

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

Кафедра «Физика»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Физика

Направление подготовки (специальность) 36.03.02 Зоотехния

**Профиль образовательной программы Технология производства продуктов
животноводства**

Форма обучения заочная

Оренбург 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций
1.1 Лекция № 1 Физические основы механики
1.2 Лекция № 2 Магнитное поле. Электромагнитная индукция
1.3 Лекция № 3 Элементы физики атома и атомного ядра
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ
2.1 Лабораторная работа № 1 ЛР-1 Определение момента инерции шатуна
2.2 Лабораторная работа № 2 ЛР-6 Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса
2.3 Лабораторная работа № 3 ЛР-8 Последовательное и параллельное соединение проводников
2.4 Лабораторная работа № 4 ЛР-14 Ядра атомов

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция №1 (2 ч)

Тема: Физические основы механики

1.1.1 Вопросы лекции:

1. **Предмет физики и законы физики.** Методы исследования. Характеристика современного состояния физической науки. Роль физики в сельском хозяйстве. Движение как главная форма существования материи. Траектория, длина пути, вектор перемещения. Скорость. Ускорение и его составляющие. Характеристики поступательного и вращательного движений

2. **Динамика поступательного движения.** Динамика. Сила и масса. Законы Ньютона. Неинерциальные системы отсчета. Закон сохранения импульса. Уравнение движения, принцип детерминизма.

3. **Механическая работа, энергия, мощность.** Работа и энергия. Работа переменной силы. Мощность. Энергия – как функция состояния механической системы. Кинетическая и потенциальная энергия. Связь энергии с работой. Законы сохранения и превращения энергии.

4. **Динамика вращательного движения.** Динамика абсолютно твердого тела. Степени свободы твердого тела. Момент силы, момент инерции твердого тела и способы его вычисления. Момент импульса твердого тела, закон его сохранения. Полная кинетическая энергия.

5. **Механические колебания.** Колебательное движение. Гармоническое колебательное движение и его характеристики. Маятники (пружинный, математический и физический). Свободные и затухающие колебания. Энергия колеблющейся системы. Вынужденные колебания. Резонанс. Сложение гармонических колебаний. Бегущие волны.

6. **Элементы механики жидкостей.** Гидродинамика идеальной жидкости. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли и его некоторые приложения. Движение вязкой жидкости. Движение тел в жидкостях и газах.

1.1.2 Краткое содержание вопросов

1. Предмет, задачи и цели физики.

Механика изучает движение тел в пространстве и во времени. Основная задача механики – определять положение тела в пространстве в любой момент времени.

Разделы механики:

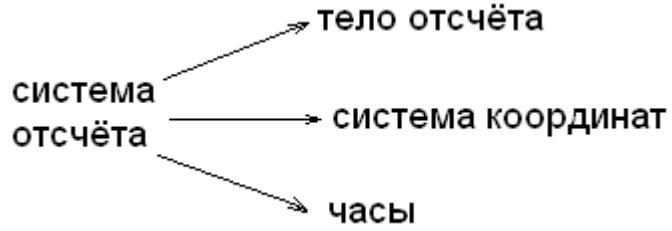
кинематика – изучает движение тел вне связи с причинами, которые изменяют это движение;

динамика – изучает движение тел в связи с причинами, которые изменяют это движение;

статика – является разделом динамики, изучающим равновесие тел.

Механическое движение – перемещение тел относительно какого-либо другого тела или группы тел, принимаемых за неподвижные (тело или группа тел образуют систему отсчета).

Каждое механическое движение рассматривается относительно вполне определенной системы отсчета. Система отсчета выбирается произвольно.



Для описания движения тел в физике используют модели, в частности, такой моделью является материальная точка.

Материальная точка – физическое тело, формами и размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

Рассмотрим движение такой материальной точки в трехмерном пространстве. Выберем систему координат, обозначим наложение в ней точки M (рис. 1).

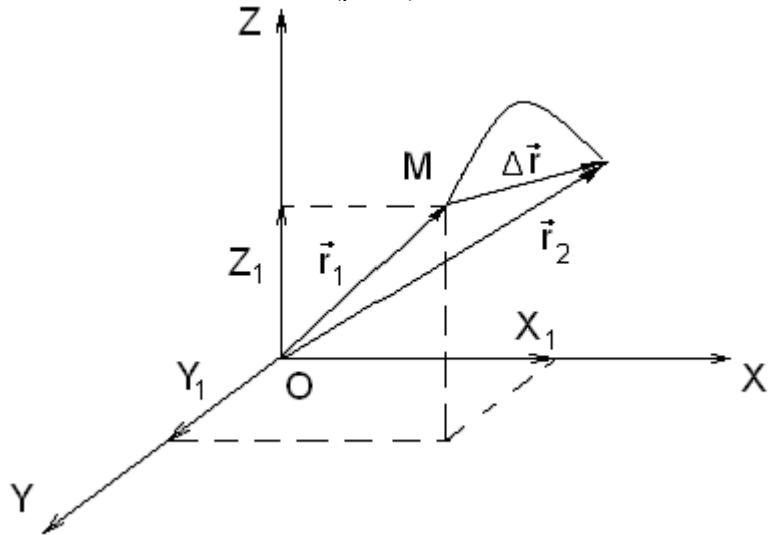


Рис. 1 – Координаты точки в декартовой системе координат

$$\vec{OM} = \vec{r} \quad \text{– радиус-вектор точки } M.$$

Проекция вектора \vec{OM} на координатные оси даст координаты этой точки – $M(x_1; y_1; z_1)$

Число независимых координат, определяющих положение тела в пространстве называется числом степеней свободы (i). В нашем случае $i = 3$.

Запишем параметрические уравнения движения точки:

$$x = x(t)$$

$$y = y(t) \quad \text{или} \quad \vec{r} = \vec{r}(t)$$

$$z = z(t)$$

В векторной форме уравнения движения можно записывать в виде:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \tag{1.1}$$

Линия, описываемая материальной точкой при её движении, называется *траекторией*. Длина участка траектории, пройденного материальной точкой за время t , есть *путь* S . Путь – величина скалярная.

Прямолинейный участок, соединяющий начальную и конечную точки траектории, называется *вектором перемещения* $\Delta \vec{r}$. Перемещение – величина векторная (рис. 2).

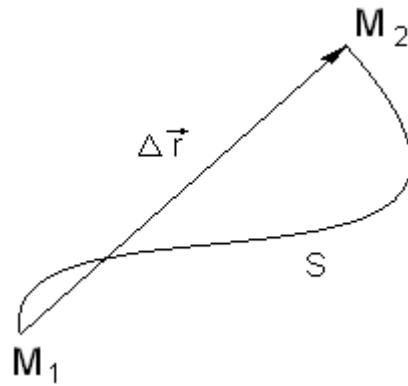


Рис. 2 – Траектория M_1M_2 , путь S , вектор перемещения $\Delta \vec{r}$

В случае прямолинейного движения перемещение и путь совпадают. В случае криволинейного движения путь и перемещение совпадают лишь при условии малости Δt (т.е. при $\Delta t \rightarrow 0$).

1.1.2 Скорость материальной точки

Для характеристики движения материальной точки вводится векторная величина – скорость. Скорость – величина, характеризующая быстроту изменения положения точки в пространстве. Средняя скорость:

$$\vec{v}_{cp} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}, \quad (1.2)$$

где Δr – приращение радиус-вектора.

Направление вектора средней скорости совпадает с направлением Δr . Бесконечно уменьшая промежуток времени Δt , получим мгновенную скорость:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d \vec{r}}{dt} \quad (1.3)$$

При $\Delta t \rightarrow 0$ путь S всё больше будет приближаться к Δr . Модуль мгновенной скорости:

$$\vec{v} = \frac{d \vec{r}}{dt} = \frac{d \vec{s}}{dt} \quad (1.4)$$

Таким образом, модуль мгновенной скорости равен первой производной пути по времени.

В случае криволинейного движения вектор скорости направлен по касательной в данной точке траектории (рис. 3).

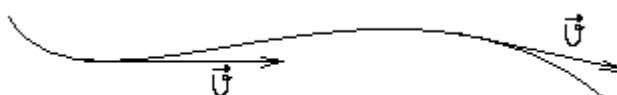


Рис. 3 – Направление вектора скорости

Из формулы (1.4) следует, что в СИ скорость измеряется в м/с.

1.1.3 Ускорение материальной точки

Ускорение \vec{a} (от лат. *acceleratio*) – это векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости по модулю и направлению.

Среднее ускорение в интервале времени Δt – векторная величина, равная отношению изменения скорости $\Delta \vec{v}$ к интервалу времени Δt :

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (1.5)$$

Мгновенное ускорение материальной точки – векторная величина, равная первой производной по времени скорости рассматриваемой точки (второй производной по времени от радиус-вектора этой же точки):

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d \vec{v}}{dt} = \vec{v}' = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{r}'' \quad (1.6)$$

Ускорение характеризует изменение скорости как по направлению a_n – нормальная составляющая ускорения, так и по модулю a_τ – тангенциальная составляющая ускорения.

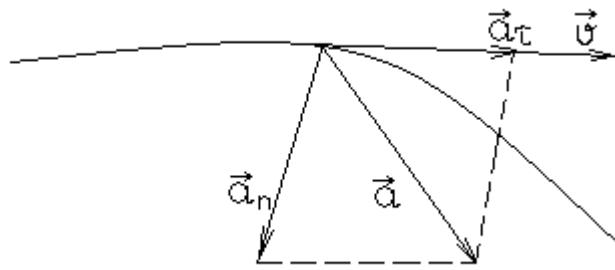


Рис. 4 – Полное ускорение и его составляющие

a_n – направлена в сторону вогнутости кривой и характеризует изменение скорости по направлению:

$$a_n = a_u = \frac{v^2}{r}, \quad (1.7)$$

где a_u – центростремительное ускорение.

a_τ – характеризует изменение скорости по величине:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \quad (1.8)$$

\vec{a} – полное ускорение, которое определяется по формуле:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \quad (1.9)$$

В скалярной форме:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} \quad (1.10)$$

Ускорение в СИ измеряется в м/с².

1.1.4 Классификация видов движения

В зависимости от a_τ и a_n движение можно классифицировать:

1) $a_n = 0, a_\tau = 0 \Rightarrow$ прямолинейное равномерное движение;

2) $a_\tau = \text{const}, a_n = 0 \Rightarrow$ прямолинейное равнопеременное движение;

3) $a_\tau = 0, a_n = \text{const} \Rightarrow$ равномерное движение по окружности;

4) $a_\tau \neq 0, a_n \neq 0 \Rightarrow$ криволинейное движение с изменяющейся скоростью.

В случае равнопеременного движения: если $a > 0$, то движение равноускоренное; если $a < 0$ –

$$v = v_0 \pm at ; \quad s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$$

равнозамедленное. В таком случае

Кинематика вращательного движения

Следующей моделью в механике является абсолютно твёрдое тело. Тело, при движении которого расстояние между любыми двумя точками неизменно во времени называется *абсолютно твёрдым телом*.

В механике выделяют поступательное и вращательное движение. При *поступательном* движении любая прямая, проведённая в теле, неизменно связанные с ним, перемещается, оставаясь параллельной самой себе. При этом все точки описывают одинаковую траекторию, имеют одинаковую скорость и ускорение. Помимо поступательного движения, тело (материальная точка) может совершать и вращательное движение.

При *вращательном* движении все точки тела описывают окружности, центры которых лежат на неподвижной прямой, называемой осью вращения.

Пусть некоторая точка M движется по окружности радиуса r . За время Δt совершил поворот на угол $\Delta\phi$. $\Delta\phi$ – угол поворота радиус-вектора \vec{r} вокруг точки O (рис. 5).

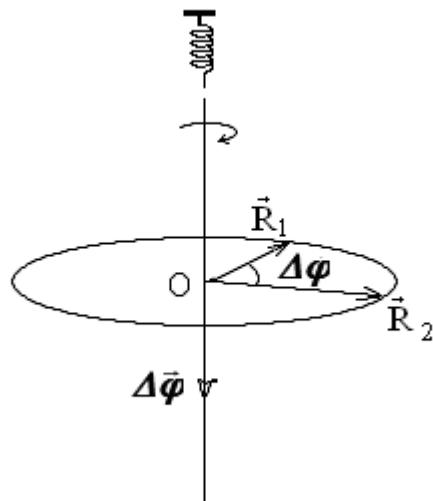


Рис. 5 – Вращение точки по окружности

Элементарные (бесконечно малые) повороты можно рассматривать как векторы (обозначаются $d\phi$ или $\Delta\phi$), их называют *псевдовекторами*.

Особенности псевдовекторов:

- 1) не имеют определённой точки приложения;
- 2) направлены вдоль оси вращения по правилу буравчика (правилу правого винта).

1.1.5 Угловая скорость

Угловая скорость $\vec{\omega}$ – первая производная угла поворота по времени:

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{d\phi}{dt} \quad (1.10)$$

Вектор $\vec{\omega}$ направлен вдоль оси вращения, а его направление определяется по правилу правого винта (рис. 6). В СИ единица измерения $\vec{\omega}$ – рад/с.

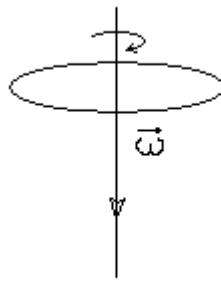


Рис. 6 – Направление угловой скорости

Угол поворота $\Delta\phi$ и угловую скорость ω можно определить:

$$\Delta\phi = 2\pi N \quad (1.11)$$

$$\omega = 2\pi n, \quad (1.12)$$

где n – частота вращения, N – число оборотов. Частота вращения – это число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном его движении по окружности, в единицу времени:

$$n = \frac{1}{T} \quad (1.13)$$

Время полного оборота тела – период вращения (T). Единица измерения периода T – с, а частоты n – с^{-1} . Учитывая формулу (1.12) и (1.13), можно записать:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1.14)$$

1.1.6 Угловое ускорение

Угловое ускорение – первая производная угловой скорости по времени:

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (1.15)$$

$\vec{\beta}$ – величина векторная, направлена, как и угловая скорость, вдоль оси вращения (если ось закреплена):

1) при ускоренном движении $\vec{\beta} \uparrow \uparrow \vec{\omega}$;

2) при замедленном движении $\vec{\beta} \uparrow \downarrow \vec{\omega}$.

В СИ единица измерения $\vec{\beta}$ – рад/с².

1.1.7 Связь между линейными и угловыми характеристиками при вращательном движении

1) $s = r\phi$

2) $v = r\omega$

3) $a_t = r\beta$

4) $a_n = \omega^2 r$

Таблица 1 – Аналогия формул для поступательного и вращательного движения.

поступательное движение	вращательное движение
-------------------------	-----------------------

S	ϕ
a	β
v	ω
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 \pm \beta t$
$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$	$\phi = \omega_0 t \pm \frac{\beta t^2}{2}$

2. Динамика поступательного движения.

Динамика является основным разделом механики, в её основе лежат 3 закона Ньютона, сформулированные им в 80-х годах XVII столетия.

I з а к о н Н ю т о н а. Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить состояние движения.

Свойства тел сохранять состояние покоя или равномерного, прямолинейного движения называется *инерцией*.

Из I закона Ньютона следует, что изменение скорости движения тела возможно лишь при воздействии на него других тел.

Системы отсчёта, в которых выполняется первый закон Ньютона, называются *инерциальными*. Любая система отсчёта, относительно которой материальная точка (тело) движется равномерно и прямолинейно, есть *инерциальная система*.

Основные величины, рассматриваемые в динамике поступательного движения: сила и масса.

Сила – мера воздействия на данное тело со стороны других тел или полей, вследствие которого возникает либо ускорение, либо деформация тела, т.е. сила F является мерой воздействия.

Если на тело действует несколько сил, то их действие эквивалентно действию одной силы, равной векторной сумме всех сил:

$$\vec{F}_{pes} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i, \quad (2.1)$$

где F_{pes} – результирующая всех сил.

В СИ сила измеряется в Ньютонах (Н).

Известны четыре основных (фундаментальных) типа взаимодействия:

1. *Гравитационные взаимодействия* (источник – масса), подчиняются закону всемирного тяготения:

$$F_{gp} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (2.2)$$

где $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2$ – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 – массы тел, r – расстояние между ними.

2. *Электромагнитные взаимодействия* (источник – заряд), подчиняется закону Кулона – Лоренца:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r} + q [\vec{v} \vec{B}], \quad (2.3)$$

где $k = 9 \cdot 10^9 N \cdot m^2 / C^2$ – коэффициент пропорциональности.

3. *Ядерные взаимодействия* осуществляются между частицами ядра атома (источником являются нуклоны: протоны и нейтроны).

4. *Слабые взаимодействия*, проявляющиеся при превращении элементарных частиц друг в друга с участием нейтрино. Соотношение величин взаимодействия: ядерное – 1, электромагнитное – 10^{-2} , слабое – 10^{-13} , гравитационное – 10^{-38} .

В классической механике рассматриваются малые скорости. Поэтому масса считается величиной постоянной для данного тела. В релятивистской механике рассматриваются скорости близкие к скорости света, тогда согласно формуле (3.7) следует, что масса – величина переменная. По мере увеличения скорости масса m увеличивается.

В СИ масса измеряется в килограммах (кг).

II Закон Ньютона – основной закон динамики поступательного движения. Ускорение, приобретаемое телом, прямо пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорционально массе этого тела:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2.12)$$

Ускорение тела зависит не только от величины воздействия, но и от свойств самого тела (массы). Ускорение, приобретаемое телом под действием силы, направлено в ту же сторону, что и сама сила. Таким образом, II закон Ньютона объединяет 3 физические величины: массу, силу и ускорение.

В механике большое значение имеет *принцип независимости действия сил*: если на материальную точку действует одновременно несколько сил, то каждая из этих сил сообщает материальной точке ускорение согласно второму закону Ньютона, как будто других сил не было. Согласно этому принципу силы и ускорения можно разлагать на составляющие, использование которых приводит к существенному упрощению решения задач. Например, *нормальное и тангенциальное ускорения* материальной точки определяются соответствующими составляющими силы.

Сила, сообщающая материальной точке *нормальное ускорение*, направлена к центру кривизны траектории и потому называется *центробежительной силой*.

III закон Ньютона позволяет обобщить и применить законы Ньютона не для материальной точки, а для тел и системы тел. *При взаимодействии тел возникают силы, равные по величине, направленные вдоль одной линии и приложенные к разным телам:*

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}, \quad (2.13)$$

где \vec{F}_{12} – сила действия первого тела на второе, \vec{F}_{21} – сила действия второго тела на первое.

Из третьего закона Ньютона следует, что сумма внутренних воздействий в замкнутой системе равна нулю, а значит, система тел может получить ускорение только за счет внешних воздействий. Для движущейся системы так же справедлив второй закон Ньютона, только если система движется равномерно, прямолинейно и со скоростью, много меньшей скорости света.

1.2.2 Импульс тела. Закон сохранения импульса в изолированной системе

Импульс \vec{P} – векторная физическая величина, равная произведению массы этого тела на скорость:

$$\vec{P} = m \vec{v} \quad (2.14)$$

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

Согласно второму закону Ньютона

Поскольку:

$$\vec{P} = m \vec{v} \Rightarrow \vec{F} = \frac{d \vec{P}}{dt} \quad (2.15)$$

Таким образом, сила равна скорости изменения импульса (более общая формулировка второго закона Ньютона).

$$K2 \frac{M}{C}$$

В СИ импульс тела измеряется в

Совокупность материальных точек (тел), рассматриваемых как единое целое, называется *механической системой*.

Силы, с которыми на материальные системы действуют внешние тела, называются *внешними*.

Механическая система тел, на которую не действуют внешние силы, называется *изолированной*.

Производная по времени от импульса механической системы равна геометрической сумме внешних сил, действующих на систему:

$$\frac{d \vec{P}}{dt} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n, \quad (2.16)$$

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i$$

где – импульс системы.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{P}}{dt} = 0$$

В случае отсутствия внешних сил (изолированная система)

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = 0 \quad (2.17)$$

Соотношение (2.13) выражает закон сохранения импульса. В изолированной системе геометрическая сумма импульсов всех тел есть величина постоянная. Данний закон носит универсальный характер и является фундаментальным законом природы.

3. Механическая работа, энергия, мощность.

Пусть под действием постоянной силы F материальная точка (тело) B , совершила перемещение S .

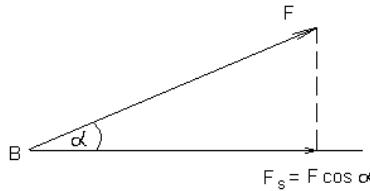


Рис. 7

F_s – движущая сила, составляющая силы F .

Для характеристики перемещающего действия силы вводится понятие *работы*.

Механической работой называется скалярная величина, равная произведению постоянной движущей силы на величину перемещения:

$$A = F_s \cdot S = F \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (5.1)$$

Работа силы при 0° положительна, т.е. сила вызывает перемещение тела; при 90° отрицательна, т.е. сила препятствует движению тела.

Если $\alpha = 90^\circ$, то в этом случае сила не совершает работы по перемещению тела, а если направление силы и перемещения совпадают $\alpha = 0^\circ \Rightarrow A_{\max} = F \cdot S$

В СИ единицей измерения работы является Джоуль (Дж).

5.2. Работа переменной силы

В случае переменной силы и криволинейного пути необходимо разбить весь путь S на столь малые (практически прямолинейные) отрезки $\Delta S_1, \Delta S_2 \dots \Delta S_n$, чтобы силы, действующие на каждом из них, можно было считать постоянными и равными $F_1, F_2 \dots F_n$.

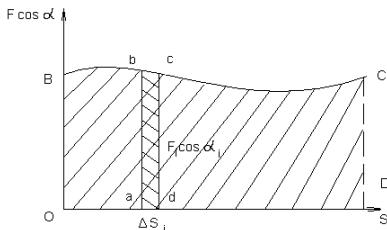


Рис. 8

Полная работа на всем пути:

$$A = \sum_{i=1}^n F_i \Delta S_i \cos \alpha_i \quad (5.2)$$

Или полная работа определяется площадью фигуры OBCD. Если путь OD разбит на бесконечно малые отрезки dS_i , то сумма, стоящая в правой части (5.2) переходит в интеграл:

$$A = \int_O^{OD} F dS \cos \alpha \quad (5.3)$$

5.3. Мощность

Чтобы охарактеризовать скорость совершения работы, вводят понятие *мощности*.

Мощность – физическая величина, характеризующая степень интенсивности выполнения работы.

Мощность определяется отношением работы к промежутку времени, за которое она совершена:

$$N = \frac{A}{t} \quad (5.4)$$

В случае движения тела с постоянной скоростью v под действием силы F (преодолевающей сопротивление движению) мощность N может быть выражена:

$$N = \frac{F\Delta S}{\Delta t} = Fv \quad (5.5)$$

В СИ единицей измерения мощности является ватт (Вт).

§6. Энергия. Кинетическая и потенциальная энергия. Связь энергии с работой

6.1. Энергия

Энергия – универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Энергия характеризует состояние системы, (возможность) системы к совершению работы при переходе из одного состояния в другое. Энергия является однозначной функцией состояния системы, её выражают через параметры состояния этой системы. Сколько видов движения – столько видов энергии (биологическая, химическая, ядерная энергии и т.д.). Понятие работы и энергии не адекватны: энергия – функция состояния, а работа – способ изменения энергии систем.

. Кинетическая энергия

Кинетическая энергия механической системы – это энергия механического движения этой системы:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (5.6)$$

E_k зависит только от массы и скорости тела, т.е. кинетическая энергия системы есть функция состояния её движения. В свою очередь E_k зависит от выбора системы отсчёта (в разных ИСО, E_k различна). Кинетическая энергия только положительна.

6.3. Потенциальная энергия.

6.3.1. Потенциальная энергия сжатой пружины.

Потенциальная энергия – это энергия, определяемая взаимным расположением тел или частей тела относительно друг друга (энергия координаты). Рассмотрим сжатую пружину. Под действием внешней силы растянем пружину, при этом совершится работа против сил упругости $F_y = -kx$ – Закон Гука.

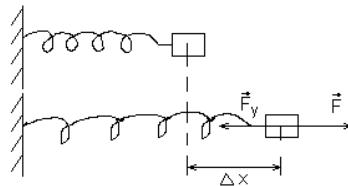


Рис. 9

$$A = \int_1^2 F_y dx = - \int_1^2 kx dx = -k \int_1^2 x dx = -\frac{kx^2}{2}$$

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$

Таким образом – потенциальная энергия сжатой пружины или энергия упругой деформации (E_n определяется координатой x).

$$A = E_{n1} - E_{n2} = -\Delta E_n \quad (6.1)$$

Формула (5.7) выражает связь энергии с работой, т.е. изменение энергии измеряется работой, которую может совершить система, переходя из одного состояния в другое. Работа – мера изменения энергии системы.

6.3.2. Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия

Пусть тело массой m находится в гравитационном поле тела массой M .

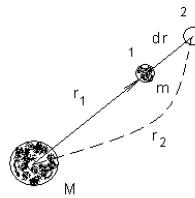


Рис. 10

$$F = \gamma \frac{mM}{r^2}$$

На тело m действует сила, которая изменяется с расстоянием. Если тело переместится из точки 2 в точку 1, то совершится работа:

$$\Rightarrow A = \gamma \frac{mM}{r_2} - \gamma \frac{mM}{r_1} = -\Delta E_n \quad (6.2)$$

Таким образом, потенциальная энергия тела m в поле тела M определяется формулой вида

$$E_n = \gamma \frac{mM}{r}$$

Проанализируем полученную формулу:

- 1) Работа не зависит от формы пути, зависит от начальной и конечной точки перемещения;
 - а) Если работа не зависит от формы пути, такие системы называются *потенциальными* или *консервативными*. Действующие в них силы называются потенциальными. В таких системах не происходит перехода механической энергии в другие виды энергии;
 - б) Системы, в которых работа зависит от формы пути, называются *диссипативными*, в таких системах существует переход механической энергии в другие виды энергии;
 - в) Если в любой точке рассматриваемого пространства на тело действует сила, то говорят, что имеем дело с силовым полем. Если силы направлены к общей точке, то поле называют *центральным*;
 - г) Если силы в данной области пространства одинаковы по величине и направлению, поле называют *однородным* (таковым является гравитационное поле около Земли);
 - д) Если потенциальная энергия постоянна по времени, то поле называется *стационарным*.
- 2) Работа равна разности энергии тела в двух точках поля.

Общим для всех видов потенциальной энергии является ее связь с работой потенциальных сил. Применяя связь работы и энергии можно рассчитывать поля и действующие в них силы (электрическое, гравитационное, магнитное поле).

В СИ единицей измерения энергии является Джоуль (Дж).

Область измерения энергии в Дж:

Вспышка сверхновой звезды	10^{40} Дж
Энергия, излучаемая солнцем в год	10^{32} Дж
Сильное землетрясение	10^{20} Дж
Водородная бомба	10^{16} Дж
Молния	10^8 Дж
Смертельная доза рентген	10^4 Дж
Химическая связь	10^{-20} Дж

4. 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*.

8.2. Момент силы

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

$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}] \quad (8.1)$$

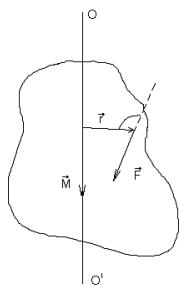


Рис. 11

\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 движется точка приложенной силы.

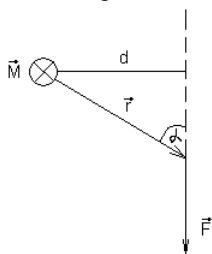


Рис. 12

Таким образом:

$$M = F \cdot r \cdot \sin \alpha = F \cdot d \quad (8.2)$$

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

8.3. Основное уравнение динамики вращательного движения

Рассмотрим абсолютно твердое тело, вращающееся вокруг оси $O-O'$. Разобьём твёрдое тело на элементарные массы m_i .

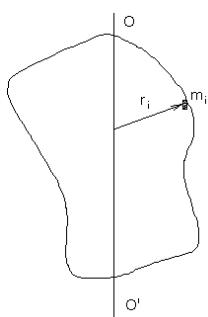


Рис. 13

Запишем второй закон Ньютона для массы m_i : $F_i = m_i a_i$. Заменим $a_\tau = [\beta r]$ 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,

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \sum_{i=1}^n I_i \cdot \beta \quad \text{величина,}$$

составляющих это тело и просуммировать все уравнения

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_{\text{рез}}$$

– результирующий момент сил. I – момент инерции твёрдого тела равен сумме моментов инерций всех материальных точек тела:

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

Т.о момент силы равен произведению момента инерции тела на его угловое ускорение:

$$M = I \cdot \beta \quad (8.3)$$

Уравнение (8.3) называется *основным уравнением динамики вращательного движения*. Во

$$\beta = \frac{M}{I}$$

вращательном движении – второй закон Ньютона для вращающегося твёрдого тела. Роль силы играет момент сил. Мерой инертности твердого тела вращательного движения является момент инерции.

8.4. Момент инерции твёрдого тела. Способы его вычисления.

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

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (8.4)$$

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

$$I = \int_V r^2 dm \quad (8.5)$$

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

Пример 2. Момент инерции диска.

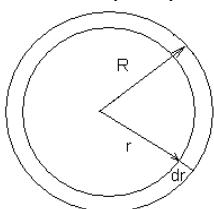


Рис. 15

Разделив диск на отдельные кольца толщиной dr , проинтегрировав по переменному радиусу, получим:

$$I_o = \frac{1}{2} MR^2 \quad (8.7)$$

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

$$I = I_0 + md^2 \quad (8.11)$$

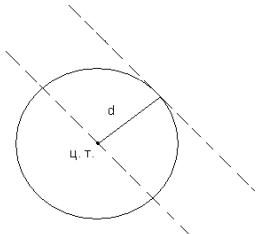


Рис. 16

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgr}}$$

путём: используя закон сохранения энергии; период колебания физического маятника и т.д..

§9. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса. Кинетическая энергия вращающегося тела. Полная кинетическая энергия тела. Аналогия формул поступательного и вращательного движений.

9.1. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.

Уравнение динамики вращательного движения можно записать в другом виде

$\vec{M} = I \cdot \vec{\beta} = I \frac{d \vec{\omega}}{dt} \Rightarrow \vec{M} = \frac{d(I \vec{\omega})}{dt}$. Величина $I \vec{\omega}$, 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 $\sum_{i=1}^n M_i = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n I_i \omega_i = const$ (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, вращающееся 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:

$$\begin{aligned} E_k &= \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i \omega_i^2 r_i^2}{2} = \frac{\omega}{2} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \Rightarrow \\ E_k &= \frac{I \omega^2}{2} \end{aligned} \quad (9.2)$$

9.3. Кинетическая энергия катящегося тела

Если тело одновременно участвует в поступательном и вращательном движении, 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.

9.4. Аналогия формул поступательного и вращательного движения

поступательное движение	вращательное движение
S, \vec{v}, \vec{a}	$\phi, \vec{\omega}, \vec{\beta}$
m, \vec{F}, \vec{P}	I, \vec{M}, \vec{L}
$\vec{F} = m \vec{a}$	$\vec{M} = I \vec{\omega}$
$\vec{P} = m \vec{v}$	$\vec{L} = I \vec{\omega}$
$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const$	$\sum_{i=1}^n I_i \vec{\omega}_i = const$

$E_k = \frac{mv^2}{2}$	$E_k = \frac{I\omega^2}{2}$
------------------------	-----------------------------

5. 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 многоократно отклонялось от своего состояния равновесия, вновь возвращаются к нему. Такие движения называются *колебательными*.

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

Среди других видов колебаний, гармонические колебания занимают особое положение. Это обусловлено тем, что, как показал Фурье, любое периодическое движение (любое колебание) можно рассмотреть как результат сложения конечного или бесконечного числа простых гармонических колебательных движений. Таким образом, сколько угодно сложное колебание может быть сведено к гармоническому, поэтому учение о гармонических колебаниях составляет основу общего учения о колебаниях.

§10. Гармоническое колебательное движение и его характеристики. Маятники (пружинный, математический, физический). Полная энергия гармонического колебания.

10.1. Гармоническое колебательное движение и его характеристики.

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

$$x = A \sin(\omega t + \phi_0) \quad (10.1)$$

где x – смещение колеблющейся точки;

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

ω – круговая (циклическая) частота;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (10.2)$$

T – период колебаний (время одного полного колебания);

$$T = \frac{1}{v} \quad (10.3)$$

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

Подставляя (10.3) в (10.2) получим:

$$\omega = 2\pi v \quad (10.4)$$

Формула (10.4) выражает связь циклической частоты с обычной частотой. В СИ v измеряется в герцах (Гц).

$(\omega t + \phi_0)$ – фаза колебания; величина, определяющая положение колеблющейся точки и направление её движения в данный период времени;

ϕ_0 – начальная фаза;

Скорость колеблющейся точки величина переменная. Она может быть определена как первая производная смещения по времени:

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega (\cos \phi_0) \quad (10.5)$$

Ускорение колеблющейся частицы первая производная скорости по времени:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi_0) = -\omega^2 x \quad (10.6)$$

На рис. 17 приведены графики координаты, скорости и ускорения тела, совершающего гармонические колебания.

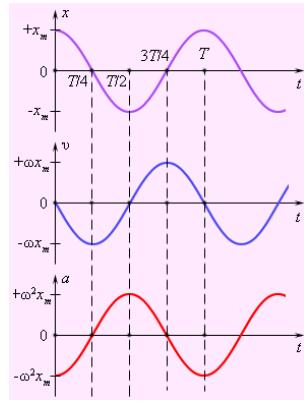


Рис. 17

10.2. Динамика колеблющейся точки

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*.

Математика

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

$$\begin{aligned} k &= m\omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \\ \omega &= \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \\ T &= 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \end{aligned} \quad (10.7)$$

Формула (10.7) – *период колебаний пружинного маятника*. Период колебаний пружинного маятника зависит от свойств самой системы. Амплитуда будет зависеть от энергии, сообщённой этому маятнику.

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

$$\begin{aligned} mg \sin \alpha &= F_e \\ mg \sin \alpha &= -kx = F_e \\ \frac{mgx}{l} &= -kx \Rightarrow k = \frac{mg}{l} \\ T &= 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \\ T &= 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \end{aligned} \quad (10.8)$$

Формула (10.8) – *период колебаний математического маятника*.

Из формулы (10.8) 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.

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (10.9)$$

$$L = \frac{I}{mr}$$

Где L – приведенная длина физического маятника. Приведенная длина физического маятника равна длине такого математического маятника, у которого период колебаний такой же, как и у

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{y}{mg}}$$

физического маятника.

10.3. Полная энергия гармонического колебания

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

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad E_p = \frac{kx^2}{2}$$

из кинетической энергии и потенциальной, т.е.

$$E_n = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$$

Заменим $v = A\omega(\cos\phi_0)$ и $x = A\sin(\omega t + \phi_0)$, а также учитывая, что $k = m\omega^2$ получим:

$$E_n = \frac{mA^2\omega^2\cos^2\omega t}{2} + \frac{mA^2\omega^2\sin^2\omega t}{2} = \frac{kA^2}{2} \quad (10.10)$$

$$E_n = \frac{kA^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \quad (10.11)$$

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.

§11. Свободные, затухающие и вынужденные колебания. Резонанс. Сложение гармонических колебаний.

11.1. Свободные колебания

Если в системе, совершающей колебания, только однажды сообщили энергию, то такие колебания будут *свободными*.

В отсутствии сил трения на систему будет действовать только возвращающая сила и колебания будут гармоническими.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad (11.1)$$

(11.1) дифференциальное уравнение свободных колебаний.

Необходимые условия для возникновения свободных колебаний:

1) Наличие энергии, избыточной по сравнению с энергией системы, в положении устойчивого равновесия;

2) Работа сил трения в системе должна быть значительно меньше избыточной энергии.

В отсутствии этих условий колебания быстро затухают или не возникают вообще.

11.2. Затухающие колебания

В реальных системах из-за наличия сил трения колебания будут *затухающими*. В результате помимо возвращающей силы действует также и силы трения.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} \quad (11.2)$$

(11.2) – *дифференциальное уравнение затухающих колебаний*, решение этого уравнения позволяет получить формулу смещения для затухающих колебаний:

$$x = A_0 e^{\delta t} \sin \omega t \quad (11.3)$$

где x – смещение; A_0 – начальная амплитуда; e – основание натурального логарифма; δ – коэффициент затухания, t – время.

Быстрота уменьшения амплитуды характеризуется декрементом затухания δ . Декремент затухания – величина, показывающая быстроту затухания амплитуды и равная отношению двух соседних амплитуд разделённых временем в один период:

$$k = \frac{A(t)}{A(t+T)} \quad K = \frac{A_1}{A_2} \quad (11.4)$$

$$\lambda = \ln k \quad \lambda = \ln K \quad (11.5)$$

(11.5) – логарифмический декремент затухания. Если колебания полностью затухают за время, равное одному периоду, то такие колебания называются *апериодическими*. Связь между декрементом и коэффициентом затухания:

$$\lambda = \delta T \quad (11.6)$$

Коэффициент затухания зависит от массы и сопротивления среды:

$$\delta = \frac{r}{2m} \quad (11.7)$$

11.3. Вынужденные колебания. Резонанс.

Наряду со свободными колебаниями, происходящими под действием внутренних сил, в системе возможны колебания, вызванные периодической внешней силой.

Вынужденные колебания – колебания, происходящие под действием *периодической внешней силы*. Дифференциальное уравнение движения при вынужденных колебаниях, без учёта сил трения:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx + F_0 \sin \omega_e t \quad (11.8)$$

Проводя соответствующие преобразования, получаем решение данного уравнения:

$$x = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 + \omega_e^2)} \sin \omega_e t \quad X = \frac{f_0}{m(\omega_0^2 + \omega_B^2)} \sin \omega_B t \quad (11.9)$$

$$A_{pes} = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 + \omega_e^2)} \quad A_{pes.} = \frac{f_0}{m(\omega_0^2 + \omega_B^2)} \quad (11.10)$$

Из уравнения видно, что вынужденные колебания совершаются с частотой, равной частоте действия вынуждающей силы и с амплитудой, зависящей от соотношения частоты действующей силы и собственной частоты колебания системы.

Если в системе существует силы трения то:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx + F_0 \sin \omega_e t - F_{mp} \quad (11.11)$$

$$\frac{md^2x}{dt^2} = -KX + f_0 \sin \omega_B t - F_{tp}$$

И тогда:

$$A_{pes} = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega_e^2)^2 + 4\delta\omega^2}} \quad (11.12)$$

$$A_{pes.} = \frac{f_0}{\sqrt{m^2(\omega_0^2 - \omega_B^2) + 4\delta\omega^2}}$$

Резкое возрастание амплитуды при приближении частоты действия вынуждающей силы к частоте собственных колебаний системы называется *резонансом*.

Резонансная частота – это некоторое значение частоты вынуждающей силы, при которой амплитуда колебаний достигает максимального значения:

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} \quad (11.13)$$

§12. Волны в упругой среде. Уравнение бегущей волны. Звуковые волны.

12.1. 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*.

Скорость волны:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (12.1)$$

здесь λ – длина волны, расстояние, на которое волна сместится за время равное одному периоду T .

Если колебания сложные, то вводят понятие *групповой и фазовой* скорости.

Фазовая скорость – это скорость, с которой движется фаза суммарного колебания.

Групповая скорость – это скорость перемещения пакета сложного колебания.

12.2. Уравнение бегущей волны.

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

$$x = A \sin \left(\omega t - \frac{\omega y}{v} \right) = A \sin \left(\omega t - \frac{2\pi y}{Tv} \right) \quad (12.2)$$

$$x = A \sin \left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda} \right) \quad (12.3)$$

$$x = A \sin (\omega t - ky) \quad (12.4)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

где k называется *волновым числом*.

$$\lambda$$

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 $I \sim kA^2$ $Y \sim KA^2$

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:

$$x = 2A \cos \frac{2\pi y}{\lambda} \sin \omega t \quad (12.5)$$

12.3. Звуковые волны

Звуковые волны – это механические колебания, возникающие в средах. Звуковые волны бывают: периодические (музыкальные звуки), шумы, звуковые удары.

Человек слышит звуковые колебания в диапазоне 20 – 20000 Гц. Колебания ниже 20 Гц – инфразвуки. Колебания выше 20000 Гц – ультразвуки.

Психофизические характеристики звука:

- 1) Тембр – спектральный состав, звуковых колебаний.
- 2) Высота звука – определяется частотой колебания.
- 3) Громкость – зависит от амплитуды и частоты колебания.

6. Элементы механики жидкостей.

Элементы механики жидкостей

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 вязка: 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°C . Поэтому течение таких жидкостей во многих практических случаях можно рассматривать практически идеальным.

Для идеальной жидкости важно выполнение двух условий:

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

$$2) \eta = 0$$

13.2. 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*.

13.3. Уравнение неразрывности струи

$$Sv = \text{const} \quad (13.1)$$

Для данной трубы тока произведение площади поперечного сечения трубы на скорость течения жидкости есть величина постоянная. Соотношение (13.1) называется *уравнением неразрывности струи*. Оно справедливо не только для трубы тока, но и для любой реальной трубы, для русла реки и т.п. Таким образом форма трубы определяет скорость течения жидкости (газа): скорость возрастает там, где трубы 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 m^3/s .

Из формулы (13.1) следует, что расход жидкости в пределах потока постоянен.

§14. Уравнение Бернуlli и его применение. Давление жидкости, текущей по трубе переменного сечения. Формула Торричелли.

14.1. Уравнение Бернуlli и его применение

Давление покоящейся жидкости, создаваемое столбом её собственным весом, на глубине h равно:

$$P = P_0 + \rho gh \quad (14.1)$$

где P_0 – атмосферное давление

ρgh – давление столба жидкости.

Однако в движущейся жидкости возникает уже дополнительное давление, обусловленное кинетической энергией потока.

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

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const} \quad (14.2)$$

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

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.

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

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;

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

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.

14.2. Давление жидкости, текущей по трубе переменного сечения.

Для горизонтальной трубы тока (или реальной трубы) уравнение Бернулли принимает следующий вид:

$$\frac{\rho v^2}{2} + P = \text{const} \quad (14.3)$$

Из уравнения Бернулли и неразрывности струи следует, в местах сужения трубопровода скорость течения жидкости возрастает, а статическое давление понижается. Докажем это.

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

Поскольку $S_1 \cancel{\cdot} S_2 \Rightarrow v_1 \cancel{\cdot}$ получаем, что согласно (14.3) $P_1 \cancel{\cdot} P_2 \cancel{\cdot}$.

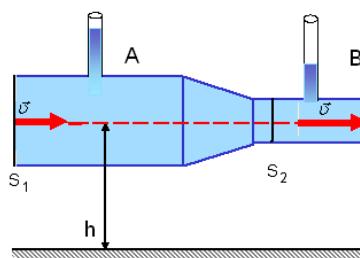
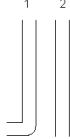


Рис. 25

Статическое давление $P_{\text{ст}}$ жидкости в горизонтальной трубе может быть измерено прямой манометрической трубкой 2 (см. рис. 26), плоскость отверстия которой расположена параллельно направлению движения жидкости. Динамическое давление $P_{\text{дин}}$ определяют по разности между полным и измеренным одновременно статическим давлением:

$$P_{дин} = P - P_{cm} \quad (14.4)$$



Для измерения полного давления применяют манометрическую трубку 1, изогнутую под прямым углом навстречу движения жидкости. Частицы жидкости, попадающие в отверстие трубы, затормаживаются до полной остановки, а их кинетическая энергия переходит в потенциальную, и давление в трубке повышается согласно уравнению Бернулли до величины полного давления. Если в струю жидкости или газа поставить рядом 2 манометрические трубы 1 и 2 (такое устройство называется *трубкой Пито*) и соединить их с манометром, то последний покажет динамическое давление, по которому вычисляют

$$P_{дин} = \frac{\rho v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 P_{дин}}{\rho}}$$

скорость течения:

Уравнение Бернулли является одним из основных законов механики движения жидкостей и газов (гидро и аэродинамики) имеющим большое прикладное значение. На его основе сконструированы:

- 1) Водоструйный насос;
- 2) Гидротаран;
- 3) Пульверизатор.

1.2 Лекция № 2 (2 ч)

Тема: Магнитное поле. Электромагнитная индукция.

1.2.1 Вопросы лекции:

1. **Магнитное поле.** Вектор магнитной индукции. Линии магнитной индукции. Закон Ампера. Взаимодействие токов. Сила Ампера. Работа по перемещению проводника в магнитном поле. Формула Лоренца. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
2. **Электромагнитная индукция.** Явление электромагнитной индукции (опыты Фарадея). Закон Фарадея. Рамка в магнитном поле. Индуктивность контура. Самоиндукция. Взаимная индукция. Трансформаторы. Энергия магнитного поля.
3. **Магнитные свойства вещества.** Магнитные свойства вещества. Диа-, пара-, ферромагнетики. Намагниченность. Магнитное поле в веществе.
4. **Электромагнитные волны.** Экспериментальное получение электромагнитных волн. Свойства электромагнитных волн. Энергия элм. волн.

1.2.2 Краткое содержание вопросов

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 перемагничивание компаса, если вблизи них проходил грозовой 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 $\textcolor{red}{i} > \textcolor{red}{i}$ проводник с током воздействует на магнитную стрелку (см. рис. 27).

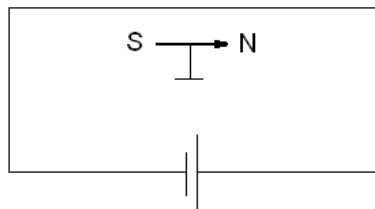


Рис. 27 – Магнитная стрелка вблизи проводника с током

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

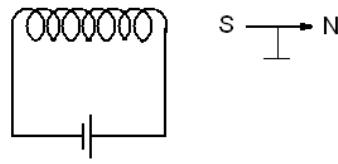


Рис. 28 – Магнитная стрелка вблизи катушки с током

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).

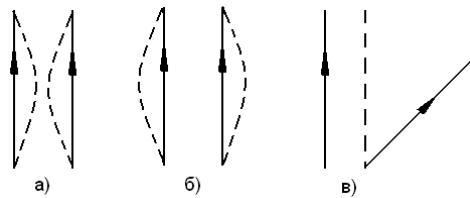


Рис. 29 – Взаимодействие токов

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 .

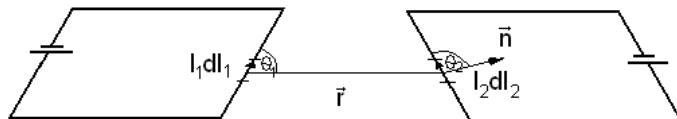


Рис. 30 – «Станок Ампера»

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

где $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$, а $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ 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 $dF = Idl$.

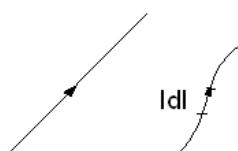


Рис. 31 – Проводник с током и пробный элемент тока

$$dF = BIdl \sin \theta, \quad (3.2)$$

где θ – угол между направлением \vec{B} и участком длины $d\vec{l}$; 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 отличии 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.

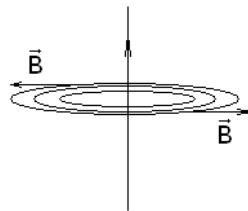


Рис. 32 – Магнитное поле прямого тока

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

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

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

Пусть проводник с током длиной l , помещен в магнитное поле (см. рис. 34). Выделим в нем элемент тока Idl . На элемент тока действует сила:

$$dF = IBdl \sin \Theta, \quad (3.7)$$

где $\angle \Theta = (d\hat{l} B)$

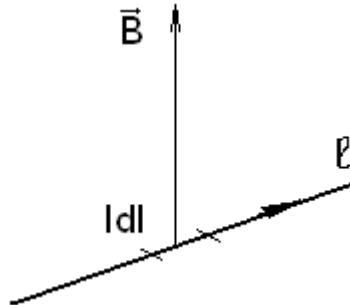


Рис. 34 – Проводник с током в магнитном поле

$$F = \int_l I B dl \sin \Theta$$

Если поле однородное $B=const$ и $I=const$:

$$F = IB \sin \Theta \int_l dl = IlB \sin \Theta$$

$$F_A = IlB \sin \Theta \quad (3.8)$$

Выражение (3.8) называется *силой Ампера*. В векторной форме:

$$\vec{F}_A = I[\vec{l} \vec{B}] \quad (3.9)$$

Чтобы определить направление силы Ампера применяют правило левой руки:

1. Линии магнитной индукции B входят в левую ладонь;
2. Четыре пальца располагаются по направлению тока;

3. Большой отогнутый палец указывает направление силы F .

Применим данное правило к рисунку 34.

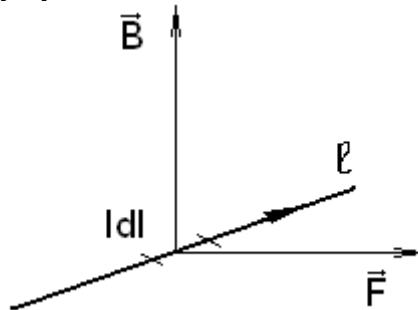


Рис. 35 – Действие силы F на проводник с током

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

Опыты:

- Катушка, гальванометр, постоянный магнит.
- Катушка №1, Катушка №2, гальванометр.
- Катушка №1, Катушка №2 с ключом, гальванометр.

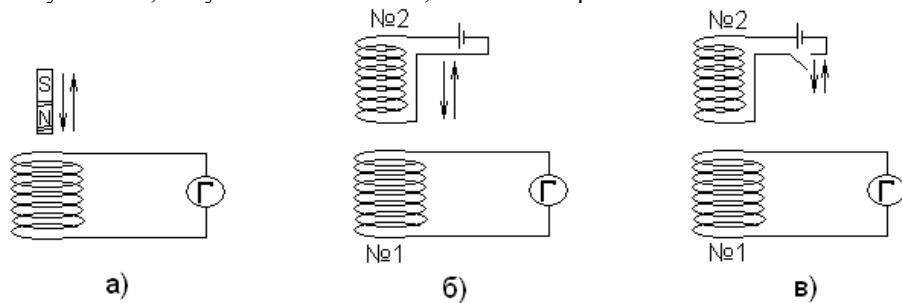


Рис. 42 – Опыты М. Фарадея

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. Фарадея объяснил следующим образом, на примере замкнутого проводника с током, помещенного в магнитное поле.

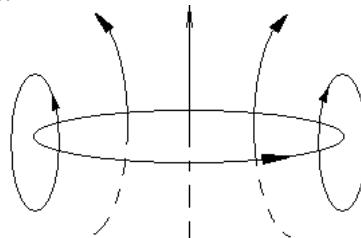


Рис. 43 – Замкнутый проводник в магнитное поле

Выводы:

- Индукционный ток в проводнике возникает, когда проводник пересекают линии индукции магнитного поля;
- 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:

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

В 1833 г. Ленц установил общее правило для определения направления индукционного тока, получившее название *правило Ленца*:

Индукционный ток всегда направлен так, что своим магнитным полем препятствует тому изменению магнитного поля, которое его вызвало.

Пример:

Выберем положительный обход контура по правилу буравчика по направлению нормали (см. рис. 44).

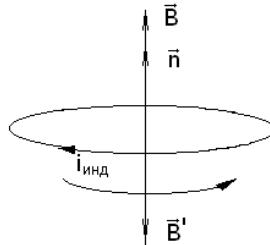


Рис. 44 – Применение правила Ленца

Пусть внешнее магнитное поле усилилось, т.е. $dB/dt > 0$. Соответственно и магнитный поток Φ тоже увеличился, т.е. $d\Phi/dt > 0 \Rightarrow \varepsilon$ имеет знак «минус». Таким образом, ε создает индукционный ток $i_{инд}$, направленный против положительного обхода контура. Индукционный ток $i_{инд}$ порождает магнитное поле индукцией B' , которое препятствует возрастанию внешнего магнитного поля B .

3.4.2 Самоиндукция. Взаимная индукция. Трансформаторы. Энергия магнитного поля

Самоиндукция и взаимная индукция являются частными случаями электромагнитной индукции.

Пусть по замкнутому контуру протекает переменный ток i_0 , который создает меняющееся во времени магнитное поле (см. рис. 45).

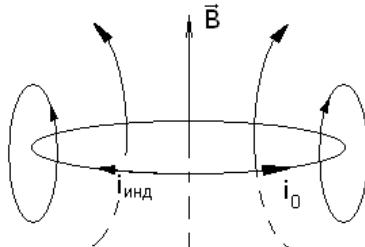


Рис. 45 – Замкнутый контур с переменным током i_0

В итоге, магнитный поток Φ , пронизывающий контур, также будет меняться во времени. Он порождает индукционный ток $i_{инд}$ в контуре. Направление индукционного тока зависит от того, возрастаёт или убывает основной ток i_0 .

Сам ток в контуре вызывает индукционный ток – явление *самоиндукции*.

Взаимной индукцией называется возбуждение тока в контуре при изменении тока в другом (соседнем) контуре. Предположим, что в контуре 1 протекает ток I_1 (см. рис. 46). В магнитном поле этого тока находится соседний контур 2.

Магнитные свойства вещества. Электромагнитные волны

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).

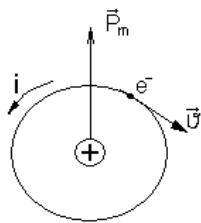
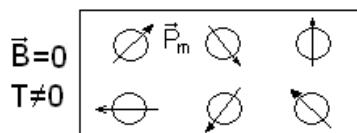


Рис. 48 – Молекулярный ток

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.

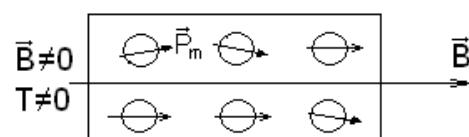
Вещество в магнитном поле

a)



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 $\vec{B} > \vec{B}$ 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 $\sum_0^n P_{orb} = 0$ или $\sum_0^n P_{orb} \neq 0$.

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 ($\sum_0^n P_{orb} \neq 0$, $\sum_0^n P_{orb} > \sum_0^n P_{ind}$). 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_{kp} (точка Кюри), ферромагнетик превращается в парамагнетик. Например, у железа $T_{kp}=1043$ К, у никеля $T_{kp}=630$ К.

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 ;

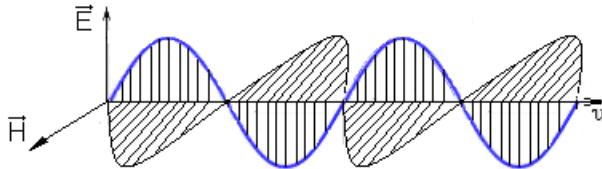


Рис. 49 – Электромагнитная волна

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

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \sqrt{\epsilon \mu}} \quad (3.26)$$

В вакууме:

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (3.27)$$

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*.

1.3 Лекция №3 (2 часа)

Тема: Элементы физики атома и атомного ядра

1.3.1 Вопросы лекции:

1. **Строение атома.** Развитие представлений о строении атома. «Планетарная» модель Резерфорда. Постулаты Бора. Уровни энергий в атоме водорода.
2. **Строение ядра атома.** Ядерные силы. Дефект массы и энергии связи ядра. Естественная и искусственная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции. Ядерная энергетика. Ядерное горючее. «Мечение» атома в биологии. Неисчерпаемость и бесконечность материи.

1.3.2 Краткое содержание вопросов

Подозрение о том, что все тела состоят из атомов возникло ещё 2000 лет назад в Греции (от греч. атомос – неделимый).

В начале XIX в. стало ясно, что без атомных представлений вещества не обойтись. Как устроен атом? На тот момент не было экспериментальных данных. С открытием рентгеновских лучей, катодных лучей (пучок электронов), исследовали влияние электрических и магнитных полей на оптические явления. Когда были открыты закономерности в оптических спектрах, возникла необходимость рассуждать на тему, как устроен атом. К началу XX в. было с полной достоверностью установлено:

1. Атом в целом электронейтрален;
2. В состав атома входят отрицательно заряженные электроны.

В 1904 г. Д. Томсон высказал гипотезу о том, как устроен атом. Открыв в 1897 году электрон, Томсон предположил, что «корпускулы»(так Томсон называл электроны, хотя ещё в 1894 году Дж. Дж. Стоуни предложил называть «атомы электричества» электронами) являются составными частями атома и решил создать модель атома, отражающую это предположение. С точки зрения Томсона:

...атомы элементов состоят из нескольких отрицательно заряженных корпускул, заключённых в сферу, имеющую однородно распределённый положительный электрический заряд...

Атом по Томсону состоит из электронов, помещённых в положительно заряженный «суп», компенсирующий отрицательные заряды электронов, подобно отрицательно заряженному «изюминкам» в положительно заряженном «пудинге». Электроны, как предполагалось, были распределены по всему атому.

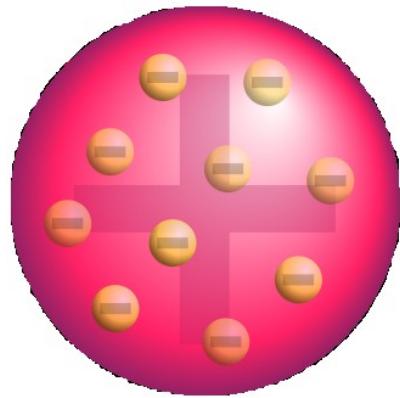


Рис. 90 – «Пудинговая модель атома» по Томсону

Испускание света атомом Томсон объяснял колебаниями электронов. Однако модель атома, предложенная Томсоном, оказалась недостоверной, поскольку такой атом должен давать *сплошной* спектр. Как показывала практика, атом дает *линейчатый* спектр.

Важный вклад в создание теории строения атома внёс английский физик Эрнест Резерфорд (1871 – 1937), который проводил опыты по изучению прохождения *альфа-частиц* через тонкие металлические пластины золота и платины. Таким образом, предлагалось изучить рассеяние (изменение направления движения) альфа-частиц в веществе.

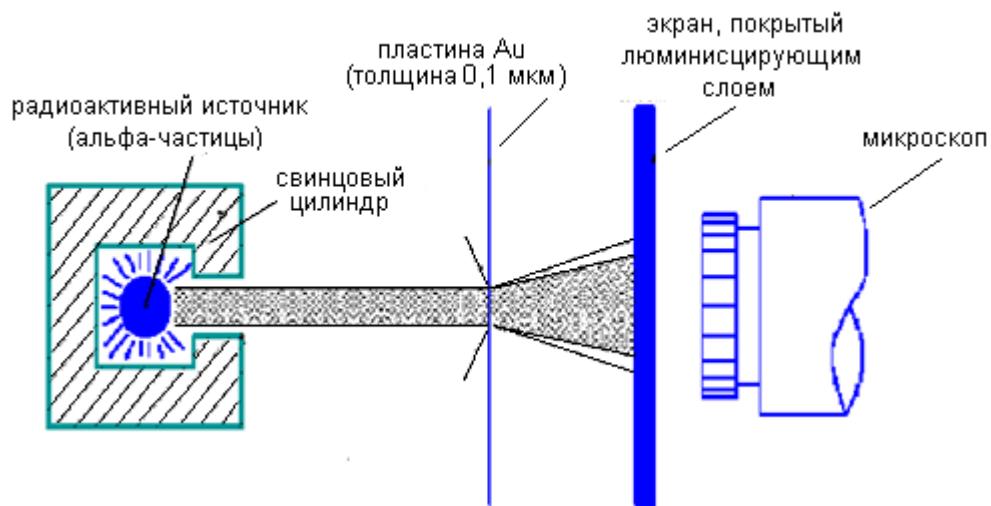


Рис. 91 – Опыт Резерфорда

В результате проведенных экспериментов, Резерфорд выяснил:

1. Большинство частиц проходит не рассеиваясь. Получил расстояние сближения $r \approx 10^{-15}$ м, а размер атома $d = 10^{-10}$ м, т.е. в 100000 раз $r < d_a$;

2. Редчайшие случаи отклонения частиц в обратную сторону.

Всё говорит о том, что положительный заряд атома и большая часть массы атома сосредоточена в очень малом объеме по сравнению с самим размером атома. Получается, что атом «рыхлый, пустой».

Эрнестом Резерфордом в результате эксперимента с рассеиванием альфа-частиц была предложена модель строения атома – *планетарная модель атома*. По этой модели атом состоит из небольшого положительно заряженного ядра, в котором сосредоточена почти вся масса атома, вокруг которого движутся электроны, – подобно тому, как планеты движутся вокруг Солнца.

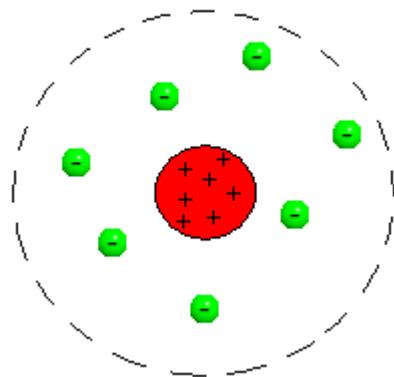


Рис. 92 – Планетарная модель Резерфорда

Недостатком планетарной модели была её *несовместимость* с законами классической физики. Если электроны движутся вокруг ядра как планеты вокруг Солнца, то их движение ускоренное, и, следовательно, по законам классической электродинамики они должны были бы излучать электромагнитные волны, терять энергию и падать на ядро. Следующим шагом в развитии планетарной модели стала *модель Бора*, постулирующая другие, отличные от классических, законы движения электронов. Полностью противоречия электродинамики смогла решить квантовая механика.

Постулаты Бора – основные допущения, сформулированные Нильсом Бором в 1913 году для объяснения закономерности линейчатого спектра атома водорода и водородоподобных ионов (формула Бальмера-Ридберга) и квантового характера испускания и поглощения света. Бор исходил из планетарной модели атома Резерфорда.

Постулаты:

1. Атом может находиться только в особенных стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых отвечает определенная энергия. В стационарном состоянии атом не излучает электромагнитных волн;
2. Излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией. Энергия, излученного фотона, равна разности энергий стационарных состояний.

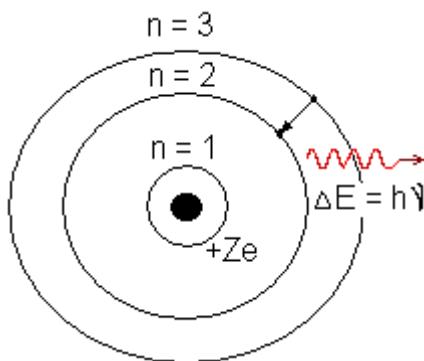


Рис. 93 – Модель атома Бора

Для получения энергетических уровней в атоме водорода в рамках модели Бора записывается второй закон Ньютона для движения электрона по круговой орбите в поле кулоновской силы притяжения:

$$\frac{m\vartheta^2}{r} = \frac{Zk e^2}{r^2}, \quad (4.38)$$

где m – масса электрона, e – его заряд, Z – заряд ядра и k – кулоновская константа, зависящая от выбора системы единиц

В 1911 году Резерфорд в своём докладе «Рассеяние α- и β-лучей и строение атома» в философском обществе Манчестера заявил:

«Рассеяние заряженных частиц может быть объяснено, если предположить такой атом, который состоит из центрального электрического заряда, сосредоточенного в точке и окружённого однородным сферическим распределением противоположного электричества равной величины. При таком устройстве атома α- и β-частицы, когда они проходят на близком расстоянии от центра атома, испытывают большие отклонения, хотя вероятность такого отклонения мала».

Таким образом, Резерфорд открыл атомное ядро, с этого момента и ведёт начало ядерная физика, изучающая строение и свойства атомных ядер.

После обнаружения стабильных изотопов элементов, ядру самого лёгкого атома была отведена роль структурной частицы всех ядер. С 1920 года ядро атома водорода имеет официальный термин – *протон*. После промежуточной протон-электронной теории строения ядра, имевшей немало явных недостатков, в первую очередь она противоречила экспериментальным результатам измерений спинов и магнитных моментов ядер, в 1932 году Джеймсом Чедвиком была открыта новая электрически нейтральная частица, названная *нейтроном*. В том же году Иваненко и, независимо, Гейзенберг выдвинули гипотезу о протон-нейтронной структуре ядра. Эта гипотеза была полностью подтверждена всем последующим ходом развития ядерной физики и её приложений.

Ядро атома состоит из *нуклонов* (от лат. *nucleus* – ядро): положительно заряженных *протонов* $p^{+}\textcolor{brown}{ii}$ и электронейтральных *нейтронов* n^0 . Нуклоны относятся к семейству *барионов* (группа N-барионов). Они являются самыми лёгкими из известных барионов.

Как уже говорилось ранее, *нейтрон* не имеет электрического заряда. *Протон* имеет положительный электрический заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона. Об этом свидетельствует тот факт, что атомы нейтральны. Масса протона m_p точно известна из непосредственных масс-спектроскопических измерений; ее величина в 1836 раз больше массы электрона. Энергия покоя протона равна 938 МэВ. Масса нейтрона m_n известна из масс-спектроскопических измерений массы дейтона (который состоит из одного протона и одного нейтрона) и из измерения энергии связи этой частицы. Величина массы нейтрона немного превышает массу протона. Соответствующая разница между энергиями покоя нейтрона и протона порядка 1,3 МэВ.

Атомы классифицируются по количеству протонов и нейтронов в ядре: число протонов Z соответствует порядковому номеру атома в периодической системе Менделеева и определяет его принадлежность к некоторому химическому элементу, а число нейтронов N – определённому изотопу этого элемента. Число Z также определяет суммарный положительный электрический заряд (Ze) атомного ядра и число электронов в нейтральном атоме, задающее его размер.

Почти вся масса атома заключена в его ядре. Масса ядра слагается из масс всех нуклонов, входящих в ядро. Сумма протонов Z и нейтронов N ядра равна массовому числу атома, т.е. целому числу A , ближайшему к атомной массе (выраженной в а.е.м. – атомная единица массы (за а.е.м. принята 1/12 массы изотопа углерода C^{12})): $Z + N = A$. По массовому числу и атомному номеру химического элемента можно непосредственно определять число протонов и нейтронов, содержащихся в атомном ядре этого элемента.

Атомные ядра химических элементов принято обозначать символом ${}_Z^A X$, где X – символ элемента, A – массовое число, Z – атомный номер. Например: ${}_2^4 He$ означает атомное ядро гелия, в котором содержится 2 протона и 4-2=2 нейтрона.

Атомы, ядра которых состоят из одинакового числа протонов, но из различного числа нейтронов, называются *изотопами*. Так, у водорода имеется четыре изотопа: протий (H), дейтерий (D), тритий (T) и четырехнуклонный водород, не получивший пока специального названия.

Ядра – образования устойчивые $\textcolor{red}{i}>\textcolor{brown}{i}$ действуют силы, удерживающие нуклоны внутри ядра. Данные силы называют *ядерными*. *Ядерные силы* – силы, с которыми взаимодействуют нуклоны в ядре, препятствующие кулоновским силам отталкивания. В ядре имеет место гравитационное притяжение, но оно в 10^{36} раз меньше кулоновских сил отталкивания $\textcolor{red}{i}>\textcolor{brown}{i}$ это силы особой природы.

Свойства ядерных сил:

1. Являются силами притяжения;
2. Короткодействующие ($R < 10^{-15}$ м);
3. Зарядовая независимость. Ядерные силы действуют между двумя протонами или между протоном и нейтроном одинаково;
4. Свойство насыщения. Любой нуклон взаимодействует только с ограниченным числом ближайших к нему нуклонов, а не со всеми нуклонами ядра;
5. Обратимость. При уменьшении расстояния между нуклонами проявляют себя, как силы отталкивания.
6. Ядерные силы *не являются центральными*, т.е. действующим по линии, соединяющим центры взаимодействующих нуклонов.

Перечисленные свойства говорят о невероятной сложности ядерных сил. До сих пор не существует законченной теории о природе данного вида сил. Поэтому на данной стадии прибегают к рассмотрению приближенных ядерных моделей, в которых ядро заменяется некоторой модельной системой, довольно хорошо описывающей только определенные свойства ядра (например, *капельная, оболочечная*).

На опыте установлено, что масса любого ядра меньше суммы масс нуклонов его составляющих:

$$m_a < Z m_p + (A - Z) m_n \quad (4.41)$$

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_a \quad (4.42)$$

Выражение (4.42) называют *дефектом массы ядра*.

Как уже отмечалось, нуклоны прочно связаны в ядре атома ядерными силами. Для разрыва этой связи, т.е. для полного разобщения нуклонов, необходимо затратить некоторое количество энергии. Энергия, необходимая для разобщения нуклонов, составляющих ядро, называется *энергией связи ядра*.

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2, \quad (4.43)$$

где c – скорость света в вакууме.

Энергия связи ядра, приходящаяся на один нуклон, называется *удельной энергией связи ядра* ε :

$$\varepsilon = E_{\text{св}} / A \quad (4.44)$$

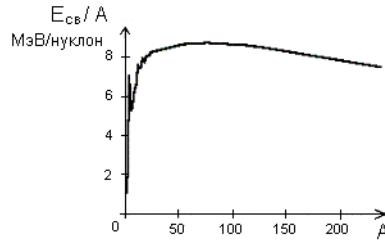


Рис. 94 – Зависимость удельной энергии связи ядра от массового числа

Энергия связи ядра водорода равна нулю, т.к. нечего разобщать. Удельная энергия связи максимальна у ядер ≈ 100 а.е.м. У легких ядер с увеличением A , энергия связи ядра возрастает \downarrow при слиянии легких ядер в тяжелые, энергия выделяется (*синтез*). При делении тяжелых ядер, энергия выделяется.

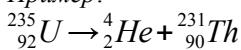
4.3.3 Естественная и искусственная радиоактивность. Ядерные реакции. Закон радиоактивного распада. Методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений

Стабильными называются ядра, состав которых со временем не меняется. Наиболее устойчивыми являются ядра легких элементов, состоящие из приблизительно одинакового числа протонов и нейтронов. У самых тяжелых элементов (расположенных в периодической таблице после свинца), ядра которых состоят из большого числа нуклонов (с преобладанием нейтронов), ядерные силы уже не обеспечивают устойчивости ядра. Такие ядра могут *самопроизвольно* распадаться, превращаясь в ядра более легких элементов. Это явление носит название *естественной радиоактивности* (была открыта в 1896 г. французским физиком Беккерелем). Своим открытием Беккерель делится с учёными, с которыми он сотрудничал. В 1898 г. Мария Кюри и Пьер Кюри обнаружили радиоактивность тория, позднее ими были открыты радиоактивные элементы полоний и радий. Они выяснили, что свойством естественной радиоактивности обладают все соединения урана и в наибольшей степени сам уран.

Рассмотрим несколько случаев типичной нестабильности (неустойчивости). В него входят три различных вида излучения – α , β , γ – лучи.

1. α – *распад* – самопроизвольное превращение ядра с испусканием α частицы (4_2He). Энергетический спектр – линейчатый.

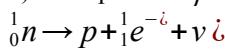
Пример:



В результате получается химический элемент, со смещением влево на две клетки в периодической таблице Д.И. Менделеева. При α – распаде, почти мгновенно испускаются несколько γ – квантов. Испускаемые α и γ – лучи определенные \downarrow спектр линейчатый.

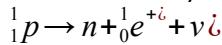
2. β – *распад*.

а) *электронный β – распад. Пример:*



В результате получается химический элемент, со смещением вправо на одну клетку в периодической таблице Д.И. Менделеева ($Z+1$).

б) *позитронный β – распад. Пример:*



В результате получается химический элемент, со смещением влево на одну клетку в периодической таблице Д.И. Менделеева ($Z-1$).

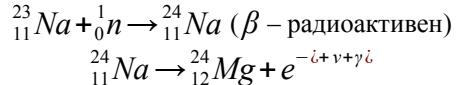
При β – *распаде* энергетический спектр сплошной.

3. Термин «гамма-распад» применяется редко; испускание ядром гамма-квантов называют обычно *изомерным* переходом. Гамма-излучение часто сопровождает другие типы распада, когда в *результате* первого этапа распада возникает дочернее ядро в возбуждённом состоянии, затем испытывающее переход в основное состояние с испусканием гамма-квантов.

Искусственная радиоактивность – радиоактивность изотопов, полученных в результате ядерной реакции.

Ядерная реакция – процесс превращения атомных ядер, обусловленный воздействием на них быстрых элементарных частиц (или ядер других атомов).

Любое стабильное ядро можно сделать искусственно радиоактивным, если вогнать в него избыточную частицу. Впервые это удалось Ф.Ж. Кюри в 1934 г. У легких ядер массовое число меньше пятидесяти ($A < 50$), если у них искусственно создать избыток нейтронов над протонами, то такие ядра становятся β – радиоактивными. Чаще всего для этой цели используют нейtron, поскольку ему легче проникнуть в ядро (нет заряда).



В настоящее время известно более 1000 искусственных изотопов.

Для количественной характеристики воздействия ядерного излучения на организм используют *дозу излучения*. *Поглощенная доза излучения* – величина, равная отношению энергии излучения, переданной веществу к массе этого вещества. В СИ 1Гр(грэй) = 1 Дж/кг.

Разные виды излучения при одной дозе излучения могут вызвать разные биологические действия $i>\text{i}$ вводят *коэффициент качества* – во сколько раз данное излучение действует сильнее β , γ излучений.

Коэффициент качества умножают на дозу излучения получают *эквивалентную дозу излучения*. В СИ Зв (зиверт). 1 Зв – это излучение любого вида, действие которого на живую ткань эквивалентно действию 1 Гр.

Радиоактивный распад ведет к постепенному уменьшению числа атомов радиоактивного элемента. Он носит случайный характер в том смысле, что нельзя предсказать, когда и какой именно атом распадется. Можно говорить только о *вероятности распада* каждого атома за определенный промежуток времени.

Число атомов dN , распадающихся за время dt пропорционально времени и числу атомов радиоактивного элемента:

$$dN = -\lambda N dt,$$

где λ – коэффициент пропорциональности, называемый *постоянной распада* данного элемента. Знак «минус» показывает уменьшение числа атомов радиоактивного элемента со временем.

$$\begin{aligned} \int_{N_0}^N dN &= -\int_0^t \lambda N dt \\ \int_{N_0}^N dN/N &= -\lambda \int_0^t dt \\ N &= N_0 e^{-\lambda t}, \end{aligned} \tag{4.45}$$

где N_0 – число атомов в начальный момент времени; N – число атомов по истечении времени t . Выражение (4.45), называется *законом радиоактивного распада*.

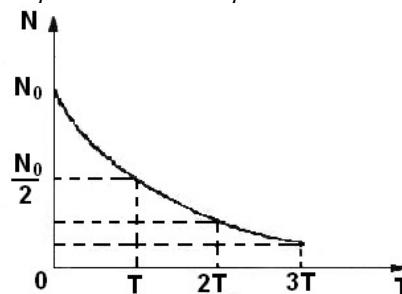


Рис. 95 – Закон радиоактивного распада

Для характеристики быстроты распада радиоактивного элемента вводится понятие периода полураспада. *Периодом полураспада* T называется время в течение которого количество атомов исходного элемента уменьшается вдвое.

$$e^{-\lambda T} = 1/2 \Rightarrow T = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda \tag{4.46}$$

Величина τ , обратно пропорциональная постоянной распада, представляет *среднее время жизни* радиоактивного атома:

$$\tau = 1/\lambda \Rightarrow \tau = \ln 2 / \lambda$$

Откуда:

$$\tau = T / \ln 2 = 1,44 T \quad (4.47)$$

Таким образом, среднее время жизни приблизительно в полтора раза больше периода полураспада.

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$t=T$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$1/2 N_0 = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$\ln 2 = \lambda T$$

$$\lambda = \ln 2 / T$$

$$N_t = N_0 e^{-\ln 2 t / T}$$

$$N_t = N_0 2^{-t/T} \quad (4.48)$$

Формула (4.48) ещё одна запись закона радиоактивного распада.

Число атомных распадов, совершающихся в радиоактивном элементе за 1 с, называется *активностью* a этого элемента:

$$a = |dN/dt| \quad (4.49)$$

$$a = \lambda N = N \ln 2 / T \quad (4.50)$$

Таким образом, активность пропорциональна количеству элемента и обратно пропорциональна периоду. За единицу активности принята активность 1г радия, получившая название *киори*:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с}$$

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).

Тема: «Определение момента инерции шатуна»

2.1.1 Цель работы: Определить момент инерции шатуна использовав 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 О. 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.

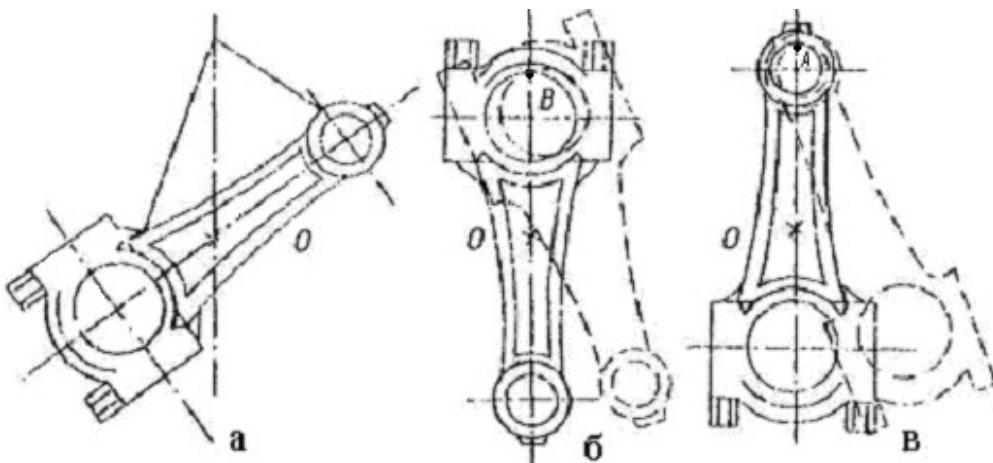


Рис. 1

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 рав-

$$\text{новесия на } 3-5^\circ \quad \left(T_B = \frac{t}{10} \right)$$

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_0
Относительно оси, проходящей через точку В.								
Относительно оси, проходящей через точку А.								

8. Вычислить J_0 шатуна: $J_0 = J_A - r_{AO}^2 m; J_0 = J_B - r_{BO}^2 m$ для двух положений шатуна и его среднее значение.

Найти абсолютную и относительную погрешности вычислений момента инерции шатуна J_0 относительно оси, проходящей через центр масс.

2.2 Лабораторная работа № 2 (2 часа).

Тема: «Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса»

2.2.1 Цель работы: ознакомиться с устройством прибора Стокса и определить коэффициент вязкости масла (подсолнечного, трансформаторного, машинного).

2.2.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с устройством прибора Стокса
2. Определить коэффициент вязкости масла

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

прибор Стокса, ареометр, пипетка, исследуемая жидкость (масло).

2.2.4 Описание (ход) работы:

Прибор Стокса представляет собой цилиндр, наполненный исследуемой жидкостью с двумя кольцевыми метками **M** и **N**, которые могут перемещаться вдоль цилиндра.

Телами шарообразной формы служат капли воды, выпускаемые пипеткой на поверхность исследуемой жидкости. Верхняя кольцевая метка **M** устанавливается на расстоянии **6-8 см** от поверхности жидкости, чтобы шарик, приближаясь к кольцу, приобрел постоянную скорость. *Рассчитайте, через какое время движение капли воды станет равномерным, и какой путь пройдет капля.*

Расстояние между метками **M N** делают не менее **0,3 м**. Секундомер включается и выключается в момент прохождения шариком верхней и нижней меток.

Опыт повторяют не менее трех раз при одинаковом расстоянии между метками. Плотность воды и плотность масла находят ареометром, а затем сравнивают со значениями в справочнике.

По данным опыта вычисляют коэффициент вязкости η .

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу.

№	r, мм	S, м ²	t, с	ρ , кг/м ³	ρ_1 , кг/м ³	η , Па·с	η_{cp} , Па·с
1							
2							
3							

Значение радиуса шарика указано на установке.

Сформулируйте вывод по данной работе.

2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).

Тема: «Последовательное и параллельное соединение проводников»

2.3.1 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.

2.3.2 Задачи работы:

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

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

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

2.3.4 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.

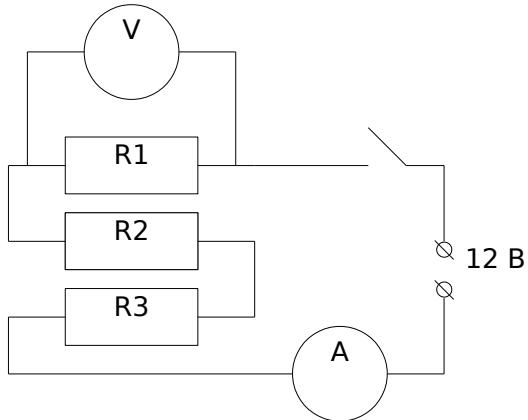


Рис.3

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

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

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

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(Bt)	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.

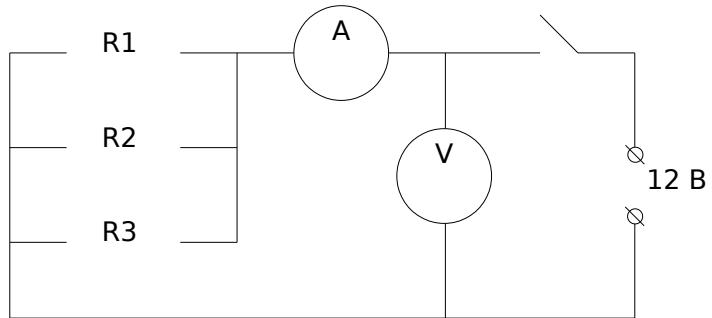
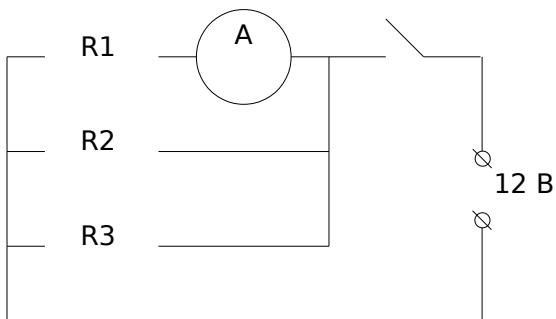
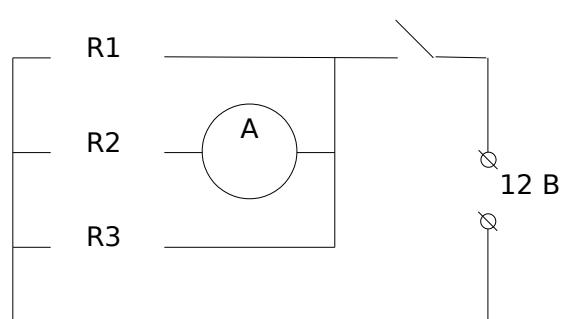


Рис.4

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



а)



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 ($U_{об} = U_1 = U_2 = U_3$, $I_{об} = I_1 + I_2 + I_3$)

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

5. Составляют отчет по работе и делают выводы.

2.4 Лабораторная работа № 4 ЛР-4 Ядра атомов

2.4.1 Цель работы: изучить закон радиоактивного распада, используя компьютерную модель

2.4.2 Задачи работы:

1. Ознакомление с физической моделью стабильных и нестабильных ядер

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.4.4 Описание (ход) работы:

1. Запустить на компьютере Физикон Виртуальный практикум по физике

2. Следовать пунктам меню программы

3. Составить отчет по работе