

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Физика»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Физика

Направление подготовки (специальность) 35.03.01 Лесное дело

Профиль образовательной программы Лесное хозяйство

Форма обучения заочная

Оренбург 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

- 1. Конспект лекций**
- 1.1 Лекция № 1** Физические основы механики. Молекулярная физика и термодинамика
- 1.2 Лекция № 2** Электричество и электромагнетизм
- 1.3 Лекция № 3** Волновая и квантовая оптика
- 2. Методические указания по выполнению лабораторных работ**
- 2.1 Лабораторная работа № 11.1, 13.1 ЛР-11.1, 13.1** Определение момента инерции шатуна и диска
- 2.2 Лабораторная работа № 5.3 ЛР-5.3** Последовательное и параллельное соединение проводников
- 2.3 Лабораторная работа № 5.1 ЛР-5.1** Опыты Резерфорда

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция №1 (2 часа)

Тема: Физические основы механики. Молекулярная физика и термодинамика.

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Предмет физики и законы физики. Динамика поступательного движения
2. Механическая работа, энергия, мощность.
3. Динамика вращательного движения.
4. Механические колебания и волны.
5. Элементы механики жидкостей.
6. Основы молекулярной физики и термодинамики.
7. Реальные газы и жидкости.

1.1.2 Краткое содержание вопросов

1. Предмет, задачи и цели физики.

Физика – это наука, изучающая простые и вместе с тем, наиболее общие свойства материи.

Главная цель физики – выявить и объяснить основные законы, которым подчиняются все явления в природе. Причем по мере развития наших взглядов на окружающий мир основные законы упрощаются. Процесс познания бесконечен.

Природа чрезвычайно многообразна, и то, что существует вокруг нас, называется материей. *Материя* – это философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в его ощущениях, а также копируется, фотографируется, отражается нашим ощущениям, существуя независимо от них. В настоящее время выделяют следующие *виды материи*:

1. Элементарные частицы.
2. Совокупность малого числа элементарных частиц (атомы, молекулы).
3. Физические тела (совокупность атомов и молекул).
4. Физические поля (посредством которых осуществляется взаимодействие элементарных частиц).

Неотъемлемым свойством материи является *движение*. Различают различные формы движения материи. Классификация наук определяется классификацией форм движения материи. Они присущи как неживой, так и живой природе, всем физическим, химическим и биологическим процессам.

К физическим формам движения материи относятся механические, атомно – молекулярные, гравитационные, электромагнитные, внутриатомные и внутриядерные процессы.

Физические процессы входят как составные части в более сложных формах движения (жизни растений, животных, человека). В частности биологические процессы могут сопровождаться физическими процессами (движение крови по сосудам, возникновение биопотенциалов и т.д.). Поэтому *предметом исследований физики являются общие закономерности всех явлений природы*.

Физическая величина – это свойство общее в качественном отношении для многих физических объектов, но строго индивидуальное в количественном отношении для каждого объекта.

Физический закон – это устойчивая, многократно повторяющаяся связь между физическими величинами, присущая природе явлений. История физики показывает, что хорошо обоснованные законы физики при дальнейшем развитии физики и при появлении новых фактов «не отменяются», а становятся частным случаем некоторых более общих законов (классическая механика Ньютона → релятивистская физика).

Связь физики с другими дисциплинами. Основные методы исследования физики.

Физика – наука о природе. Это одна из самых древних наук. И если раньше она включала в себя естественные науки, то впоследствии из физики выделились как самостоятельные науки: география, астрономия, химия, биология и т. д. Резкой границы между физикой и другими естественными науками не существует.

В последнее время происходит быстрое развитие наук, лежащих на стыке естественных наук: геофизика, астрофизика, биофизика. Всё это свидетельствует о том, что физика является фундаментом как для всех естественных, так и прикладных наук.

Различают следующие методы физических исследований:

1. *Наблюдение*. Более высокой степенью наблюдения является опыт.
2. Построение *гипотезы* – это научное предположение о сущности явления.
3. Проведение *научного эксперимента*. Если эксперимент подтверждает гипотезу, то она становится научной теорией.
4. Проверка *теории практикой*.

Физика тесно связана с техникой и связь эта взаимная.

Динамика поступательного движения

Динамика изучает движение тел в связи с теми причинами, которые обуславливают тот или иной характер движения. В основе классической механики лежат три закона динамики, сформулированные Ньютоном в 1687 году.

1 Законы Ньютона.

1 закон: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока на него не подействуют другие тела и не выведут из этого состояния.

Система отсчета, в которой выполняется 1 закон Ньютона, называется *инерциальной*.

Инерциальных систем существует бесконечное множество. Любая система отсчета,

движущаяся относительно некоторой инерциальной системы прямолинейно и равномерно, будет также инерциальной.

Масса – физическая величина, являющаяся мерой инертности тела.

Инертность – свойство тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Единица измерения массы – 1 кг (килограмм).

Масса является величиной **аддитивной**, т.е. масса системы тел равна сумме масс каждого тела, входящего в систему: $m = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$

Сила – векторная физическая величина, характеризующая меру действия одного тела на другое.

Единица измерения силы – 1 Н (Ньютон).

2 закон: ускорение тела прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально массе тела.

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

Если на тело одновременно действуют несколько сил, то под силой в формуле, выражающей второй закон Ньютона, нужно понимать **равнодействующую всех сил**:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

3 закон: силы F_1, F_2 , с которыми взаимодействуют два тела, равны по модулю и противоположны по направлению.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Импульс тела – векторная физическая величина равная произведению массы тела на его скорость.

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Запишем 2 закон Ньютона в иной форме.

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

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{m d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad \text{— 2 закон Ньютона (др. форма)}$$

Таким образом, 2 закон Ньютона можно сформулировать так: *производная импульса тела по времени равна действующей на него силе (результатирующей сил).*

Рассмотрим механическую систему из n тел, массы и скорость которых равны m_1, m_2, \dots, m_n и v_1, v_2, \dots, v_n .

Если система замкнута, то внешние силы отсутствуют

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0.$$

Следовательно

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$$

Таким образом: импульс замкнутой системы сохраняется.

Центром масс системы материальных точек называется точка C , положение которой в пространстве

задается радиус-вектором \vec{R}_c , определяемым следующим образом $\vec{R}_c = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{M}$

$$\text{Найдем скорость центра масс. } \vec{V}_c = \frac{d\vec{R}_c}{dt} = \frac{\sum m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt}}{M} = \frac{\sum m_i \vec{v}_i}{M} = \frac{\vec{p}}{M}$$

Или $\vec{p} = M\vec{V}_c$

т. е. импульс системы равен произведению массы системы на скорость ее центра масс.

2. Механическая работа, энергия, мощность.

Элементарная работа (работа на малом участке пути):

$$\delta A = F \cdot ds \cdot \cos \alpha \quad \text{или в скалярном виде: } \delta A = (\vec{F} \cdot d\vec{s}).$$

Работа на участке траектории:

$$A = \int F ds \cos \alpha \quad \text{или} \quad A = \int F_s ds$$

Если тело движется прямолинейно, а сила и угол постоянны, то $A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ или

$$A = (\vec{F} \cdot \vec{s})$$

Мощность - скорость совершения работы.

$$N = \frac{dA}{dt} \quad (\text{производная работы})$$

$$N = \frac{d(Fs)}{dt} = \frac{Fds}{dt} = Fv$$

Виды энергий в механике.

1. *Кинетическая энергия* – энергия тела связанная с его движением: $T = \frac{mv^2}{2}$,

Связь работы и кинетической энергии: $A = T_2 - T_1 = \Delta T$.

2. *Потенциальная энергия* – энергия взаимодействия тел.

Потенциальная энергия поднятого тела: $U = mgh$,

Потенциальная энергия сжатой (растянутой) пружины: $U = \frac{kx^2}{2}$,

Связь работы и потенциальной энергии: $A = -(U_2 - U_1) = -\Delta U$.

Полная механическая энергия: $E = T + U$

Сила, работа которой не зависит от траектории перемещения, а зависит только от начального и конечного положений тела, называется **консервативной**.

Механическая система называется **консервативной**, если в ней действуют только консервативные силы,

Закон сохранения энергии: в консервативных системах при отсутствии внешнего воздействия полная механическая энергия сохраняется.

Связь между силой и потенциальной энергии.

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x} \quad F_y = -\frac{\partial U}{\partial y} \quad F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

Или в векторном виде $\vec{F} = -\text{grad}U$

3. Динамика вращательного движения.

Твёрдое тело мы рассматриваем как систему n материальных точек, при $n \rightarrow \infty$.

Абсолютно твёрдым телом называется тело, в котором при движении взаимное расположение точек не изменяется.

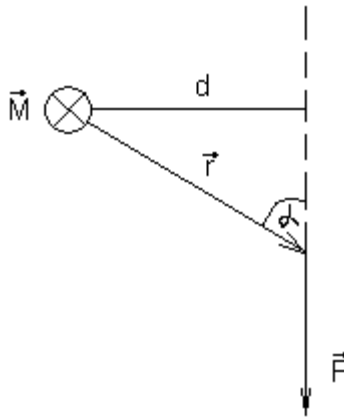
В кинематике мы ввели понятие: угловая скорость, угловое ускорение. Результат действия силы при вращательном движении зависит от величины силы, а так же от точки приложения и направления действия силы. Поэтому для описания действия силы вводится понятие *момента силы*.

Моментом силы называется величина, равная векторному произведению радиус – вектора, проведенного в точку приложения силы на вращающую силу:

$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}]$$

\vec{M} – псевдовектор, его направление совпадает с направлением поступательного движения правого винта при его вращении от \vec{r} к \vec{F} . Векторы, направления которых связываются с направлением вращения, называются *псевдовекторами* или *аксиальными* векторами. Эти векторы не имеют определенных точек приложения: они могут откладываться из любой точки оси вращения.

Под *вращающей силой* понимается проекция силы на касательную к окружности, вдоль которой двигается точка приложенной силы.



Таким образом:

$$M = F \cdot r \cdot \sin \alpha = F \cdot d$$

d – плечо силы, есть кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы. Чтобы найти плечо силы необходимо опустить перпендикуляр от оси вращения на линию действия силы. В СИ единицей измерения момента силы является **$H \cdot м$** .

8.3. Основное уравнение динамики вращательного движения

Запишем второй закон Ньютона для массы m_i : $F_i = m_i a_i$. Заменяем $a_i = [\beta r]$ и умножим обе части уравнения на r_i – текущую координату: $r_i \cdot F_i = m_i \beta [r_i r_i]$, здесь $[F \cdot r_i] = M_i$. Обозначим, $m_i r_i^2 = I_i$, то получим $M_i = [I_i \cdot \beta]$.

Величина равная произведению массы материальной точки на квадрат расстояния её до оси вращения называется *моментом инерции материальной точки* $m_i r_i^2 = I_i$.

Чтобы перейти к твёрдому телу необходимо такие уравнения записать для всех точек, составляющих это тело и просуммировать все уравнения $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \sum_{i=1}^n I_i \cdot \beta$ величина, $\sum_{i=1}^n M_i = M_{рез}$ – результирующий момент сил. I – момент инерции твёрдого тела равен сумме моментов инерций всех материальных точек тела:

$$I = I_1 + I_2 + \dots I_n = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots m_n r_n^2$$

То момент силы равен произведению момента инерции тела на его угловое ускорение:

$$M = I \cdot \beta$$

Уравнение (8.3) называется *основным уравнением динамики вращательного движения*. Во вращательном движении $\beta = \frac{M}{I}$ – второй закон Ньютона для вращающегося твёрдого тела. Роль силы играет момент сил. Мерой инертности твердого тела вращательного движения является момент инерции.

Момент инерции твёрдого тела. Способы его вычисления.

Момент инерции твёрдого тела находится, как сумма моментов инерции всех материальных точек из которых состоит тело:

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

В случае непрерывного распределения масс (тело правильной геометрической формы) эта сумма сводится к интегралу:

$$I = \int_V r^2 dm$$

Момент инерции тела зависит от массы тела и распределения этой массы вокруг оси вращения.

Пример 1. Момент инерции шара

$$I_{\text{ш}} = \frac{2}{5} MR^2$$

Пример 2. Момент инерции стержня, относительно центра вращения

$$I_o = \frac{1}{12} ML^2$$

где L – длина стержня.

Пример 5. Момент инерции стержня, относительно конца стержня

$$I_o = \frac{1}{3} ML^2$$

Если ось вращения проходит не через центр вращения тела, то можно применять теорему Штейнера:

$$I = I_o + md^2$$

Теорема Штейнера: Момент инерции, относительно оси, не проходящей через центр тяжести, равен сумме момента инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести и произведению массы тела на квадрат расстояния между осями.

Если тело неправильной геометрической формы, то момент инерции можно найти косвенным путём: используя закон сохранения энергии; период колебания физического маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgr}}$ и

т.д..

Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.

Уравнение динамики вращательного движения можно записать в другом виде

$$\vec{M} = I \cdot \vec{\beta} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} \Rightarrow \vec{M} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt}. \text{ Величина } I\vec{\omega}, \text{ равная произведению момента инерции на}$$

его угловую скорость называется *моментом импульса*. Момент импульса обладает очень важной особенностью – в изолированной системе сумма моментов импульсов всех тел есть величина постоянная

(закон сохранения момента импульса). Если система изолированная, то $\sum_{i=1}^n M_i = 0 \Rightarrow$

$$\sum_{i=1}^n I_i \omega_i = \text{const} \quad (9.1)$$

Уравнение (9.1) есть закон сохранения момента импульса.

Причем $I\vec{\omega}$ – величина векторная и неизменными остаётся не только величина момента импульса, но и его направление.

9.2. Кинетическая энергия вращающегося тела. Кинетическая энергия катящегося тела.

Рассмотрим абсолютно твёрдое тело, вращающегося с угловой скоростью ω (см. рис. 13). Все точки тела вращаются с одинаковой угловой скоростью и обладают кинетической энергией. *Кинетическая энергия вращающегося тела* складывается из кинетической энергии всех материальных точек:

$$E_k = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i \omega_i^2 r_i^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \Rightarrow$$

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2} \quad (9.2)$$

9.3. Кинетическая энергия катящегося тела

Если тело одновременно участвует в поступательном и вращательном движениях, то его кинетическая энергия равна сумме кинетических энергий поступательного движения и вращения (например, цилиндр, скатывающийся с наклонной плоскости без скольжения):

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} \quad (9.3)$$

Данное положение учитывают при решении многих практических задач.

4. Механические колебания и волны.

Самые распространенные виды движений, встречающиеся в природе и в технике это повторяющиеся движения: возвратно-поступательно движется поршень двигателя внутреннего сгорания, раскачиваются стволы и листья деревьев от ветра, чередуются приливы и отливы в морях и океанах,

движется кровь по сосудам и т.д. Во всех этих случаях тело или система тел многократно отклонялось от своего состояния равновесия, вновь возвращаются к нему. Такие движения называются *колебательными*.

Многие процессы, происходящие в мире, начиная с атома и кончая живыми организмами, имеют колебательный характер. Вероятно, нельзя назвать такую область науки и техники, которая не имела бы дело с колебательными движениями.

Несмотря на огромное разнообразие колебательных процессов, по физической природе они подчиняются одним и тем же законам.

В зависимости от характера колебательные движения делятся на *гармонические* и *негармонические*.

Гармоническим называется такое колебание, когда колеблющаяся величина изменяется во времени по закону синуса или косинуса с постоянной амплитудой и частотой. Во всех остальных случаях колебания будут негармоническими.

Гармоническое колебательное движение и его характеристики.

Согласно определению, при гармонических колебаниях смещение колеблющейся точки изменяется по закону синуса или косинуса:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

где x – смещение колеблющейся точки;

A – амплитуда колебания, т. е. наибольшее смещение колеблющейся точки от положения равновесия;

ω – круговая (циклическая) частота;

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

T – период колебаний (время одного полного колебания);

$$T = \frac{1}{\nu}$$

ν – обычная частота (число колебаний в единицу времени).

Подставляя (10.3) в (10.2) получим:

$$\omega = 2\pi\nu$$

Формула выражает связь циклической частоты с обычной частотой. В СИ ν измеряется в герцах (Гц).

$(\omega t + \varphi_0)$ – фаза колебания; величина, определяющая положение колеблющейся точки и направление её движения в данный период времени;

φ_0 – начальная фаза;

Любое колебательное движение происходит с ускорением. Причина ускорения сила и тогда получаем: $F = ma = m\omega^2 x = -kx$.

Таким образом, при гармонических колебаниях возвращающая сила пропорциональна смещению x . Если колебание совершается под действием упругой силы, то колебания называются *упругими* и коэффициент $k = m\omega^2$ называется *коэффициентом упругости или жёсткости*. Если возвращающая сила неупругая, то колебания называются *квазиупругими*, а коэффициент k называют *коэффициентом квазиупругости*.

М а я т н и к и

Пружинный маятник – это груз массой m , подвешенный на абсолютно упругой пружине и совершающий гармонические колебания.

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

Формула – *период колебаний пружинного маятника*. Период колебаний пружинного маятника зависит от свойств самой системы. Амплитуда будет зависеть от энергии, сообщённой этому маятнику.

Математический маятник – материальная точка, подвешенная на невесомой, нерастяжимой нити, способная совершать колебания в поле тяжести Земли.

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

Формула период колебаний математического маятника.

Из формулы следует, что:

1. Период колебания маятника не зависит от амплитуды и массы маятника.

2. Период колебания зависит от длины маятника и ускорения свободного падения.

Следует отметить, что плоскость колебания маятника в пространстве сохраняется.

Физический маятник – это твердое тело, совершающее колебания под действием силы тяжести относительно горизонтальной оси.

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

Где $L = \frac{I}{mr}$ – приведенная длина физического маятника. Приведенная длина физического

маятника равна длине такого математического маятника, у которого период колебаний такой же, как и у физического маятника.

Полная энергия гармонического колебания

Энергия тела массой m , колеблющегося под действием упругой силы в любой момент складывается

из кинетической энергии $E_k = \frac{mv^2}{2}$ и потенциальной $E_k = \frac{kx^2}{2}$, т.е. $E_n = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$.

Заменим $v = A\omega(\cos + \varphi_0)$ и $x = A\sin(\omega t + \varphi_0)$, а также учитывая, что $k = m\omega^2$ получим:

$$E_n = \frac{mA^2\omega^2 \cos^2 \omega t}{2} + \frac{mA^2\omega^2 \sin^2 \omega t}{2} = \frac{kA^2}{2}$$

$$E_n = \frac{kA^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2}$$

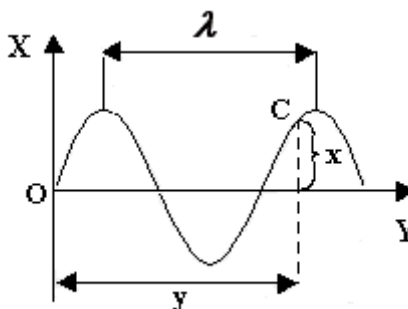
Таким образом, *полная энергия гармонического колебания* зависит от квадрата амплитуды колебаний и квадрата круговой частоты. Полная энергия остается постоянной, т.к. при гармонических колебаниях справедлив закон сохранения и превращения механической энергии.

Волны в упругой среде.

Процесс распространения колебаний в среде называется *волновым процессом*. При волновом процессе происходит передача энергии колебаний от точки к точке, но без переноса вещества. В среде возникают вынужденные колебания с частотой равной частоте колебаний источника. Область ограниченная этим процессом называется волновой областью. Геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени t называется *волновой поверхностью* или *фронтом волны*. На фронте волны все точки имеют одинаковые фазы колебаний. Линия, вдоль которой распространяется волна, называется *лучом*. Луч всегда перпендикулярен фронту волны. Волны бывают *поперечные* и *продольные*. Если колебания совершаются перпендикулярно направлению волны, то волны называются поперечными. Если колебания совершаются вдоль направления распространения волн, то такие волны называются продольными.

. Уравнение бегущей волны.

Узнать, как колеблется каждая точка волновой области можно с помощью уравнения волны.



Пусть источник колебания совершает колебания по закону $x = A\sin \omega t$, то в среде возникают колебания, и если среда упругая, то не происходит потери энергии $A = \text{const}$, а колебание всех точек среды будут происходить с той же частотой. Значит в некоторой точке, пусть к примеру C (см. рис. 23), через время t' возникают колебания:

$$x = A\sin \omega(t - t')$$

где $t' = \frac{y}{v}$ – время распространения колебаний от О до С, т.е. время за которое волна прошла путь y со скоростью v , а значит:

$$x = A \sin\left(\omega t - \frac{\omega y}{v}\right) = A \sin\left(\omega t - \frac{2\pi y}{T v}\right)$$

$$x = A \sin\left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda}\right)$$

$$x = A \sin(\omega t - k y)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ называется *волновым числом*. λ

Все записи уравнений (12.2), (12.3), (12.4) однозначны и называются *уравнениями бегущей волны*.

Интенсивность волны – это количество энергии переносимой волной через единичную площадку расположенную нормально к лучу за единицу времени $I \sim k A^2$.

Для волнового процесса присуще: отражение, преломление, дифракция (огибание препятствий), интерференция (наложение волн).

Особый интерес представляет наложение 2-х волн, бегущей и отражённой от поверхности. В некоторых случаях возникают *стоячие волны* (если на длине замкнутого пространства уложить целое число полуволн). В стоячей волне колебания всех точек не изменяется во времени.

Уравнение стоячей волны:

$$x = 2A \cos \frac{2\pi y}{\lambda} \sin \omega t$$

5. Элементы механики жидкостей.

Гидродинамика идеальной жидкости.

Гидродинамика – раздел механики, в котором изучают движение жидкостей и явления, происходящие при движении в жидкости твёрдых тел.

В отличие от твёрдого тела в жидкости возможны значительные смещения составляющих её частиц относительно друг друга. Поэтому жидкость благодаря текучести, может принимать форму того сосуда, или русла в котором она находится или движется.

Говоря о реальной жидкости можно сказать, что:

1) Реальная жидкость *сжимаема*: её объём уменьшается, а плотность увеличивается с повышением давления. Все жидкости в той или иной степени сжимаемы, но их сжимаемость незначительна.

НАПРИМЕР: при повышении давления от 10^5 до 10^7 Па (1-100 атм) плотность воды увеличивается всего лишь на 0,5 %. Конечно, при движении жидкостей по трубам или в открытых руслах, таких больших перепадов обычно не возникает. Поэтому при рассмотрении многих законов гидродинамики сжимаемостью жидкостей можно пренебречь

2) Реальная жидкость *вязкая*: при движении жидкости между отдельными частицами всегда возникают силы внутреннего трения, или силы вязкости. Однако, если силы внутреннего трения малы по сравнению с другими действующими в ней силами (внешнего давления, силы тяжести и т.п.), то ими можно пренебречь и считать жидкость *невязкой*.

Воображаемую жидкость не обладающую ни сжимаемостью, ни вязкостью называют *идеальной жидкостью*.

Такой жидкости в природе естественно нет. Но коэффициент вязкости таких жидкостей как вода, ацетон, спирт, эфир относительно невелик при температуре выше 0^0 С. Поэтому течение таких жидкостей во многих практически очень важных случаях можно рассматривать практически идеальным.

Для идеальной жидкости важно выполнение двух условий:

1) $\rho = \text{const}$

2) $\eta = 0$

Основные понятия механики жидкостей

Поток – совокупность движущихся частиц жидкости. В связи с тем, что в жидкости движется огромное количество частиц, исследование каждой отдельной частицы практически неосуществимо. В гидродинамике используется метод исследования потока предложенный Л. Эйлером. В 1773 году Эйлер получает дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости, в основу которых заложен

совершенно новый метод исследования теоретической механики, ориентированный на решение задач динамики не твердого тела, а жидкости.

Линия тока - это линия, касательная, к которой в любой точке определяет скорость жидкости. Линии тока можно наблюдать, если в поток жидкости выпускать тонкие струйки краски. Последние, двигаясь вместе с частицами жидкости, имеют те же скорости, что и сама жидкость, а значит, дают картину распределения линий тока.

Движение жидкости называется *установившимся (стационарным)*, если все величины: скорость, давление, плотность и т.д. остаются постоянными всё время в каждом месте пространства, занятого текущей жидкостью. В противном случае движение называется *неустановившимся*, и законы движения будут ещё сложнее.

Анализ картины стационарного течения значительно упростится, если мы выделим в движущейся жидкости объём, ограниченный линиями тока.

Поскольку линии тока не пересекаются, жидкость не может проходить через боковую поверхность этого объёма (ни внутрь объёма, ни из него), т.е. рассматриваемый объём подобен трубке с непроницаемыми для жидкости стенками. Поэтому, объём жидкости, ограниченный линиями тока, называется *трубкой тока*.

Уравнение неразрывности струи

$$Sv = const$$

Для данной трубки тока произведение площади поперечного сечения трубки на скорость течения жидкости есть величина постоянная. Соотношение (13.1) называется *уравнением неразрывности струи*. Оно справедливо не только для трубки тока, но и для любой реальной трубы, для русла реки и т.п. Таким образом форма трубки определяет скорость течения жидкости (газа): скорость возрастает там, где трубки тока сужаются, и, наоборот, падает там, где они расширяются.

ПРИМЕР: 1) скорость течения на узких участках речного русла больше, чем на широких и глубоких. 2) скорость воды в струе, вырывающейся из бранспойнта, больше чем в шланге и т.п.

Величина $Q = S \cdot v$, численно равная объёму жидкости, протекающей в единицу времени через поперечное сечение потока, называется *объёмным расходом жидкости*. Измеряется в м³/с.

Из формулы следует, что расход жидкости в пределах потока постоянен.

Уравнение Бернулли и его применение. Давление жидкости, текущей по трубе переменного сечения. Формула Торричелли.

Уравнение Бернулли и его применение

Уравнение, выведенное на основании закона сохранения энергии, устанавливает соотношение между величинами, характеризующими поток жидкости:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = const$$

Данное соотношение, выведенное в 1738 г. Даниилом Бернулли, называется *уравнением Бернулли*, для стационарного течения несжимаемой жидкости. Оно играет фундаментальную роль во всех гидродинамических исследованиях.

Трёхчлен, стоящий в каждой части равенства представляет собой величину полной механической энергии единицы объёма. Первое слагаемое левой части представляет собой удельную кинетическую энергию жидкости; второе – удельную потенциальную энергию жидкости в поле силы тяжести; третье – удельную энергию жидкости, обусловленную силами давления.

Физический смысл уравнения Бернулли, являющимся математическим выражением закона Бернулли, заключается в том, что полная энергия единицы объёма потока идеальной жидкости, в любом сечении потока есть величина постоянная.

Единицей измерения давления, как известно, является Па. Паскаль – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределённой на поверхности площадью 1 м².

$$\text{Па} = \text{Н/м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} / \text{м}^3 = \text{Дж} / \text{м}^3$$

Из приведённого преобразования единиц измерения давления в единицы удельной энергии (т.е. энергии единицы объёма) следует, что все величины левой части уравнения (14.2) можно также рассматривать как величины давления.

Величину P называют статическим давлением;

Величину $\frac{\rho v^2}{2}$ - динамическим давлением;

Величину ρgh - гидростатическим давлением.

Полное давление, равное сумме динамического, гидростатического и статического давлений в любой части потока остается постоянным.

6. Основы молекулярной физики и термодинамики.

Молекулярная физика и термодинамика – это разделы физики, в которых изучаются макроскопические процессы в телах, связанные с огромным числом содержащихся в них атомов и молекул.

Представление о том, что все тела построены из мельчайших частиц, возникло еще в глубокой древности (греческий философ Демокрит). В XVII веке эти представления подтверждены Бойлем. Затем в XVIII и XIX в. Ломоносовым, Больцманом, Максвеллом эти взгляды были представлены в качестве научной теории и называемой молекулярно – кинетической теорией (МКТ).

Основные положения этой теории:

Все вещества состоят из мельчайших частиц – молекул и атомов. Размеры их очень малы, так в 1 см³ воздуха содержится **10^{19}** молекул. Если построить цепочку из этих молекул, то эта линия будет в 90 раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца.

Молекулы находятся в непрерывном, интенсивном движении, которое зависит от температуры, это подтверждает броуновское движение, открытое английским ботаником Броуном. В 1905 году Энштейн и Смолуховский доказали, что броуновская частица это гигантская молекула, имеющая такую же среднюю кинетическую энергию, что и окружающие её молекулы.

Между молекулами существует силы взаимодействия (силы взаимного притяжения и отталкивания).

Для исследования свойств макроскопических тел, а так же процессов, протекающих в них на основании рассмотрения усредненных характеристик движения молекул, структуры и механизма взаимодействия отдельных молекул между собой применяют два количественно различных, но взаимно дополняющих друг друга метода:

- 1) статистический (*молекулярно – кинетический*);
- 2) термодинамический.

Молекулярная физика – это раздел физики, изучающий строение и свойства вещества исходя из молекулярно-кинетических представлений, основывающихся на том, что все тела состоят из молекул, находящихся в непрерывном хаотическом движении.

Например, температура тела определяется скоростью движения его молекул, но так как в любой момент времени различные молекулы имеют различные скорости, то температура может быть выражена через усредненное значение скорости движения молекул.

Таким, образом, макроскопические характеристики имеют физический смысл только в случае большого числа молекул.

Термодинамика – это раздел физики, изучающий общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями.

Термодинамика не рассматривает микропроцессы, которые лежат в основе этих превращений – этим термодинамический метод отличается от статистического. Термодинамический метод несколько ограничен, т.к. термодинамика ничего не говорит о микроскопическом строении вещества, о механизме явлений, а лишь устанавливает связи между макроскопическими свойствами вещества.

Молекулярно-кинетическая теория (МКТ) и термодинамика взаимно дополняют друг друга, образуя единое целое, но отличаясь различными методами исследования. Термодинамика имеет дело с *термодинамической системой* – это совокупность макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией, как между собой, так и с другими телами, т.е. внешней средой. Основа термодинамического метода – это определить состояние термодинамической системы в любой момент времени. Состояние системы задается термодинамическими параметрами, или параметрами состояния, – это совокупность физических величин, характеризующих свойства термодинамической системы (температуру, давление, объем).

Для описания макроскопических систем или газа пользуются следующими макропараметрами:

- **P – давление [Па]**. Давление газа на стенки сосуда определяется ударами молекул о стенки сосуда.
- **V – объём [м³]**. Объём газа равен объёму сосуда, в котором он находится.
- **T – температура [К]**. Температура – это функция состояния термодинамической системы, определяемая средней кинетической энергией молекул.
- **ρ – плотность [кг/м³]**. Плотность – это масса единицы объёма.
- **μ – количество вещества [моль]**. 1 моль – это количество вещества, содержащее в себе столько же структурных элементов, сколько их содержится в 0,012 кг углерода.

. Идеальный газ. Экспериментальные газовые законы.

В МКТ пользуются идеализированной моделью – *идеальный газ*

Идеальным принято считать газ, если:

- 1) Газ состоит из мельчайших частиц – молекул, находящихся в непрерывном хаотическом движении, зависящим от температуры;
- 2) Размеры молекул малы по сравнению с расстоянием между ними поэтому их считают материальными точками;
- 3) Взаимодействие молекул только при соударениях (абсолютно упругие соударения).

Газовые законы

Если параметры состояния не изменяются, то говорят, система находится в термодинамическом равновесии. Если изменяются параметры, то говорят совершается *термодинамический процесс*. Процесс, происходящий с данной массой газа при одном постоянном параметре — температуре, давлении или объеме называют *изопроцессом*. Многие процессы в газах, происходящие в природе и осуществляемые в технике, можно рассматривать приближенно как процессы, в которых изменяются лишь два параметра. Особую роль в физике и технике играют три процесса: изотермический, изохорный и изобарный.

1. *Закон Бойля – Мариотта*(изотермический процесс, $T = \text{const}$). Для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления газа на его объем есть величина постоянная:

$$PV = \text{const} \quad (1.1)$$

На плоскости (p, V) изотермические процессы изображаются при различных значениях температуры T семейством гипербол $p \sim 1/V$, которые называются *изотермами*(см. рис. 1).

2. *Закон Гей - Люссака*(изобарный процесс, $P = \text{const}$). Объем данной массы газа при постоянном давлении изменяется линейно с температурой:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (1.2)$$

На плоскости (V, T) изобарные процессы при разных значениях давления p изображаются семейством прямых линий, которые называются *изобарами*(см. рис. 1).

3. *Закон Шарля*(изохорный процесс, $V = \text{const}$). Давление данной массы газа при постоянном объеме изменяется линейно с температурой:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (1.3)$$

На плоскости (p, T) изохорные процессы для заданного количества вещества ν при различных значениях объема V изображаются семейством прямых линий, которые называются *изохорами*(см. рис. 1).

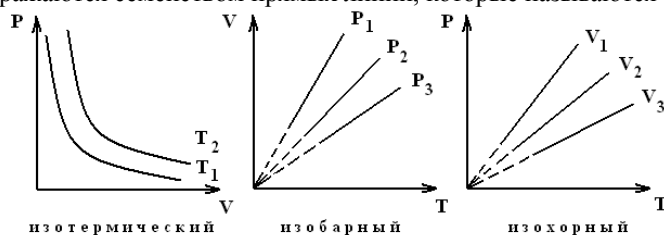


Рис. 1

4. *Закон Авогадро*. При равных давлениях и температурах в одинаковых объемах содержится одинаковое число молекул. В одном моле различных веществ содержится одно и тоже число молекул – постоянная Авогадро $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

5. *Закон Дальтона*. Давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений газов входящих в смесь: $P_{\text{см}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ (1.4)

Парциальное давление – это давление отдельного, газа, входящего в смесь.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Уравнение Менделеева – Клапейрона.

Абсолютная температура.

Среди большого хаоса в движении молекул можно выделить величины характеризующие комплекс большого числа молекул. К ним относятся средняя скорость движения всех молекул, средняя энергия движения молекул. Эти величины характеризуют комплекс системы, но не совпадают с параметрами отдельных молекул. Молекулярно – кинетическая теория связывает макропараметры (объем, давление, температура) с микропараметрами движения (d, m, \vec{v}, E и т.д.). Давление газа на стенки сосуда:

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E}_k \quad (2.1)$$

где $n = \frac{N}{V}$ – концентрация молекул, т.е. число молекул в единице объема газа;

$\bar{E}_k = \frac{m \bar{v}_{\text{кв}}^2}{2}$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул,

$\bar{v}_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2$ – квадрат средней квадратичной скорости молекул.

(2.1) – *основное уравнение МКТ*, которое показывает, давление газа прямо пропорционально средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объема газа.

. *Первое начало термодинамики. Количество теплоты. Внутренняя энергия. Работа.*

Термодинамика изучает качественные и количественные закономерности превращения энергии в различных процессах, обусловленных тепловым движением молекул.

В основу термодинамики положены два начала (два закона) термодинамики.

I. Первый закон термодинамики – закон сохранения и превращения энергии в тепловых процессах: внутреннюю энергию тела можно изменить посредством сообщения этой системе количества теплоты и совершения над ней (или самой системой) работы:

$$\Delta U = Q - A \quad (1.1)$$

$$Q = \Delta U + A \Rightarrow A = Q - \Delta U \quad (1.2)$$

Если система периодически возвращается в исходное состояние, то изменение её внутренней энергии равно нулю $\Rightarrow A = Q$. Из этого закона вытекает, что нельзя построить такую машину, которая работала бы без получения энергии из вне. Такая машина называлась бы *вечным двигателем I-го рода*.

Количество теплоты

Количество теплоты Q – это количество энергии отданное, или принятое телом (системой). Передача тепловой энергии возможна: конвекцией, излучением, теплопроводностью.

$$Q = Cm\Delta T \quad (1.3)$$

Теплоемкость тела C – количество теплоты, необходимое для нагревания данной массы вещества на 1 Кельвин. Можно ввести понятие *удельной теплоемкости C_{уд}* – это количество теплоты, необходимое для нагревания единицы массы вещества на 1 Кельвин.

$$C_{\text{уд}} = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (1.4)$$

Существует понятие *мольной теплоемкости C_μ* – количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля вещества на 1 Кельвин.

$$C_{\mu} = \frac{Q}{\frac{m}{\mu} \Delta T} \quad (1.5)$$

Внутренняя энергия

Внутренняя энергия U – это энергия всех частей, входящих в данную систему. Внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{M}{\mu} R \Delta T \quad (1.6)$$

1) Внутренняя энергия однозначно определяется параметрами состояния $\Rightarrow U$ является функцией состояния;

2) Изменение внутренней энергии ΔU не зависит от процесса перехода, а определяется лишь начальным и конечным состоянием.

3) В замкнутом процессе изменение внутренней энергии равно нулю $\oint dU = 0$.

4) Аддитивность.

Далеко не все функции являются функциями состояния, примером такой функции является работа A .

Работа

Работу A, совершаемую при газовых процессах, можно рассчитать следующим образом.

Пусть мы имеем газ под поршнем с площадью основания поршня S . Объём газа V . Если сообщить газу энергию Q , то он, нагреваясь, должен расширяться так, что его объём увеличится на ΔV .

$$A = \int_1^2 P dV \quad (1.7)$$

В случае если $P = \text{const}$:

$$A = P \Delta V \quad (1.8)$$

Работа зависит от процесса перехода, т.е. является функцией процесса.

Теплоёмкость настолько велика, что, сколько не сообщай тепла температура остаётся постоянной. Все рассмотренные ранее процессы – идеальные. Необходимо очень медленное течение процесса.

До этого мы определили молярные теплоёмкости при постоянном давлении и объёме: $C_v = \frac{i}{2} R$ и

$$C_p = \frac{i+2}{2} R.$$

$$C_p = \frac{i}{2} R + R \Rightarrow C_p = C_v + R$$

$$C_p = C_v + R \quad (2.5)$$

Выражение (2.5) называется *Уравнением Майера*. Молярная теплоёмкость при постоянном давлении больше, чем молярная теплоёмкость при постоянном объёме на величину R .

Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Коэффициент Пуассона.

Адиабатический процесс – это процесс без теплообмена с внешней средой, т.е. $\delta Q = 0$.

Способы получения:

- 1) Хорошая тепловая изоляция;
- 2) Быстрое протекание процесса, т.к. чем быстрее протекает процесс, тем быстрее успевает происходить теплообмен. $Q=0$.

Согласно первому закону термодинамики: $dU = \delta Q + \delta A$, поскольку $\delta Q = 0$:

$$dU = \delta A \quad (3.1)$$

Внутренняя энергия меняется только за счёт совершения работы.

Опыт с «воздушным огнём». Возьмём сосуд с толстыми стенками из оргстекла, чтобы не происходил теплообмен. На дно положим ватку, смоченную легко воспламеняющейся жидкостью. При резком сжатии ватка воспламеняется, поскольку температура резко увеличивается. По такому же принципу основывается работа дизельного двигателя.

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (3.2)$$

Выражение (3.2) называется *уравнением Пуассона*. Величина равная отношению

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$$

называется *коэффициентом Пуассона*.

Изобразим в одной системе координат PV два процесса: изотермический и адиабатический.

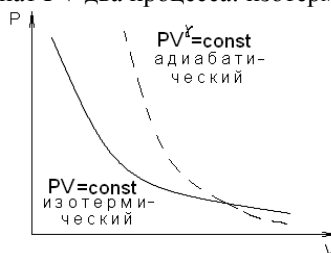


Рис. 10

При адиабатическом процессе давление изменяется в большее число раз, чем при изотермическом процессе. Адиабата идёт круче, чем изотерма, поскольку при адиабатическом сжатии $P \uparrow$ не только за счёт $\downarrow V$, но и за счёт увеличения температуры.

Тепловые машины. Цикл Карно. Второе начало термодинамики.

Тепловая машина – это устройство, которое тепловую энергию трансформирует механическую (или наоборот). Любая тепловая машина состоит из рабочего тела, нагревателя и холодильника.

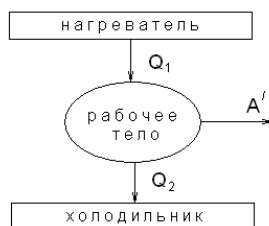


Рис. 11

Q_1 – количество теплоты за один цикл. Рабочее тело часть этого тепла использует на работу, а часть тепла Q_2 бесполезно теряется ($\frac{Q_2}{Q_1}$ – коэффициент бесполезного действия). Коэффициент полезного действия реальной тепловой машины:

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} < 1 \quad (4.1)$$

7. Реальные газы и жидкости.

§ 6. Реальные газы. Уравнение состояния реального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса и экспериментальные изотермы Эндрюса.

Реальные газы – это те газы, в которых нельзя не учитывать размеры молекул и взаимодействия между ними.

Размеры молекул $d=10^{-10}$ м, а взаимодействие их проявляется лишь при высоких давлениях. Так, при давлении 150-120 атм. (давление в газовых баллонах), газы можно считать идеальными. При сжижении аммиака $P=500$ атм., при взрыве атомной бомбы $P=1000$ атм., газ уже не может считаться идеальным.

В области малого давления PV меньше чем нужно для идеального газа за счёт меньшего объёма. При малых давлениях преобладают силы взаимного притяжения, газ занимает меньший объём и кривая идёт ниже. В области большего давления преобладают силы отталкивания, газ занимает больший объём и кривая идёт выше.

Существует несколько моделей для реального газа и соответственно несколько уравнений состояний.

Одно из самых простых предложено Ван – дер – Ваальсом в 1873 году, взяв за основу уравнение состояния идеального газа:

Ввел поправки, учитывающие размеры молекул и их взаимодействие:

С учетом поправок уравнение состояния 1 моля реального газа принимает вид:

$$\left(P + \frac{a}{V_\mu^2}\right)(V_\mu - b) = RT \quad (6.3)$$

(6.3) называется *уравнением Ван-дер-Ваальса* для 1 моля газа.

Уравнение состояния реального газа любой массы имеет вид:

$$\left(P + \frac{M^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2}\right)\left(V - \frac{M}{\mu} b\right) = \frac{M}{\mu} RT \quad (6.4)$$

Здесь a и b – постоянные Ван дер-Ваальса (для разных газов они различны).

Это уравнение оказалось полезным не только для описания состояния газа при больших давлениях, оно также объясняет переход пара в жидкость.

Изотермы Ван-дер-Ваальса и экспериментальные изотермы Эндрюса

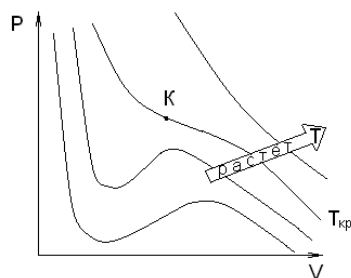


Рис. 15

На рисунке 15 представлены теоретические изотермы Ван – дер – Ваальса. Точка перегиба К называется критической точкой, т.е. переход газа в жидкость (или наоборот) осуществляется мгновенно. Критическая температура $T_{кр}$ – это максимальная температура, при которой вещество ещё может оставаться жидким. В критической точке и не газ и не жидкость, а вещество в особом состоянии. При $T > T_{кр}$ никаким сжатием газ нельзя перевести в жидкое состояние. При температурах выше $T_{кр}$ изотермы реального газа похожи на изотермы идеального газа.

В 1861 – 1869 гг. Т. Эндрюс проводил опыты по сжижению CO_2 . Он исследовал ход изотерм углекислоты при различных температурах и на основании этих исследований ввёл понятие критической температуры для CO_2 и она оказалась равной $31^\circ C$ (304 К). До этой температуры изотермы имели вид гиперболы, что соответствовало изотермам идеального газа. Ниже 304 К на изотермах углекислоты появляются горизонтальные участки, на которых изотермическое сжатие газа приводит к его конденсации, но не к увеличению давления. Т. е. сжатый газ можно превратить в жидкость только если его температура ниже критической.

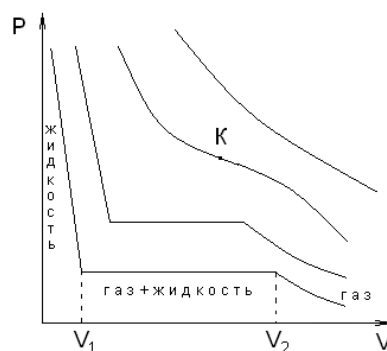


Рис. 16

Начиная с V_1 , в сосуде появится жидкость, часть газа сконденсируется. И чем меньше V , тем больше жидкости. При V_2 весь газ перейдёт в жидкость. Поскольку жидкость мало сжимаема, то кривая идёт круто вверх. При больших температурах конденсация начнётся раньше, а закончится позже.

1.2 Лекция №2 (2 часа)

Тема: Электричество и электромагнетизм.

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Электростатика.
2. Постоянный электрический ток.
3. Работа и мощность тока.
4. Магнитное поле.
5. Электромагнитная индукция.
6. Магнитные свойства вещества.
7. Электромагнитные волны.

1.2.2 Краткое содержание вопросов

1. Электростатика.

Электростатика изучает взаимодействие и условия равновесия *покоящихся* электрически заряженных тел, а также свойства этих тел, обусловленные электрическими зарядами [1].

Ещё в глубокой древности было известно, что янтарь, потертый о шерсть, притягивает легкие предметы [2]. Английский врач Джильберт (конец XVI в.) назвал тела, способные после натирания притягивать легкие предметы, наэлектризованными. Сегодня мы говорим, что тела при этом приобретают *электрические заряды*.

Свойства электрических зарядов

1. Существуют заряды двух типов – положительные и отрицательные.

2. Заряд квантуется. Частицы несущие минимальные электрические заряды: электроны и протоны.
3. В изолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной.
4. Заряды взаимодействуют друг с другом и их взаимодействие подчиняется закону Кулона.
5. Аддитивность.
6. Все вещества по своим электрическим свойствам можно разделить на три типа:
 - а) Проводники – вещества в которых всегда имеются свободные заряды (металлы, растворы солей и электролиты).
 - б) Диэлектрики – вещества, которые не проводят электрический ток. В них нет свободных зарядов, есть только связанные. В диэлектриках невозможно перемещение зарядов (пока не наступит пробой диэлектрика).
 - в) Полупроводники – вещества, проводимость которых резко зависит от внешних условий (температура, освещенность, наличие примесей). Проводимость полупроводников может осуществляться как свободными, так и связанными зарядами. Наличие и концентрации зарядов в полупроводнике зависит от внешних факторов.

Электрическое поле. Закон Кулона.

Напряженность электрического поля

Электрические заряды могут взаимодействовать друг с другом. Величину взаимодействия можно определить по закону Кулона.

Два точечных заряда взаимодействуют друг с другом с силой прямо пропорциональной величинам (q) этих зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними (r^2).

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (1.1)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

В СИ $4\pi\epsilon_0$ (– диэлектрическая постоянная) для вакуума.

Величина, показывающая во сколько раз сила взаимодействия зарядов в данной среде меньше, чем в вакууме называется диэлектрической проницаемостью данной среды ϵ . Таким образом закон Кулона для среды:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (1.2)$$

F – центральная сила. Направлена вдоль линии, соединяющей центры зарядов.

В СИ заряд измеряется в кулонах $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$.

Взаимодействие зарядов осуществляется посредством электрических полей, окружающих заряды.

Электрическое поле – особый вид материи, окружающей заряды проявляющиеся в том, что в любой его точке на заряд оказывается силовое воздействие. Мы будем рассматривать электрические поля, которые создаются *неподвижными* зарядами и называются *электростатическими*.

Для описания электростатического поля вводятся две характеристики: напряженность электрического поля (E) и потенциал (φ).

Если в любую точку поля поместить заряд, то на него будет действовать сила, причем эта сила будет расти, если увеличивать величину заряда. Однако отношение силы F действующей на заряд к его величине будет постоянной.

Величина, равная отношению силы действующей на заряд к величине помещаемого заряда в данную точку, называется *напряженностью электростатического поля*.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1.4)$$

Напряженность является векторной, силовой характеристикой электростатического поля.

Напряженность в СИ измеряется в .

Физическая скалярная величина, определяемая потенциальной энергией единичного положительного заряда, помещенного в данную точку поля, называется *потенциалом данной точки*.

$$\varphi = \frac{E_{\text{п}}}{q} \quad (1.5)$$

Потенциал является скалярной, энергетической характеристикой электростатического поля.

Потенциал в СИ измеряется в Вольтах (В)

Таким образом, 1 Вольт потенциал такой точки электростатического поля в которой заряд в 1 Кл обладает энергией 1 Дж.

2. Постоянный электрический ток.

В электродинамике – разделе учения об электричестве, в котором рассматриваются явления и процессы, обусловленные движением электрических зарядов или макроскопических заряженных тел, - ванейшим понятием является понятие электрического тока:

- а) Всякое упорядоченное (направленное) движение электрических зарядов называется *электрическим током*;
- б) Свободные заряженные микрочастицы называются *носителями тока*;
- в) Вещества, содержащие свободные заряженные микрочастицы называют *проводниками*;
- г) Упорядоченное движение можно создать механическим способом, в этом случае ток называют *конвекционным*.

Направленное движение можно создать электрическим полем, то в этом случае ток называют *током проводимости*.

Условие возникновения и существования электрического тока:

- 1. Наличие свободных носителей;
- 2. Источник сторонних сил, преобразующий любой вид энергии в электрическую;
- 3. Замкнутость цепи.

Количественной мерой электрического тока служит *сила тока* I – скалярная физическая величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Если сила тока и его направление не изменяются со временем, то такой ток называется *постоянным*. Для постоянного тока:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

Единица силы тока – ампер (А).

Физическая величина, определяемая силой тока, проходящего через единицу площади поперечного сечения проводника, перпендикулярного направлению тока, называется *плотностью тока* (вектором тока):

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}} \quad (2.3)$$

где \vec{j} – единичный вектор нормали к площадке dS , составляющий с вектором \vec{j} угол α .

Направление вектора \vec{j} совпадает с направлением упорядоченного движения положительных зарядов. Единица плотности тока – ампер на метр в квадрате (А/м²).

Электродвижущая сила. Сопротивление проводника и его зависимости

Зарядим два проводника 1 и 2 в форме шара разноименным электричеством до потенциалов φ_1 и φ_2 и соединим их третьим проводником.

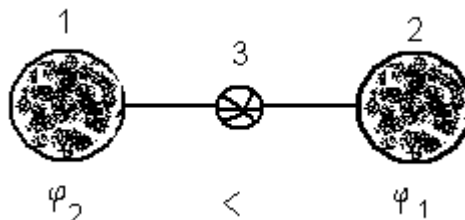


Рис. 18 – Соединение двух проводников разных потенциалов

Свободные носители начнут движение с шара большего потенциала φ_1 к шару с меньшим потенциалом φ_2 . Спустя некоторое время потенциалы выравняются и ток прекратится. Необходимо включить источник сторонних сил 3 для поддержания разности потенциалов. Данные силы действуют только в области 3. Эти силы неэлектростатического происхождения, действующие на заряды со стороны источника тока. В результате по всей цепи действуют одновременно кулоновские силы (к выравниванию

потенциалов) и внутри источника тока сторонние силы (к поддержанию разности потенциалов), т.е. кулоновские силы действуют против сторонних сил.

Величина, стоящая справа от знака равенства в формуле называется электродвижущей силой ЭДС (\mathcal{E}) – характеристика сторонних сил.

ЭДС численно равна работе, совершаемой сторонними силами по перемещению единичного положительного заряда. Единица ЭДС – вольт (В).

При движении электрического заряда он испытывает со стороны проводника. Введем понятие электрического сопротивления.

В 1826 г. немецкий физик Г. Ом опытным путем установил, что $I \sim U \Rightarrow I = kU$, где σ – электропроводность или проводимость проводника.

Величина обратная проводимости $R = \frac{1}{\sigma}$, называется электрическим сопротивлением. Таким образом:

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.6)$$

Формула (2.6) выражает закон Ома для участка цепи.

Единица сопротивления – ом (Ом). 1 Ом сопротивление такого проводника, в котором при напряжении 1В течет постоянный ток 1А.

Поскольку сопротивление, оказываемое току металлическим проводником, обусловлено столкновением свободных электронов с ионами металла, следовательно, сопротивление должно зависеть от формы, размеров и вещества проводника.

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.7)$$

где l – длина проводника, м; S – площадь поперечного сечения, м²; ρ – коэффициент пропорциональности, характеризующий материал проводника и называемый *удельным электрическим сопротивлением*, **Ом · м**.

Сопротивление и удельное сопротивление проводников зависят от внешних условий, в частности от температуры:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (2.8)$$

где R_0 – сопротивление проводника при 0°С, t – температура, α – температурный (термический) коэффициент сопротивления. Единица измерения α в СИ – К⁻¹.

Для большинства металлов (при не очень низкой температуре) .

При очень низких температурах (0,4 – 20 К), сопротивление некоторых металлов (Al, Zn, Pb и др.) и их сплавов скачкообразно падает до нуля \Rightarrow металл становится абсолютным проводником. Это явление называется *сверхпроводимостью* (открыто Камерлинг-Оннесом в 1911 г.)

3. Работа и мощность тока.

Рассмотрим однородный проводник, к концам которого приложено напряжение U . За время dt через сечение проводника переносится заряд $dq = Idt$. Так как ток представляет собой перемещение заряда dq под действием электрического поля, то согласно формуле (1.22), работа тока:

$$dA = U dq = IU dt \quad (2.15)$$

Если сопротивление проводника R , то, используя закон Ома для участка цепи, получим:

$$dA = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt \quad (2.16)$$

Из (2.15) и (2.16) следует, что мощность тока:

$$P = \frac{dA}{dt} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (2.17)$$

Помимо системных единиц работы на практике широко применяются такие внесистемные единицы работы тока, как *ватт-час*, *гектоватт-час* и *киловатт-час*; 1 Вт·ч соответствует работе тока мощностью в 1 Вт в течение 1 ч.

Если ток проходит по неподвижному металлическому проводнику, то вся работа тока идет на его нагревание и, по закону сохранения энергии $dQ=dA$. Таким образом, используя формулы (2.15) и (2.16), получим:

$$dQ = IUdt = I^2 R dt = \frac{U^2 dt}{R} \quad (2.18)$$

Выражение (2.18) представляет собой закон Джоуля – Ленца, экспериментально установленный независимо друг от друга Дж. Джоулем и Э.Х. Ленцем.

4. Магнитное поле.

Магнитные явления были известны ещё в глубокой древности из наблюдений над свойством природного магнитного железняка притягивать железные предметы и намагничивать их. Первое подробное исследование и описание свойств постоянных магнитов было выполнено в 1600 г. Гильбертом.

Уже в XVIII в. было обращено внимание на намагничивание железных предметов и перемещение стрелки компаса, если вблизи них проходил разряд. Это наводило на мысль о связи магнитных явлений с электрическими. Справедливость такого предположения было экспериментально подтверждена в 1820 г. датским физиком Эрстедом. Он обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку. Магнитная стрелка устанавливалась перпендикулярно проводнику \Rightarrow проводник с током воздействует на магнитную стрелку.

Если проводник скручен в виде витка, то магнитная стрелка устанавливалась вдоль оси катушки полюсами SN (см. рис. 28). Если изменить направление тока, то полюса изменятся на NS.

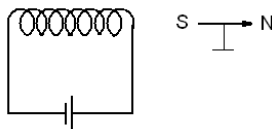


Рис. 28 – Магнитная стрелка вблизи катушки с током

1820 – 1830 гг. Ампер исследовал взаимодействие токов и установил следующие законы:

- 1) Два параллельных проводника с токами одного направления притягиваются (см. рис. 29а);
- 2) Два параллельных проводника с токами противоположного направления отталкиваются (см. рис. 29б);
- 3) Если токи направлены под углом друг к другу, то проводники с токами стремятся установиться так, чтобы проводники были параллельны и направления токов одного направления (см. рис. 29в).

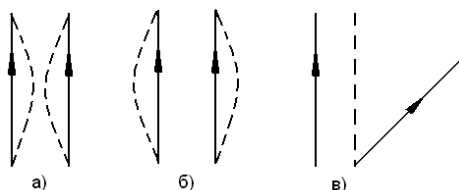


Рис. 29 – Взаимодействие токов

Проводники с током взаимодействуют друг с другом. Это и есть электромагнитное взаимодействие. Получим математическое выражение закона Ампера для силы магнитного взаимодействия токов. С помощью подвижных контуров, помещаемых в специальное приспособление («станок Ампера»), Ампер установил, что величина силы dF взаимодействия двух малых участков проводников (проводов) 1 и 2 с токами пропорциональна длинам dl_1 и dl_2 этих участков, силам тока I_1 и I_2 в них и обратно пропорциональна квадрату расстояния между участками. Дальнейшие экспериментальные исследования и теоретические расчеты Ампера и других ученых показали, что сила взаимодействия пропорциональна синусам углов θ_1 и θ_2 .

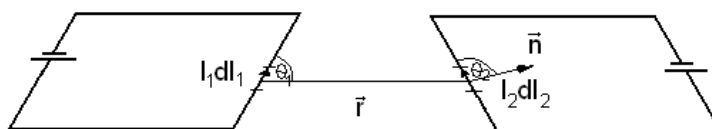


Рис. 30 – «Станок Ампера»

$$dF_{12} = k \frac{I_1 dl_1 I_2 dl_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2}{r^2}, \quad (3.1)$$

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; $I_1 dl_1$ и $I_2 dl_2$ – элементы тока (элемент тока – вектор, равный по величине произведению силы тока I на бесконечно малый участок длины dl и направленный вдоль этого тока). Выражение (3.1) называется *законом Ампера*.

Передача действия одного проводника с током к другому осуществляется через магнитное поле, т.е. вокруг любого проводника с током существует магнитное поле. Движущийся заряд также создает магнитное поле (т.к. ток – это направленное движение заряженных частиц).

Рассмотрим проводник с током и поместим рядом с ним пробный элемент тока Idl (см. рис. 31). На данный элемент тока будет оказываться силовое воздействие, причем dF .

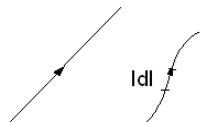


Рис. 31 – Проводник с током и пробный элемент тока

$$dF = B Idl \sin \theta, \quad (3.2)$$

где θ – угол между направлением и участком длины dl ; B – характеристика магнитного поля, называемая вектором магнитной индукции (магнитная индукция).

Итак:

1. B – *векторная, силовая, локальная* характеристика магнитного поля;
2. Магнитная индукция численно равна отношению максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на элемент тока к величине этого тока:

$$dB = \frac{dF_{max}}{Idl} \quad (3.3)$$

3. Единица магнитной индукции в СИ – *тесла* (Тл): 1 Тл – магнитная индукция такого однородного магнитного поля, которое действует с силой 1 Н на каждый метр длины прямолинейного проводника, расположенного перпендикулярно направлению поля, если по этому проводнику проходит ток 1 А.

Поскольку магнитное поле является силовым, то его, по аналогии с электрическим, его изображают с помощью *линий магнитной индукции* – линий, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора B . В отличие от силовых линий электрического поля магнитные линии всегда замкнуты и охватывают проводник с током.

Направление силовых линий магнитного поля тока определяется *по правилу буравчика*: рукоятка буравчика, ввинчиваемого по направлению тока, вращается в направлении магнитных силовых линий.

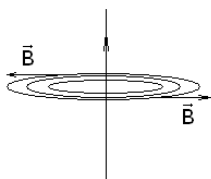


Рис. 32 – Магнитное поле прямого тока

Магнитное поле макротоков описывается вектором напряженности H . Для однородной изотропной среды вектор магнитной индукции связан с вектором напряженности следующим соотношением:

$$B = \mu \mu_0 H, \quad (3.4)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, μ – *магнитная проницаемость среды*, показывающая, во сколько раз магнитное поле макротоков H усиливается за счет поля микротоков среды.

5. Электромагнитная индукция.

В 1831 году М. Фарадей открыл явление, называемое электромагнитной индукцией.

Опыты:

- а) Катушка, гальванометр, постоянный магнит.
- б) Катушка №1, Катушка №2, гальванометр.
- в) Катушка №1, Катушка №2 с ключом, гальванометр.

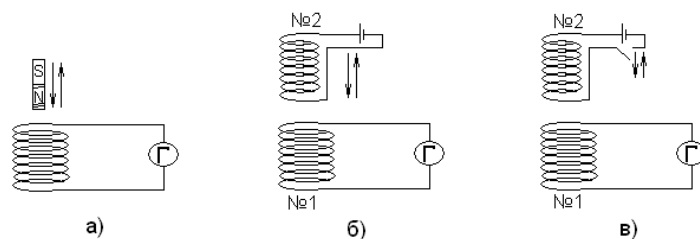


Рис. 42 – Опыты М. Фарадея

Постоянный магнит вставляем в катушку. В момент удаления магнита магнитное поле в катушке ослабляется и в итоге стрелка гальванометра отклоняется. Вдвигаем магнит в катушку => поле усиливается => стрелка гальванометра отклоняется в другую сторону. Таким образом, когда магнитное поле изменяется, то в катушке возникает электрический ток.

Вместо постоянного магнита берем электромагнит (см. рис. 42б). Помещаем катушку №2 в катушку №1. Пока катушки покоятся, то показания гальванометра равны нулю. При движении катушки №2 стрелка гальванометра отклоняется. Если вставить в катушку сердечник, то эффект усиливается. Вывод: если магнитное поле создано постоянным током, то меняющееся магнитное поле порождает электрический ток.

Вставляем катушку №2 в катушку №1 и оставляем её в покое. При замыкании и размыкании ключа в катушке №1 возникает электрический ток.

Ток, возникающий в катушке при изменении магнитного поля называют *индукционным током*.

Результаты опытов М. Фарадей объяснил следующим образом, на примере замкнутого проводника с током, помещенного в магнитное поле.

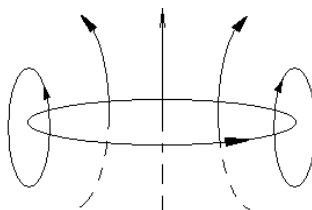


Рис. 43 – Замкнутый проводник в магнитное поле

Выводы:

1. Индукционный ток в проводнике возникает, когда проводник пересекают линии индукции магнитного поля;
2. Чем выше скорость пересечения линий индукции, т.е. чем больше число линий, пересекающих проводник в единицу времени, тем больше ток.

Максвелл, анализируя опыты Фарадея, несколько обобщил эти опыты:

1. Причина появления индукционного тока является изменение магнитного потока, пронизывающего контур (т.е. если меняется число линий, а не только просто пересечение).

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3.15)$$

Выражение (3.15) называется *законом Фарадея – Максвелла*, или *основной закон электромагнитной индукции*.

Величина электродвижущей силы индукции (ЭДС) ε пропорциональна скорости изменения

$$\frac{d\Phi}{dt}$$

магнитного потока $\frac{d\Phi}{dt}$ через площадь ограниченную контуром. Знак «минус» в формуле позволяет определить направление индукционного тока.

6. Магнитные свойства вещества.

Вещества, способные намагничиваться и менять магнитное поле называются *магнетиками*.

Ампер выдвинул гипотезу, что причина намагничивания заключается в том, что во всех веществах существуют мельчайшие электрические токи, замыкающиеся в пределах каждого атома (молекулярные токи).

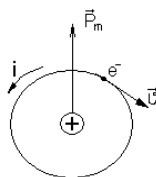


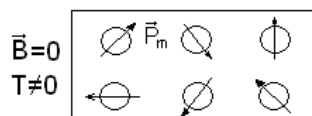
Рис. 48 – Молекулярный ток

Движение электрона в атоме направленное, следовательно, возникает ток. Суммарный ток складывается из токов отдельных атомов. Этот ток замкнутый. Каждый молекулярный ток в атоме обладает

определенным магнитным моментом P_m , а значит и магнетик в целом при намагничивании приобретает магнитный момент, равный векторной сумме моментов всех молекулярных токов.

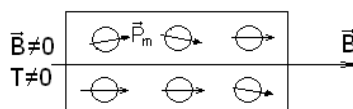
Вещество в магнитном поле

а)



В случае если внешнее магнитное поле отсутствует, то суммарный магнитный момент равен нулю и как итог, вещество не намагничивается.

б)



При помещении вещества во внешнее магнитное поле, оно стремится сориентировать магнитные моменты атомов так, чтобы их направления совпадали с вектором магнитной индукции или угол между ними был наименьший. Суммарный магнитный момент уже не равен нулю и вещество создает дополнительное магнитное поле \Rightarrow вещество намагничивается.

Магнитные свойства различных веществ гораздо разнообразнее, чем электрические свойства. В то время, как диэлектрическая проницаемость ϵ у всех веществ всегда меньше единицы, то магнитная проницаемость μ может быть, как и меньше единицы, так и ей равной и больше.

При помещении атома в магнитное поле, возникает наряду с магнитным (орбитальным) моментом P_{orb} , дополнительный индуцированный момент P_{ind} , направленный против основного поля (ослабляет поля). Если просуммировать все орбитальные моменты, то может оказаться, что или .

Вещества, у которых суммарный орбитальный момент равен нулю называются *диамагнетиками*. К ним относятся газы, органические вещества, Zn, Au, Cu и т.д. Диамагнетизм присутствует всегда, но он слабо выражен. Если других эффектов нет, то он заметен. Диамагнетики ослабляют внешнее магнитное поле и выталкиваются из него. Механизм – *индукционный*, т.е. в веществе индуцируется магнитный момент при помещении его в магнитное поле.

Парамагнетики – это очень слабые магнетики, но сильнее чем диамагнетики (на 1-2 порядка). Они усиливают внешнее магнитное поле в которое его вносят. К парамагнетикам относятся редкоземельные элементы, Pt, Al и т.д. Механизм – ориентационный, т.е. у вещества заранее имеются ненулевые магнитные моменты (). Эти магнитные моменты хаотично направлены из-за тепловой разориентации. Внешнее магнитное поле стремится их выстроить.

Ферромагнетики (от лат. ferrum - железо) – это очень сильный магнетик, в сотню и тысячу раз больше предыдущих. Ферромагнетизм бывает только у ограниченного круга твердых веществ (Fe, Co, Ni). Ферромагнетики очень сильно намагничиваются, однако сильные магнитные поля с их помощью получить невозможно. В случае сильных полей наступает магнитное насыщение и магнитная проницаемость среды μ , сильно уменьшается.

При некоторой *критической температуре* $T_{кр}$ (*точка Кюри*), ферромагнетик превращается в парамагнетик. Например, у железа $T_{кр}=1043$ К, у никеля $T_{кр}=630$ К.

7. Электромагнитные волны.

Электромагнитная волна – процесс распространения электромагнитного поля в пространстве. Она представляет собой совокупность электрических и магнитных полей. Впервые на опыте электромагнитная волна была получена немецким физиком Г. Герцем.

Свойства электромагнитных волн

1. Напряженность магнитного поля H колеблется перпендикулярно напряженности электрического поля E и скорости v ;

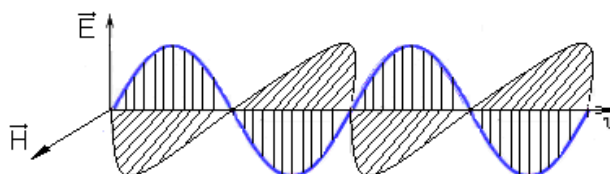


Рис. 49 – Электромагнитная волна



2. Векторы \vec{E} и \vec{B} изменяются синхронно, т.е. напряженность электрического поля возрастает \Rightarrow напряженность магнитного поля также увеличивается;
3. Электромагнитная волна поперечная;
4. Если частота колебаний постоянная, то электромагнитная волна монохроматическая;
5. Скорость распространения в среде:

$$v = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu} \quad (3.26)$$

В вакууме:

$$v = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \quad (3.27)$$

6. Для электромагнитных волн выполняется закон отражения и преломления. Электромагнитная волна, распространяясь в пространстве, переносит энергию *без переноса вещества*. Количество энергии, переносимое волной за единицу времени через единицу площади:

$$\vec{P} = [\vec{E} \vec{H}] \quad (3.28)$$

Выражение (3.28) называется *вектором Умова – Пойтинга*.

Электромагнитную волну можно возбудить переменным электрическим полем, движущимися электрическими зарядами.

В зависимости от способов возбуждения электромагнитных волн, они разделяются на диапазоны. Резкой границы между соседними видами электромагнитных волн не существует.

1.3 Лекция №3 (2 часа)

Тема: Волновая и квантовая оптика.

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Элементы геометрической оптики.
2. Интерференция. Дисперсия и поляризация света.
3. Свет и вещество.
4. Люминесценция. Фотоэффект.
5. Масса и импульс фотона. Световое давление.

1.3.2 Краткое содержание вопросов

1. Элементы геометрической оптики.

Оптика – раздел физики, в котором изучается вопрос о природе света, закономерностях световых явлений и процессы взаимодействия света с веществом (от греческого (оптикос) – зрительный).

В течение последних трех с половиной столетий представления о природе света претерпело весьма существенное изменение.

1.1.1 Формирование представлений о природе света

Основные законы оптики известны ещё с древних времён. Так, Платон (430 г. до н.э.) установил закон прямолинейного распространения и закон отражения света. Аристотель (350 г. до н.э.) и Птоломей изучали преломление света. Первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян, которые в дальнейшем, по мере изобретения и усовершенствования различных оптических инструментов, например, параболических зеркал (XVII), фотоаппарата и микроскопа (XVI), зрительной трубы (XVII), развивались и трансформировались. В конце XVII в. на основе многовекового опыта и развития представлений о свете возникли две теории света: корпускулярная (И. Ньютон) и волновая (Р. Гук и Х. Гюйгенс).

Согласно корпускулярной теории (теории течения) свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами и летящих по прямолинейным траекториям. Движение световых корпускул Ньютон подчинил сформулированным им законам механики. Так, отражение света понималось аналогично отражению упругого шарика при ударе о плоскость, где также соблюдается закон равенства углов падения и отражения. Преломление света Ньютон объяснил притяжением корпускул преломляющей средой, в результате чего скорость корпускул меняется при переходе из одной среды в другую.

Из теории Ньютона следовало постоянство синуса угла падения α к синусу угла преломления β :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{v} = n$$

где c – скорость света в вакууме, v – скорость света в среде. Поскольку n в среде всегда больше единицы, то по теории Ньютона $v > c$, т.е. скорость света в среде всегда должно быть больше скорости его распространения в вакууме. Однако согласно теории Гюйгенса $v < c$.

Таким образом, к началу XVIII в. существовало два противоположных подхода к объяснению природы света: корпускулярная (И. Ньютон) и волновая (Х. Гюйгенс). XVIII в стал веком борьбы этих теорий. К началу XIX в. корпускулярная теория была полностью отвергнута и восторжествовала волновая теория. Представление о волновой (электромагнитной) природе света оставалось незыблемым вплоть до конца XIX в. Однако, к этому времени накопился достаточно обширный материал (изучение данных о спектрах свечения химических элементов, о распределении энергии в спектре теплового излучения чёрного тела и т.д.) не согласующийся и даже противоречащий данной теории. Всё это привело к необходимости предположить, что излучение, распространение и поглощение электромагнитной энергии носит дискретный (прерывистый) характер.

Исходя из этого предположения немецкий физик Планк в 1900 г. создал квантовую теорию электромагнитных процессов, т.е. свет испускается, распространяется и поглощается не непрерывно (как это следовало из волновой теории), а порциями (квантами), энергия которых определяется частотой ν :

$$E = h\nu$$

где $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с называется *постоянной Планка*.

Эйнштейн в 1905 г. разработал квантовую теорию света, согласно которой свет представляет собой поток световых частиц – фотонов. Таким образом в начале 20 в. возникла новая теория о природе света – квантовая теория, возрождающая в известном смысле корпускулярную теорию Ньютона.

Важную роль в дальнейшем развитии квантовой теории света сыграли теоретические исследования атомных и молекулярных спектров, выполненные Бором (1913), Шредингером (1925), Дираком (1930) и т.д.

На сегодняшний день *свет* – сложный электромагнитный процесс, обладающий как волновыми, так и корпускулярными свойствами.

Свойства света

Волновые
-отражение
-преломление
-интерференция
-поляризация
-дисперсия
-дифракция

Квантовые
-фотоэффект
-давление света
-атомные спектры
-люминесценция

В некоторых явлениях (интерференция, дифракция, поляризация света и т.д.) обнаруживаются волновые свойства света; а в таких явлениях, как люминесценция, фотоэффект и т.д. обнаруживаются корпускулярные свойства света. Т.о. волновая и квантовая теории не отвергают, а дополняют друг друга, отражая тем самым двойственный характер свойств света.

Свет – единство дискретности и непрерывности.

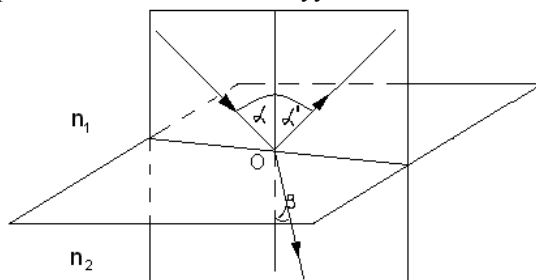
В настоящее время установлено, что корпускулярно - волновая двойственность свойств присуща также любой элементарной частице вещества. Например, обнаружена дифракция электронов, нейтронов. Корпускулярно – волновой дуализм является проявлением двух форм существования материи – вещества и поля.

4.1.2 Законы отражения и преломления света. Полное отражение

Среда, во всех точках которой скорость распространения света одинакова, называется *оптически однородной средой*. Рассмотрим, исходя из волновой теории явления отражения и преломления монохроматического света на плоской границе раздела двух различных, оптически однородных сред.

Законы отражения и преломления света являются следствием *принципа Ферма*: Из всех возможных траекторий, соединяющих источник и приемник света, реализуется то, для которых время распространения будет минимальным.

Возьмем границу двух прозрачных сред с показателями преломления n_1 и n_2 (см. рис. 50), где $n = c / v$ называется *абсолютным показателем преломления*. Абсолютный показатель преломления показывает во сколько раз скорость света в среде v меньше чем в вакууме c .



Закон отражения:

1. Падающий, отраженный лучи и перпендикуляр, опущенный в точку падения луча, лежат в одной плоскости;

2. Угол падения α равен углу отражения β .

Закон преломления:

1. Падающий, преломленный лучи и перпендикуляр, опущенный в точку падения луча, лежат в одной плоскости;

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению скорости света в первой среде к скорости света во второй среде:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \quad (4.1)$$

где n_{21} – относительный показатель преломления.

Из двух сред, имеющих различные абсолютные показатели преломления, среда с меньшим показателем, называется *оптически менее плотной*, а среда с большим показателем – *оптически более плотной*.

2. Интерференция. Дисперсия и поляризация света.

Интерференцией называется результат наложения двух когерентных волн, в результате которого образуется периодическая картина максимума и минимума интенсивности в виде темных и светлых полос, колец, пятен.

Для того чтобы наблюдалась интерференционная картина, необходимо, чтобы волны испускаемые источником были *когерентными*.

Две волны называются *когерентными*, если в точке наложения разность фаз этих волн остается постоянной.

Впервые идею когерентности реализовал Томас Юнг. В непрозрачной ширме булавкой проделывал два отверстия.

Отверстия S_1 и S_2 будут испускать вторичные волны, и они будут когерентны, поскольку образованы от одного и того же *цуга* (цуг – волна, ограниченная в пространстве и во времени). Длина цуга, определяемая интервалом частот, присутствующих в спектре источника света:

$$L = \frac{c}{\Delta \nu} \quad (4.5)$$

От обычных источников света (2 лампочки), интерференционная картина не наблюдается, т.к. источники света не когерентны.

$$I_{\text{рез}} = I_1 + I_2 \quad (4.6)$$

Интерференция отсутствует, поскольку интенсивность всюду одинакова. А должно происходить

либо усиление света ($\max I_{\text{рез}} = I_1 + I_2$), либо гашение ($\min I_{\text{рез}} = 0$).

Пусть имеются два когерентных источника света. Выберем некоторую точку на экране. Источники испускают монохроматический свет одной и той же частоты. Результирующая интенсивность в точке А:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta \varphi \quad (4.7)$$

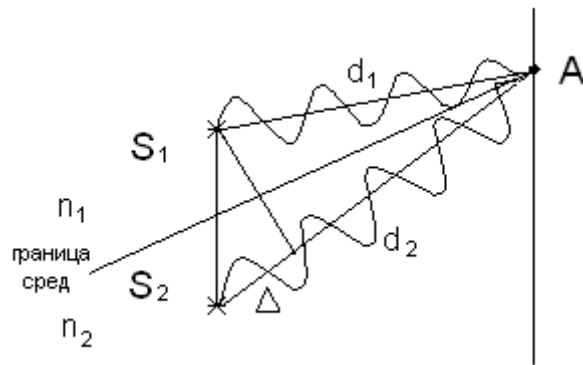


Рис. 56 – Наложение волн от когерентных источников

Узнаем, что же будет с интенсивностью света в точке A . На практике условие \max и \min интенсивности света выражают через оптическую разность хода:

(4.8)

Если в воздухе или вакууме $n_2 = n_1 = 1$, то $\Delta = d_2 - d_1$ – геометрическая разность хода.
Условие максимума интенсивности света:

$$\Delta = n\lambda, \quad (4.9)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ – целое число.

Если на разности хода укладывается целое число длин волн, то в точке наложения волн будет максимум интенсивности света.

Условие минимума интенсивности света:

$$\Delta = \frac{(2n + 1)\lambda}{2}, \quad (4.10)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ – целое число.

Если на разности хода укладывается нечетное число длин полуволн, то в точке наложения волн будет минимум интенсивности света.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса – Френеля. Дифракционная решетка. Разрешающая способность оптических приборов

Дифракцией света называется огибание световыми волнами препятствий, встречающихся на их пути. Явление дифракции характерно для волновых процессов. Поэтому, если свет является волновым процессом, то для него должна наблюдаться дифракция, т.е. световая волна, падающая на границу какого-либо непрозрачного тела, должна огибать её.

Попытку объяснить дифракцию в своё время предпринял Х. Гюйгенс на основе своего знаменитого принципа: *Каждая точка, до которой доходит волновое движение, служит центром вторичных сферических волн, огибающая этих волн дает положение фронта в следующий момент времени.*

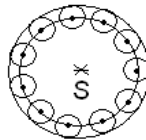


Рис. 58 – Принцип Гюйгенса

Пусть на плоскую преграду с отверстием нормально падает фронт волны (см. рис. 59). По принципу Гюйгенса, каждая точка выделяемого отверстием участка волнового фронта служит центром вторичных волн, которые в однородной и изотропной среде будут сферическими. Построив огибающую вторичных волн, мы убеждаемся в том, что за отверстием волна проникает в область геометрической тени, огибая края преграды.

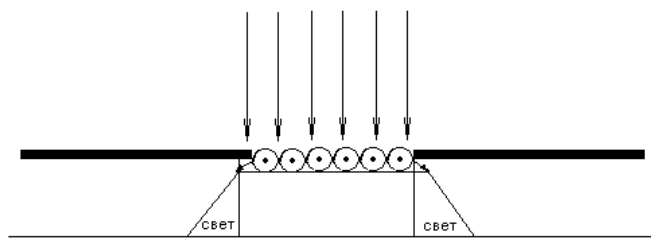


Рис. 59 – Огибание световой волной препятствия

Френель усовершенствовал принцип Гюйгенса, добавив к нему утверждение о *когерентности* вторичных волн. Они действительно когерентны, поскольку зарождаются на волновой поверхности, имеют одинаковые начальные фазы, разность которых от времени зависеть не будет.

Совокупность большого числа узких параллельных щелей, расположенных близко друг от друга, называется *дифракционной решеткой*, а расстояние между соседними щелями – периодом решетки d .

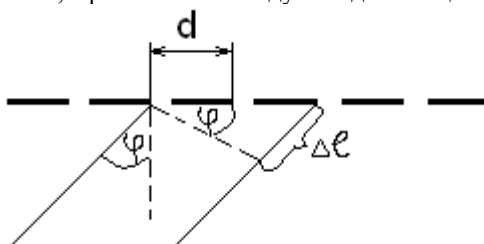


Рис. 60 – Дифракционная решетка

Дифракционная решетка изготавливается путем нанесения тонких штрихов (царапин) на поверхности стеклянной пластинки (прозрачная решетка) или зеркала (отражательная решетка).

Дифракционная решетка работает, как спектральный прибор, заменяя призму, но отличается равной растянутостью линий спектра. Поэтому посредством дифракционной решетки проводятся очень точные измерения длины волны света.

3. Свет и вещество.

4. Люминесценция. Фотоэффект.

При прохождении света через вещество часть фотонов захватывается атомами вещества и световой поток ослабляется. Захват фотона может происходить также вследствие фотоэффекта (о нем мы поговорим позже) или вследствие возбуждения атома на более высокие энергетические уровни. Чем больше атомов и молекул встретится на пути светового потока, тем больше вероятность захвата фотона и тем больше поглощение света.

Вещества, слабо поглощающие свет, принято называть *прозрачными*; вещества, обладающие сильным поглощением – *непрозрачными*. Однако такое подразделение носит относительный характер, поскольку прозрачность зависит не только от природы вещества, но и от толщины его слоя.

Например: алюминий принято считать непрозрачным веществом, а воду прозрачным. Однако очень тонкий слой алюминия пропускает свет, тогда как толстый слой воды практически непрозрачен (на больших глубинах океана темнота).

Для количественной оценки процесса поглощения света введем понятие *интенсивности света* I (плотность потока световой энергии) – это количество энергии, переносимое светом за 1 с через площадь в 1 м^2 , перпендикулярную световому лучу.

Направим на плоскую поверхность цилиндра параллельный пучок света вдоль оси цилиндра ОХ. Где I_0 – интенсивность падающего света (черными точками обозначены атомы, в которых фотоны были захвачены электронами).

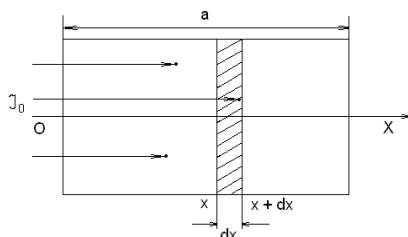


Рис. 68 – Прохождение света через вещество

На расстоянии x от поверхности мысленно выделим бесконечно тонкий слой вещества dx . Изменение интенсивности света dI_x , происходящее в этом слое в связи с поглощением, будет пропорционально толщине слоя dx и интенсивности падающего света:

$$dI_x = -kI_x dx \quad (4.17)$$

где k – коэффициент поглощения, характеризующий поглощательную способность данного вещества и не зависящий от толщины слоя. Знак минус указывает на ослабление света в слое

$$\frac{dI_x}{I_x} = -k dx$$

Проинтегрируем обе части уравнения (левую часть от I до I_0 , правую по всей толщине a):

$$\begin{aligned} \int_{I_x}^I \frac{dI_x}{I_x} &= -k \int_0^a dx \\ \ln I &= -ka \\ I &= I_0 e^{-ka}, \end{aligned} \quad (4.18)$$

где I – интенсивность света, падающего на пластину, I_0 – интенсивность света, прошедшего через пластину

Данное соотношение (4.18), называют *законом Бугера*. Данный закон открыт в 1729 г. французским физиком Пьером Бугером. Он справедлив не только для интенсивности света I , но и для силы света и светового потока.

Из формулы (4.18) следует, что при:

$$a = \frac{1}{k} \text{ будет } \frac{I}{I_0} = e \approx 2,72$$

т.е. коэффициент поглощения вещества есть величина, обратная толщине такого слоя данного вещества, при прохождении которого интенсивность света ослабляется *в е раз* (\approx в 3 раза).

Для различных веществ значения коэффициента поглощения разные.

Например: для воздуха $k = 10^{-3} \text{ м}^{-1}$, для стекла $k = 1 \text{ м}^{-1}$, для металлов $k \approx 10^6 \text{ м}^{-1}$

Это означает, что, к примеру, для трехкратного ослабления интенсивности света достаточен слой металла толщиной:

$$a = \frac{1}{10^6} \text{ м} = 1 \text{ мкм}$$

Или стекла:

$$a = \frac{1}{1} \text{ м} = 1 \text{ м}$$

Коэффициент поглощения зависит от длины волны λ . График этой зависимости представляет собой кривую с максимумами в определенных интервалах длин волн, в которых происходит сильное поглощение света данным веществом. Эти интервалы называют полосами поглощения. У прозрачных тел (вода, стекло) полосы поглощения находятся в инфракрасной или ультрафиолетовой части спектра. У окрашенных тел полосы поглощения лежат (хотя бы частично) в видимой части спектра.

Излучение фотона происходит при переходе атомного электрона с более высокого на низшие энергетические уровни. Этого можно достичь путем нагревания тела до высокой температуры. Однако сообщить энергию электронам в атомах, можно и другими способами, например облучением светом рентгеновскими лучами, элементарными частицами.

В природе давно известно излучение, отличное по своему характеру от всех известных видов излучения (теплого излучения, отражения, рассеяния света). Этим излучением является люминесцентное излучение.

Люминесценция (от лат. *lumen*, род. падеж *luminis* – свет и *escent* – суффикс, означающий слабое действие). *Люминесценция* – это свечение вещества, являющееся избытком под тепловым излучением этого вещества, при данной температуре и имеющее конечную длительность.

Как мы уже говорили, люминесценции должно предшествовать возбуждение атомов и молекул вещества. После устранения возбудителя люминесценция продолжается в течение некоторого промежутка времени, зависящего от природы люминесцирующего вещества и изменяющегося в широких пределах: от миллиардных долей секунды до многих часов и даже суток.

По длительности свечения люминесценцию подразделяют на:

1. *флуоресценцию* (кратковременное «послесвечение»);
2. *фосфоресценцию* (длительное «послесвечение»).

Вещества, обладающие ярко выраженной способностью люминесцировать, называются *люминофорами*.

В зависимости от способов возбуждения люминесценции различают несколько ее видов:

1. *Фотолюминесценция* – возбуждается видимым и ультрафиолетовым излучением. *Пример:* свечение часового циферблата и стрелок, окрашенных соответствующим люминофором.
2. *Рентгенолюминесценция и радиолюминесценция* – возбуждаются рентгеновскими лучами и радиоактивным излучением. *Пример:* ее можно наблюдать (рентгенолюминесценцию) на экране рентгеновского аппарата. Радиолюминесценцию на экране сцинтилляционных счетчиков.
3. *Катодолюминесценция* – возбуждается электронным лучом. *Пример:* на экране осциллографа, телевизора и т.д.
4. *Электролюминесценция* – возбуждается электрическим полем. *Пример:* в газоразрядных трубках.
5. *Хемилюминесценция* – возбуждается химическими процессами в веществе. *Пример:* свечение белого фосфора, насекомых, морских животных и бактерий.

Из всех перечисленных видов люминесценции рассмотрим подробнее только фотолюминесценцию, имеющую большое практическое применение.

Экспериментальное изучение спектров фотолюминесценции показало, что они, как правило, отличаются от спектров возбуждающего излучения.

Энергетические диаграммы молекул могут состоять как из отдельных уровней, так и из полос, в каждой из которых имеется много близко расположенных друг от друга подуровней.

Гипотеза Планка, получила подтверждение и дальнейшее развитие при объяснении фотоэффекта – явления, открытие и исследование которого сыграло важную роль в становлении квантовой теории.

Фотоэффектом называется освобождение (полное или частичное) электронов от связей с атомами и молекулами вещества под воздействием света (видимого, инфракрасного и ультрафиолетового).

Различают:

1. Внешний фотоэффект;
2. Внутренний фотоэффект;
3. Вентильный фотоэффект.

Если электроны выходят за пределы освещаемого вещества (полное освобождение), то фотоэффект называется *внешним* (открыт в 1887 г. Герцем и подробно исследован в 1888 г А.Г. Столетовым). Внешний фотоэффект наблюдается в твердых телах (металлах, полупроводниках, диэлектриках), а также в газах на отдельных атомах и молекулах.

Если электроны теряют связь только со «своими» атомами и молекулами, но остаются внутри освещаемого вещества в качестве «свободных электронов» (частичное освобождение), увеличивая тем самым электропроводность вещества, то фотоэффект называется *внутренним*. Открыт в 1873 г американским физиком У. Смитом.

Вентильный фотоэффект, являющийся разновидностью внутреннего фотоэффекта, – возникновение Э.Д.С. (фото – Э.Д.С.) при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла.

Внешний фотоэффект наблюдается у металлов. Если, например, цинковую пластину, соединенную с электроскопом и заряженную отрицательно, осветить ультрафиолетовыми лучами, то электроскоп быстро разрядится; в случае положительно заряженной пластинки разрядки не происходит. Отсюда следует, что свет вырывает из металла отрицательно заряженные частицы.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № 11.1 (2 часа).

Тема: «Определение момента инерции шатуна»

2.1.1 Цель работы: Определить момент инерции шатуна используя теорему

Штейнера

2.1.2 Задачи работы:

1. Применить теорему Штейнера на практике
2. Ознакомиться с понятием момента инерции твердого тела.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

штатив с отвесом и горизонтальной осью, секундомер, шатун, крючки с нитями, масштабная линейка

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Значение массы шатуна выбито на шатуне в граммах. По этому значению вычислить вес шатуна в Ньютонах в положении равновесия.
2. Отметить на шатуне центр тяжести O . Для этого шатун подвесить на крючках так, как показано на рис. 1 а. Положение центра тяжести определится как точка пересечения отвесной линии с осью симметрии шатуна.

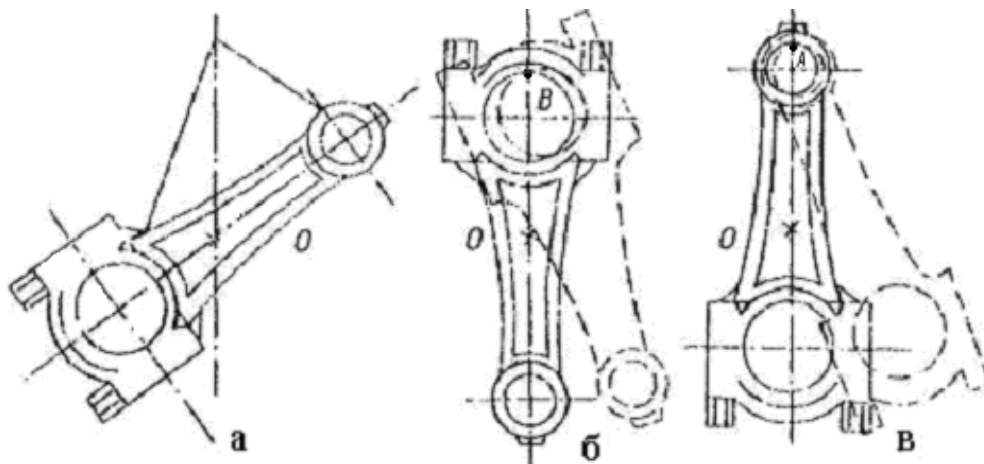


Рис. 1

3. Подвесить шатун так, как показано на рис. 1 б (ось вращения шатуна проходит через точку В) и, определив время десяти колебаний, найти период колебания шатуна T_B относительно оси, проходящей через точку В (шатун отклоняется от положения равновесия на $3-5^\circ$) $\left(T_B = \frac{t}{10}\right)$.

4. Измерить масштабной линейкой расстояние $r_{BO} = BO$.

5. Вычислить момент инерции шатуна относительно оси, проходящей через точку В (J_B) по формуле (2).

6. Подвесить шатун так, как это показано на рис. 1 в (ось вращения шатуна проходит через точку А), и аналогично описанному выше определить период колебаний шатуна (T_A), расстояние $r_{AO} = AO$ и вычислить момент инерции шатуна относительно оси, проходящей через точку А (J_A).

7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

	m	p	n	t	T	r	J	J_O
Относительно оси, проходящей через точку В.								
Относительно оси, проходящей через точку А.								

8. Вычислить J_O шатуна: $J_O = J_A - r_{AO}^2 m$; $J_O = J_B - r_{BO}^2 m$ для двух положений шатуна и его среднее значение.

Найти абсолютную и относительную погрешности вычислений момента инерции шатуна J_O относительно оси, проходящей через центр масс.

2.2 Лабораторная работа № 5.3 (2 часа).

Тема: «Последовательное и параллельное соединение проводников»

2.2.1 Цель работы: Выяснение соотношений между напряжением, токами, сопротивлениями при параллельном и последовательном соединении проводников, а также расчет мощностей на каждом из участков цепи и общей потребляемой мощности при тех же соединениях.

2.2.2 Задачи работы:

1. Сборка электрической цепи
2. Расчет напряжений, сил токов, сопротивлений при последовательном и параллельном соединениях

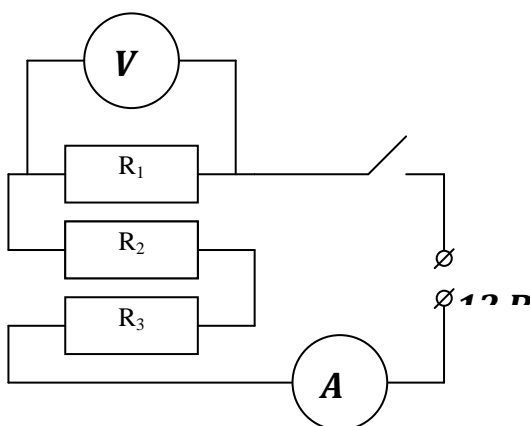
2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1) амперметр, 2) вольтметр, 3) набор сопротивлений, 4) соединительные провода, 5) источник тока (12В).

2.2.4 Описание (ход) работы:

ЗАДАНИЕ 1:

1. Знакомятся с приборами, записывают основные технические характеристики измерительных приборов.
2. Определяют цену деления прибора, для многопредельных приборов определяют цену деления на каждом пределе.



3. Собирают схему (рис.3) последовательного соединения проводников.

Рис.3

Вольтметр подключается параллельно тому участку, где нужно измерить напряжение.

4. Присоединяя провода к зажимам сопротивлений измеряют падение напряжения на каждом сопротивлении и в общей цепи. Измеряют силу тока (ток во всех участках должен быть одинаков).

Примечание: показания амперметра записывают при отключенном вольтметре.

5. Убеждаются, что $U = U_1 + U_2 + U_3$ и

$$R_1 = R_1 + R_2 + R_3$$

$$\left(R_1 = \frac{U_1}{I}; R_2 = \frac{U_2}{I}; R_3 = \frac{U_3}{I}; R = \frac{U}{I} \right)$$

где P – общая мощность ($P = P_1 + P_2 + P_3$)

P_i - мощность, развиваемая на отдельных участках.

$$(P_1 = IU_1, P_2 = IU_2, P_3 = IU_3)$$

6. Результаты измерений и вычислений записывают в таблицу.

Таблица 1

Соединение	U(B)	I(A)	P(Вт)	R(Ом)
последовательное				
Сопротивление 1 Сопротивление 2				
Сопротивление 3				
Вся цепь (данные опыта)				
Вся цепь (вычисления)				

ЗАДАНИЕ 2:

1. Собирают схему (рис.4) и измеряют общее напряжение и общую силу тока.

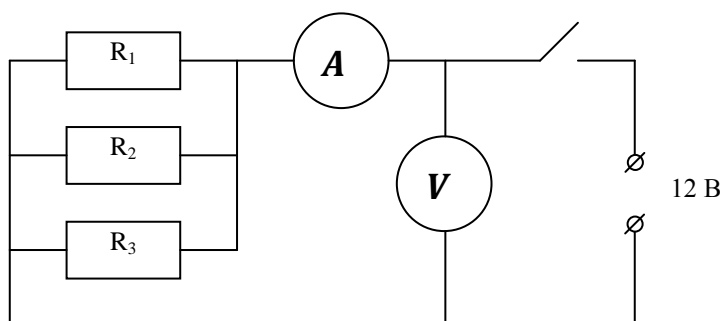


Рис.4

2. Измеряют ток в каждой ветви, включая амперметр в каждую ветвь как это показано на рис.5 (а и

б)

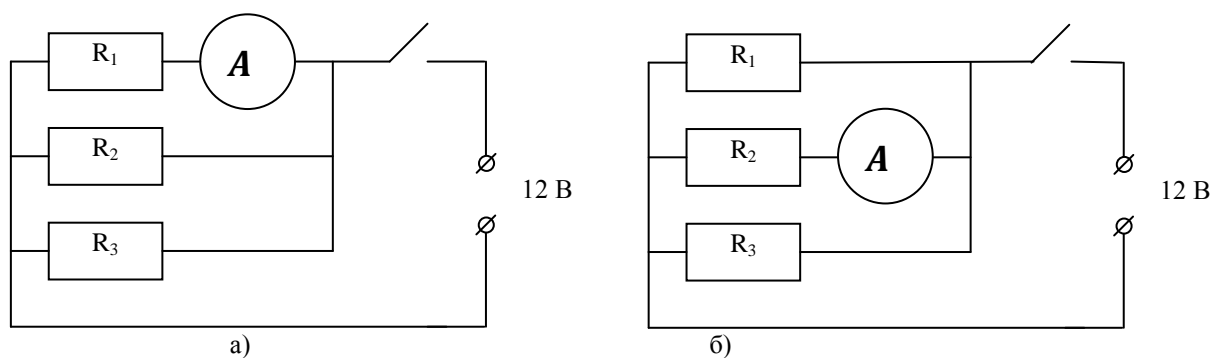


Рис.5

По аналогии со схемами «а» и «б» собирают схему для измерения тока в третьем сопротивлении, предварительно начертив и показав ее преподавателю.

3. Составляют таблицу для занесения данных, полученных при измерении характеристик проводников и токов при параллельном соединении.

4. Убеждаются, что ($U_{06} = U_1 = U_2 = U_3$, $I_{06} = I_1 + I_2 + I_3$)

$$R_{\text{теор}} = R_{\text{эсп}}; \frac{1}{R_{\text{теор}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

5. Составляют отчет по работе и делают выводы.

2.3 Лабораторная работа № 5.1 (2 часа).

Тема: «Опыты Резерфорда»

2.3.1 Цель работы: Ознакомиться с моделью Резерфорда, описывающую строение атома

2.3.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с компьютерной моделью опытов Резерфорда

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

компьютер

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Откройте программу «Физика в картинках» (папка «Fizika2», файл «Optics»), пункт меню «Опыты Резерфорда».

2. Далее следуйте пунктам меню программы

3. Сделайте выводы по проделанной работе.