$k \cdot \lambda = d \cdot \sin \varphi,$$

$k$  – номер рассматриваемого максимума

$\lambda$  – длина световой волны

$d$  – период дифракционной решётки

Следующее волновое свойство света, которое мы рассмотрим – это поляризация

Свет представляет собой электромагнитную волну, свойства которой таковы, что вектор напряженности электрического поля всегда перпендикулярен вектору индукции магнитного поля и оба этих вектора перпендикулярны скорости распространения волны.

В то же время в разных точках пространства и в разные моменты времени векторы  $E$  и  $B$ , оставаясь перпендикулярными друг другу и вектору скорости, могут изменять направления. Такой свет называется естественным.

При помощи специальных приборов, называемых поляризаторами, из такого естественно поляризованного света можно выделить волну, в которой направления векторов  $E$  и  $B$  будут оставаться неизменными. Такая волна называется линейно поляризованной.

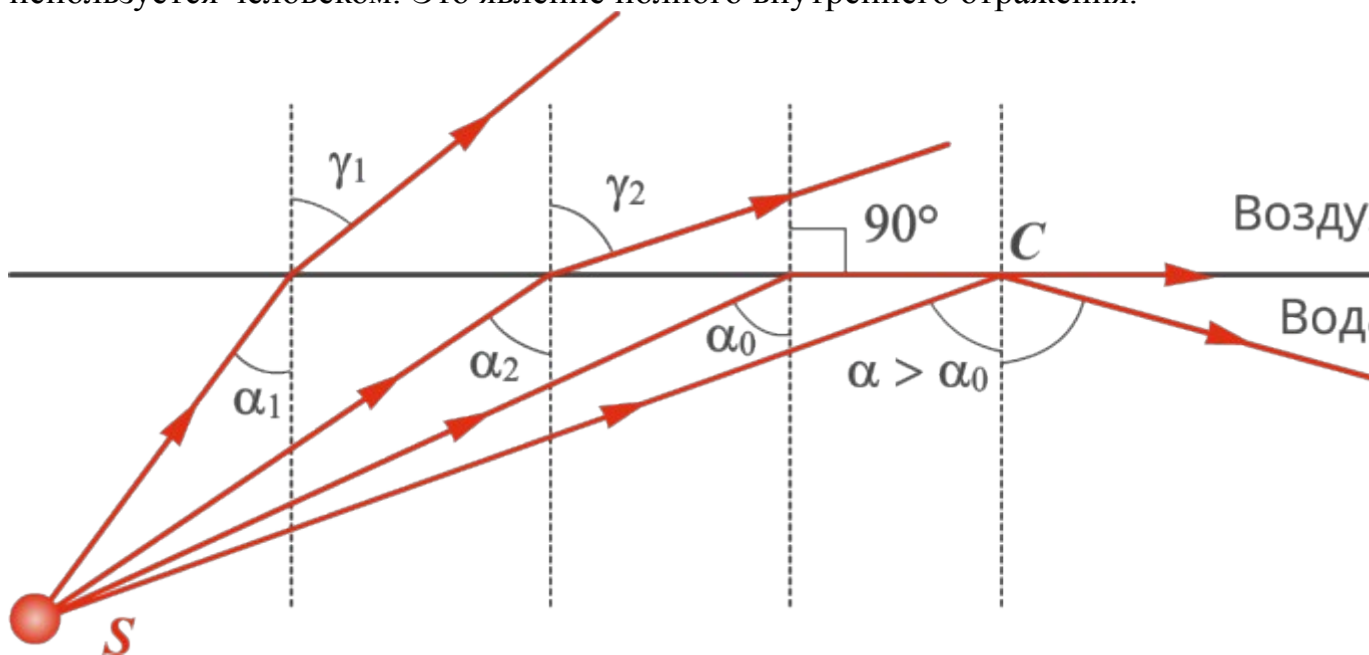
Обычно поляризаторы представляют собой пластины, сделанные из прозрачного материала, например, из турмалина, герпатита, исландского шпата.

Через поляризатор проходят только те волны, вектор напряженности которых параллелен оси кристалла. В результате прохождения через поляризатор свет из естественного превращается в линейно-поляризованный.

Если же на пластину направить линейно-поляризованный свет, то интенсивность света на выходе будет зависеть от положения оси кристалла относительно направления вектора напряженности. В частности, если ось кристалла перпендикулярна вектору напряженности, то свет не пройдет через эту пластину.

Линейно-поляризованный свет можно получить также при помощи лазерных источников

Давайте вспомним из курса физики еще одно свойство света, которое широко используется человеком. Это явление полного внутреннего отражения.

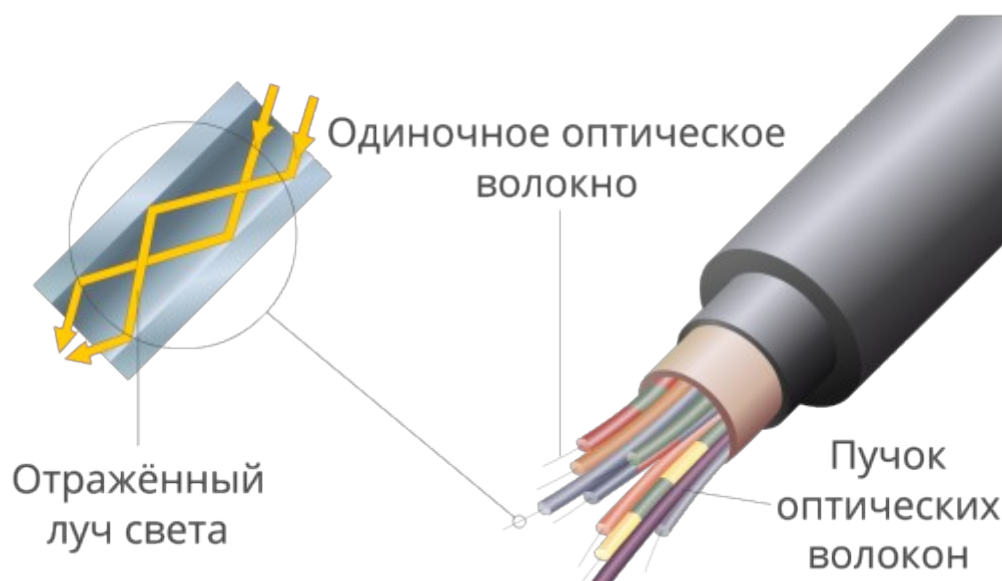


Явление полного внутреннего отражения наблюдается, когда свет переходит из более плотной оптической среды в менее плотную.

Явление полного внутреннего отражения нашло применение в современных устройствах.

Допустим, нам нужно передать луч света на некоторое расстояние вдоль некоторого извилистого пути (подобно тому, как по проводу передается ток). Создают двойную стеклянную трубку из материалов с различной оптической плотностью.





Сердцевину делают из оптически более плотного вещества, а внешнюю трубку из вещества с меньшим показателем преломления. Подобная трубка называется оптическим световодом. Ее также называют оптическим волокном.

Оптические световоды применяются в настоящее время для передачи информации с очень высокой плотностью.

Компьютеры, к которым подключена оптоволоконная связь, работают гораздо эффективнее, чем, например, компьютеры, подключенные к сети при помощи телефонной линии.

Сегодня на уроке мы изучили волновые свойства света и рассмотрели приборы, использующие их свойства. Это дифракционная решётка, поляризатор, оптический световод.

### **Практические занятия –**

*№ 18 Применение дифракционной решетки для нахождения длины волны света*

**Цель:** Познакомиться на опыте с явлением многолучевой интерференции световых волн. Используя решётку с известным расстоянием между штрихами измерить длину волны светового излучения.

### **Оборудование:**

1. Штатив.
2. Дифракционная решётка 100 штрихов на мм.

### 3. Измерительная лента.

**Дифракция волн** - огибание волнами различных препятствий (неоднородностей).

Препятствия нарушают прямолинейность распространения фронта волны. Дифракция волн свойственна всякому волновому движению; проявляется особенно отчетливо в случаях, когда размеры препятствий меньше длины волны или сравнимы с ней, однако проявляется всегда. Для увеличения яркости дифракционной картины нужно пропускать свет через несколько параллельных щелей. В этом случае кроме явления дифракции будет происходить ещё и явление интерференции, т.к. лучи, идущие от всех лучей, оказываются когерентными.

**Когерентными** называются волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

Большое число параллельных и очень близко расположенных узких щелей, которые пропускают или отражают свет, называют **дифракционной решёткой**.

Дифракционные решетки с различным числом щелей на 1 мм:



Параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda$ , проходя через дифракционную решётку, вследствие дифракции за решёткой, распространяется по всевозможным направлениям и интерферирует. На экране, установленном на пути интерферирующего света, можно наблюдать интерференционную картину:

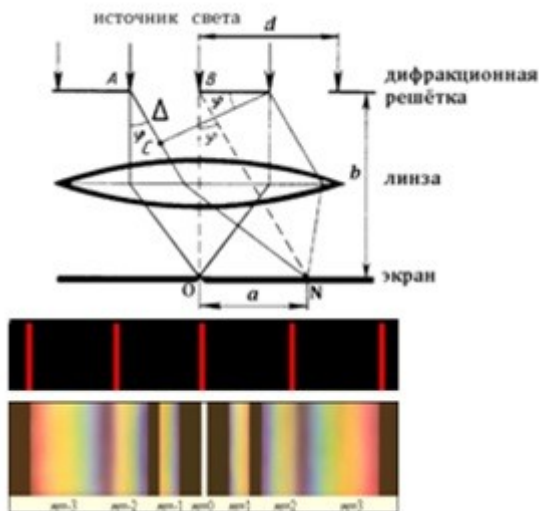


Максимумы света наблюдаются в точках экрана, для которых выполняется условие максимума:



**Условие максимума:** на разности хода волн укладывается четное число полуволин (целое число длин волн):  $\Delta = k \cdot \lambda$ , (1)

где  $\Delta = AC$  - разность хода волн;  $\lambda$  - длина световой волны;  $k$  - номер максимума.



Центральный максимум (в точке  $O$ ) называют **нулевым**; для него  $\Delta=0$ . Слева и справа от него располагаются максимумы высших порядков. Условие возникновения максимума можно записать иначе:

$$d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda$$

где  $k=0; \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$

Здесь  $d$  - период дифракционной решётки в мм,  $\varphi$  - угол, под которым виден световой максимум  $k$ -го порядка в точке  $N$  на расстоянии  $a$  от нулевого максимума, а  $\lambda$  - длина волны.

Так как углы дифракции малы, то для них можно принять:  $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$ , а  $\operatorname{tg} \varphi = a/b$ .

Поэтому:  $k\lambda = d \cdot \frac{a}{b}$ , и искомая длина световой волны равна  $\lambda = \frac{d \cdot a}{k \cdot b}$  (2)

**В данной работе формулу (2) используют для вычисления длины световой волны.**

Из условия максимума следует  $\sin \varphi = (k \cdot \lambda) / d$ .

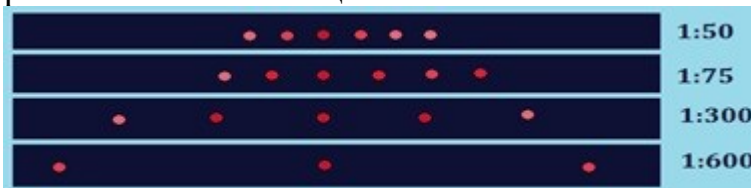
Пусть  $k=1$ , тогда  $\sin \varphi_{кр} = \lambda_{кр} / d$  и  $\sin \varphi_{ф} = \lambda_{ф} / d$ .

Известно, что  $\lambda_{кр} > \lambda_{ф}$ , следовательно  $\sin \varphi_{кр} > \sin \varphi_{ф}$ . Т.к.  $y = \sin \varphi$  - функция возрастающая, то  $\varphi_{кр} > \varphi_{ф}$

Поэтому фиолетовый цвет в дифракционном спектре располагается ближе к центру.

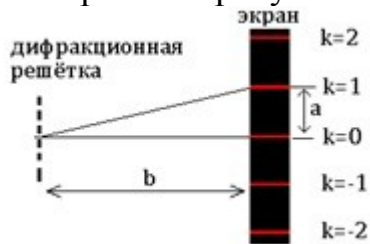
Между максимумами расположены минимумы освещенности. Чем больше общее число щелей и чем ближе друг к другу они расположены, тем более широкими промежутками разделены максимумы.

Картина дифракции лазерного излучения красного цвета на решётках с различным числом щелей на 1 мм:



Ход работы

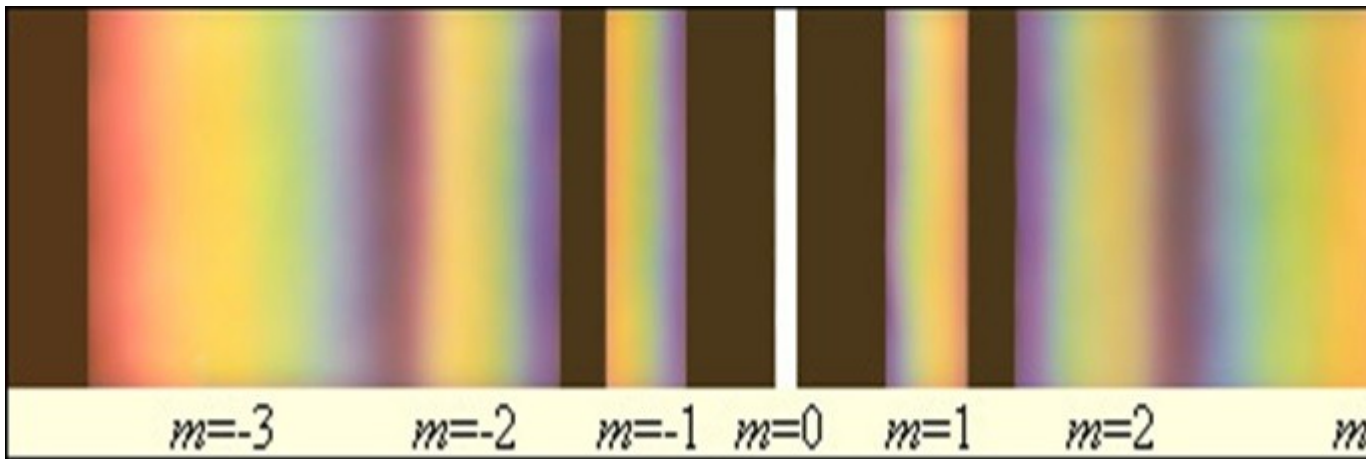
1. Перенести рисунок в тетрадь.



2. Подготовить таблицу для записи результатов измерений:

Порядок спектра, цвет $k$	Постоянная решётки, $d$ мм	Расстояние от решётки и до экрана, $b$ мм	Расстояние от нулевого максимума до максимума $k$ -порядка $a$ мм	Длина волны, нм	Средняя длина волны нм	Относительная погрешность измерения $\delta$ %
1-ый, красный	1:100=0,001					
2-ой, красный	1:100=0,001					
1-ый, фиолетовый	1:100=0,001					
2-ой, фиолетовый	1:100=0,001					

3. Укрепить в штативе линейку с экраном и закрепить на направляющей линейки дифракционную решётку.
4. Установить расстояние от решётки до экрана 40 см ( $b$ ). Результат записать в таблицу.
5. Смотря через дифракционную решётку, направить прибор на источник света. Пронаблюдать спектр:



Измерить на экране расстояние  $a$  между нулевым максимумом и максимумом **1-го порядка для красного света**. Результат записать в таблицу.

6. Измерить на экране расстояние  $a$  между нулевым максимумом и максимумом **2-го порядка для красного света**. Результат записать в таблицу.
7. Повторить опыт, измерив на экране расстояние  $a$  между нулевым максимумом и максимумом **1-го и 2-го порядка для фиолетового света**. Результат записать в таблицу.

8. По формуле  $\lambda = \frac{d \cdot a}{k \cdot b}$  рассчитать длину волны излучения.

9. Найти среднее значение длины волны светового излучения для  
 красного  $\lambda_{кр\text{ ср}} = (\lambda_{кр1} + \lambda_{кр2})/2$   
 и фиолетового света  $\lambda_{ф\text{ ср}} = (\lambda_{ф1} + \lambda_{ф2})/2$

10. Зная истинное значение длины волны лазерного излучения, рассчитать относительную погрешность измерений:

$$\delta = (\lambda_{кр\text{ ср}} - \lambda_{кр\text{ табл}}) / \lambda_{кр\text{ табл}} \cdot 100\% \quad \text{и} \quad \delta = (\lambda_{ф\text{ ср}} - \lambda_{ф\text{ табл}}) / \lambda_{ф\text{ табл}} \cdot 100\%$$

**Диапазон длин волн, нм**

Красный 625—740 нм ( $\lambda_{кр\text{ табл}} = 680$  нм)

Фиолетовый 380—440 нм ( $\lambda_{ф\text{ табл}} = 410$  нм)

11. Записать вывод по результатам выполненной работы.

**Задания для самостоятельного выполнения** - не предусмотрено

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

– Проверка тетради

## Вопросы для самоконтроля по теме – не предусмотрено

### Раздел 6. Основы специальной теории относительности

#### Тема 6.1. Основы специальной теории относительности

**Основные понятия и термины по теме:** *опыта Майкельсона-Морли, формулировки постулатов, эффекта замедления времени, формул по расчету энергии покоя, импульса, энергии свободной частицы.*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. Объяснение значимости опыта Майкельсона-Морли. Формулирование постулатов.
2. Объяснение эффекта замедления времени. Расчет энергии покоя, импульса, энергии свободной частицы.

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

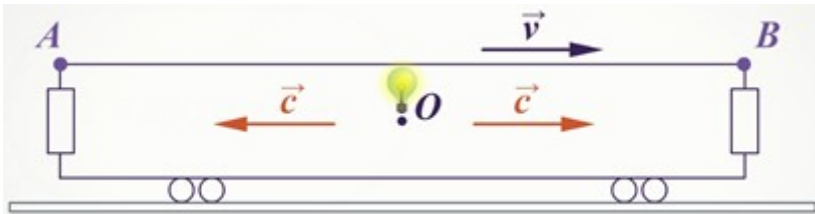
Человек, открывший новый взгляд на пространство и время мыслил образами. Альберт Эйнштейн всегда твёрдо верил, что именно воображение способно проникнуть в суть, в глубину, в основу сущего. Он никогда не заучивал теорию, он представлял её образами. В детстве Эйнштейну привили интерес к математике, естествознанию. Одной из любимых книг Альберта была книга Аарона Бернштейна «Популярные книги по естественной истории». От описаний научных историй у 12 летнего Эйнштейна захватывало дух. Мысленные эксперименты были самым занимательным в книгах Бернштейна.

В 1895 году Эйнштейну повезло, в 16-летнем возрасте, провалив экзамены в Цюрихский политехникум по французскому языку, литературе, политике и зоологии, но легко справившись с математикой и естествознанием, он поступил в сельскую школу Арау. Образование здесь строилось на методах, разработанных Иоганном Песталоцци, на проведении мысленных экспериментов, на более глубоком понимании явлений и ситуаций. Это были первые шаги на пути формирования специальной теории относительности (СТО).

**Теория относительности** – физическая теория, рассматривающая пространственно-временные закономерности, справедливые для любых физических процессов.

В теории относительности часто будет использовано понятие «событие». **Событием** будем называть физическое явление, которое происходит в определённый момент времени в данной точке пространства.

В движущемся поезде, вывешенная в центре, вспыхивает лампочка в точке О – это одно событие. Свет от лампочки достигает точку А в одном конце помещения – это другое событие, а также достигает противоположного конца помещения в точке В – то третье событие.



**События** могут происходить в одно и тоже время и их называют **одновременными**. Если **координаты событий совпадают**, то события называют **одноместными**. При этом учитываем, что реальные тела имеют размеры и события разворачиваются во времени.

Одновременно ли достигнет свет две противоположные точки А и В? Ведь корабль движется со скоростью в одном направлении и одна стенка приближается к летящему свету, а другая отдаляется.

Классический закон сложения скоростей не работает в описании распространения электромагнитного излучения от источника света.

Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо выяснить, меняются ли основные законы электродинамики при переходе одной инерциальной системы отсчёта к другой, или же подобно принципам относительности Галилея и законам Ньютона, они остаются неизменными.

**Принцип относительности Галилея.**

**Инерциальные системы отсчёта (ИСО)** – это системы отсчёта, в которых выполняется первый закон Ньютона – закон инерции. Системы, которые ускоряются или вращаются называют **неинерциальными**. Система отсчёта, движущаяся равномерно и прямолинейна относительно ИСО, также инерциальная. Земля не совсем инерциальная система отсчёта, так как она вращается, но для большинства наших примеров, будем считать её инерциальной.

К началу XX века в физике накопилось много наблюдений и опытов, которые не могли быть объяснены классическими теориями. В XVII – XIX веках большое место в теории отводилось гипотезе о существовании эфира. Эфир представляли себе, как занимающая всё пространство упругая среда, с помощью которой осуществляется взаимодействие между телами, благодаря которой распространяются волны звуковые, световые, электромагнитные. Считалось естественным связывать абсолютную систему отсчёта с мировым эфиром. Этой теории придерживался и основатель электронной теории Х. Лоренц и Г.Герц. Однако эксперименты, поставленные в 1881 году учёными А. Майкельсоном, Э.Морли и А.Физо об изотропности света, приводили к противоположным результатам. В опытах по изучению распространения света, А.Физо с помощью оптических приборов находил подтверждение, существования эфира. Опыты Майкельсона существование «эфирного ветра», то есть преимущественной системы отсчёта или «светового эфира» не подтверждали, за что подверглись критике со стороны прославленного учёного Х.Лоренца.

Но противоречия в опытах классическими законами уже невозможно было объяснить. Эйнштейн, изменяя классические законы механики, а не законы

электродинамики Максвелла, предложил наиболее революционный способ описания явлений в пространстве и времени. Из теории Максвелла следовало, что электромагнитные волны, в отличие от механических волн, могут распространяться в вакууме и подчиняются законам электромагнетизма, что свет – это электромагнитная волна и скорость света:

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

У Максвелла не было оговорок по поводу относительности скорости света. И в 1905 году появилась работа А. Эйнштейна «К электродинамике движущихся сред», в которой излагались идеи новой теории – специальной теории относительности.

В основу теории были положены два **постулата** \*:

1. Все физические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта, или никакими опытами, проводимыми в инерциальной системе отсчёта, невозможно установить её движение относительно других инерциальных систем.
2. Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчёта. Она не зависит от ни от скорости источника света, ни от скорости светового приёмника сигнала.

**Постулат** – это основное положение, которое не может быть логически доказано, а является результатом обобщения всех опытов. В физической теории выполняет ту же роль, что и аксиома в математике.

Скорость света занимает особое положение в этой теории, распространение света в вакууме является максимально возможной скоростью передачи взаимодействий в природе.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

С точки зрения классической физики первый и второй постулаты входят в противоречия друг с другом. По первому постулату законы механики (как частный случай законов физики) справедливы во всех ИСО. Следовательно, справедлив и закон сложения скоростей. Однако второй постулат противоречит классическому закону сложения скоростей. Значит, в СТО нельзя пользоваться преобразованиями Галилея. Заменяя преобразования Галилея на преобразования Лоренца, Эйнштейн устранил кажущееся противоречие между постулатами, что позволило объяснить многие опыты по электродинамике и оптике.

Независимость скорости света от источника много раз проверялись на опытах. Советские учёные А.М. Бонч-Бруевич и В.А. Молчанов в 1955 году проводили опыты, измеряя скорости света от правого и левого краёв Солнца (один из которых из-за осевого вращения Солнца приближается к нам со скоростью 2,3 км/с, а другой с такой же скоростью удаляется). Учёные, проведя расчёты, пришли к выводу, что скорости распространения света с обоих концов одинаковы.



Преобразования Лоренца, которые использовал Эйнштейн, заменив преобразования Галилея, для описания распространения света в системе координат:

$$x = \frac{x' + \vartheta t'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = \frac{t' + \frac{\vartheta}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$

Если скорость намного меньше скорости света  $\vartheta \ll c$ , то отношение квадратичной скорости движения системы к квадрату скорости света намного меньше  $1 - \frac{\vartheta^2}{c^2} \ll 1$  и величиной  $\frac{\vartheta^2}{c^2}$  можно пренебречь. Тогда мы переходим к преобразованиям Галилея:

$$x = x' + \vartheta t'$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

Новая теория раскрыла более глубокую физическую реальность и включает старую как предельный (частный) случай, который называют **принципом соответствия**.

Иначе это можно объяснить так: классическая механика (механика Ньютона) является частным случаем более общей механики, описывающей процессы в разных инерциальных системах отсчёта с учётом преобразований Лоренца.

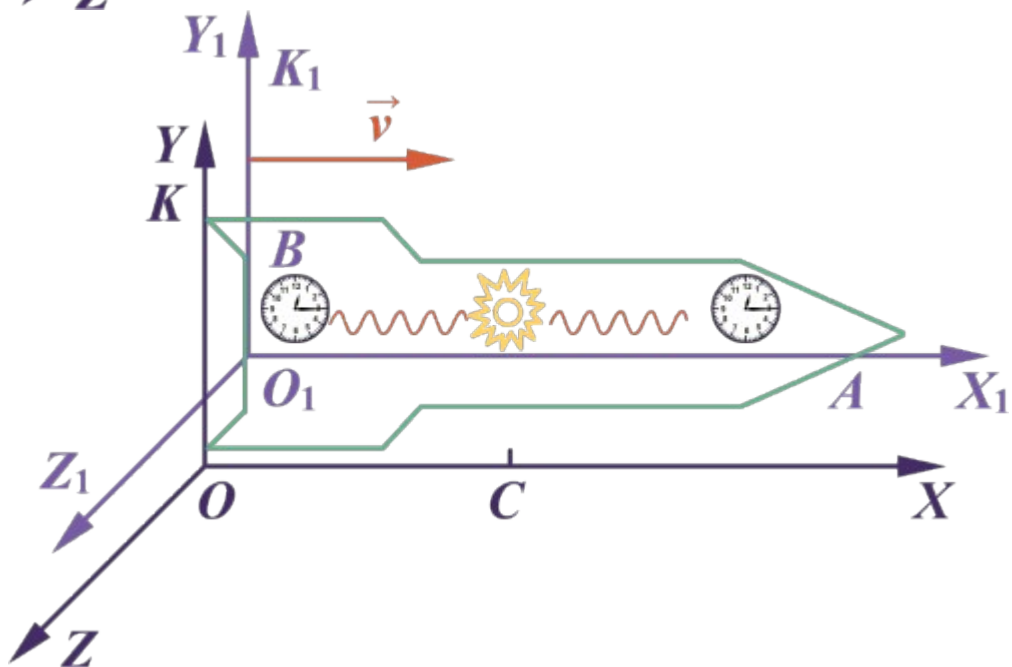
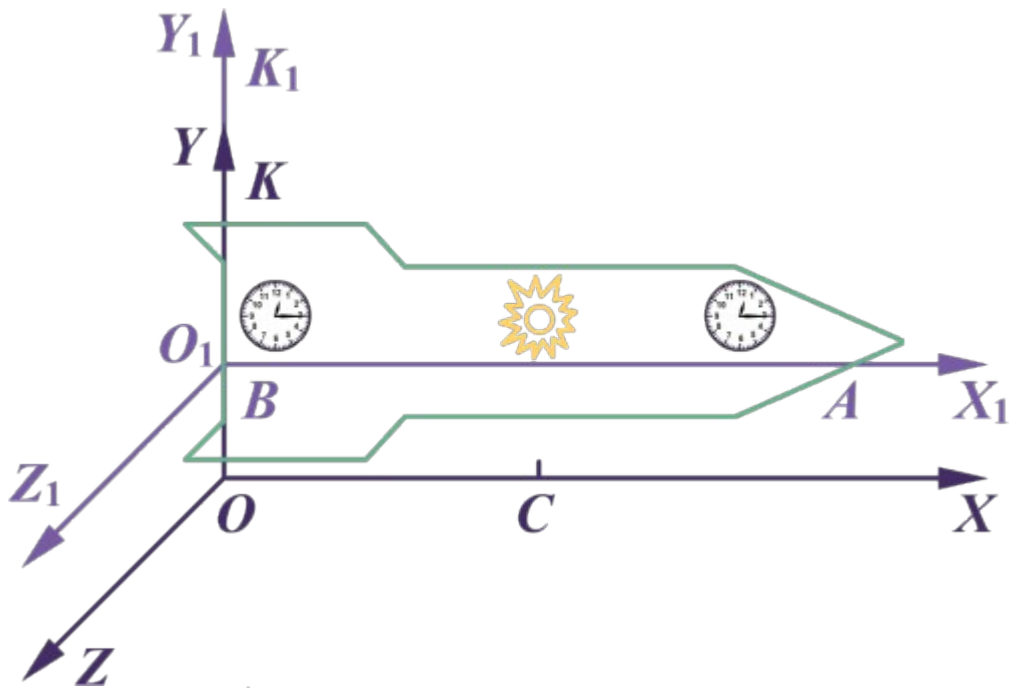
Мы ещё неоднократно убедимся, что при малых скоростях, намного меньших, чем скорость света законы СТО переходят в законы классической механики.

Существование предельной конечной скорости изменяет наши привычные представления о пространстве и времени. Представление об абсолютном времени, которое течёт с навсегда заданным темпом, оказывается неверным.

#### **Следствия постулатов относительности:**

##### 1. Относительность одновременности

Рассмотрим простой метод синхронизации часов. Допустим, что космонавт хочет узнать, одинаково ли идут часы в разных концах корабля в точках А и В. С помощью источника света в центре корабля производят вспышку света, если часы идут синхронно, по показаниям на часах будут одинаковы при приёме света. Но так будет только в движущейся системе отсчёта  $K_1$ , связанной с кораблём. И так же, как и в первом случае, вспышка для наблюдателя, находящегося в системе отсчёта К (неподвижная система), часы будут удаляться от вспышки света, и излучению нужно пройти большее расстояние, значит и время должно зафиксироваться отличное от часов в точке В. Вывод наблюдателя в системе отсчёта К: сигналы достигают часов не одновременно.



Время, отсчитываемое покоящимися в ИСО часами, называется **собственным временем** и обозначают буквой  $\tau$  (тау). Промежуток времени  $\Delta\tau = t'_2 - t'_1$  между событиями по часам наблюдателя, находящегося внутри объекта (ИСО  $K_1$ ). Промежуток времени между теми же событиями по часам наблюдателя относительно которой удаляется обозначим  $\Delta t$ . Между этими промежутками существует соотношение:

$$\Delta t = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Это означает, что часы, движущиеся относительно ИСО идут медленнее, неподвижных часов и показывают меньший промежуток времени между событиями (**замедление времени**).

Преобразовав выражение  $\Delta t$ , получим:

$$c^2 \Delta \tau^2 = c^2 \Delta t^2 - \vartheta^2 \Delta t^2$$

А так как скорость света  $c$  постоянна и собственное время  $\Delta \tau$  неизменно для данного события, то есть инвариантна, то получим:

$$\text{Инвариант} = c^2 \Delta t^2 - \vartheta^2 \Delta t^2$$

Наряду с протонами и нейтронами в природе существуют **мюоны** – элементарные частицы. Мюоны могут образовываться в атмосфере Земли. Но мюоны не стабильны и довольно быстро распадаются, превращаясь в другие элементарные частицы. В лаборатории, где мюоны практически покоятся, среднее время их жизни  $\Delta \tau = 2 \cdot 10^{-6}$  с. Вычисляя скорость и другие параметры мюонов, физики обнаружили, что мюоны в атмосфере Земли (без распада) могут пройти расстояние 6 км за время  $\Delta t = 2 \cdot 10^{-5}$  с. Это означает, что время жизни движущегося мюона в системе «Земля» в 10 раз больше собственного времени жизни  $\Delta \tau$ .

Рассмотрим ещё один парадокс: относительность расстояний или размеров тела. Допустим, что в космическом корабле измеряют длину стержня, расположенного вдоль направления скорости. Длину стержня внутри корабля, относительно которого он находится в покое обозначим  $L_0$  и назовём **собственной длиной**. При этом расчёты показывают, что **линейный размер тела, движущегося относительно ИСО уменьшается в направлении движения.**

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}$$

Закон сложения скоростей в СТО записывается так:

$$\vartheta = \frac{\vartheta' + v}{1 - \frac{\vartheta' v}{c^2}}$$

$\vartheta$  – скорость тела, относительно неподвижной системы отсчёта,

$\vartheta'$  – скорость относительно подвижной системы отсчёта,

$v$  – скорость подвижной системы отсчёта относительно неподвижной,

$c$  – скорость света.

При скоростях движения намного меньших, чем скорость света закон сложения скоростей переходит в классический, а длина тела и интервал времени становятся одинаковыми в неподвижной и движущейся системах отсчёта.

Даже масса, такое непоколебимое в нашем представлении значение, меняет свои параметры в движущейся системе относительно неподвижной ИСО.

Собственную массу тела, находящегося в состоянии покоя, относительно ИСО, называют  $m_0$  **массой покоя**.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Сам А. Эйнштейн говорил о том, что правильнее было бы называть его теорию относительности теорией абсолютности, так как в основе её заложена идея абсолютности во всех инерциальных системах отсчёта.

**Практические занятия** - не предусмотрено

**Задания для самостоятельного выполнения** - не предусмотрено

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

- Проверка конспекта

**Вопросы для самоконтроля по теме** - не предусмотрено

## **Раздел 7. Элементы квантовой физики**

### **Тема 7.1. Квантовая оптика. Физика атома**

**Основные понятия и термины по теме:** *внешний фотоэлектрический эффект; внутренний фотоэффект; естественная радиоактивность; дефект массы, энергия связи и устойчивость атомных ядер; ядерные реакции; элементарные частицы.-законов: фотоэффекта. - способов: получения радиоактивных изотопов и их применения; наблюдения и регистрации заряженных частиц, биологического действия радиоактивных излучений.*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. Квантовая оптика. Квантовая гипотеза Планка. Фотоны. Внешний фотоэлектрический эффект. Внутренний фотоэффект. Типы фотоэлементов.

2. Физика атома. Развитие взглядов на строение вещества. Закономерности в атомных спектрах водорода. Ядерная модель атома. опыты Э.Резерфорда. Модель атома водорода по Н.Бору. Квантовые генераторы.

3. Модель атома водорода по Н.Бору. Квантовые генераторы. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

**Краткое изложение теоретических вопросов:**

В соответствии с основными положениями квантовой теории Планка и Эйнштейна, излучение, и, в частности, видимый свет обладает корпускулярными свойствами. Очевидно, что при определенных условиях эти свойства должны проявляться в оптических экспериментах.

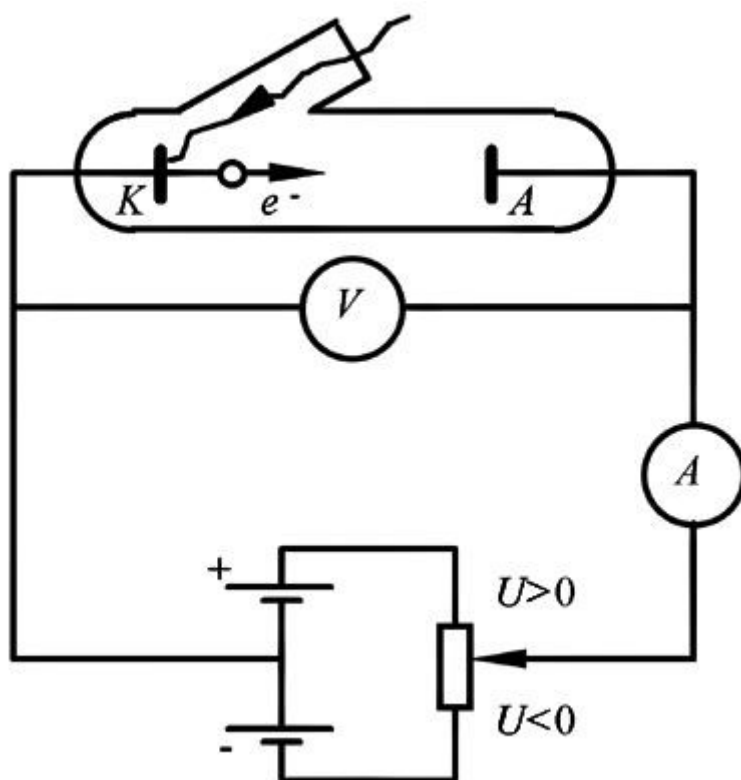
Класс оптических явлений, для объяснения которых следует привлекать представления о квантах энергии излучения и их носителях - фотонах, получил название явлений квантовой оптики. Такие явления связаны, прежде всего, с взаимодействием излучения с веществом, которое удастся описать

как взаимодействие частиц излучения (фотонов) с частицами вещества. Рассмотрим два таких явления квантовой оптики.

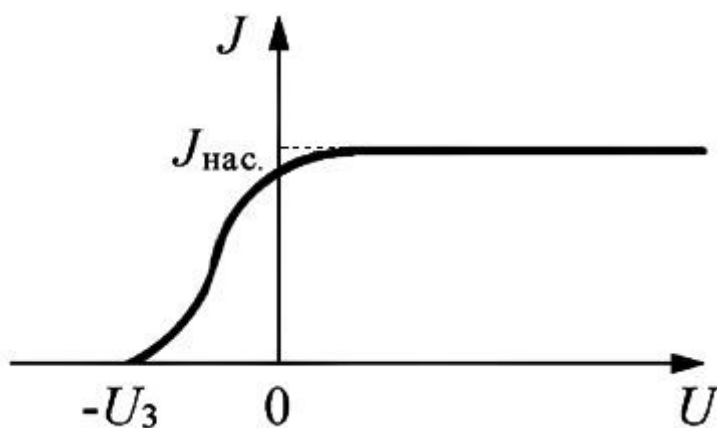
*Фотоэффект.* Определим *внешний фотоэффект* как явление испускания электронов вещества под действием излучения. Впервые фотоэффект был открыт в 1887 г. Г.Герцем, который обнаружил, что искровой разряд между двумя металлическими шариками происходит значительно интенсивнее, если один из шариков освещать ультрафиолетовыми лучами. Измерение удельного заряда вылетающих из металла под действием излучения частиц позволило установить, что частицы являются электронами.

Хотя эмиссия электронов под действием излучения наблюдается практически для всех веществ, наиболее часто фотоэффект связывают с металлами, в которых существуют оторванные от атомов "свободные" электроны, удерживаемые внутри металла некоторым энергетическим барьером вблизи его поверхности. Преодолевая этот барьер при вылете из металла, электрон совершает работу выхода, затрачивая на это часть своей кинетической энергии. Работа выхода  $A$  электронов из металлов составляет порядка нескольких электрон-вольт.

Детальное экспериментальное исследование закономерностей внешнего фотоэффекта для металлов было выполнено в 1888 г. А.Г.Столетовым на установке с фотоэлементом, схема которой приведена на рис. 1.12. Фотоэлемент в виде вакуумной двухэлектродной лампы имеет металлический катод К, который при освещении его через кварцевое окошко видимым светом или ультрафиолетовым излучением испускает электроны. Вылетевшие из катода фотоэлектроны, достигая анода А, обеспечивают протекание в цепи электрического тока, который фиксируется гальванометром или миллиамперметром. Специальная схема подключения источника позволяет изменять полярность напряжения, подаваемого на фотоэлемент.



Качественный вид вольт-амперной характеристики такого фотоэлемента, то есть зависимости фототока  $J$  от напряжения  $U$  между катодом и анодом для случая неизменного светового потока, падающего на катод, представлена на рис. 1.13.



Положительное напряжение соответствует ускоряющему электрическому полю, в которое попадают вылетающие из катода электроны. Поэтому, в области положительных напряжений все испускаемые катодом электроны достигают анода, обуславливая фототок насыщения  $J_{\text{нас}}$ .

Небольшой спад фототока при малых положительных напряжениях, который наблюдается в опытах, связан с контактной разностью потенциалов между катодом и анодом. Ниже, при обсуждении закономерностей

фотоэффекта мы будем пренебрегать влиянием контактной разности потенциалов.

При отрицательном напряжении  $U < 0$  испущенный катодом электрон попадает в тормозящее электрическое поле, преодолеть которое он может лишь имея определенный запас кинетической энергии. Электрон с малой кинетической энергией, вылетев из катода, не может преодолеть тормозящее поле и попасть на анод. Такой электрон возвращается на катод, не давая вклада в фототок. Поэтому, плавный спад фототока в области отрицательных напряжений указывает на то, что вылетающие из катода фотоэлектроны имеют разные значения кинетической энергии.

При некотором отрицательном напряжении, величину которого  $U_3$  называют задерживающим напряжением (потенциалом), фототок становится равным нулю. Соответствующее тормозящее электрическое поле при этом задерживает все вылетающие из катода электроны, включая электроны с максимальной кинетической энергией  $E_m$ .

Измерив задерживающее напряжение, можно определить эту максимальную энергию или максимальную скорость  $v_m$  фотоэлектронов из соотношения

$$E_m = \frac{1}{2} m_0 v_m^2 = eU_3 \quad (1.54)$$

Экспериментально были установлены следующие основные закономерности фотоэффекта:

*Для монохроматического света определенной длины волны фототок насыщения пропорционален световому потоку, падающему на катод.*

*Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от величины светового потока, а определяется лишь частотой излучения.*

*Для каждого вещества катода существует своя граничная частота  $\nu_K$  такая, что излучение с частотой  $\nu < \nu_K$  фотоэффекта не вызывает. Эту граничную частоту называют частотой красной границы фотоэффекта. По шкале длин волн ей соответствует длина волны красной границы  $\lambda_K$ , такая, что фотоэффект из данного металла вызывает излучение лишь с меньшей длиной волны  $\lambda < \lambda_K$ .*

Попытки объяснить закономерности фотоэффекта с использованием классической волновой теории, в которой излучение рассматривалось как электромагнитные волны, приводили к выводам, противоположным наблюдаемым в эксперименте. Действительно, объясняя вырывание электронов из металла силовым воздействием на них со стороны электрического поля волны, такая теория неизбежно приходила к выводу о том, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов должна

определяться световым потоком, падающим на катод. Наличие красной границы у фотоэффекта также противоречило выводам волновой теории.

Именно для объяснения экспериментов по фотоэффекту в 1905 г. Эйнштейн предложил концепцию фотонов как частиц излучения, несущих квант энергии. Рассмотрев в такой теории процесс взаимодействия излучения с металлом как процесс неупругого соударения фотона со свободным электроном металла, Эйнштейн легко объяснил закономерности фотоэффекта. Действительно, в таком процессе электрон приобретает всю энергию от фотона, которая пропорциональна частоте излучения. Число же вырванных из металла электронов и, тем самым, фототок насыщения, пропорционально числу падающих на металл фотонов, которое определяется величиной потока энергии излучения.

Если в такой модели процесса пренебречь потерями энергии электрона при его движении внутри металла по направлению к поверхности, то закон сохранения энергии приводит к соотношению

$$h\nu = A + E_m, \quad (1.55)$$

которое называют уравнением Эйнштейна для внешнего

фотоэффекта. Здесь  $E_m = \frac{m_0 v_m^2}{2}$  - максимальная энергия фотоэлектронов.

Непосредственным следствием этого уравнения являются второй и третий законы фотоэффекта. Действительно, из (1.55) следует, что максимальная энергия фотоэлектронов зависит от частоты падающего на металл излучения. Кроме того, если  $h\nu < A$ , то фотоэффект не должен наблюдаться. Отсюда, для частоты и длины волны красной границы фотоэффекта получаем простые формулы

$$\nu_k = \frac{A}{h} \quad \text{и} \quad \lambda_k = \frac{hc}{A}, \quad (1.56)$$

из которых следует, что эти характеристики полностью определяются значением работы выхода электрона из металла.

Таким образом квантовая теория излучения, в отличие от волновой теории, достигает успеха в объяснении фотоэффекта. Единственным возражением к квантовому объяснению фотоэффекта мог бы выступить известный (см. задачу 1.7) вывод теории о том, что свободный электрон не может поглотить фотон, так как такой процесс запрещен законами сохранения энергии и импульса. Это возражение, однако, снимается, если учесть, что в металле электрон взаимодействует с атомами кристаллической решетки. Поэтому при поглощении электроном фотона часть импульса фотона может быть передана кристаллической решетке металла.

В пользу квантовой природы фотоэффекта указывают также и выводы опытов Э.Майера и В.Герлаха, которые в 1914 г. исследовали фотоэлектрический эффект на мельчайших частицах металлической пыли. В



этих опытах удалось оценить время, за которое частица приобретает энергию от излучения, достаточную для эмиссии электрона. Это время оказалось значительно меньше времени порядка нескольких секунд, которое должно было пройти для накопления энергии пылинкой, если считать, что энергия накапливается за счет поглощения электромагнитной волны.

Важной количественной характеристикой фотоэффекта является квантовый выход  $\gamma$ , определяющий число вылетевших электронов, приходящихся на один падающий на металл фотон. Вблизи красной границы для большинства металлов квантовый выход составляет порядка  $10^{-4}$  электрон/фотон. Малость квантового выхода обусловлена тем, что энергию, достаточную для выхода из металла сохраняют только те электроны, которые получили энергию от фотонов на глубине от поверхности, не превышающей 0,1 мкм. Кроме того, поверхность металлов сильно отражает излучение. С увеличением энергии фотонов, то есть с уменьшением длины волны излучения квантовый выход увеличивается, составляя  $0,01 \div 0,05$  электрон/фотон для энергии фотонов порядка одного электрон-вольта. Для рентгеновского излучения с энергией фотонов  $E_{\nu} = 10^3$  эВ уже практически на каждые десять падающих на поверхность фотонов приходится один вылетевший из металла электрон.

Фотоэффект нашел широкое применение в науке и технике. Так, записав уравнение Эйнштейна (1.55) в виде

$$eU_3 = h\nu - A, \quad (1.57)$$

можно заметить, что график зависимости задерживающего напряжения от частоты излучения должен иметь вид прямой линии, наклон которой определяется значением постоянной Планка. Измерив этот наклон экспериментально для натрия, магния, меди и алюминия, *Р.Милликен* в 1914 г. с хорошей точностью вычислил значение постоянной Планка. В 1923 г. за работы в области элементарных зарядов и фотоэлектрического эффекта Милликен был удостоен Нобелевской премии по физике.

Приборы, в основе устройства которых лежит фотоэффект, называют фотоэлементами. Обычный вакуумный фотоэлемент представляет собой вакуумированную колбу, внутреннюю поверхность которой, за исключением небольшого окошечка для доступа света, покрывает тонкая пленка из металла с малой работой выхода (цезий, калий, натрий). Анод представляет собой проволочное кольцо в центре колбы. Между катодом и анодом прикладывается ускоряющее напряжение порядка  $80 \div 100$  В. Фотоэлементы находят широкое применение в технике (фотореле, люксметры, системы звукозаписи на пленку и др.). В последнее время конкурентом вакуумных фотоэлементов стали фоторезисторы, в основе работы которых лежит внутренний фотоэффект в полупроводниках.

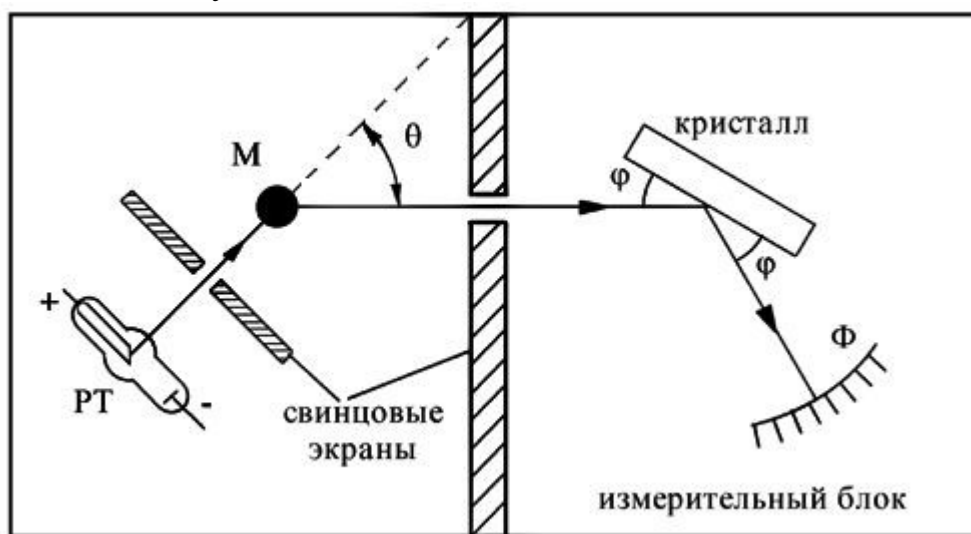
Внешний фотоэффект используется также в фотоэлектронных умножителях (ФЭУ) - современных электронных приборах для регистрации и

преобразования слабых световых сигналов. Такие приборы широко применяются в астрономии, прикладной оптике, ядерной физике. В ФЭУ фотоэлектронная эмиссия сочетается с системой умножения количества электронов, действие которой основано на явлении вторичной электронной эмиссии.

*Эффект Комптона.* При большой энергии фотонов, в частности, для рентгеновского излучения ( $E_{\nu} \sim 0,1$  МэВ) процесс поглощения фотонов электронами вещества становится маловероятным. В этом случае при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом наблюдается его рассеяние с изменением направления распространения.

В 1923 г. *А.Комптон*, изучая рассеяние рентгеновского излучения на парафине, обнаружил, что *длина волны рассеянного излучения  $\lambda'$  больше, чем длина волны падающего излучения  $\lambda$* . Такой эффект увеличения длины волны излучения вследствие рассеяния его веществом получил название эффекта Комптона. Открытие и объяснение этого эффекта квантовой оптики в 1927 г. было удостоено Нобелевской премии по физике.

Схематически экспериментальная установка Комптона изображена на рис. 1.14. Рентгеновская трубка РТ была смонтирована на вращающейся платформе, что позволяло при ее повороте изменять угол рассеяния  $\theta$  рентгеновского излучения, попадающего после мишени-рассеивателя М в измерительный блок установки.



Длина волны рассеянного излучения определялась с помощью дифракции его на кристалле. Согласно дифракционной теории при выполнении условия Вульфа-Брегга

$$2d \sin \varphi = k\lambda', \quad k = 1, 2, \dots, \quad (1.58)$$

где  $d$  - расстояние между атомными плоскостями кристалла, а  $\varphi$  - угол скольжения падающего излучения, наблюдается интенсивное отражение от кристалла рассеянного рентгеновского излучения. Поэтому, зная параметры

кристаллической решетки  $d$  и измерив угол  $\Phi$  для максимума отражения  $k$ -ого порядка, можно рассчитывать длину волны  $\lambda'$  рентгеновского излучения, рассеянного мишенью  $M$ . Соответствие угла  $\Phi$  и длины волны  $\lambda'$ , вытекающее из (1.58), позволяло нанести на фотопленке  $\Phi$  шкалу длин волн и по положению на фотопленке засвеченной полоски определять длину волны рассеянного рентгеновского излучения. В первых опытах Комптона вместо фотопленки использовалась подвижная ионизационная камера, позволяющая по току в приборе фиксировать отраженное от кристалла рентгеновское излучение.

Как установил экспериментально Комpton, длина волны рассеянного излучения оказалась больше длины волны падающего излучения, причем изменение длины волны не зависело от материала рассеивателя, а определялось только величиной угла рассеяния  $\theta$ . Опытным путем Комpton показал, что

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Lambda_K (1 - \cos\theta). \quad (1.59)$$

Это соотношение называют *формулой Комптона*. Значение постоянной  $\Lambda_K = 2,426 \cdot 10^{-12}$  м Комpton определил экспериментально.

Увеличение длины волны излучения при его рассеянии необъяснимо с точки зрения волновой теории электромагнитного излучения. Как показал *Дж. Томсон*, в классической теории рассеяние можно рассматривать как процесс, в котором электрон совершает вынужденные колебания под действием электрического поля падающей волны. При этом электрон сам как антенна начинает излучать вторичные (рассеянные) сферические электромагнитные волны на частоте падающего излучения.

Таким образом, эффект Комптона относится к явлениям квантовой оптики, и фотонная теория излучения объясняет этот эффект как следствие упругого рассеяния фотона на свободном электроны вещества (рис. 1.15). Формула Комптона (1.59) при этом оказывается следствием законов сохранения энергии и импульса в упругом сУПарении фотона и электрона.

Действительно, в системе отсчета, в которой свободный электрон первоначально покоился, закон сохранения энергии с учетом возможных релятивистских скоростей электрона после удара может быть записан в виде



$$\frac{hc}{\lambda} + m_0 c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + m c^2 \quad (1.60)$$

Здесь  $m_0$  - масса покоя электрона,  $m = \gamma m_0$  - масса движущегося электрона, который называют электроном отдачи,  $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$  - релятивистский множитель, а  $v$  - скорость электрона после столкновения с фотоном.

Заметим, что уже закон сохранения энергии (1.60) объясняет эффект Комптона качественно. Действительно, так как  $m > m_0$ , то из (1.60) следует, что  $\lambda' > \lambda$ .

В упругом столкновении фотона с электроном выполняется также закон сохранения импульса, который с учетом (1.44) можно записать в виде

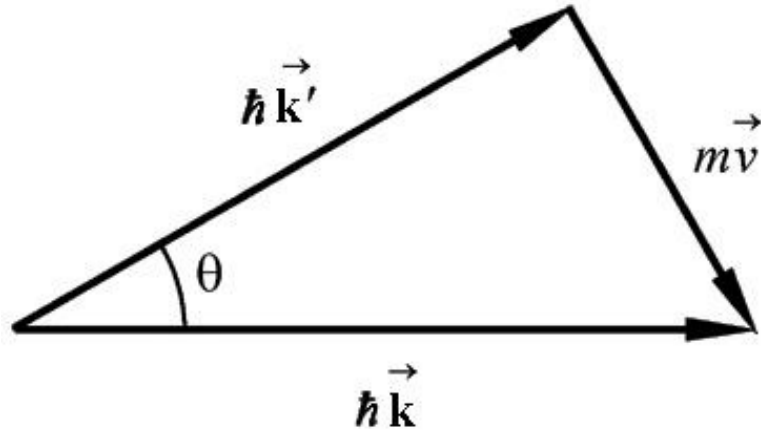
$$\hbar \vec{k} = \hbar \vec{k}' + m \vec{v}. \quad (1.61)$$

Здесь  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $k' = 2\pi/\lambda'$ , а  $\theta = \left(\vec{k}, \vec{k}'\right)$  - угол рассеяния.

Построив векторную диаграмму закона сохранения импульса (рис. 1.16), из треугольника импульсов находим, что

$$(mv)^2 = \hbar^2 k^2 + \hbar^2 k'^2 - 2\hbar^2 k k' \cos\theta$$

или



$$(mv)^2 = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 - 2\frac{h^2}{\lambda\lambda'}\cos\theta \quad (1.62)$$

Преобразовав (1.60) к виду

$$mc = m_0c + \frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'}$$

и возведя это равенство в квадрат, получим

$$(mc)^2 = (m_0c)^2 + 2m_0ch\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) + \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 \quad (1.63)$$

Учитывая, что  $(mc)^2 - (m_0c)^2 = (mv)^2$ , запишем (1.63) в виде

$$(mv)^2 = 2m_0ch\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} + \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 \quad (1.64)$$

Следствием законов сохранения энергии и импульса в рассматриваемом процессе упругого столкновения фотона излучения со свободным электроном вещества является соотношение, которое следует из (1.62) и (1.64):

$$2m_0ch\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) = \frac{2h^2}{\lambda\lambda'}(1 - \cos\theta) \quad (1.65)$$

Из (1.65) получаем формулу Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) = \Lambda_K(1 - \cos\theta) \quad (1.66)$$

Величину  $\Lambda_K = \frac{h}{m_0c}$  называют комптоновской длиной волны частицы, масса покоя которой равна  $m_0$ . В нашем случае  $\Lambda_K = 2,42 \cdot 10^{-12}$  м - комптоновская длина волны электрона.

Сравнение (1.66) с (1.59) показывает прекрасное совпадение выводов квантовой теории излучения и эксперимента. Из этих формул следует, что максимальное изменение длины волны излучения наблюдается для угла рассеяния  $\theta = 180^\circ$ , и оно равно  $\Delta\lambda_m = 2\Lambda_K$ . В силу малости значения  $\Lambda_K$  практически изменение длины волны при рассеянии на свободных электронах можно обнаружить лишь в экспериментах с коротковолновыми рентгеновским или гамма излучениями.

Следует заметить, что значительная часть электронов вещества не является свободными, а связаны с атомами. Если энергия кванта излучения велика по сравнению с энергией связи электрона, то рассеяние на таком электроны происходит как на свободном электроны. В противном случае, рассеиваясь на связанном электроны, фотон обменивается энергией и импульсом фактически со всем атомом в целом. При таком рассеянии для расчета изменения длины волны излучения также можно применить формулу (1.66), где, однако, под  $m_0$  следует понимать уже массу всего атома. Это изменение оказывается настолько малым, что его нельзя практически обнаружить экспериментально.

В реальных опытах по рассеянию излучения веществом часть электронов ведет себя как свободные, а часть - как связанные. Поэтому в рассеянном излучении наблюдается как смещенная (комптоновская) линия, так и несмещенная (томсоновская) линия. С увеличением атомного номера рассеивателя относительная доля связанных электронов увеличивается, что приводит к падению интенсивности комптоновской компоненты в спектре рассеянного излучения и к росту интенсивности томсоновской компоненты.

В диапазоне энергий квантов  $0,1 \div 10$  МэВ комpton-эффект является основным физическим механизмом энергетических потерь  $\gamma$ -излучения при его распространении в веществе. Поэтому комптоновское рассеяние широко

используется в исследованиях  $\gamma$ -излучения атомных ядер. Оно лежит в основе принципа действия некоторых гамма-спектрометров.

Задача 1.7. Покажите, что поглощение фотона при его неупругом соударении со свободным электроном - процесс, запрещенный законами сохранения.

Решение: В системе отсчета, в которой до столкновения с фотоном электрон покоился, закон сохранения энергии при неупругом столкновении запишется в виде

$$E_0 + h\nu = E$$

Здесь  $E_0 = m_0 c^2$  - энергия покоящегося электрона, а  $E = c\sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}$  - энергия движущегося электрона, который после поглощения фотона приобрел импульс  $p$ .

Из закона сохранения импульса для рассматриваемого процесса

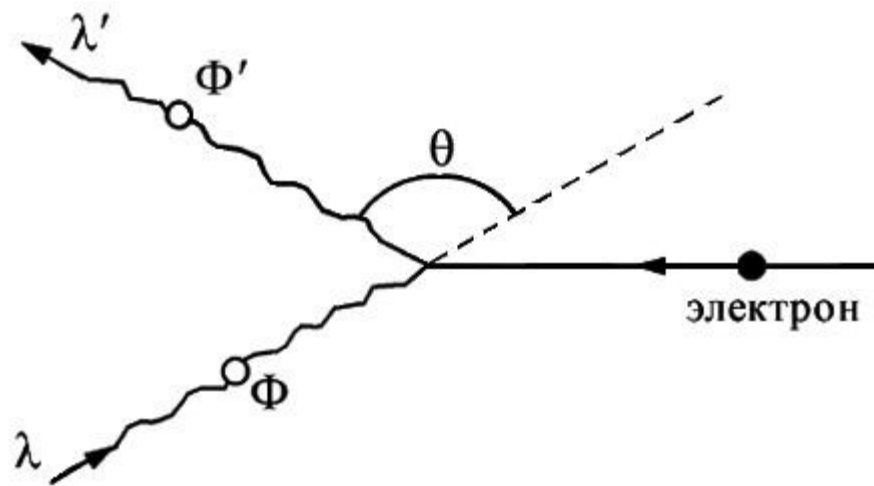
$$p = h\nu/c$$

Возводя полученные соотношения в квадрат, получим

$$2m_0 c^2 h\nu + (h\nu)^2 = c^2 p^2 \quad \text{и} \quad c^2 p^2 = (h\nu)^2$$

Для  $m_0 \neq 0$  эти равенства несовместны, что соответствует выводу о том, что свободный электрон не может поглотить фотон. Такой процесс может произойти лишь при наличии третьей частицы, которая способна взять на себя часть энергии и импульса фотона.

Задача 1.8. Определите изменение длины волны излучения при рассеянии его на пучке релятивистских электронов, считая, что в результате упругого столкновения с фотоном электрон останавливается (рис. 1.17).



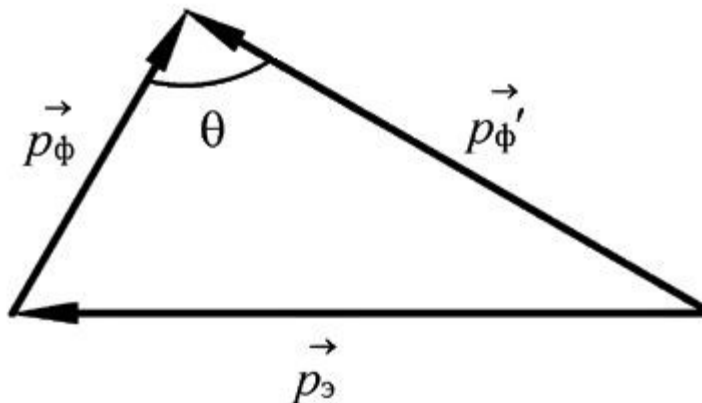
Решение: В системе отсчета, в которой после столкновения с фотоном электрон покоится, закон сохранения энергии записывается в виде

$$mc^2 + \frac{hc}{\lambda} = m_0c^2 + \frac{hc}{\lambda'}$$

Так как сумма импульсов электрона и падающего фотона  $\Phi$  должна быть равна импульсу рассеянного фотона  $\Phi'$ , то из векторной диаграммы импульсов (рис. 1.18) следует, что

$$p_3^2 = p_\Phi^2 + p_{\Phi'}^2 - 2p_\Phi p_{\Phi'} \cos\theta$$

или



$$(mv)^2 = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 - 2\frac{h^2}{\lambda\lambda'} \cos\theta$$



Анализируя полученные соотношения, замечаем, что они переходят в соотношения (1.60) и (1.62) при замене  $\lambda$  на  $\lambda'$ . Но тогда, не повторяя выкладок, проведенных выше на с. 51, запишем окончательную формулу для изменения длины волны рассеянного излучения в виде

$$\lambda' - \lambda = \Lambda_K (1 - \cos \theta)$$

Из этой формулы следует, что длина волны рассеянного на электроне излучения уменьшилась (!), так как при таком столкновении с движущимся релятивистским электроном фотон излучения получает дополнительную энергию.

Такой эффект получил название обратного комптон-эффекта. Именно обратным комптон-эффектом удастся, в частности, объяснить рентгеновское излучение космических объектов.

### **Практические занятия –**

*№ 19 Модель атомов, состава нуклонов*

**Задания для самостоятельного выполнения - не предусмотрено**

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

- тест

### **Вопросы для самоконтроля по теме:**

1. Модель атома Резерфорда описывает атом как
  - 1) однородное электрически нейтральное тело очень малого размера
  - 2) шар из протонов, окруженный слоем электронов
  - 3) сплошной однородный положительно заряженный шар с вкраплениями электронов
  - 4) положительно заряженное малое ядро, вокруг которого движутся электроны
2. По данным таблицы химических элементов Д.И. Менделеева определите число протонов в атоме вольфрама.

<b>W</b>	<sup>74</sup>
	183,85
Вольфрам	

- 1) 74
  - 2) 110
  - 3) 184
  - 4) 258
3. Суммарный заряд электронов в нейтральном атоме
    - 1) отрицательный и равен по модулю заряду ядра
    - 2) положительный и равен по модулю заряду ядра
    - 3) может быть положительным или отрицательным, но равным по модулю заряду ядра
    - 4) отрицательный и всегда больше по модулю заряду ядра

4. Какое(-ие) утверждение(-я) верно(-ы)?

А: ядерные силы притяжения слабее электростатического отталкивания протонов

Б: ядерные силы короткодействующие, т.е. действуют на расстояниях, сравнимых с размерами ядер

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) и А, и Б
- 4) ни А, ни Б

5. Какая формула выражает закон взаимосвязи массы и энергии?

- 1)  $E = mv^2/2$
- 2)  $E = mc^2$
- 3)  $E = mgh$

4) Среди ответов нет правильного

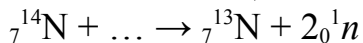
6. При  $\alpha$ -распаде массовое число ядра

- 1) уменьшается на 2 единицы
- 2) уменьшается на 4 единицы
- 3) увеличивается на 2 единицы
- 4) увеличивается на 4 единицы

7. Ядро  ${}_{83}^{214}\text{Bi}$  испытывает  $\beta$ -распад, при этом образуется элемент X. Этот элемент можно обозначить как

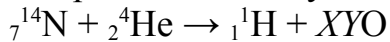
- 1)  ${}_{82}^{214}\text{X}$
- 2)  ${}_{84}^{214}\text{X}$
- 3)  ${}_{83}^{213}\text{X}$
- 4)  ${}_{84}^{210}\text{X}$

8. Какая частица вызывает ядерную реакцию:



- 1)  $\alpha$ -частица  ${}_{2}^{4}\text{He}$
- 2) Электрон  ${}_{-1}^{0}\text{e}$
- 3) Протон  ${}_{1}^{1}\text{p}$
- 4) Нейтрон  ${}_{0}^{1}\text{n}$

9. Произошла следующая ядерная реакция



Зарядовое (X) и массовое (Y) числа кислорода равны

- 1)  $X = 9; Y = 18$
- 2)  $X = 10; Y = 19$
- 3)  $X = 8; Y = 17$
- 4)  $X = 4; Y = 9$

10. Какой из трех типов излучения — альфа, бета или гамма — обладает максимальной проникающей способностью?

- 1) Альфа-излучение
- 2) Бета-излучение
- 3) Гамма-излучение
- 4) Проникающая способность у всех трех излучений одинакова

Критерии оценок: работа состоит из 10 вопросов. Один ответ - один балл. Итого 10 баллов.

Количество баллов	Отметка
10 – 9 баллов	5
8 – 7 баллов	4
6- 4 баллов	3
менее 4 баллов	2

## Тема 7.2. Физика атомного ядра

**Основные понятия и термины по теме:** *естественная радиоактивность; эффект Вавилова — Черенкова; искусственная радиоактивность; управляемая цепная реакция; дефект массы; элементарные частицы.-способов: биологического действия радиоактивных излучений.-закона: радиоактивного распада.*

**План изучения темы** (перечень вопросов, обязательных к изучению):

1. **Физика атомного ядра.** Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Способы наблюдения и регистрации заряженных частиц. Эффект Вавилова — Черенкова. Строение атомного ядра.

2. **Ядерные реакции.** Искусственная радиоактивность. Деление тяжелых ядер. Цепная ядерная реакция. Управляемая цепная реакция. Дефект массы, энергия связи и устойчивость атомных ядер.

3. **Ядерный реактор.** Получение радиоактивных изотопов и их применение. Биологическое действие радиоактивных излучений. Элементарные частицы.

### Краткое изложение теоретических вопросов:

1. Состав атомного ядра. Вскоре после открытия нейтрона (1932 г.) советский физик Д. Д. Иваненко и несколько позднее немецкий физик В. Гейзенберг высказали предположение, согласно которому атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Эти частицы носят название нуклонов. Число протонов  $Z$ , входящих в состав ядра, определяет его заряд, который равен  $+Ze$ . Число  $Z$  называется атомным номером (оно определяет порядковый номер химического элемента в Периодической таблице Менделеева) или зарядовым числом ядра.

Число нуклонов  $A$  (т. е. суммарное число протонов и нейтронов) в ядре называется массовым числом ядра. Число нейтронов в ядре равно  $N = A - Z$ .

Для обозначения ядер применяется символ



где под  $X$  подразумевается химический символ элемента. Вверху ставится его массовое число, внизу - атомный номер.

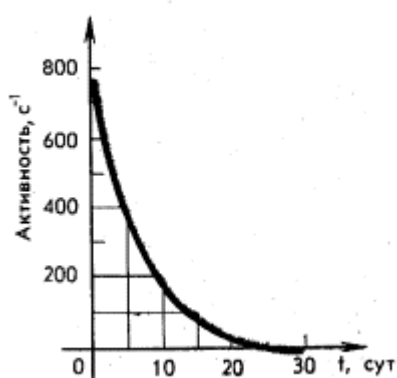
2. Изотопы. С 1906 г. известно, что не все атомы одного и того же химического элемента имеют одинаковую массу. Например, среди атомов хлора встречаются атомы с массой, близкой к 35, и массой, близкой к 37.

Среди атомов урана встречаются атомы с массой 234, 235, 238 и 239. Есть различия по массе и у атомов других веществ.

Все изотопы одного и того же элемента имеют очень близкие химические свойства, что свидетельствует об одинаковом строении их электронных оболочек, а следовательно, и об одинаковых зарядах ядер и о равном числе протонов в ядрах. Отсюда происходит и их название - от греческого слова "изос" - одинаковый и "топос" - место: одинаковое место в Периодической таблице химических элементов Д. И. Менделеева.

Отличие в массе у изотопов вызвано различным числом в них нейтронов. Таким образом, изотопами называют разновидности данного химического элемента, различающиеся по массе их ядер.

3.



Закон радиоактивного распада установлен Ф. Содди. Опытным путем Э. Резерфорд установил, что активность радиоактивного распада убывает с течением времени. Для каждого радиоактивного вещества существует интервал времени, на протяжении которого активность убывает в 2 раза, т.е. *период полураспада*  $T$  данного вещества. Пусть число радиоактивных атомов  $N$ , время  $t=0$ . Через  $t_1 = T$  число нераспавшихся ядер  $N_1 = N_0 / 2$ , через  $t_2 = 2T$  останется

$$\frac{1}{2} \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{4} = \frac{N}{2^2}$$

По истечении времени  $t=nT$ , т.е. спустя  $n$  периодов полураспада  $T$ , радиоактивных атомов останется:

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}$$

Поскольку  $n=t/T$ ,

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

Это и есть основной закон *радиоактивного* распада.

4. Ядерные силы. Простые факты свидетельствуют о прочности атомных ядер: окружающие нас предметы существуют длительное время, не распадаясь на частицы. Но как эти факты объяснить? Ведь в состав атомных ядер входят протоны, и электростатические силы отталкивания должны были бы их "растолкнуть". Отсюда следует вывод, что внутри ядер между нуклонами действуют какие-то силы, превосходящие силы

электростатического отталкивания. Эти силы получили название ядерных сил. Ядерные силы действуют между любыми нуклонами (между протонами, между нейтронами и между протонами и нейтронами). Характерной особенностью ядерных сил является их короткодействие: на расстояниях  $10^{-15}$  м они примерно в 100 раз больше сил электростатического взаимодействия, но уже на расстояниях  $10^{-14}$  м они оказываются ничтожно малыми.

5. Энергия связи. Для удаления из ядра протона или нейтрона необходимо совершить работу по преодолению короткодействующих ядерных сил. В результате энергия системы "оставшееся ядро - удаленный нуклон" увеличивается на  $\Delta E$ , равную работе внешних сил.

Энергию, необходимую для полного разделения ядра на отдельные протоны и нейтроны, называют энергией связи ядра.

Согласно закону взаимосвязи массы и энергии, при этом увеличивается и масса частиц на

$$\Delta m = \frac{E}{c^2}.$$

Следовательно, масса ядра всегда меньше сумм масс составляющих его частиц, взятых в отдельности. В ядерной физике массу частиц выражают в атомных единицах массы. Атомная единица массы равна 1/12 массы атома изотопа углерода-12.

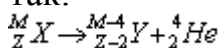
$$1 \text{ а.е.м.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

В таблице приведены массы некоторых стабильных ядер и элементарных частиц.

**Таблица**

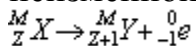
Символ ядра	Масса, а. е. м.	Символ ядра	Масса, а. е. м.
${}^1_0n$	1,008665	${}^{14}_7\text{N}$	14,003242
${}^1_1\text{H}$	1,007825	${}^{17}_8\text{O}$	16,999134
${}^4_2\text{He}$	4,002603	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,043933

Правило смещения. Превращения ядер подчиняются так называемому правилу смещения, и сформулированному впервые Содди: *при  $\alpha$ -распаде ядро теряет положительный заряд  $2e$  и масса его убывает приблизительно на четыре атомных единицы массы. В результате элемент смещается на две клетки к началу периодической системы.* Символически это можно записать так:



Здесь элемент обозначается, как и в химии, общепринятыми символами: заряд ядра записывается в виде индекса слева внизу символа, а атомная масса - в виде индекса слева вверху символа. Например, водород обозначается символом  ${}^1_1\text{H}$ . Для  $\alpha$ -частицы, являющейся ядром атома гелия, применяется обозначение  ${}^4_2\text{He}$  и т. д. При  $\beta$ -распаде из ядра вылетает электрон. В

результате заряд ядра увеличивается на единицу, а масса остается почти неизменной:



Здесь  ${}^0_{-1} e$  обозначает электрон: индекс "0" сверху означает, что масса его очень мала по сравнению с атомной единицей массы. После  $\beta$  - распада элемент смещается на одну клетку ближе к концу периодической системы. Гамма-излучение не сопровождается изменением заряда; масса же ядра меняется ничтожно мало.

Правила смещения показывают, что при радиоактивном распаде сохраняется электрический заряд и приближенно сохраняется относительная атомная масса ядер.

Возникшие при радиоактивном распаде новые ядра в свою очередь обычно также радиоактивны.

**Пример.** Пользуясь данными этой таблицы, подсчитаем энергию связи ядра атома гелия:  $\Delta E = \Delta m c^2$

Масса ядра гелия  ${}^4_2 \text{He}$  - 4,002603 а.е.м.

Масса отдельных нуклонов

$$2 \times {}^1_0 n = 2,017330 \text{ а.е.м.}$$

$$2 \times {}^1_1 \text{H} = 2,015650 \text{ а.е.м.}$$

---


$$4,032980 \text{ а.е.м.}$$

Разность масс:  $\Delta m = (4,032980 - 4,002603) \text{ а.е.м.} = 0,030377 \text{ а.е.м.}$ , а энергия связи:

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

Так как: 1 а.е.м. =  $1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ , а  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ , то  $\Delta E = 0,030377 \cdot 1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2$ , или  $\Delta E = 0,030377 \cdot 1,660566 \cdot 9 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$ .

В ядерной физике энергию принято выражать в электронвольтах. Так как  $1 \text{ эВ} = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ , то

$$\Delta E = 0,030377 \cdot \frac{1,660566 \cdot 9 \cdot 10^{-11}}{1,60219 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ}$$

Нетрудно заметить, что дробь

$$\frac{1,66056 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ Дж}}{1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ}} = 931 \cdot 10^9 \text{ эВ} = 931 \text{ МэВ}$$

не зависит от условия задачи. Поэтому в дальнейшем расчеты в атомных реакциях будем производить так:

$$\Delta E = \Delta m \text{ а.е.м.} \cdot 931 \text{ МэВ/а.е.м.}$$

Таким образом, энергия связи ядра атома гелия:

$$\Delta E = 0,030377 \text{ а.е.м.} \times 931 \text{ МэВ} \approx 28,2 \text{ МэВ}$$

Разделив полную энергию связи ядра атома на число нуклонов в нем, можно получить так называемую удельную энергию связи. Для ядра атома гелия удельная энергия связи равна  $28,2 \text{ МэВ} : 4 \approx 7 \text{ МэВ}$  на нуклон.

**Ответ:** удельная энергия связи для ядра атома гелия приблизительно равна 7 МэВ на нуклон.

## Практические занятия –

### № 20 Применение закона радиоактивного распада

Приборы и принадлежности: персональный компьютер. Цель работы: определение периода полураспада радиоактивного изотопа

Теоретическая часть — см М.Е.Блохина и др. «Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике»: «Дрофа», М., 2002, работа № 38

Для активации программы следует последовательно выполнить следующие 4 команды, завершая каждую командой «Enter»:

1. Пуск Дпрограммы → стандартные → командная строка → CD\
2. CDQBALL
3. RK
4. EFIM2

В данной имитационной работе исследуется зависимость активности радиоактивного изотопа как функции времени. Блок-схема установки, изображенная на мониторе, показана на рисунке 1. рисунок 1 Радиоактивный препарат находится в контейнере, отверстие в котором может перекрываться заслонкой. Счетчик Гейгера при закрытой заслонке регистрирует радиоактивное излучение фона, а при открытой — суммарное излучение препарата и фона. Активность препарата  $A = -\lambda dN/dt$  [имп/с] высвечивает счетчик импульсов. Таймер показывает время с момента открытия заслонки. Так как согласно закону радиоактивного распада  $N = N_0 \exp(-\lambda t)$ , то  $A = -\lambda dN/dt = A_0 \exp(-\lambda t)$ , (1) где  $A_0$  — начальная активность препарата,  $A$  — активность в момент времени  $t$ . Логарифмируя последнее выражение, приходим к равенству  $\ln A = \ln A_0 - \lambda t$  Таким образом, зависимость логарифма активности от времени  $t$  является линейной функцией с угловым коэффициентом, равным (с учетом знака) постоянной распада  $\lambda$ .

Управление установкой (функциональные клавиши, необходимые в процессе работы):

- Клавиша F10 служит для вывода на табло текущего значения активности радиоактивного излучения;
- Параметр T показывает текущее время, A — активность фона в этот момент времени. При измерении фона излучения K — текущий номер опыта, Ncp\_ среднее значение активности фона за K измерений;
- Клавиша F8 закрывает заслонку и обнуляет таймер.
- Клавиша F6 вводит в память компьютера среднее значение активности фона с целью последующего вычитания его из суммарного сигнала.
- Клавиша F9 обнуляет таймер, открывает заслонку, и вновь включает таймер;
- Клавиша F7 прекращает работу установки, а последующая команда EXIT -возвращает пользователя в оболочку «Windows»; нажатие клавиши «EFIM2» после F7 возобновляет работу программы.

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Начертите таблицу измерений. Число строк в таблице должно быть не менее 10-12. Таблица 1 Образец № Дата проведения опыта Среднее значение активности фона Время, с Активность, имп/с  $\ln A$
2. Нажав клавишу F10, вывести на экран текущее значение активности фона. Это измерение следует проделать несколько раз до тех пор, пока в среднем значении Ncp будет меняться только последняя значащая цифра. Последнее значение Ncp внести в начало таблицы. Туда же внести номер радиоактивного образца и дату проведения опыта
3. Нажав клавишу F6 ввести в память компьютера среднее значение активности фона.
4. Приступить в измерениям активности образца.

Для этого нажать клавишу F9, а затем. F10. Внести значение времени и активности в первую строку таблицы. 5. Приблизительно через каждые 100 с вновь нажать клавишу F10 и внести текущее значение времени и активность в следующую строку таблицы. 6. После проведения 10-12 измерений закончить работу, для чего нажать клавишу F7, а затем «Exit». 7. Прологарифмировать значения активности и внести полученные значения в третий столбец таблицы. Количество значащих цифр должно равняться при этом числу значащих цифр в значениях активности. 8. С помощью программы «Excel» построить график зависимости логарифма активности от времени, перенести в лабораторный журнал уравнение линейной регрессии, из него получить постоянную распада, а по ней — период полураспада  $T = \ln 2 / L$  Период выразить в минутах и записать в лабораторном журнале. Сделать выводы по результатам работы.

*№21 Ядерные реакции. Расчет дефекта масс, энергии связи ядра и ядерной реакции*

Энергия связи ядра численно равна работе, которую нужно затратить для расщепления ядра на отдельные нуклоны, или энергии, выделяющейся при синтезе ядер из нуклонов. Мерой энергии связи ядра является дефект массы.

Формула для расчета энергии связи ядра - это формула Эйнштейна: если есть какая-то система частиц, обладающая массой, то изменение энергии этой системы приводит к изменению ее массы.

$$E_{св} = \Delta m \cdot c^2$$

Здесь энергия связи ядра выражена произведением дефекта масс на квадрат скорости света.

В ядерной физике массу частиц выражают в атомных единицах массы (а.е.м.)

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Энергию связи можно рассчитать в Джоулях, подставляя в расчетную формулу массу в килограммах.

Однако, в ядерной физике принято выражать энергию в электронвольтах (эВ):

$$1 \text{ эВ} = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Просчитаем соответствие 1 а.е.м. электронвольтам:

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2 / \text{с}^2}{1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} / \text{эВ}} = 931 \text{ МэВ}$$

Теперь расчетная формула энергии связи (в электронвольтах) будет выглядеть так:

$$E_{св} = \Delta m \cdot 931 \text{ МэВ}$$



**ПРИМЕР РАСЧЕТА** энергии связи ядра атома гелия (He), где  $A = 4$ ,  $Z = 2$   
Считаем энергию связи ядра в электронвольтах (дефект масс в а.е.м.) по преобразованной формуле

$$E_{\text{св}} = \Delta m \cdot 931 \text{ МэВ}$$

1. Расчет дефекта масс

В ядре атома гелия содержится 2 протона и 2 нейтрона, значение массы ядра гелия и масс покоя протона и нейтрона берем из справочника.

$$M_{\text{я}} = 4,002603 \text{ а.е.м.}$$

$$2m_n = 2,01730 \text{ а.е.м.}$$

$$2m_p = 2,015680 \text{ а.е.м.}$$

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}$$

тогда

$$\Delta m = 4,032980 - 4,002603 = 0,030377 \text{ а.е.м.}$$

$$E_{\text{св}} = 0,030377 \text{ а.е.м.} \cdot 931 \text{ МэВ/а.е.м.} = 28,2 \text{ МэВ}$$

Удельная энергия связи ядра атома гелия:

$$\frac{E_{\text{св}}}{4} = \frac{28,2 \text{ МэВ}}{4} = 7 \text{ МэВ/нуклон}$$

, где 4 соответствует числу нуклонов в ядре атома гелия.

**Задания для самостоятельного выполнения - не предусмотрено**

**Форма контроля самостоятельной (внеаудиторной) работы:**

Тест

Вопрос 1

Что такое дефект масс?

- Это избыток массы ядра по сравнению с массой составляющих его нуклонов
- Это недостаток массы ядра по сравнению с массой составляющих его нуклонов
- Это эффект превращения массы в энергию
- Это неоднородность распределения массы в атоме

Вопрос 2

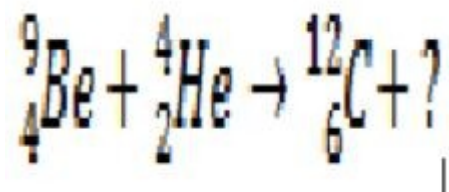
Определите удельную энергию связи Fe-56 (в МэВ). (Ответ округлите до десятых)

Вопрос 3

Найдите дефект масс для O-16 (в а.е.м. с точностью до тысячных).

#### Вопрос 4

В ядерной реакции, приведенной ниже, вместо знака вопроса...



#### Варианты ответов

- должна быть альфа-частица
- должна быть бета-частица
- должен быть гамма-квант
- должен быть нейтрон
- должен быть протон

#### Вопрос 5

Минимальная энергия, необходимая для расщепления ядра на отдельные нуклоны, называется

#### Вопрос 6

Какое количество энергии (в ТДж) выделится при уменьшении массы тела на 1 г?

#### Вопрос 7

По какой формуле можно рассчитать дефект массы?

#### Варианты ответов

- $\Delta m = \Delta E / c^2$
- $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}$
- $\Delta m = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}})c^2$
- Среди приведённых формул нет правильной

#### Вопрос 8

Определите энергию связи ядра изотопа  ${}^7_3\text{Li}$ , если масса его ядра равна 7,01601 а. е. м. Примите  $m_p = 1,00728$  а. е. м.,  $m_n = 1,00866$  а. е. м. (Ответ дайте с точностью до 4-х знаков после запятой)

#### Вопрос 9

Сопоставьте.

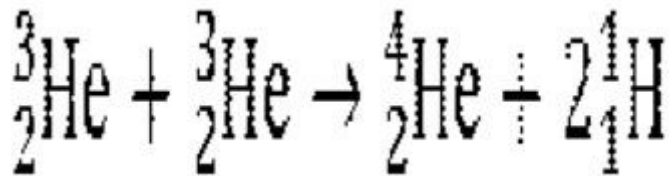
#### Варианты ответов

- Удельная энергия связи
- Энергетический выход

- Энергия связи
- Дефект массы

### Вопрос 10

Определите энергетический выход реакции: .  
(Ответ округлите до целого числа)



Вопросы для самоконтроля по теме - не предусмотрено

#### 4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Контроль и оценка результатов освоения учебной дисциплины осуществляется преподавателем в процессе проведения практических занятий и лабораторных работ, тестирования, а также выполнения студентами индивидуальных заданий, проектов, исследований.

Результаты обучения (метапредметные, предметные)	Формы и методы контроля и оценки результатов обучения
<p><b>метапредметные:</b></p> <p>– использование различных видов познавательной деятельности для решения физических задач, применение основных методов познания (наблюдения, описания, измерения, эксперимента) для изучения различных сторон окружающей действительности;</p>	<p>- экспертная оценка выполнения практического задания на практическом занятии;</p> <p>- экспертная оценка выполнения внеаудиторной самостоятельной работы;</p>
<p>– использование основных интеллектуальных операций: постановки задачи, формулирования гипотез, анализа и синтеза, сравнения, обобщения, систематизации, выявления причинно-следственных связей, поиска аналогов, формулирования выводов для изучения различных сторон физических объектов, явлений и процессов, с которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере;</p>	<p>- экспертная оценка результатов защиты практического задания;</p> <p>- экспертная оценка результатов защиты индивидуального проекта;</p> <p>- экзамен.</p>
<p>– умение генерировать идеи и определять средства, необходимые для их реализации;</p>	<p>- экспертная оценка результатов защиты практического задания;</p> <p>- экспертная оценка результатов защиты индивидуального проекта;</p>
<p>– умение использовать различные источники для получения физической информации, оценивать ее достоверность;</p>	<p>- экспертная оценка результатов защиты индивидуального проекта;</p> <p>- экзамен.</p>
<p>– умение анализировать и представлять информацию в различных видах;</p> <p>– умение публично представлять результаты собственного</p>	<p>- экспертная оценка выполнения практического задания на практическом занятии;</p> <p>- экспертная оценка выполнения внеаудиторной самостоятельной</p>

исследования, вести дискуссии, доступно и гармонично сочетая содержание и формы представляемой информации;	работы;
<p><b>• предметные:</b></p> <p>–сформированность представлений о роли и месте физики в современной научной картине мира; понимание физической сущности наблюдаемых во Вселенной явлений, роли физики в формировании кругозора и функциональной грамотности человека для решения практических задач;</p>	<p>- экспертная оценка выполнения практического задания на практическом занятии;</p> <p>- экспертная оценка выполнения внеаудиторной самостоятельной работы;</p>
<p>–владение основополагающими физическими понятиями, закономерностями, законами и теориями; уверенное использование физической терминологии символики;</p> <p>–владение основными методами научного познания, используемыми в физике:</p> <p>наблюдением, описанием, измерением, экспериментом;</p>	- экспертная оценка выполнения практического задания на практическом занятии;
<p>–умения обрабатывать результаты измерений, обнаруживать зависимость между физическими величинами, объяснять полученные результаты и делать выводы;</p> <p>–сформированность умения решать физические задачи;</p>	- экспертная оценка выполнения практического задания на практическом занятии;
–сформированность умения применять полученные знания для объяснения условий протекания физических явлений в природе, профессиональной сфере и для принятия практических решений в повседневной жизни;	<p>- экспертная оценка результатов защиты практического задания;</p> <p>- экспертная оценка результатов защиты индивидуального проекта;</p>
–сформированность собственной позиции по отношению к физической информации, получаемой из разных источников.	<p>- экспертная оценка результатов защиты практического задания;</p> <p>- экспертная оценка результатов защиты индивидуального проекта;</p> <p>- дифференцированный зачет.</p>

## ГЛОССАРИЙ

### **Абсолютная влажность**

Абсолютная влажность ( $p$ ) - парциальное давление водяных паров, содержащихся в воздухе, или количество водяных паров, содержащихся в 1 м<sup>3</sup> воздуха, выраженного в граммах.

**Абсолютный нуль температур** - температура, при которой прекращается тепловое движение молекул.

**Агрегатное состояние вещества** - состояние одного и того же вещества, переходы между которыми сопровождаются скачкообразным изменением ряда физических свойств.

**Активное сопротивление (R)** - сопротивление, в котором происходит превращение электрической энергии в другие виды энергий (внутреннюю, механическую, световую и др.).

**Аморфные тела** - твердые тела, не имеющие упорядоченного, периодического расположения частиц в пространстве.

**Амплитуда импульса** — максимальное мгновенное значение импульса напряжения.

**Амплитуда колебаний (A,  $x_{\max}$ )** - наибольшее значение, которого достигает какая-либо физическая величина, совершающая гармонические колебания.

**Атмосферное давление (p)** - давление, оказываемое на поверхность Земли ее воздушной оболочкой.

**Атом** - наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств.

**Броуновское движение** - беспорядочное движение малых частиц, взвешенных в жидкости или газе, происходящее под действием молекул.

**Влажность (кг/м<sup>3</sup>)** - содержание водяного пара в воздухе.

**Внутренняя энергия идеального одноатомного газа** - суммарная кинетическая энергия теплового движения атомов газа.

**Внутренняя энергия тела (U)** - сумма энергии хаотического (теплового) движения всех микрочастиц тела (молекул, атомов, ионов и т. д.) и энергии взаимодействия этих частиц.

**Волновая поверхность гармонической волны** - геометрическое место колеблющихся в одинаковых фазах точек среды, в которой распространяется волна.

**Волны** - возмущения (изменение состояния среды или поля), распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью.

**Второй закон Ньютона** - ускорение, которое возникает у тела в процессе взаимодействия, прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально массе тела.

**Второй закон фотоэффекта.** Максимальная кинетическая энергия, вырываемых светом электронов, возрастает линейно с частотой и не зависит от интенсивности.

**Вынужденные колебания** - колебания, возникающие в какой-либо системе под влиянием переменного внешнего воздействия. Характер вынужденных колебаний определяется как свойствами внешнего воздействия, так и свойствами самой системы.

**Вынужденные электромагнитные колебания** - периодическое изменение силы тока и напряжения в электрической цепи, происходящие под действием внешней переменной ЭДС от внешнего источника.

**Сила Ампера (FA)** - сила, действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле.

**Гармоническая волна** - волна, при которой точки среды совершают гармонические колебания.

**Температура кипения** - температура жидкости, при которой давление ее насыщенного пара равно или превышает внешнее давление.

**Плавление** - процесс перехода вещества из твердого (кристаллического) состояния в жидкое.

**Поперечная волна** - волна, направление распространения которой перпендикулярно смещению колеблющихся частиц среды.

**Длительность импульса** — интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.

**Механическое движение** - изменение положения одного тела относительно другого со временем.

**Электрон (e)** - частица, имеющая наименьший отрицательный элементарный заряд:  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31}$  кг.

**Напряжение относительно земли** — Напряжение относительно точки земли, находящейся вне зоны растекания тока замыкания на землю

**Первый закон Ньютона** - постулат существования инерциальных систем отсчета.

**Закон Гука.** Относительное удлинение прямо пропорционально механическому напряжению.

**Емкостное сопротивление (xc)** - сопротивление, оказываемое переменному току конденсатором.

**Закон сохранения импульса тела** - векторная сумма импульсов тел в замкнутой системе остается постоянной при любых взаимодействиях этих тел между собой.

**Закон Архимеда** - на погруженное в жидкость или газ тело действует выталкивающая сила, численно равная весу жидкости (газа), вытесненной этим телом, и приложенная к центру тяжести вытесненного телом объема жидкости (газа).

**Удельная теплота парообразования (L)** - величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо, чтобы обратить жидкость массой 1 кг в пар без изменения температуры.

**Градус** (лат. слово gradus – “шаг”, “ступень”). Единица измерения плоского угла, равная 1/90 части прямого угла. Измерение углов в градусах появилось

более 3 лет назад в Вавилоне. Обозначения, напоминающие современные, использовались древнегреческими ученым Птолемеем.

**Кинетическая энергия ( $E_k$ )** - энергия движущегося тела, равная  $mv^2/2$

**Вынужденные электромагнитные колебания** - периодическое изменение силы тока и напряжения в электрической цепи, происходящие под действием внешней переменной ЭДС от внешнего источника.

**Теплопередача** - процесс изменения внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом.

**Жидкость** - агрегатное состояние вещества, промежуточное между твердым и газообразным. Жидкости сохраняют свой объем и принимают форму сосуда.

**Твердые тела** - агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью формы и объема при постоянной температуре.

**Импульс тела ( $p$ )** - физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость.

**Мощность ( $P, N$ )** - величина, характеризующая скорость выполнения работы. Она равна отношению совершенной работы ко времени, за которое она выполнена.

**Тело отсчета** - тело, относительно которого наблюдается движение.

**Электролиты** - химические вещества и системы, в которых прохождение электрического тока осуществляется за счет движения ионов и сопровождается электролизом.

**Напряжение ( $U$ )** - разность потенциалов между двумя точками, которое равно отношению работы поля при перемещении заряда из начальной точки в конечную, к величине этого заряда

**Длина волны ( $\lambda$ )** - расстояние, на которое распространяется колебание за время одного периода ( $T$ ).

**Первый закон термодинамики (первая формулировка)**. Изменение внутренней энергии тела (системы) при переходе из одного состояния в другое равно сумме совершенной над телом работы и полученного им количества теплоты.

**Испарение** - парообразование со свободной поверхности жидкости при любой температуре.

**Источник тока** - устройство, в котором действуют сторонние силы по разделению электрических зарядов.

**Атмосферное давление ( $p$ )** - давление, оказываемое на поверхность Земли ее воздушной оболочкой.

**Магнитное поле** - особый вид материи, специфической особенностью которой является способность действовать на движущийся заряд, проводники с током, тела, обладающие магнитным моментом, с силой, зависящей от вектора скорости заряда, направления силы тока в проводнике и от направления магнитного момента тела.



**Мгновенная скорость ( $v$ )** - векторная величина, характеризующая быстроту перемещения и равная отношению перемещения ко времени, за которое это перемещение произошло, при условии  $\Delta t \rightarrow 0$ .

**Молекулярно-кинетическая теория** объясняет свойства макроскопических тел и тепловых процессов, протекающих в них, на основе представлений о том, что все тела состоят из отдельных беспорядочно движущихся частиц.

**Невесомость** - отсутствие давления на подставку тела, расположенного на ней, или на подвес.

**Молярная масса ( $n$ )** - масса одного моля вещества.

**Ненасыщенный пар** - пар, находящийся при давлении ниже давления насыщенного пара.

**Парообразование** - процесс перехода вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное.

**Работа механическая ( $A$ )** - физическая величина, равная произведению силы, перемещения и косинуса угла между направлением действия силы и перемещением.

**Сила Ампера ( $F_A$ )** - сила, действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле.

**Сила Лоренца ( $F_L$ )** - сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле.

**Сила тока ( $I$ )** - величина, характеризующая электрический ток. Сила тока равна отношению заряда  $q$ , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени  $\Delta t$ , к этому интервалу времени. Сила тока измеряется в СИ в амперах (А).

**Средняя скорость ( $v_{ср}$ )** - величина, равная отношению перемещения ко времени, за которое это перемещение произошло.

**Температура ( $T$ ,  $t^\circ$ )** - величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и пропорциональная средней кинетической энергии частиц системы.

**Теплопроводность** - передача тепла в телах, не сопровождаемая перемещением составляющих их частиц. При теплопроводности перенос энергии осуществляется в результате непосредственной передачи энергии от частиц (молекул, атомов, электронов), обладающих большей энергией, частицам с меньшей энергией.

**Теплоемкость тела ( $C$ )** - количество теплоты, которое нужно сообщить данному телу, чтобы повысить его температуру на один градус.

**Тепловое движение** - беспорядочное (хаотическое) движение микрочастиц, из которых состоят все тела.

**Удельная теплоемкость ( $c$ )** - физическая величина, показывающая, какое количество теплоты требуется для изменения температуры вещества массой 1 кг на  $1^\circ\text{C}$ .

**Фаза колебаний ( $\phi$ )** - аргумент функции, описывающий величину, изменяющуюся по закону гармонического колебания. Фаза гармонических колебаний - величина безразмерная и выражается в радианах.

**Частота колебаний ( $\nu$ )** - физическая величина  $\nu$ , равная числу полных колебаний, совершаемых за единицу времени. С периодом колебаний  $T$  связана соотношением  $\nu = 1/T$ . Единица частоты колебаний в СИ - герц (Гц).

**Квантовая механика** - раздел физики, изучающий движение микроскопических тел, таких как отдельные атомы и элементарные частицы

**Мгновенная скорость** - векторная величина, равная первой производной перемещения движущейся точки по времени и направленная по касательной к траектории в каждой ее точке

**Первый закон Ньютона** - существуют такие системы отсчета, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на нее не действуют другие тела или действия тел компенсируются

**Инерция** - явление сохранения скорости тела постоянной или равной нулю при условии отсутствия действия на тело других тел

**Сила упругости** - сила, возникающая в деформируемом теле и противодействующая действию внешней силы

**Закон Паскаля** - давление в любом месте покоящейся жидкости одинаково по всем направлениям.

**Закон Архимеда** - на тело, погруженное в жидкость или газ, действует со стороны этой жидкости направленная вверх выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости

**Собственная частота** - частота, с которой совершаются свободные колебания в отсутствии сопротивления.

**Вынужденные колебания** - колебания, происходящие под действием внешней силы.

**Резонанс** - явление возрастания амплитуды вынужденных колебаний при приближении частоты вынуждающей силы к некоторой определенной для данной системы частоты.

**Длина волны** - расстояние, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний

**Электрический заряд** - физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия частиц

**Закон Кулона** - сила взаимодействия  $F$  двух неподвижных точечных зарядов пропорциональна величине каждого из зарядов  $q_1$  и  $q_2$  и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними  $r$ :  $F = k (q_1 q_2) / r^2$

**Сила тока** - количественная характеристика электрического тока, определяемая величиной заряда, переносимого через рассматриваемую поверхность в единицу времени:  $I = dq/dt$

**Закон Ома** - сила тока, текущего по однородному (в смысле отсутствия сторонних сил) проводнику, пропорциональна падению напряжения на проводнике:  $I = U/R$

**Закон Ампера** - сила, действующая на элемент длины  $dl$  проводника с током  $I$ , помещенный в магнитное поле с магнитной индукцией  $B$ , равна  $dF = I [dlB]$

**Сила Лоренца** - результирующая сила, действующая на заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $v$ , со стороны магнитного поля с индукцией  $B$  и электрического поля с напряженностью  $E$ :  $F=qE+q[vB]$

**Электромагнитная волна** - взаимосвязанное распространение в пространстве изменяющихся электрического и магнитного полей

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразовательных учреждений: базовый и профильный уровни /Мякишев Г.Я, Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. – 16-е изд. – М.: Просвещение, 2017. – 366 с.

2.Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2017- 210 с.

3.Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб.пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2017 — 86 с.

4. Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Контрольные материалы: учеб.пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2018 - 74 с.

5. Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Лабораторный практикум: учеб.пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2019 – 93 с.

6.Касьянов В.А. Иллюстрированный атлас по физике: 10 класс.— М., 2018.—73 с .

7.Касьянов В.А. Иллюстрированный атлас по физике: 11 класс. — М., 2018.—78 с.

8.Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: Сборник задач: учеб. Пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2017 - 132 с.

6.Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: Решения задач: учеб. Пособие для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО. – М., 2019 - 93 с.

7.Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Физика. Справочник. — М., 2017.—65 с.

8.Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: учебник для студентов профессиональных образовательных организаций, осваивающих профессии и специальности СПО/под ред. Т.И. Трофимовой. – М., 2017.— 196 с.

### **Интернет-ресурсы**

1. [www. fcior. edu. ru](http://www.fcior.edu.ru) (Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов).

2. [www. dic. academic. ru](http://www.dic.academic.ru) (Академик. Словари и энциклопедии).

3. [www.booksgid.com](http://www.booksgid.com) (BooksGid.Электронная библиотека).
  4. [www.globalteka.ru](http://www.globalteka.ru) (Глобалтека.Глобальная библиотека научных ресурсов).
  5. [www.window.edu.ru](http://www.window.edu.ru) (Единое окно доступа к образовательным ресурсам).
  6. [www.st-books.ru](http://www.st-books.ru) (Лучшая учебная литература).
  7. [www.school.edu.ru](http://www.school.edu.ru) (Российский образовательный портал.Доступность, качество, эффективность).
  8. [www.ru/book](http://www.ru/book) (Электронная библиотечная система).
  9. [www.alleng.ru/edu/phys.htm](http://www.alleng.ru/edu/phys.htm) (Образовательные ресурсы Интернета — Физика).
  10. [www.school-collection.edu.ru](http://www.school-collection.edu.ru) (Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов).
  11. <https://fiz.1september.ru> (учебно-методическая газета «Физика»).
  12. [www.n-t.ru/nl/fz](http://www.n-t.ru/nl/fz) (Нобелевские лауреаты по физике).
  13. [www.nuclphys.sinp.msu.ru](http://www.nuclphys.sinp.msu.ru) (Ядерная физика в Интернете).
  14. [www.college.ru/fizika](http://www.college.ru/fizika) (Подготовка к ЕГЭ).
  15. [www.kvant.mccme.ru](http://www.kvant.mccme.ru) (научно-популярный физико-математический журнал «Квант»).
  16. [www.yos.ru/natural-sciences/html](http://www.yos.ru/natural-sciences/html) (естественно-научный журнал для молодежи «Путь в науку»).
8. Книги. [http://www.ozon.ru/context/div\\_book/](http://www.ozon.ru/context/div_book/)
  9. Лучшая учебная литература. <http://st-books.ru>
  10. Российский образовательный портал. Доступность, качество, эффективность. <http://www.school.edu.ru/default.asp>
  11. Электронная библиотечная система <http://book.ru/>