

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ЧЕРКАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКА

Конспект лекций
для слушателей подготовительного отделения
факультета по работе с иностранными студентами

Утвержено
Методическим советом ЧГТУ,
протокол № 5/2013-14 от 10.02.2014 р.
согласно с решением кафедры физики,
протокол № 6 от 30.01.2014 р.

УДК 53(075.8)
Ф 50

Составители: **Колинько Сергей Александрович**, *к.ф-м.н., доцент*,
Бутенко Татьяна Ивановна, *к.т.н., доцент*,
Рева Игорь Аркадьевич

Рецензент **Бондаренко М.А.**, *к.т.н., доцент*

Физика. Конспект лекций для слушателей подготовительного Ф 50 отделения факультета по работе с иностранными студентами [Электронный ресурс] / Состав. : С. А. Колинько, Т. И. Бутенко, И. А. Рева ; под ред. В. А. Ващенко ; М-во образования и науки Украины, Черкас. гос. технол. ун-т. – Черкасы : ЧГТУ, 2014.– 86 с.

Конспект лекций по физике предназначен для студентов – иностранцев, обучающихся на подготовительном факультете и готовящихся к поступлению в высшие учебные заведения технического профиля.

Лекции по физике содержат необходимый объем учебной информации, обеспечивающий овладение основами курса физики. Конспект лекций содержит материал, включающий основные понятия для материалистического понимания физических явлений, раскрытия диалектического характера познания природы.

Структура и содержание курса лекций соответствует программе по физике подготовительного факультета, в котором конкретизация целей и задач преподавания представлена на основе учета специфических особенностей системы обучения иностранных студентов.

УДК 539.1

Навчальне видання

Физика

Конспект лекцій

для слухачей подготовительного отделения факультета
по работе с иностранными студентами

В авторській редакції

Макетування : Рудяка Л. М.

Times New Roman. Ум. друк. арк. 5,88. Обл.-вид. арк. 5,36. Вид. № 1717.

Черкаський державний технологічний університет
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.

ВВЕДЕНИЕ

Окружающий нас мир материален, то есть существует независимо от нас, прямо или косвенно действует на наши органы чувств, вызывая ощущения. Материя находится в состоянии движения, неразрывно с ним связана и без него существовать не может. Движущаяся материя существует в пространстве и времени, которые существовать помимо материи не могут.

Физика изучает физические свойства материи и формы ее движения. **Физика** (от греческого φύσις «природа») — это наука, которая изучает наиболее общие и фундаментальные закономерности, определяющие структуру и эволюцию материального мира.

Физические явления изучают при помощи наблюдений и опытов. Во время наблюдений и опытов измеряют разные характеристики физических явлений — физические величины. **Физическая величина** — это характеристика физического явления, которую можно измерить. **Измерить физическую величину** — означает сравнить ее с однородной физической величиной, принятой за единицу этой величины. Для измерения каждой физической величины есть свои единицы измерения.

Основные физические величины					
Наименование	Единица измерения	Обозначение	Наименование	Единица измерения	Обозначение
Длина	<i>м</i>	<i>(l)</i>	Температура	<i>К</i>	<i>(T)</i>
Масса	<i>кг</i>	<i>(m)</i>	Сила электрического тока	<i>A</i>	<i>(I)</i>
Дополнительные физические величины					
Угол плоский	<i>рад</i>	<i>(φ)</i>	Угол телесный	<i>стерадиан</i>	<i>(Ω)</i>
Производные физические величины					
Площадь	<i>м²</i>	<i>(S)</i>	Работа	<i>Дж</i>	<i>(A)</i>
Объем	<i>м³</i>	<i>(V)</i>	Мощность	<i>Вт</i>	<i>(N)</i>
Скорость	<i>м/с</i>	<i>(v)</i>	Количество теплоты	<i>Дж</i>	<i>(Q)</i>
Ускорение	<i>м/с²</i>	<i>(a)</i>	Электрический заряд	<i>Кл</i>	<i>(q, e)</i>
Плотность	<i>кг/м³</i>	<i>(ρ)</i>	Электрическая емкость	<i>Ф</i>	<i>(C)</i>
Сила	<i>Н</i>	<i>(F)</i>	Напряжение	<i>В</i>	<i>(U)</i>
Частота	<i>Гц</i>	<i>(ν)</i>	Сопrotивление	<i>Ом</i>	<i>(R)</i>
Давление	<i>Па</i>	<i>(p)</i>	Магнитный поток	<i>Вб</i>	<i>(Φ)</i>
Энергия	<i>Дж</i>	<i>(E)</i>	Индуктивность	<i>Гн</i>	<i>(L)</i>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение		
Лекция 1	Поступательное движение, его виды и характеристики.	5
Лекция 2	Свободное падение тел. Вращательное движение.	7
Лекция 3	Динамика. Законы Ньютона. Основы статики.	10
Лекция 4	Силы гравитации, тяжести, веса, упругости, трения.	13
Лекция 5	Импульс тела. Закон сохранения импульса. Энергия и работа.	16
Лекция 6	Элементы механики жидкостей и газов.	19
Лекция 7	Механические колебания и волны.	21
Лекция 8	Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ).	23
Лекция 9	Основное уравнение МКТ. Газовые законы. Изопроцессы.	26
Лекция 10	Основы термодинамики.	31
Лекция 11	Взаимодействие электрических зарядов. Электрическое поле и его характеристики.	34
Лекция 12	Конденсаторы. Законы постоянного тока.	38
Лекция 13	Работа и мощность тока. Ток в металлах, газах и вакууме.	42
Лекция 14	Магнитное поле. Действие магнитного поля на электрический ток и движущиеся заряды.	45
Лекция 15	Магнитные материалы. Явления электромагнитной индукции и самоиндукции, их использование.	48
Лекция 16	Электромагнитные колебания. Переменный ток.	52
Лекция 17	Электромагнитные волны.	53
Лекция 18	Законы геометрической оптики.	56
Лекция 19	Тонкие линзы. Глаз.	59
Лекция 20	Волновая оптика. Интерференция световых волн. Дифракция света. Поляризация света.	63
Лекция 21	Специальная теория относительности. Фотоэффект. Фотоны.	68
Лекция 22	Строение атома.	70
Лекция 23	Состав атомного ядра. Радиоактивность. Энергия связи ядер.	75
Лекция 24	Деление ядер урана. Ядерный и термоядерный реакторы.	78
Приложения		82
Литература		86

ЛЕКЦИЯ 1. ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ, ЕГО ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Механика — раздел физики, изучающий механическое движение материальных тел и происходящее при этом взаимодействие между ними.

Одним из основных понятий механики является **система отсчета**. Ее образуют тело отсчета, связанная с ним система пространственных координат и прибор (часы) для измерения интервалов времени.

Материальная точка - это тело, размеры и форму которого при решении задачи можно не учитывать.

Условия, при выполнении которых тело можно считать материальной точкой:

- если его размеры малы по сравнению с расстоянием, которое оно проходит;
- если оно движется поступательно.

Механическое движение - это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Траектория - воображаемая линия, вдоль которой движется тело.

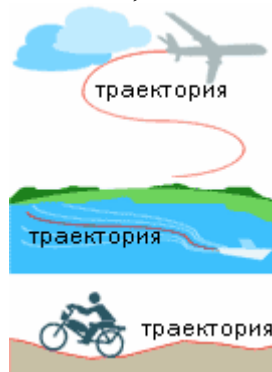


Рис. 1. Виды траекторий.

По виду траектории движения разделяются на прямолинейные (траектория - прямая линия) и криволинейные (траектория - кривая линия).

Путь - это скалярная величина, имеет модуль, но не имеет направления; путь однозначно не определяет конечное положение тела. Пройденный путь - длина траектории движущегося тела. Обозначение пути - L, S ; единица измерения пути в системе СИ – метр.

Перемещение - это вектор, соединяющий начальное и конечное положения тела.

Равномерное и неравномерное движения тела.

Движение тела по любой траектории может быть равномерным и неравномерным.

Равномерное движение – движение, при котором за любые одинаковые промежутки времени тело проходит равные пути.

Неравномерное движение – движение, при котором за равные промежутки времени тело проходит неравные пути.

Определение скорости. Ускорение тела.

Скóрость (\vec{v}) — векторная физическая величина, характеризующая быстроту перемещения и направление движения материальной точки в пространстве относительно выбранной системы отсчёта.

Единица измерения скорости в системе СИ - метр в секунду (m/c).

Поскольку движение описывается с помощью пути и перемещения, соответственно скалярной и векторной величин, то разделяют среднюю и мгновенную скорость:

$$v = \frac{\text{пройденный путь}}{\text{время}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad (1)$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}. \quad (2)$$

Ускóрение (\vec{a}) — векторная величина, показывающая, на сколько изменяется вектор скорости точки при её движении за единицу времени (т.е. ускорение учитывает не только изменение величины скорости, но и её направления). $[a]=m/c^2$.

Вектор ускорения материальной точки в любой момент времени равен производной от скорости материальной точки по времени:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (3)$$

Прямолинейное равномерное движение.

Прямолинейное равномерное движение является наипростейшим для математического описания. Вектор мгновенной скорости остается на протяжении всего времени постоянным, не изменяясь ни по модулю, ни по направлению.

Скорость при равномерном движении численно равна отношению пройденного пути S к промежутку времени t , за который этот путь пройден:

$$v = \frac{S}{t}. \quad (4)$$

Прямолинейное равноускоренное движение.

Прямолинейное равноускоренное движение - это движение вдоль прямой с постоянным ускорением ($\vec{a} = const$).

При равноускоренном прямолинейном движении:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (5)$$

$$v = v_0 + at, \quad (6)$$

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (7)$$

где S - пройденный путь, v_0 - начальная скорость.

Криволинейное движение.

При криволинейном движении полное ускорение точки \vec{a} раскладывают на две составляющие - тангенциальную и нормальную.

Тангенциальная составляющая ($a_\tau = \frac{dv}{dt}$) — характеризует быстроту изменения скорости по модулю и направлена по касательной к траектории.

Нормальная составляющая ($a_n = \frac{v^2}{R}$) — характеризует быстроту изменения скорости по направлению и направлена к центру кривизны траектории.

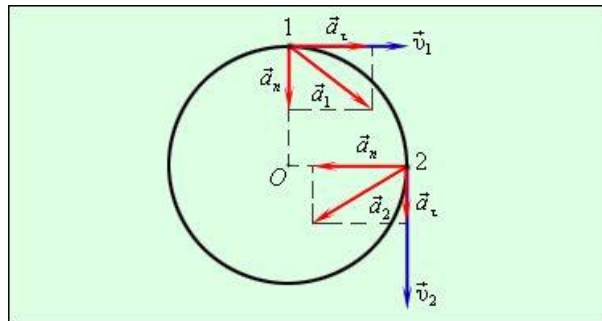


Рис. 2. Направление тангенциального, нормального и полного ускорения.

Полное ускорение можно определить по формуле:

$$a = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}, \quad (8)$$

где R - радиус кривизны траектории.

ЛЕКЦИЯ 2.

СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ.

Тела, выпущенные из рук, падают вниз, увеличивая свою скорость. Падение тела в вакууме, когда ускоренное движение тела обусловлено действием одной лишь силы тяжести, называется **свободным падением**. При этом ускорение тела называют ускорением свободного падения, оно постоянно и направлено по вертикали вниз: ($\vec{a} = \vec{g}$), $g = 9,8 м/с^2 \approx 10 м/с^2$, $g_y = -g$ при $OY \uparrow \downarrow \vec{g}$.

Свободное падение ($v_0 = 0$).

$y = h_0 - \frac{gt^2}{2}$, $v_y = -gt$, время падения: $t_{пад} = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$, скорость тела в конце падения: $v = \sqrt{2gh_0}$.

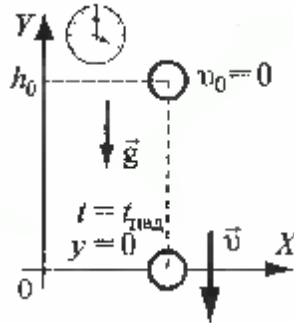


Рис. 3. Свободное падение тела при $\vec{v}_0 = 0$.

Тело брошено с высоты с некоторой начальной скоростью \vec{v}_0 .

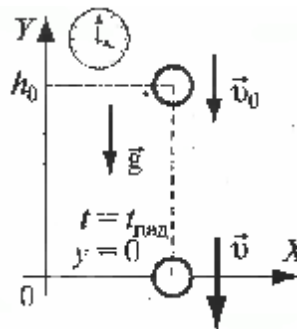


Рис. 4. Падение тела при $\vec{v}_0 \neq 0$.

$y = h_0 - v_0 t - \frac{gt^2}{2}$, $v_y = -v_0 - gt$, время падения: $t_{пад} = -\frac{v_0}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_0}{g}\right)^2 + \frac{2h_0}{g}}$,

скорость тела в конце падения: $v = \sqrt{2gh_0 + v_0^2}$.

Тело брошено с высоты горизонтально с некоторой начальной скоростью \vec{v}_0 .

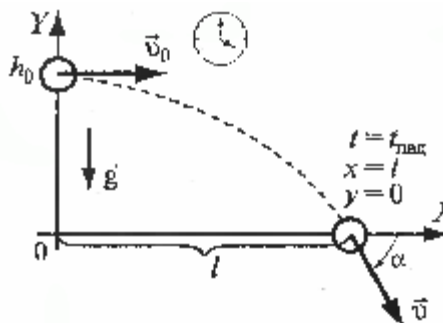


Рис. 5. Движение тела, брошенного горизонтально с $\vec{v}_0 \neq 0$.

$y = h_0 - \frac{gt^2}{2}$, $x = v_0 t$, $v_x = v_0$, $v_y = -gt$, где $t_{nad} = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$ - время падения тела; $l = v_0 \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$ - дальность полета; $tg\alpha = \frac{gt_{nad}}{v_0}$ - угол при падении.

Тело брошено с поверхности Земли с начальной скоростью \vec{v}_0 под углом α к горизонту.

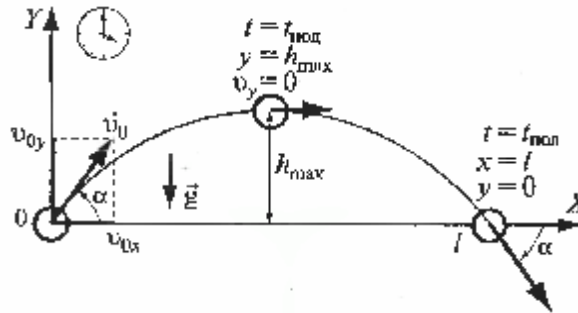


Рис. 6. Движение тела, брошенного с $\vec{v}_0 \neq 0$ под углом α к горизонту.

$$y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad x = v_0 t, \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha, \quad v_{0x} = v_0 \cos \alpha.$$

Время подъема: $t_{\text{п\ddot{a}}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$, время падения: $t_{\text{п\ddot{а}}} = t_{\text{п\ddot{а}}} = \sqrt{\frac{2h_{\text{max}}}{g}}$,

время полета: $t = t_{nad} + t_{pod}$, максимальная высота подъема: $h = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$,

дальность полета: $l = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$.

Вращательным движением (вращением) твердого тела вокруг неподвижной оси называется такое движение, при котором все точки тела описывают окружности, центры которых находятся на одной прямой, перпендикулярной плоскостям этих окружностей. Эта прямая называется осью вращения.

Угловая скорость ω характеризует быстроту вращения твердого тела и численно равна углу поворота тела за единицу времени:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}, \quad (9)$$

где φ - угол поворота, t - время вращения.

Равномерное вращение принято характеризовать периодом вращения и частотой вращения.

Период вращения (T) – время, в течение которого совершается один полный оборот. За время, равное периоду, тело поворачивается на угол 2π .

Частота вращения (ν) – число оборотов за единицу времени.

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \omega = 2\pi\nu, \quad [\nu] = \frac{1}{c}. \quad (10)$$

ЛЕКЦИЯ 3. ДИНАМИКА. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА. ОСНОВЫ СТАТИКИ.

Динамика – раздел физики, в котором изучается движение тел под действием приложенных к ним сил.

Сила – физическая величина, которая количественно характеризует действие одного тела на другое. Когда мы говорим: «на данное тело действует сила», это значит – на данное тело действует другое тело.

Действие на тело других тел является причиной изменения скорости тела (возникновения ускорения). Приведем пример. Студенты играют в футбол. Один студент ударяет по мячу. Мяч начинает двигаться по земле. Он движется прямолинейно. По мячу ударяет другой студент, и направление движения мяча изменяется. Направление мяча изменяется каждый раз, когда кто-нибудь из студентов ударяет по мячу. Причина изменения направления движения мяча – это действие человека на мяч.

Первый закон Ньютона.

В 17 веке английский ученый Исаак Ньютон (1643-1727) сформулировал один из основных законов природы, который называется первым законом Ньютона.

Если на данное тело не действуют никакие другие тела, то оно сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Инерция – это свойство тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Поэтому первый закон Ньютона иногда называют законом инерции.

Второй закон Ньютона.

Ускорение, приобретаемое материальной точкой (телом), прямо пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки (тела).

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (11)$$

где m - масса тела.

Сила \vec{F} и ускорение \vec{a} являются векторными величинами, то есть имеют не только численное значение, но и направление. Физический смысл

второго закона Ньютона состоит в том, что ускорение тела определяется действующими на него силами и массой самого тела. Причем силы стремятся изменить движение, а масса препятствует изменениям. В этом **смысле масса является мерой инертности тела**, то есть мерой его способности сопротивляться изменению скорости движения.

В Международной системе единиц (СИ) за единицу силы F принимается сила, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2 . Эта единица называется ньютоном (Н).

Если на тело одновременно действуют несколько сил (например, \vec{F}_1, \vec{F}_2 и \vec{F}_3) то под силой \vec{F} в формуле, выражающей второй закон Ньютона, нужно понимать равнодействующую всех сил: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$.

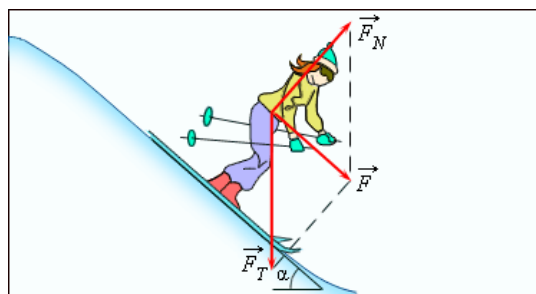


Рис. 7. Движение тела под действием сил тяжести и реакции опоры.

На рис.7 сила \vec{F} – равнодействующая силы тяжести \vec{F}_T и силы реакции опоры \vec{F}_N , действующих на лыжницу на гладкой горе. Сила \vec{F} вызывает ускорение.

Третий закон Ньютона.

Все действия одного тела на другое «взаимные» и называются взаимодействиями. Взаимодействие описывается третьим законом Ньютона:

Тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению. Математически закон записывается так:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (12)$$

Силы, возникающие при взаимодействии тел, всегда имеют одинаковую природу. Они приложены к разным телам и поэтому не могут уравновешивать друг друга. Складывать по правилам векторного сложения следует только силы, приложенные к одному телу.

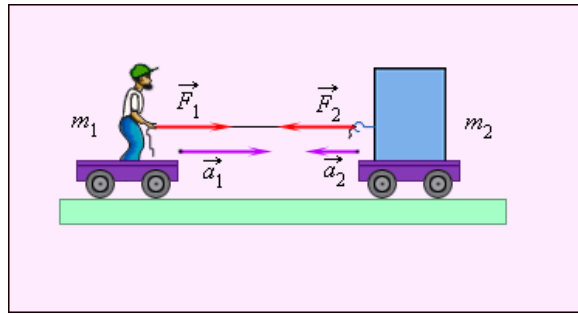


Рис. 8. Взаимодействие двух тел.

Человек действует на груз с такой же по модулю силой, с какой груз действует на человека. Эти силы направлены в противоположные стороны. Они имеют одну и ту же физическую природу – это упругие силы каната. Сообщаемые обоим телам ускорения обратно пропорциональны массам тел.

Статика — раздел механики, изучающий условия равновесия механической системы, находящейся под действием сил.

Равновесие механической системы — состояние механической системы, при котором все ее точки покоятся относительно рассматриваемой системы отсчета.

- Для того, чтобы материальное тело (материальная точка) находилась в равновесии, необходимо, чтобы равнодействующая всех сил, действующих на тело (точку), была равна нулю:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0. \quad (13)$$

- Для того, чтобы твердое тело с закрепленной осью вращения находилось в равновесии, необходимо, чтобы сумма моментов всех внешних сил относительно этой оси была равна нулю.

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \dots + \vec{M}_n = 0. \quad (14)$$

Различают следующие виды равновесия:

1. Устойчивое равновесие. При любых малых отклонениях тела от этого положения возникают силы или моменты сил, стремящиеся возвратить тело в исходное положение. В этом состоянии тело обладает минимумом потенциальной энергии по сравнению с ее значениями в ближайших точках.

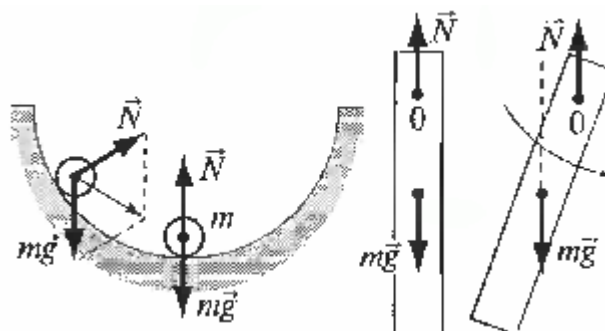


Рис. 9. Устойчивое равновесие.

2. Неустойчивое равновесие. При любых малых отклонениях тела от этого положения возникают силы или моменты сил, стремящиеся еще больше удалить тело от исходного положения.

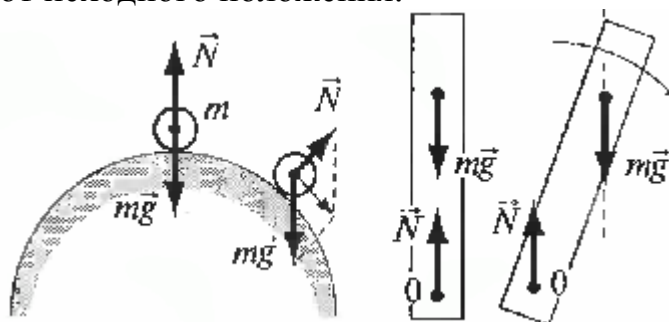


Рис. 10. Неустойчивое равновесие.

3. Безразличное равновесие. При любых изменениях положения тела оно остается в равновесии.

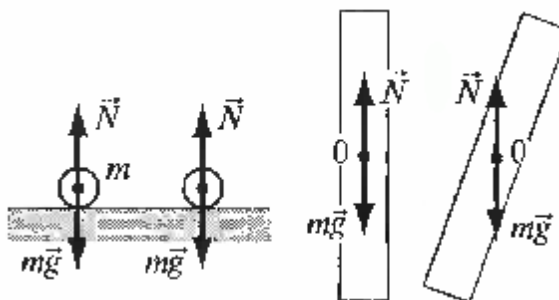


Рис. 11. Безразличное равновесие.

ЛЕКЦИЯ 4. СИЛЫ ГРАВИТАЦИИ, ТЯЖЕСТИ, ВЕСА, УПРУГОСТИ И ТРЕНИЯ.

И. Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения, согласно которому две материальные точки притягиваются друг к другу с силой пропорциональной массам точек и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}, \quad (15)$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{кг^2}$ - гравитационная постоянная.

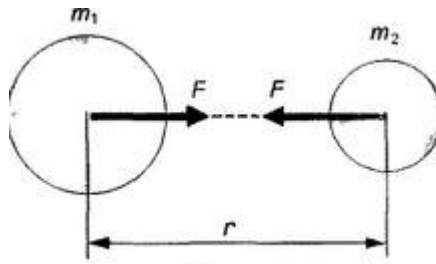


Рис. 12. Гравитационное притягивание тел.

Согласно этому закону на тело, которое находится на поверхности Земли, действует сила, которую называют **силой тяжести**:

$$F_T = G \frac{m \cdot M}{R^2}, \quad (16)$$

где M - масса Земли;
 R - радиус Земли.

Ускорение свободного падения не зависит от массы m падающего тела, т.е. для всех тел в данном месте Земли оно одинаково, $g = \frac{F_T}{m} = \frac{GM}{R^2}$, где $g = const = 9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения.

Силу, с которой тело действует на свою опору или подвес, называют **весом тела**. В отличие от силы тяжести, являющейся гравитационной силой, приложенной к телу, вес - это упругая сила, приложенная к опоре или подвесу.

Наблюдения показывают, что вес тела P , определяемый на пружинных весах, равен действующей на тело силе тяжести F_m только в том случае, если весы с телом относительно Земли покоятся или движутся равномерно и прямолинейно. В этом случае

$$P = F_m = mg. \quad (17)$$

Если же тело движется ускоренно, то его вес зависит от значения этого ускорения и от его направления относительно направления ускорения свободного падения.

Когда тело подвешено на пружинных весах, на него действуют две силы: сила тяжести $F_m = mg$ и сила упругости F_{yn} пружины. Если при этом тело движется по вертикали вверх или вниз относительно направления ускорения свободного падения, значит векторная сумма сил F_m и F_{yn} дает равнодействующую, вызывающую ускорение тела, т. е.

$$\vec{F}_0 + \vec{F}_{0i} = m \vec{a}. \quad (18)$$

Согласно приведенному выше определению понятия "вес", можно написать, что $P = -F_{yn}$. Из (18) с учетом того, что $F_m = mg$, следует, что $mg - ma = -F_{yn}$. Следовательно,

$$P = m(g - a). \quad (19)$$

Силы F_m и F_{yn} направлены по одной вертикальной прямой. Поэтому если ускорение тела a направлено вниз (т.е. совпадает по направлению с ускорением свободного падения g), то по модулю $P = m(g - a)$. Если же

ускорение тела направлено вверх (т. е. противоположно направлению ускорения свободного падения), то $P = m[g - (-a)] = m(g+a)$.

Следовательно, вес тела, ускорение которого совпадает по направлению с ускорением свободного падения, меньше веса покоящегося тела, а вес тела, ускорение которого противоположно направлению ускорения свободного падения, больше веса покоящегося тела. Увеличение веса тела, вызванное его ускоренным движением, называют **перегрузкой**.

При свободном падении $a=g$. В таком случае $P=0$, т. е. вес отсутствует. Следовательно, если тела движутся только под действием силы тяжести (т. е. свободно падают), они находятся в состоянии **невесомости**. Характерным признаком этого состояния является отсутствие у свободно падающих тел деформаций и внутренних напряжений, которые вызываются у покоящихся тел силой тяжести. Причина невесомости тел заключается в том, что сила тяжести сообщает свободно падающему телу и его опоре (или подвесу) одинаковые ускорения.

Деформация – изменение размера и формы тела. Деформацию называют **упругой**, если она исчезает после прекращения действия на тело внешней силы. При деформациях твердого тела его частицы (атомы, молекулы, ионы), находящиеся в узлах кристаллической решетки, смещаются из своих положений равновесия. Этому смещению противодействуют силы взаимодействия между частицами твердого тела, удерживающие эти частицы на определенном расстоянии друг от друга. Поэтому, при любом виде упругой деформации в теле возникают внутренние силы, препятствующие его деформации.

Силы, возникающие в теле при его упругой деформации и направленные против направления смещения частиц тела, вызываемого деформацией, называют **силами упругости**. Силы упругости действуют в любом сечении деформированного тела, а также в месте его контакта с телом, вызывающим деформации. В случае одностороннего растяжения или сжатия сила упругости направлена вдоль прямой, по которой действует внешняя сила, вызывающая деформацию тела, противоположно направлению этой силы и перпендикулярно поверхности тела.

Закон Гука.

Связь между силой упругости и упругой деформацией тела (при малых деформациях) была экспериментально установлена современником Ньютона английским физиком Гуком. Математическое выражение закона Гука для деформации одностороннего растяжения (сжатия) имеет вид:

$$F = -kx, \quad (20)$$

где F - сила упругости;

x - удлинение (сокращение) тела, или абсолютная деформация;

k - коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров и материала тела, называемый жесткостью. Единица жесткости в СИ - ньютон на метр (Н/м).

Закон Гука для одностороннего растяжения (сжатия) формулируют так: сила упругости, возникающая при деформации тела, пропорциональна абсолютной деформации этого тела.

Трение — взаимодействие соприкасающихся тел, которое препятствует их относительному перемещению. Сила сопротивления относительному перемещению называется **силой трения**.

Сила трения направлена в сторону, противоположную перемещению тела:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N, \quad (21)$$

где μ - коэффициент трения покоя, N - модуль силы реакции опоры (сила, действующая на тело со стороны опоры перпендикулярно ее поверхности).

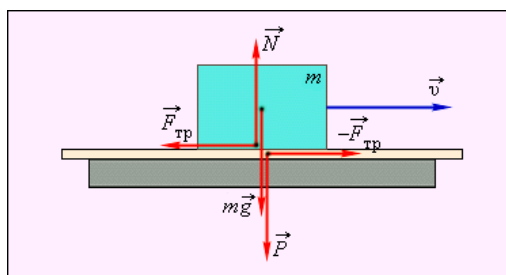


Рис. 13. Движение тела по горизонтальной поверхности.

Коэффициент трения μ — величина, показывающая, какую часть от силы нормального давления (или от силы реакции опоры) составляет сила трения.

На практике силу трения между телами как увеличивают, так и уменьшают. Для увеличения μ поверхности тел делают шершавыми, неровными. Для уменьшения μ переходят от сухого трения к трению слоев масла, образуя жидкую прослойку между телами.

ЛЕКЦИЯ 5. ИМПУЛЬС ТЕЛА. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА. ЭНЕРГИЯ И РАБОТА.

Импульс тела (материальной точки) \vec{p} — векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (22)$$

Направление импульса совпадает с направлением скорости тела. Импульс тела изменяется по модулю и по направлению под действием силы.

Закон сохранения импульса тела.

Закон сохранения импульса - сумма импульсов всех тел замкнутой системы есть величина постоянная:

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const.} \quad (23)$$

Из законов Ньютона следует, что при отсутствии внешних сил импульс тела сохраняется во времени, а при наличии силы, скорость изменения импульса тела равна этой силе:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{t}. \quad (24)$$

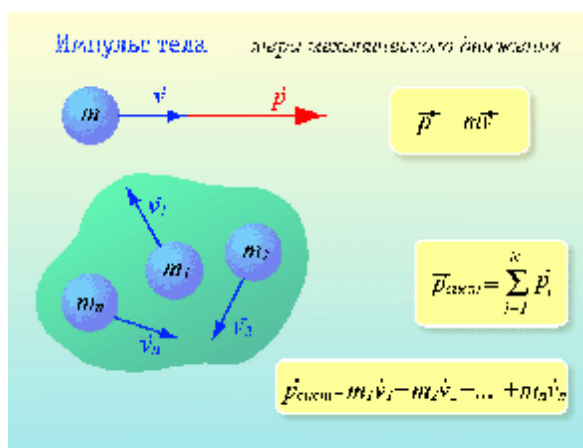


Рис. 14. Импульс материальной точки, системы точек и закон сохранения импульса.

Энергия — общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Изменение энергии происходит в результате взаимодействия тел. Количественной характеристикой процесса обмена энергией между взаимодействующими телами является **работа силы**.

Если рассматриваемая сила \vec{F} постоянна, а тело, к которому она приложена, движется поступательно и прямолинейно, то **работой**, совершаемой силой F при прохождении телом пути S , называют величину:

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha, \quad (25)$$

где α - угол между силой \vec{F} и направлением движения тела.

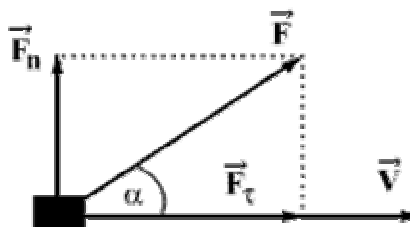


Рис. 15. Нормальная и тангенциальная составляющие силы \vec{F} , прикладываемой к телу.

Работа - скалярная величина. Если вектор силы и вектор перемещения образуют острый угол, т.е. $\cos \alpha > 0$, то $A > 0$, если $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\cos \alpha = 0$, то $A = 0$, т.е. сила, действующая перпендикулярно к перемещению тела, работу не выполняет.

Единица измерения работы в системе СИ — джоуль. 1 Дж – это работа, которую выполняет сила 1 Н на пути 1 м.

Механика различает кинетическую энергию и потенциальную энергию. Их сумма называется полной механической энергией.

Кинетическая энергия — это энергия движения. Кинетическая энергия материальной точки вычисляется по формуле:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (26)$$

где m – масса точки;

v – скорость точки.

Изменение кинетической энергии тела равно работе силы, которая увеличивает скорость тела от v_1 до v_2 :

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \quad (27)$$

Потенциальная энергия — энергия взаимодействия нескольких тел (или частей одного тела).

Например, в поле Земного притяжения вычисляют потенциальную энергию $E_{\text{п}}$ поднятого вверх тела по формуле:

$$E_{\text{п}} = mgh, \quad (28)$$

где m – масса точки;

h – высота тела над уровнем отсчета;

g – ускорение земного притяжения, которое считается постоянным на всей высоте h . Потенциальная энергия mgh равна работе силы тяжести mg .

Второй пример – это потенциальная энергия деформированной пружины (энергия упругой деформации):

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}, \quad (29)$$

где k – жесткость пружины;

x – абсолютная деформация пружины (изменение длины пружины).

Закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия $W = (A_{\text{э}} + A_{\text{т}})$ замкнутой системы взаимодействующих тел сохраняется неизменной при условии отсутствия превращений механической энергии в тепловую. Как пример рассмотрим падение тела с высоты H на поверхность Земли. Начальная энергия тела $E_{\text{п}} = mgH$. В процессе падения потенциальная энергия тела будет уменьшаться (с уменьшением высоты), а кинетическая – возрастать (с увеличением скорости), но полная механическая энергия остается неизменной: $W = mgh + \frac{mv^2}{2} = mgH$.

В момент падения на поверхность земли потенциальная энергия уменьшится до нуля, а скорость тела будет максимальной. Из кинематики известно, что $v_{\max} = \sqrt{2gH}$, поэтому, $W = \frac{mv_{\max}^2}{2} = mgH$.

Использование законов сохранения импульса и энергии облегчают решение многих задач механики, поскольку позволяют записать соотношения между начальным и конечным состояниями механической системы, не анализируя деталей перехода между ними.

ЛЕКЦИЯ 6. ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ.

В окружающем нас мире все тела разделяются на *твердые*, *жидкие*, и *газообразные*. Твердые тела имеют постоянную форму, которую можно изменить лишь прикладывая определенные усилия. Жидкости сохраняют неизменный объем, но не имеют определенной формы. Газы заполняют весь предоставленный объем. Исследуя вещество, используют такую его характеристику, как плотность ρ - величину, которая равна отношению массы m вещества к занимаемому им объему V :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (30)$$

Единица плотности в СИ — килограмм на кубический метр ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Для количественного описания взаимодействия твердых тел используют такую физическую величину как сила. Однако этого недостаточно, если рассматривают контакт твердого тела с жидкостью или газом. Дополнительно в таких случаях используют понятие давления.

Давление p — величина, характеризующая действие силы, перпендикулярной поверхности, на каждую единицу площади этой поверхности. Давление равно отношению модуля силы F , действующей перпендикулярно поверхности, к площади S этой поверхности.

$$p = \frac{F}{S}. \quad (31)$$

Единица давления в СИ — паскаль ($[p] = \text{Па}$).

В покоящейся жидкости существует два вида статического давления: гидростатическое и внешнее. Вследствие притяжения к Земле жидкость оказывает давление на дно и стенки сосуда, а также на тела, находящиеся внутри нее. Давление, обусловленное весом столба жидкости, называется **гидростатическим**. Давление жидкости на разных глубинах различно и не зависит от ориентации площадки, на которую оно производится.

Пусть жидкость находится в цилиндрическом сосуде с площадью сечения S ; высота столба жидкости h . Тогда

$$P = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh, \quad (32)$$

где ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, h - глубина погружения.

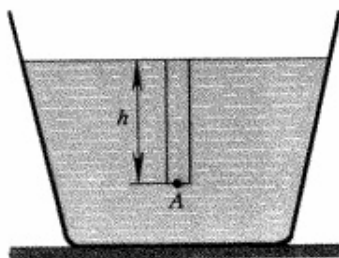


Рис. 16. Гидростатическое давление столба жидкости.

Гидростатическое давление жидкости зависит от плотности ρ жидкости, от ускорения g свободного падения и от глубины погружения h , на которой находится рассматриваемая точка. Оно не зависит от формы столба жидкости. Глубина h отсчитывается по вертикали от уровня свободной поверхности жидкости до рассматриваемой точки. В условиях невесомости гидростатическое давление в жидкости отсутствует, так как в этих условиях жидкость становится невесомой.

Внешнее давление характеризует сжатие жидкости под действием внешней силы. Пример внешнего давления: атмосферное давление и давление, создаваемое в гидравлических системах. Французский ученый Блез Паскаль (1623-1662) установил: жидкости и газы передают производимое на них давление одинаково по всем направлениям (**закон Паскаля**). Для измерения давлений используют манометры. Закон Паскаля используется в гидравлических прессах. Два соединенных цилиндра пресса имеют разные диаметры. Когда к меньшему цилиндру прикладывают небольшую силу F_1 , которая создает давление на жидкость, то такое же давление создается под большим поршнем: $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$. Следовательно, $F_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1 \gg F_1$, если $S_2 \gg S_1$.



Рис. 17. Гидравлический пресс.

Гидравлический пресс легко дает такой выигрыш в силе, какой не может обеспечить ни один рычаг.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость (или газ), действует направленная вверх выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости или газа. Сила Архимеда (выталкивающая сила) вычисляется по формуле:

$$F_A = \rho g V, \quad (33)$$

где ρ — плотность жидкости (газа);

g — ускорение свободного падения;

V — объем погруженной в жидкость или газ части тела.

Благодаря действию силы Архимеда тела могут плавать на поверхности жидкости, но только при условии, что сила Архимеда больше силы тяжести: $F_A > mg$, где m — масса тела.

ЛЕКЦИЯ 7. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.

Колебания — движения или процессы, повторяющиеся во времени. Колебания называются **периодическими**, если значения физических величин, изменяющихся в процессе колебания, повторяются через равные промежутки времени.

Наиболее важными характеристиками колебания являются: смещение, амплитуда, период, частота, циклическая частота и фаза.

Смещение x — отклонение тела от положения равновесия в данный момент времени.

Амплитуда колебаний A — максимальное отклонение от положения равновесия.

Период колебаний T — время одного полного колебания.

Частота колебаний ν — количество колебаний, совершаемых в единицу времени. Единица частоты в СИ — герц ($[\nu] = \text{Гц}$).

Фаза колебаний φ — периодически изменяющийся аргумент функции, описывающей колебательный или волновой процесс. Фаза характеризует состояние этого процесса в данный момент времени.

Простейший вид периодических колебаний — гармонические колебания.

Гармоническое колебание — периодическое изменение во времени физической (или другой) величины, происходящее по закону синуса или косинуса:

$$x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (34)$$

где A — амплитуда колебаний,

ω — циклическая частота колебаний,

φ_0 — начальная фаза.

Циклическая частота ω — характеристика гармонических колебаний, равная числу полных колебаний, совершающихся за 2π единиц времени.

Циклическая частота ω связана с периодом T и частотой гармонических колебаний: $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$.

Уравнение гармонических колебаний (34) описывает колебания математического маятника.

Математическим маятником называется материальная точка, подвешенная на нерастяжимой невесомой нити, совершающая колебательное движение в одной вертикальной плоскости под действием силы тяжести.

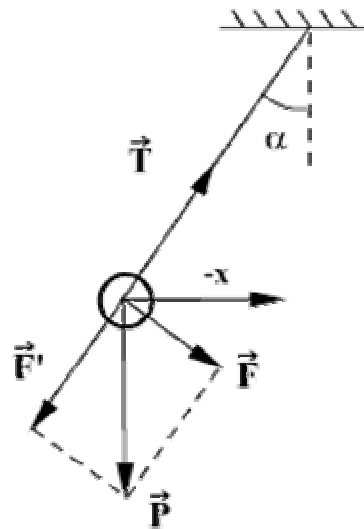


Рис. 18. Математический маятник.

Таким маятником можно считать тяжелый шар массой m , подвешенный на тонкой нити, длина l которой намного больше размеров шара. Период колебаний математического маятника зависит от его длины и ускорения силы тяжести и не зависит от амплитуды колебаний:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (35)$$

По гармоническому закону происходят колебания **тела, подвешенного на пружине**. Период таких колебаний вычисляется по формуле:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (36)$$

где m — масса точки; k — жесткость пружины. Во время колебаний происходит периодическое превращение потенциальной энергии деформированной пружины в кинетическую энергию тела и наоборот.

Если в каком-либо месте упругой (твердой, жидкой или газообразной) среды возбудить колебания ее частиц, то вследствие взаимодействия между частицами это колебание начнет распространяться в среде с некоторой скоростью v . Процесс распространения колебаний в пространстве называется **волной**. Частицы среды, в которой распространяется волна, не переносятся

волной, они лишь совершают колебания около своих положений равновесия. В зависимости от направления колебания частиц по отношению к направлению, в котором распространяется волна, различают **продольные и поперечные волны**. В продольной волне частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны. В поперечной волне частицы среды колеблются в направлениях, перпендикулярных к направлению распространения волны. Механические поперечные волны могут возникнуть лишь в среде, обладающей сопротивлением сдвигу. Поэтому в жидкой и газообразной средах возможно возникновение только продольных волн. В твердой среде возможно возникновение как продольных, так и поперечных волн. В продольных волнах вследствие совпадения направлений колебаний частиц и волны появляются сгущения и разрежения.

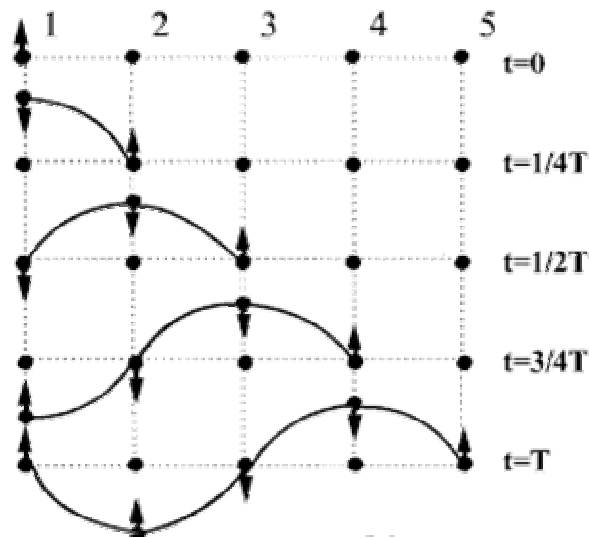


Рис. 19. Распространение волн в упругой среде.

Расстояния между точками 1 и 5 определяет длину волны λ т.е. **длиной волны** λ называется, расстояние между ближайшими точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах. **Периодом волны** T называют время одного полного колебания ее точек. Величина, обратная периоду, называется **частотой волны**. Скорость волны определяется скоростью распространения колебаний от одной точки среды к другой:

$$v = \lambda \nu. \quad (37)$$

ЛЕКЦИЯ 8. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ.

Молекулярно-кинетическая теория (МКТ) изучает свойства веществ, основываясь при этом на таких основных положениях:

1. вещество состоит из молекул;
2. молекулы вещества непрерывно и хаотически движутся;

3. молекулы вещества взаимодействуют друг с другом.

Беспорядочное (хаотичное) движение атомов и молекул в веществе называют тепловым движением, потому что скорость движения частиц увеличивается с ростом температуры. Экспериментальным подтверждением непрерывного движения атомов и молекул в веществе является броуновское движение и диффузия.

Силы взаимодействия между молекулами.

Если бы между молекулами не существовало сил притяжения, то все тела при любых условиях находились бы только в газообразном состоянии. Но одни силы притяжения не могут обеспечить существования устойчивых образований из атомов и молекул. На очень малых расстояниях между молекулами обязательно действуют силы отталкивания. Благодаря этому молекулы не проникают друг в друга и куски вещества никогда не сжимаются до размеров одной молекулы. Молекула - это сложная система, состоящая из отдельных заряженных частиц: электронов и атомных ядер. Хотя в целом молекулы электрически нейтральны, тем не менее, между ними на малых расстояниях действуют значительные электрические силы: происходит взаимодействие электронов и атомных ядер соседних молекул. Если молекулы находятся на расстояниях, превышающих их размеры в несколько раз, то силы взаимодействия практически не сказываются. Силы, возникающие между электрически нейтральными молекулами, являются короткодействующими. На расстояниях, превышающих 2 - 3 диаметра молекул, действуют силы притяжения. По мере уменьшения расстояния между молекулами сила притяжения сначала увеличивается, а затем начинает убывать до нуля, когда расстояние между двумя молекулами становится равным сумме радиусов молекул. При дальнейшем уменьшении расстояния электронные оболочки атомов начинают перекрываться, и между молекулами возникают быстро нарастающие силы отталкивания. Данные рассуждения иллюстрируются приведенными рисунками.

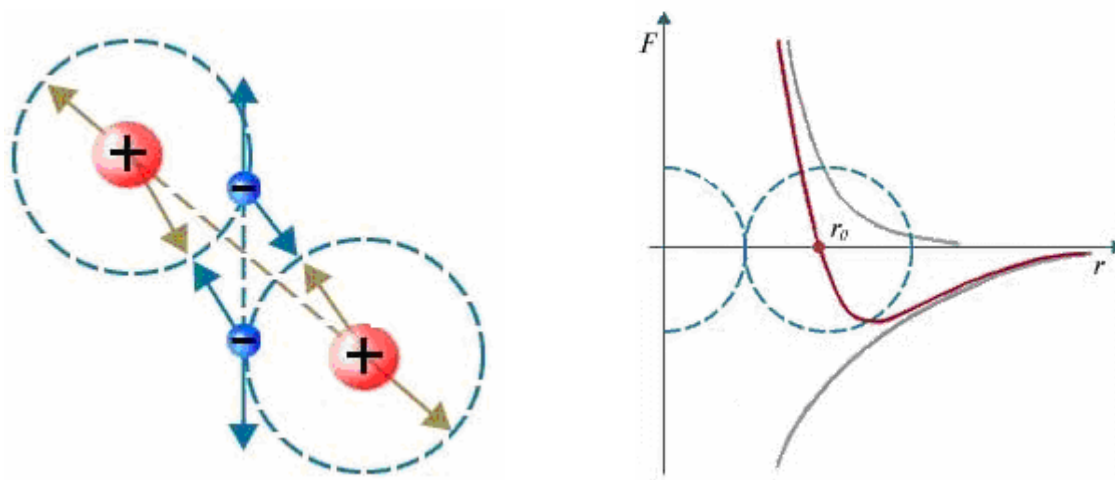


Рис. 20. Взаимодействие заряженных частиц в веществе и зависимость силы от расстояния.

Постоянная Авагадро. Молярная масса. Идеальный газ.

В силу того, что массы молекул крайне малы, удобно пользоваться не абсолютными, а относительными единицами массы. Для этого используется так называемая атомная единица массы (а.е.м.), равная 1/12 массы атома углерода. Массу частицы, измеренную в а.е.м. принято называть относительной атомной (или молекулярной) массой. Значения относительных атомных масс приведены в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева. Относительная молекулярная масса молекулы вещества равна сумме относительных атомных масс атомов, составляющих данную молекулу. Экспериментально установлено, что $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. В Международной системе СИ для измерения количества вещества (ν) введена специальная единица - моль. **1 моль** - это количество вещества, в котором содержится столько же частиц, сколько атомов содержится в 12 граммах углерода.

Постоянная Авогадро численно равна количеству частиц, содержащихся в 1 моле любого вещества: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$. Масса 1 моля вещества называется **молярной массой** (μ). Численное значение молярной массы, выраженной в г/моль, равно значению относительной атомной или молекулярной массы. Количество вещества, постоянная Авогадро, молярная масса, масса молекулы - эти величины связаны между собой соотношениями.

$$\text{Количество молей} - \nu = \frac{m}{\mu}, \quad (38)$$

где m – масса вещества, μ - молярная масса.

$$\text{Масса молекулы} - m_0 = \frac{\mu}{N_A}, \quad (39)$$

где N_A - постоянная Авогадро.

$$\text{Количество молекул} - N = \frac{m}{\mu} N_A. \quad (40)$$

Известно, что частицы в газах, в отличие от жидкостей и твердых тел, располагаются друг относительно друга на расстояниях, существенно превышающих их собственные размеры. В этом случае взаимодействие между молекулами пренебрежимо мало и кинетическая энергия молекул много больше энергии межмолекулярного взаимодействия. Для выяснения наиболее общих свойств, присущих всем газам, используют упрощенную модель реальных газов - идеальный газ. Основные отличия идеального газа от реального газа:

1. размером молекул пренебрегают;
2. между молекулами отсутствуют силы межмолекулярного взаимодействия;
3. соударения молекул являются абсолютно упругими.

ЛЕКЦИЯ 9. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МКТ. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ. ИЗОПРОЦЕССЫ.

Давление газа на стенку сосуда молекулярно-кинетическая теория (МКТ) объясняет передачей стенке импульсов молекул, которые ударяются о стенку. Основное уравнение МКТ идеального газа – это формула, которую теория дает для вычисления давления:

$$p = \frac{1}{3} \cdot n m_0 v^2, \quad (41)$$

где n – концентрация молекул;

m_0 - масса молекулы;

v - среднеквадратическая скорость молекулы.

Молекулярно-кинетическая теория позволяет понять сущность такого понятия, как температура. Как известно, для измерения температуры служат специальные приборы - термометры. Их действие основано на том факте, что при изменении температуры, изменяются и другие физические параметры тела, например, такие, как давление и объем. Измеряемая по шкале Цельсия температура может быть как положительной, так и отрицательной. Температура 0°C соответствует температуре замерзания воды. В МКТ используют абсолютную температурную шкалу и температуру измеряют в кельвинах. Наименьшая температура по абсолютной шкале - это абсолютный нуль. 0K примерно равен -273°C . Переходят от одной шкалы температур к другой с помощью формулы:

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273. \quad (42)$$

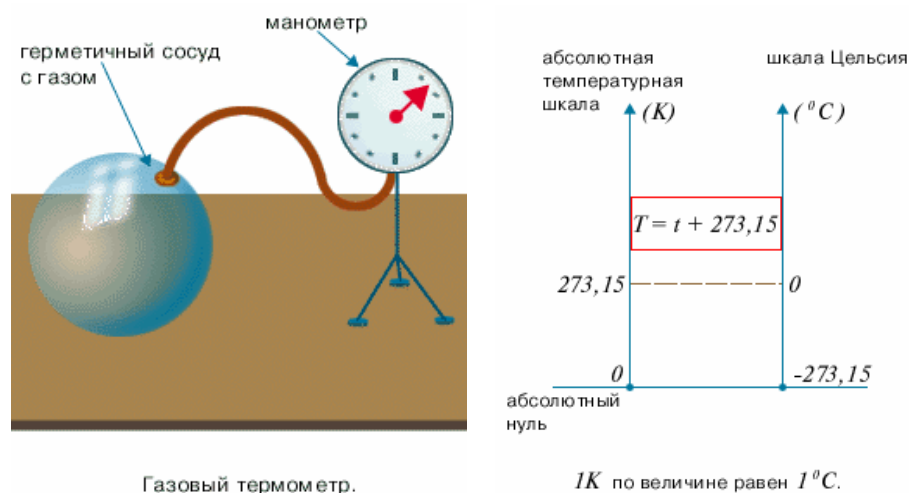


Рис. 21. Измерение температуры.

Используя абсолютную шкалу температуры основное уравнение МКТ можно записать в виде:

$$p = nkT,$$

где n – концентрация молекул;

k - постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T - абсолютная температура.

Решив систему уравнений, получим формулу для вычисления средней квадратичной скорости молекул:

$$\begin{cases} P = nkT \\ P = \frac{1}{3}nm_0v^2 \end{cases} \Rightarrow \vec{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}. \quad (43)$$

Таким образом, скорость движения молекул зависит от температуры, а абсолютный ноль - это температура, при которой прекращается поступательное движение молекул.

Уравнение состояния идеального газа.

Состояние идеального газа и процессы, проходящие в нем, определяются количеством частиц (молекул), из которых состоит газ, и их параметрами, такими как масса, диаметр, скорость и энергия. Такие параметры называются микроскопическими или микропараметрами.

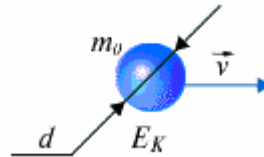
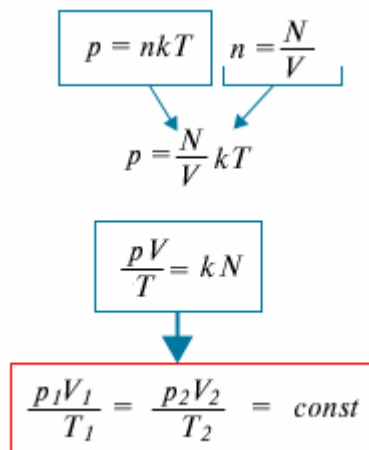


Рис. 22. Микроскопические параметры частиц газа.

Такие параметры как температура, объем, давление называются макроскопическими или макропараметрами, поскольку если состояние газа не меняется, то не меняются и эти параметры. Поэтому, эти параметры принято называть параметрами состояния газа.

Из основного уравнения МКТ идеального газа можно получить уравнение состояния идеального газа, связывающее между собой параметры состояния p , V и T . Если исключить из уравнения МКТ микроскопический параметр - число частиц, - заменив его с помощью известных соотношений макроскопическим параметром - массой, то можно получить другую форму записи уравнения состояния.



Данное уравнение состояния идеального газа называется уравнением Клапейрона.

$$\frac{pV}{T} = kN$$

$$N = \frac{m N_A}{M}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \frac{m}{m_0} \\ m_0 = \frac{M}{N_A} \end{array} \right.$$

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} N_A k$$

$R = k \cdot N_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ - универсальная газовая постоянная.

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$$

В таком виде уравнение состояния идеального газа называют уравнением Менделеева - Клапейрона.

С помощью уравнения состояния идеального газа можно исследовать процессы, в которых масса газа и один из параметров - давление, объем или температура - остается постоянным, а изменяются только остальные два и получить теоретически газовые законы для этих условий изменения состояния газа. Такие процессы называют изопроцессами. Законы, описывающие изопроцессы, были открыты задолго до теоретического вывода уравнения состояния идеального газа.

Изотермический процесс - процесс изменения состояния системы при постоянной температуре $T = const$.

Для данной массы газа произведение давления газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется. Это **закон Бойля - Мариотта**.

Для того, чтобы температура газа оставалась в процессе неизменной, необходимо, чтобы газ мог обмениваться теплотой с внешней системой - термостатом. Роль термостата может играть внешняя среда (воздух атмосферы). Согласно закону Бойля-Мариотта, давление газа обратно пропорционально его объему:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = const. \quad (44)$$

Графическая зависимость давления газа от объема изображается в виде кривой (гиперболы), которая носит название изотермы. Разным температурам соответствуют разные изотермы.

Изохорный процесс - процесс изменения состояния системы при постоянном объеме $V = const$. Для данной массы газа отношение давления газа к его температуре остается постоянным, если объем газа не меняется. Этот газовый **закон Шарля**.

Согласно закону Шарля, давление газа прямо пропорционально его температуре:

$$\frac{P}{T} = const. \quad (45)$$

Графически эта зависимость в координатах $p-T$ изображается в виде прямой, выходящей из точки $T=0$. Эту прямую называют изохорой. Разным объемам соответствуют разные изохоры.

Изобарный процесс – процесс изменения состояния системы при постоянном давлении $p = const$. Для газа данной массы отношение объема газа к его температуре остается постоянным, если давление газа не меняется. Это **закон Гей-Люссака**.

Согласно закону Гей-Люссака, объем газа прямо пропорционален его температуре:

$$\frac{V}{T} = const. \quad (46)$$

Графически эта зависимость в координатах $V-T$ изображается в виде прямой, выходящей из точки $T=0$. Эту прямую называют изобарой. Разным давлениям соответствуют разные изобары.

Законы Бойля - Мариотта, Гей-Люссака и Шарля являются частными случаями объединенного газового закона: отношение произведения давления газа и объема к температуре для данной массы газа - величина постоянная:

$$\frac{pV}{T} = const.$$

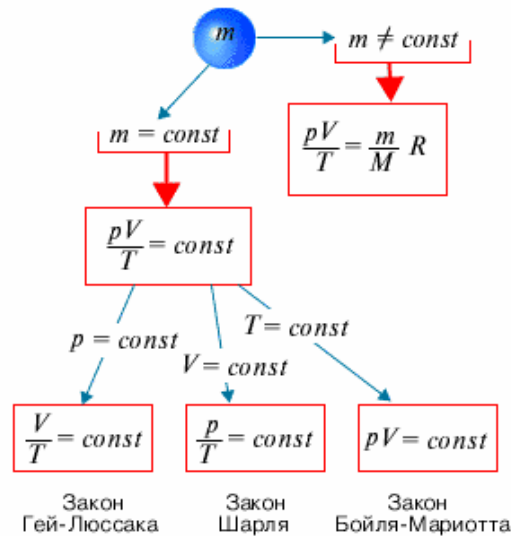


Рис. 23. Законы, описывающие изопроцессы.

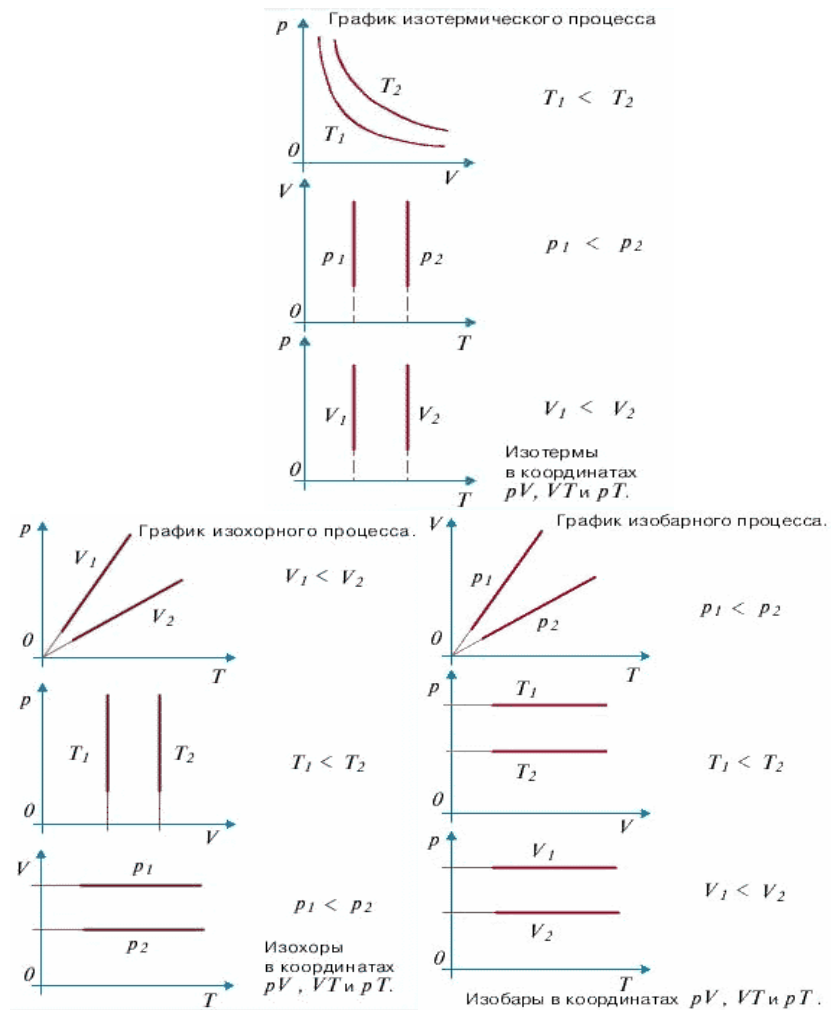


Рис. 24. Графики изопроцессов.

Если идеальный газ является смесью нескольких газов, то согласно **закону Дальтона**, давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений входящих в нее газов.

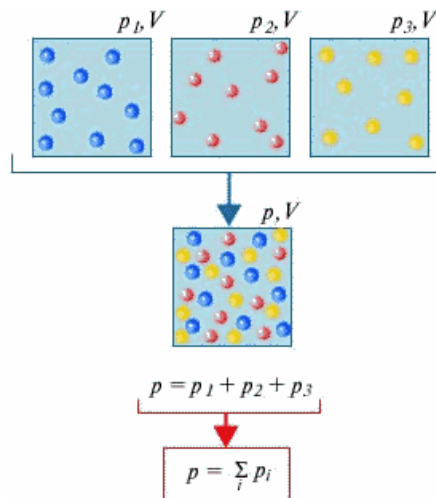


Рис. 25. Закон Дальтона.

Парциальное давление - это такое давление, которое производил бы газ, если бы он один занимал весь объем, равный объему смеси.

ЛЕКЦИЯ 10. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ.

Термодинамика изучает передачу и превращения теплоты. Важным в термодинамике является понятие внутренней энергии.

Внутренняя энергия U — сумма энергии беспорядочного (теплого) движения атомов и молекул физической системы и энергии взаимодействия этих частиц между собой.

Внутренняя энергия одноатомного идеального газа равна кинетической энергии теплового движения его атомов:

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT. \quad (47)$$

Изменение внутренней энергии равно:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T, \quad (48)$$

где ν - количество вещества, ΔT - изменение температуры газа.

Теплообмен — самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты, при котором ни сама система не совершает работы, ни над системой не совершается работа. Теплообмен между двумя телами называется **теплопередачей**.

Различают три вида теплообмена: теплопроводность, конвекцию и излучение. В практических ситуациях могут одновременно осуществляться несколько видов теплообмена.

Теплопроводность — один из видов теплообмена, приводящий к выравниванию температур различных частей тела. При этом происходит передача энергии от более нагретых частей к менее нагретым. Теплопроводность осуществляется в результате непосредственной передачи энергии от частиц, обладающих большей энергией теплового движения, частицам с меньшей энергией при их взаимодействии. При этом не происходит перемещения частиц по объему тела.

Количественно теплопроводные свойства вещества характеризуются коэффициентом теплопроводности. Вещества, коэффициенты теплопроводности которых имеют большие значения (серебро, медь, алюминий и другие), легко проводят тепло и называются хорошими проводниками тепла. Вещества, у которых коэффициенты теплопроводности малы (асбест, пух, воздух и другие), плохо проводят тепло и называются теплоизоляторами.

Конвекция — один из видов теплообмена: перенос энергии в жидкостях и газах потоками вещества.

Конвекция приводит к выравниванию температуры вещества. Скорость конвекции зависит, в частности, от разности температур между слоями и от теплопроводности вещества. При вынужденной конвекции перемещение слоев вещества происходит с помощью насоса, мешалки или другого подобного устройства.

Излучение — один из видов теплообмена. В ходе этого процесса энергия передается посредством электромагнитных волн. Этот вид теплообмена не требует наличия среды (вещества), соединяющей тела, так как электромагнитное излучение распространяется и в вакууме.

Количество теплоты Q — энергия, переданная системе в процессе теплообмена.

Количество теплоты передается от более нагретого тела к менее нагретому, при этом не происходит переноса вещества и не совершается работа. Единица количества теплоты в СИ — джоуль ($[Q] = \text{Дж}$). Иногда для измерения количества теплоты используется внесистемная единица — калория:

$$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж}.$$

Эксперимент показывает, что количество теплоты Q , необходимое для нагревания вещества от температуры T_1 до температуры T_2 пропорционально массе вещества m и изменению температуры $\Delta T = T_2 - T_1$:

$$Q = cm\Delta T, \quad (49)$$

где c — удельная теплоемкость вещества.

Удельная теплоемкость численно равна количеству теплоты, необходимой для нагревания одного килограмма вещества на один градус. Величина c измеряется в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ и есть одной из важных характеристик вещества.

Работа в термодинамике.

Расширяясь, газ выполняет работу. В случае изобарного процесса работу газа можно вычислить по формуле:

$$A = p(V_2 - V_1), \quad (50)$$

где $(V_2 - V_1)$ - изменение объема газа, p - давление. Если работа выполняется над газом, его объем уменьшается и работа будет отрицательной.

Первое начало термодинамики.

Количество теплоты Q переданное системе идет на изменение внутренней энергии ΔU системы и на выполнение системой работы A против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A. \quad (51)$$

Первый закон термодинамики позволяет вычислить изменение параметров идеального газа при тепловых и механических процессах. Если в газе протекают изопроцессы, первый закон термодинамики может быть записан в частном виде.

При изотермическом процессе изменения внутренней энергии в идеальном газе не происходит и все подводимое к газу количество теплоты идет на совершение им работы:

$$T = \text{const}, U = \text{const}, \Delta U = 0, Q = A.$$

При изохорном процессе объем газа остается постоянным. Соответственно, не совершается работа и внутренняя энергия газа изменяется исключительно за счет теплообмена с окружающей средой:

$$V = \text{const}, \Delta V = 0, A = 0, \Delta U = Q.$$

При изобарном процессе изменение внутренней энергии газа происходит как за счет теплообмена, так и за счет совершения механической работы. Если к газу подводится некоторое количество теплоты, то оно частично расходуется на увеличение внутренней энергии газа, частично на совершение газом работы при его расширении:

$$p = \text{const}, A = p\Delta V, Q = \Delta U + p\Delta V.$$

Возможен еще вариант, когда термодинамическая система не обменивается теплотой с окружающей средой. Процесс, происходящий при этом с газом, называется **адиабатным**. При адиабатном процессе работа совершается газом за счет убыли его внутренней энергии, либо наоборот, за счет совершения над газом работы, увеличивается его внутренняя энергия: $Q = 0; A = -\Delta U$.

Из первого начала термодинамики вытекает невозможность создания вечного двигателя первого рода, т. е. устройства, способного как угодно долго совершать работу, не получая энергию.

Двигатель — техническое устройство, преобразующее различные виды энергии в механическую работу.

Тепловой двигатель — устройство, которое преобразует тепловую энергию в механическую работу.

Тепловой двигатель состоит из трех основных частей: рабочего тела, нагревателя и холодильника. Рабочее тело — газ или пар, который, получая от нагревателя некоторое количество теплоты Q_1 расширяется и совершает работу A . Чтобы привести рабочее тело в исходное состояние, часть теплоты Q_2 , которая не превращается в работу, отдается холодильнику. Далее процесс (цикл) повторяется. За каждый цикл тепловая машина выполнит работу $A = Q_1 - Q_2$.

Характеристикой эффективности тепловой машины есть коэффициент полезного действия (КПД) η :

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (52)$$

Теоретически доказано, что максимальный ККД имеет тепловая машина, работающая по циклу Карно.

Цикл Карно — обратимый круговой газовый процесс, состоящий из последовательно чередующихся двух изотермических (AB, CD) и двух адиабатных (BC, DA) процессов, осуществляемых с рабочим телом.

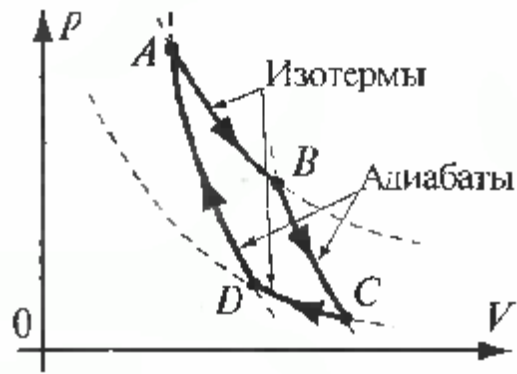


Рис. 26. Цикл Карно.

Цикл Карно — рабочий цикл идеального теплового двигателя, совершающего работу за счет теплоты, подводимой рабочему телу в изотермическом процессе.

Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины определяется по формуле:

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (53)$$

где η_{\max} - максимальный КПД тепловой машины,

T_1 - температура нагревателя,

T_2 - температура холодильника.

ЛЕКЦИЯ 11.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Электростатика изучает взаимодействие неподвижных заряженных частиц. **Электрическим зарядом** называют количественную меру свойства физических тел или частиц вещества вступать в электромагнитное взаимодействие.

Электрические заряды бывают двух видов — положительные и отрицательные. Электрон имеет электрический заряд равный $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, который называется элементарным. Величина любого заряда q , кратна элементарному заряду, т.е. $q = ne$ (где n — целое число). Тела, в которых электрические заряды могут свободно перемещаться, называются проводниками, например, все металлы являются хорошими проводниками. Тела, в которых возможность перемещения зарядов весьма ограничена, называются диэлектриками или изоляторами, заряды в таких телах называются связанными. Промежуточное положение занимают полупроводники. Их электропроводность в значительной мере зависит от внешних условий, главным образом от температуры.

В изолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной. Это утверждение носит название **закона сохранения заряда**.

Наличие у тела электрического заряда проявляется в том, что такое тело взаимодействует с другими заряженными телами. Тела, несущие заряды одинакового знака, отталкиваются друг от друга. Тела, заряженные разноименно, притягиваются друг к другу.

В 1775 г. Ш. Кулон сформулировал закон взаимодействия точечных зарядов, согласно которому сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов прямопропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, \quad (54)$$

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

ϵ - диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума $\epsilon = 1$).

В случае одноименных зарядов сила оказывается положительной, (что соответствует отталкиванию между зарядами). В случае разноименных зарядов сила отрицательна, что соответствует притягиванию зарядов.

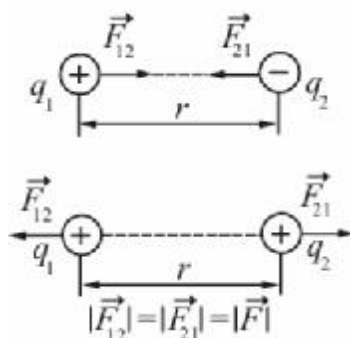


Рис. 27. Силовое взаимодействие электрических зарядов.

Электростатическое поле. Напряженность поля.

Взаимодействие между зарядами осуществляется через электрическое поле. Электрическое поле покоящихся зарядов называется **электростатическим**. Электростатическое поле отдельного заряда можно обнаружить, если внести в это поле другой заряд, на который в соответствии с законом Кулона будет действовать определенная сила. Отношение $\frac{F}{q}$ для всех зарядов, вносимых в данную точку поля, будет одинаковым. Эта величина является силовой характеристикой электрического поля и называется напряженностью \vec{E} :

$$E = \frac{F}{q}. \quad (55)$$

Напряженность электрического поля в данной точке равна силе, действующая на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку.

Учитывая закон Кулона нетрудно получить выражение для напряженности поля создаваемого точечным зарядом q :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} . \quad (56)$$

Электрическое поле наглядно изображается с помощью силовых линий. **Силовой линией электрического поля** называется линия, в каждой точке которой касательная совпадает с вектором напряженности поля. Силовые линии проводятся с такой плотностью, чтобы число линий, пронизывающих воображаемую площадь 1м^2 , перпендикулярную полю, равнялось величине напряженности поля в данном месте. Тогда по изображению электрического поля можно судить не только о направлении, но и о величине напряженности поля. Электрическое поле называется **однородным**, если во всех его точках напряженность \vec{E} одинакова. В противном случае поле называется **неоднородным**.

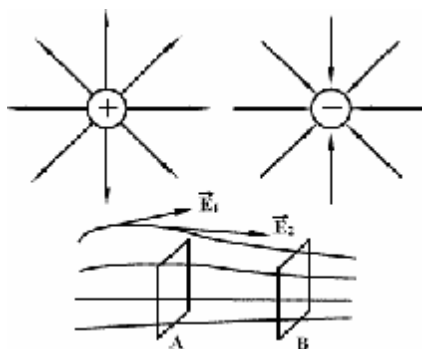


Рис. 28. Силовые линии электростатического поля.

При положительном заряде, образующем поле, вектор напряженности направлен вдоль радиуса от заряда, при отрицательном - по направлению к заряду.

Принцип суперпозиции электрических полей.

Если поле образовано не одним зарядом, а несколькими, то силы, действующие на пробный заряд, складываются по правилу сложения векторов. Поэтому, **напряженность поля системы зарядов в данной точке, поля равна векторной сумме напряженностей полей от каждого заряда в отдельности:**

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i . \quad (57)$$

Например, найдем напряженность поля в точке А для двух точечных зарядов q_1 и q_2 .

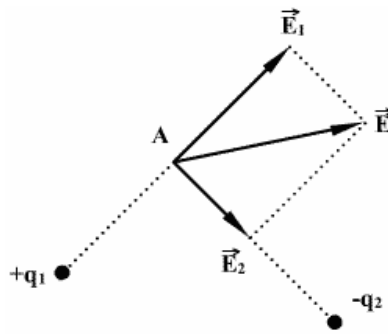


Рис. 29. Определение напряженности поля, созданного двумя зарядами, в соответствии с принципом суперпозиции.

Сложение векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 производится по правилу параллелограмма. Направление результирующего вектора \vec{E} находится построением, а его абсолютная величина может быть подсчитана по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos(\alpha)}. \quad (58)$$

Потенциал электростатического поля.

В соответствии с законом сохранения энергии движение заряда сопровождается преобразованием потенциальной энергии в кинетическую, подобно случаю свободного падения тела. В разных точках поля заряд будет характеризоваться различными значениями потенциальной энергии W_1, W_2, \dots, W_N . Отношение потенциальной энергии к заряду используют для характеристики поля. Обычно оно обозначается буквой φ и называется **потенциалом поля** в данной точке:

$$\varphi = \frac{W}{q}. \quad (59)$$

Потенциал является энергетической характеристикой поля. **Потенциал** данной точки поля численно равен потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещенного в эту точку. Единица измерения потенциала – вольт (В).

Потенциал поля, созданного точечным зарядом q в данной точке вычисляют по формуле:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}, \quad (60)$$

где r – расстояние до точечного заряда q .

Разность потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ двух точек электрического поля равна работе, которую выполняет поле, перемещая заряд $+1$ Кл из одной точки поля в другую. Поэтому, работу поля по перемещению произвольного заряда q можно вычислить по формуле:

$$A = q\Delta\varphi. \quad (61)$$

Когда поле образовано несколькими произвольно расположенными точечными зарядами q_1, q_2, \dots, q_N , потенциал поля в данной точке равен алгебраической сумме потенциалов $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N$, создаваемых каждым зарядом в отдельности, т.е.

$$\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i . \quad (62)$$

Связь между напряженностью и потенциалом.

В случае однородного электрического поля работу поля с напряженностью \vec{E} по перемещению заряда q из точки 1 в точку 2 можно вычислить двумя способами:

- 1) $A_{12} = Fd = qEd$, где d - расстояние между точками;
- 2) $A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q\Delta\varphi$.

Приравняв правые части уравнений, получим:

$$Ed = \Delta\varphi \Rightarrow$$

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{d} . \quad (63)$$

Знак «-» обусловлен тем, что вектор \vec{E} направлен в сторону уменьшения потенциала.

ЛЕКЦИЯ 12. КОНДЕНСАТОРЫ. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Электрическая емкость — величина, характеризующая электрические свойства проводника, количественная мера его способности удерживать электрический заряд.

Электрическая емкость C уединенного проводника равна отношению заряда q проводника к его потенциалу φ :

$$\tilde{N} = \frac{q}{\varphi} . \quad (64)$$

Электрическая емкость определяется геометрическими размерами проводника, его формой и электрическими свойствами окружающей среды (ее диэлектрической проницаемостью).

Электрическая емкость уединенного проводящего шара (или сферы) радиуса R , равна:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R . \quad (65)$$

Понятие электрической емкости относится также к системе проводников. Система из двух проводников, разделенных диэлектриком, называется **конденсатором**. Сами проводники называются в этом случае обкладками конденсатора. В зависимости от конфигурации и расположения обкладок различают плоские, сферические и цилиндрические конденсаторы.

Электрическую емкость плоского конденсатора, состоящего из двух металлических пластин площадью S каждая, расположенных на расстоянии d друг от друга ($d \ll \sqrt{S}$) и разделенных слоем диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε , можно рассчитать по формуле:

$$\tilde{N} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}. \quad (66)$$

Единица электрической емкости в СИ — фарад ($[C] = \Phi$).

Энергия W заряженного конденсатора определяется соотношением:

$$W = \frac{q^2}{2\tilde{N}} = \frac{\tilde{N}U^2}{2} = \frac{qU}{2}, \quad (67)$$

где q - заряд обкладок конденсатора,

U - разность потенциалов между обкладками.

Для того, чтобы обеспечить требуемую емкость при заданном напряжении, конденсаторы соединяют в батареи.

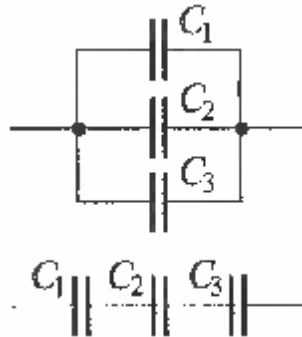


Рис. 30. Соединения конденсаторов.

При параллельном соединении конденсаторов емкостями C_1 , C_2 , C_3 емкость батареи определяют по формуле:

$$\tilde{N} = \tilde{N}_1 + \tilde{N}_2 + \tilde{N}_3. \quad (68)$$

При последовательном соединении конденсаторов емкость батареи определяют из соотношения:

$$\frac{1}{\tilde{N}} = \frac{1}{\tilde{N}_1} + \frac{1}{\tilde{N}_2} + \frac{1}{\tilde{N}_3}. \quad (69)$$

Направленное движение заряженных частиц, что сопровождается перенесением электрической энергии, называется **электрическим током**. За направление тока условно принимают направление движения положительных зарядов. Величина электрического тока характеризуется силой тока I .

Сила тока I есть скалярная величина, численно равная заряду, который переносится через сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (70)$$

Если за любые равные промежутки времени через любое сечение проводника проходит одинаковый заряд и направление движения зарядов не

изменяется, то такой ток называется **постоянным**. В системе СИ сила тока измеряется в амперах (А).

Электродвижущая сила.

Если в проводнике создать электрическое поле и не поддерживать его, то, как было уже установлено, перемещение носителей заряда приведет к исчезновению поля внутри проводника и, следовательно, ток прекратится. Для того, чтобы поддерживать ток достаточно долго, нужно от конца проводника с меньшим потенциалом непрерывно отводить приносимые сюда током заряды, а к концу с большим потенциалом непрерывно их подводить. Т.е. необходимо осуществить круговорот зарядов, при котором они двигались бы по замкнутому пути. Поэтому, в замкнутой цепи с участками, на которых положительные заряды движутся в сторону убывания потенциала, должны иметься участки, на которых перенос положительных зарядов происходит против сил электростатического поля. Перемещение зарядов на этих участках возможно лишь с помощью сил не электростатического происхождения, называемых сторонними силами. Устройства, которые за счет работы сторонних сил поддерживают постоянной разность потенциалов в цепи, называются **источниками тока**.

Количественной характеристикой источника тока является **электродвижущая сила (ЭДС)**, которая равна работе источника тока по перемещению единичного положительного заряда в замкнутой цепи:

$$\varepsilon = \frac{A}{q}. \quad (71)$$

Такой же физический смысл имеет и разность потенциалов.

Работа сил электрического поля равна:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (72)$$

Поэтому ЭДС измеряется в вольтах.

Г. Ом экспериментально установил закон, согласно которому сила тока, текущего по однородному металлическому проводнику, пропорциональна падению напряжения U на проводнике (**закон Ома**):

$$I = \frac{U}{R}. \quad (73)$$

Величина R называется **электрическим сопротивлением** проводника и измеряется в омах. 1 Ом – это сопротивление такого проводника, по которому течет ток 1А при напряжении 1В.

Сопротивление зависит от формы и размеров проводника, а также от свойств материала, из которого он сделан. Для однородного цилиндрического проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (74)$$

где l - длина проводника,

S - площадь поперечного сечения проводника,

ρ - удельное электрическое сопротивление вещества.

Удельное электрическое сопротивление проводника ρ – величина, характеризующая материал проводника и численно равная сопротивлению однородного цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения. $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$.

Сопротивление металлов линейно возрастает с ростом температуры:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (75)$$

где R – сопротивление при температуре $t^\circ\text{C}$,

R_0 – сопротивление при 0°C ,

α – температурный коэффициент сопротивления.

Последовательное соединение резисторов:



Рис. 31. Последовательное соединение резисторов.

При последовательном соединении резисторов результирующее сопротивление участка цепи находится по формуле:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (76)$$

Параллельное соединение резисторов

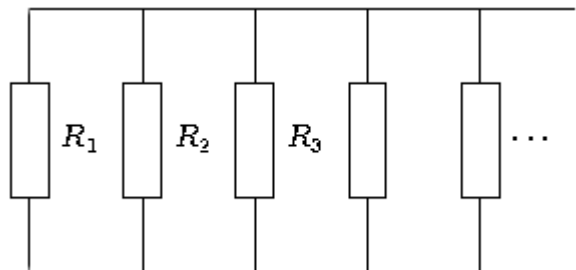


Рис. 32. Параллельное соединение резисторов.

При параллельном соединении резисторов результирующее сопротивление участка цепи находится по формуле:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (77)$$

При параллельном соединении резисторов их общее сопротивление будет меньше наименьшего из сопротивлений.

Закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (78)$$

где ε — ЭДС цепи,

I — сила тока в цепи,

R — сопротивление всех элементов цепи,

r — внутреннее сопротивление источника тока.

ЛЕКЦИЯ 13.

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА. ТОК В МЕТАЛЛАХ, ГАЗАХ И ВАКУУМЕ.

Если в проводнике течет постоянный ток и проводник остается неподвижным, то работа сторонних сил расходуется на его нагревание. Опыт показывает, что в любом проводнике происходит выделение теплоты, равное работе, совершаемой электрическими силами по переносу заряда вдоль проводника. Если на концах участка проводника имеется разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2 = U$, тогда работа по переносу заряда q на этом участке равна: $A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$. По определению $I = q/t$, откуда $q = I t$. Следовательно, работа постоянного тока определяется по формуле:

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t. \quad (79)$$

Мощность электрического тока можно определить так:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{qU}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (80)$$

Так как работа идет на нагревание проводника, то выделяющаяся в проводнике теплота Q равна работе электрических сил:

$$Q = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t. \quad (81)$$

Данное соотношение выражает **закон Джоуля-Ленца**.

Ионы металла находятся в узлах кристаллической решетки. Тепловое движение ионов сводится к их колебательным движениям относительно положения равновесия. При нагревании металла амплитуда колебаний ионов увеличивается.

Между ионами кристаллической решетки свободно и хаотически движутся, так называемые, электроны проводимости или свободные электроны. Концентрация свободных электронов в металле очень высокая, а их движение напоминает движение молекул идеального газа. Поэтому, существует термин «электронный газ».

При включении электрического поля к хаотическому тепловому движению электронов добавляется направленное движение. Под действием силы $F = eE$ (e - заряд электрона, E – напряженность электрического поля) электрон на пути свободного пробега движется равноускоренно и его кинетическая энергия возрастает. Говорят, что электронный газ разогревается. При столкновении с электроном ион поглощает энергию, приобретенную электроном от электрического поля. Амплитуда тепловых колебаний иона увеличивается, а металл нагревается. Таким образом объясняется нагревание металла при протекании через него электрического тока. Столкновениями электронов с ионами объясняется также возникновение электрического сопротивления.

Электроны проводимости в металле находятся в беспорядочном движении. Наиболее быстро движущиеся электроны, обладающие

достаточно большой кинетической энергией, могут вырываться из металла в вакуум. При этом они совершают работу как против сил притяжения со стороны избыточного положительного заряда, возникающего в металле в результате их вылета, так и против сил отталкивания со стороны ранее вылетевших электронов, образующих вблизи поверхности проводника электронное “облако”.

Минимальную работу, которую нужно совершить для удаления электрона из металла в вакуум называют **работой выхода**. Она равна $A = e\varphi$, где e - заряд электрона, φ - потенциал выхода. Работа выхода выполняется за счет уменьшения кинетической энергии электрона. Работа выхода зависит от химической природы металла и состояния его поверхности. Для чистых металлов работа выхода колеблется в пределах нескольких электронвольт.

При обычных температурах количество электронов, имеющих достаточную для вылета скорость, очень невелика. Существуют несколько способов сообщения электронам дополнительной энергии, необходимой для удаления их из металла: нагревание проводника (термоэлектронная эмиссия); облучение металлов видимым и ультрафиолетовым светом (фотоэлектронная эмиссия); воздействие ускоряющего внешнего электрического поля (автоэлектронная, или холодная эмиссия); бомбардировка металла электронами или ионами.

Для того чтобы получить значительный поток электронов, так называемый эмиттер нагревают до температур порядка $2000 \div 2500$ К. Для исследования термоэлектронной эмиссии можно использовать установку, состоящую из двух электродов - анода А и катода К, которые помещены в вакуум (рис. 33). Катод выполнен в виде нити, анод - в виде коаксиального цилиндра. Катод, являющийся источником электронов, нагревается с помощью специальной батареи накала B_n .

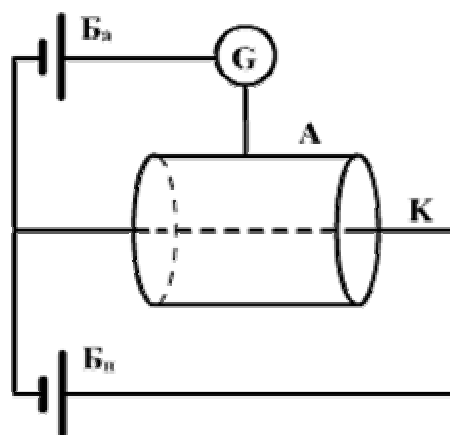


Рис.33. Схема установки для изучения термоэлектронной эмиссии.

Анодная батарея B_a служит для создания электрического поля. Когда нить разогрета, возникает электронное облако, несущее отрицательный заряд. В результате включения анодной батареи возникает поток электронов от катода до анода, т.е. в цепи начинает протекать электрический ток. Сила тока

зависит от температуры нити, напряжения U_a , материала катода и геометрии электродов. Зависимость анодного тока, регистрируемого гальванометром G , от анодного напряжения $I=f(U_a)$ называется вольт - амперной характеристикой установки. Такую характеристику можно снять экспериментально, поддерживая напряжение накала постоянным и изменяя напряжение U_a (рис. 34).

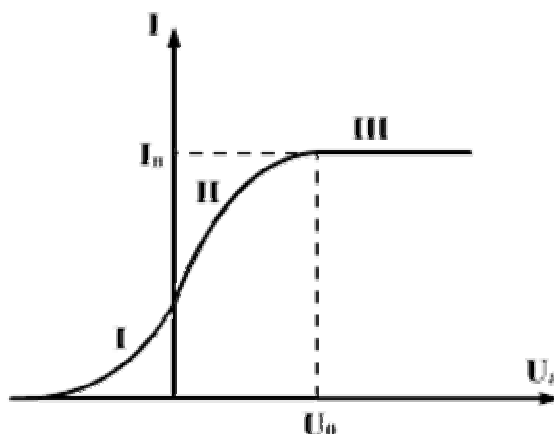


Рис. 34. Вольт-амперная характеристика установки.

Газы, в отличие от металлов, состоят из электрически нейтральных атомов и молекул и при нормальных условиях являются изоляторами. Это подтверждается опытами с заряженными изолированными проводниками в сухом воздухе: их заряд практически не изменяется в течение длительного времени. Газ становится проводником, если часть его молекул **ионизируется**, т. е. они расщепляются на электроны и положительные ионы. Атомы и молекулы газа представляют собой устойчивые системы заряженных частиц. Поэтому, для ионизации атома (или молекулы), необходимо совершить работу против сил взаимодействия между вырываемым электроном и остальными частицами атома (или молекулы). Эта работа называется работой ионизации A_i . Величина работы ионизации зависит от химической природы газа и энергетического состояния вырываемого электрона в атоме или молекуле. Наиболее слабо связаны с ядром внешние (валентные) электроны атомов, поэтому, для удаления из атома валентного электрона нужно затратить меньшую работу, чем для любого другого электрона. Работу ионизации можно характеризовать с помощью потенциала ионизации. **Потенциалом ионизации** называется та разность потенциалов, которую должен пройти электрон в ускоряющем электрическом поле для того, чтобы увеличение его энергии было равно работе ионизации $\varphi_i = A_i/e$.

Ионизация газов может происходить под влиянием различных внешних воздействий: сильного нагрева газа, рентгеновских лучей, α , β , γ - лучей, возникающих при радиоактивном распаде, космических лучей,

бомбардировке молекул газа быстро движущимися электронами или ионами. Ионизированный газ является проводником. Прохождение электрического тока через газ называется **газовым разрядом**. Газовый разряд, который может существовать только при условии воздействия внешнего ионизатора, называется несамостоятельным. Если газовый разряд существует без помощи внешнего ионизатора, его называют самостоятельным. Это возможно при условии, когда на длине свободного пробега электроны и ионы приобретают достаточную кинетическую энергию для того, чтобы при столкновении с нейтральной частицей ионизировать ее. Такое явление называется **ударной ионизацией**.

ЛЕКЦИЯ 14. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК И ДВИЖУЩИЕСЯ ЗАРЯДЫ.

Магнитные явления были известны еще в древнем мире. Компас был изобретен более 4500 лет тому назад. В Европе он появился приблизительно в XII веке новой эры. Однако только в XIX веке была обнаружена связь между электричеством и магнетизмом, и возникло представление о магнитном поле.

Источниками магнитного поля являются движущиеся электрические заряды (токи). Магнитное поле возникает в пространстве, окружающем проводники с током, подобно тому, как в пространстве, окружающем неподвижные электрические заряды, возникает электрическое поле.

В 1820г. французский ученый А.Ампер описал силовое взаимодействие проводников с током. Поле, посредством которого осуществлялось это взаимодействие, было названо **магнитным**. Источником магнитного поля является электрический ток (движущиеся электрические заряды). Наличие магнитного поля определяется силовым действием на ток или на движущийся электрический заряд.

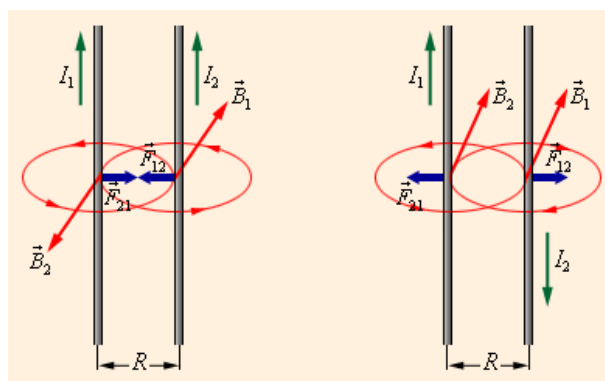


Рис. 35. Магнитное взаимодействие параллельных и антипараллельных токов.

Силовое действие магнитного поля на ток определяется **законом Ампера**: сила F действующая на отрезок проводника l , по которому течет ток I , со стороны магнитного поля с индукцией \vec{B} , составляющей с элементом тока угол α , равен:

$$F_A = BIl \sin \alpha \quad (82)$$

Направление силы Ампера определяется по **правилу левой руки**:

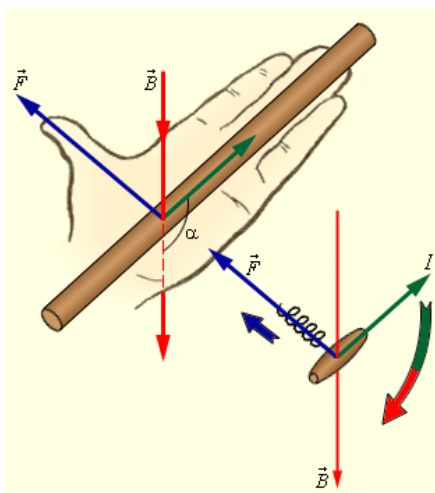


Рис. 36. Направление силы Ампера.

Вектор магнитной индукции \vec{B} — векторная величина, характеризующая магнитное поле в каждой точке пространства, равная отношению силы, действующей со стороны магнитного поля на элемент проводника с электрическим током, к произведению силы тока и длины элемента проводника. Единица магнитной индукции в СИ — тесла ($[B] = \text{Тл}$).

$$B = \frac{F}{I \cdot l} \quad (83)$$

Направление вектора магнитной индукции определяется по **правилу буравчика** (правило правого винта): если направление поступательного движения острия буравчика при ввинчивании совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращательного движения буравчика в каждой точке совпадает с направлением вектора магнитной индукции \vec{B} . Вектор \vec{B} направлен по касательной к линиям магнитной индукции в данной точке поля.

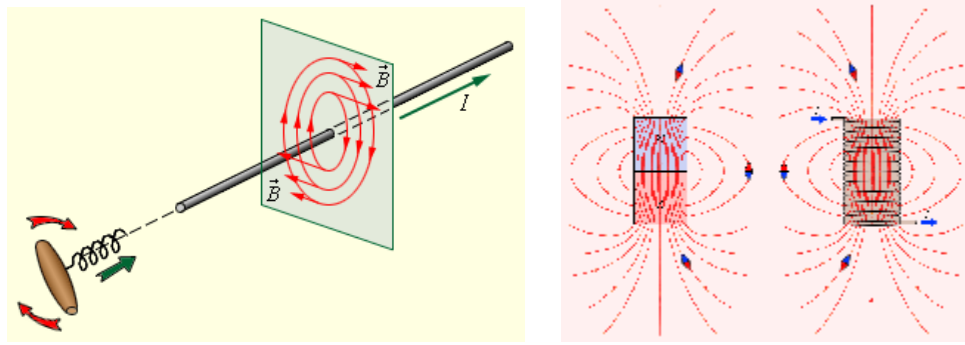


Рис. 37. Линии магнитной индукции полей прямого тока, постоянного магнита и катушки с током.

Магнитное поле подчиняется **принципу суперпозиции**: если в данной точке пространства различные источники создают магнитные поля, индукции которых $\vec{B}_1, \vec{B}_2 \dots \vec{B}_n$, то результирующая индукция поля в этой точке равна:

$$\vec{B} = \sum_1^n \vec{B}_i. \quad (84)$$

Магнитное поле называется **однородным** в некоторой области пространства, если вектор магнитной индукции во всех точках этой области одинаков.

Плотность силовых линий магнитного поля **характеризуют магнитным потоком**. **Магнитный поток Φ (поток магнитной индукции)** через поверхность — величина, равная произведению модуля вектора магнитной индукции B на площадь S плоской поверхности и на косинус угла между векторами \vec{B} и \vec{n} (\vec{n} - нормаль к плоской поверхности):

$$\hat{O} = BScos\alpha \quad \text{или} \quad \hat{O} = B_n S, \quad (85)$$

где B_n — проекция вектора \vec{B} на \vec{n} , α — угол между векторами \vec{B} и \vec{n} .

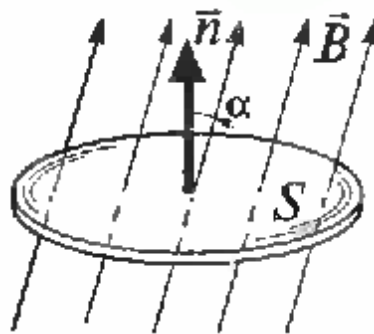


Рис. 38. Магнитный поток.

Такое определение верно для однородного поля. Единица магнитного потока в СИ — вебер ($[\Phi] = \text{Вб}$). Магнитный поток в 1 Вб создается однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через поверхность площадью 1м^2 , расположенную перпендикулярно вектору магнитной индукции.

Сила Лоренца F_L — сила, с которой магнитное поле с индукцией \vec{B} действует на заряженную частицу с зарядом q , влетающую в магнитное поле со скоростью v под углом α к вектору индукции:

$$F_L = qvB \sin \alpha. \quad (86)$$

В случае, когда $\alpha = \frac{\pi}{2}$, частица будет двигаться по окружности:

$$F_L = q_0 v B = m \frac{v^2}{r}, \quad (87)$$

где r — радиус окружности.

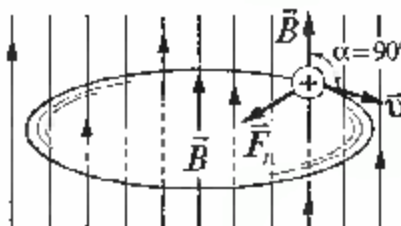


Рис. 39. Движение заряженной частицы в магнитном поле по окружности.

Направление силы Лоренца, которая действует на положительно заряженную частицу, определяется по **правилу левой руки**: если расположить левую руку так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а вытянутые четыре пальца совпадали с направлением скорости частицы, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Лоренца, действующей на положительно заряженную частицу.

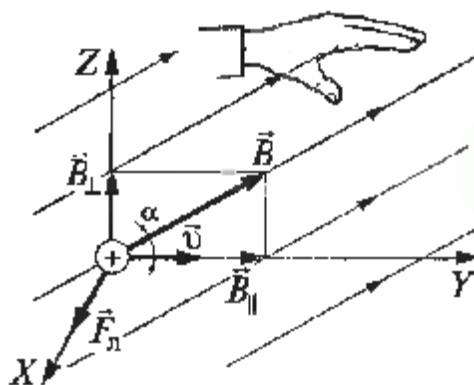


Рис. 40. Направление силы Лоренца.

Если частица заряжена отрицательно, то направление F_L меняется на противоположное.

ЛЕКЦИЯ 15. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ И САМОИНДУКЦИИ, ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.

Вещества, помещенные в магнитное поле, изменяют его, поскольку сами становятся источниками магнитных полей. Материалы, вступающие во взаимодействие с магнитным полем называют **магнетиками**. Магнетики разделяют на три класса. **Диамагнетики** – слабомагнитные вещества, ослабляющие внешнее магнитное поле. **Парамагнетики** – слабомагнитные вещества, усиливающие внешнее магнитное поле. **Ферромагнетики** – сильномагнитные вещества, значительно усиливающие внешнее магнитное поле.

Подобно тому, как диэлектрическая проницаемость веществ характеризует степень ослабления ими электрического поля диэлектриками, способность магнетиков изменять внешнее магнитное поле характеризуют магнитной проницаемостью μ . **Магнитная проницаемость** μ — величина, характеризующая магнитные свойства вещества, равная отношению модуля вектора магнитной индукции B в среде к модулю вектора индукции B_0 в той же точке пространства в вакууме:

$$\mu = \frac{B}{B_0}. \quad (88)$$

Ферромагнетики - это вещества, обладающие спонтанной намагниченностью, то есть они сохраняют намагниченность при отсутствии внешнего магнитного поля. К **ферромагнетикам** относятся, например, кристаллы железа, никеля, кобальта. Название **ферромагнетики** произошло от латинского наименования важнейшего представителя этого класса вещества: железа (ferrum).

Намагничивание ферромагнетиков описывают с помощью графика зависимости магнитного поля B в веществе от внешнего поля B_0 – графика намагниченности.

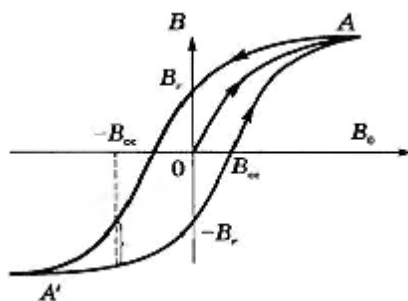


Рис. 41. График намагниченности (петля гистерезиса).

Если ферромагнитный стержень поместить в соленоид, по которому проходит ток, и намагнитить до насыщения (точка A) (рис.41), а затем уменьшать ток в соленоиде, а вместе с ним и B_0 , то можно заметить, что

индукция поля в стержне в процессе его размагничивания остается все время большей, чем в процессе намагничивания. Когда $B_0=0$ (ток в соленоиде выключен), индукция будет равна B_r (остаточная индукция). Стержень можно вынуть из соленоида и использовать как постоянный магнит. Чтобы окончательно размагнитить стержень, нужно пропустить по соленоиду ток противоположного направления, т.е. приложить внешнее магнитное поле с противоположным направлением B_{oc} . Увеличивая теперь по модулю индукцию этого поля, размагничивают стержень ($B=0$). Модуль B_{oc} индукции магнитного поля, размагничивающего намагниченный ферромагнетик, называют **коэрцитивной силой**. При дальнейшем увеличении B_0 можно намагнитить стержень до насыщения (точка А').

Уменьшая теперь B_0 до нуля, получают опять постоянный магнит, но с индукцией $-B_r$ противоположного направления. Чтобы вновь размагнитить стержень, нужно снова включить в соленоид ток первоначального направления, и стержень размагнитится, когда индукция B_0 станет равной B_{oc} . Продолжая увеличивать B_0 , снова намагничивают стержень до насыщения (точка А).

Таким образом, при намагничивании и размагничивании ферромагнетика индукция B отстает от B_0 . Это отставание B от B_0 называется явлением **гистерезиса**. Изображенная на рис.41 кривая называется петлей гистерезиса.

Явление электромагнитной индукции. Макс Фарадей открыл способ создания токов в проводниках с помощью магнитного поля. Создание тока в замкнутом проводнике при изменении магнитного поля называют **явлением электромагнитной индукции**. Современное объяснение явления заключается в том, что при изменении магнитного поля в данном объеме возникает вихровое электрическое поле. Именно вихровое электрическое поле приводит в движение носители заряда в проводнике, создавая замкнутый ток проводимости.

Обобщая результаты своих экспериментов М. Фарадей сделала вывод, что индукционный ток в проводящем контуре возникает тогда, когда имеет место изменение магнитного потока ($\Phi = BS \cos \alpha$) через площадь, ограниченную контуром, а величина индукционного тока пропорциональна скорости изменения магнитного потока, т.е. $I \approx \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$. Поскольку скорость изменения магнитного потока имеет размерность напряжения (вольт) **закон электромагнитной индукции (закон Фарадея)** формулируется так: ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (89)$$

Направление индукционного тока определяется по правилу Ленца.

Правило Ленца: индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, всегда имеет такое направление, что созданный им магнитный

поток через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение внешнего магнитного поля, которое вызвало этот ток.

Самоиндукция

Если ток, протекающий по катушке, изменяется, то магнитный поток, пронизывающий катушку, тоже меняется. Поэтому, в катушке, вследствие явления электромагнитной индукции, появляется дополнительный ток, который называют током **самоиндукции**.

Явление самоиндукции можно наблюдать на простых опытах. На рис. 42 показана схема параллельного включения двух одинаковых ламп. Одну из них подключают к источнику через резистор R , а другую — последовательно с катушкой L с железным сердечником. При замыкании ключа первая лампа вспыхивает практически сразу, а вторая — с заметным запозданием. ЭДС самоиндукции в цепи этой лампы велика, и сила тока не сразу достигает своего максимального значения.

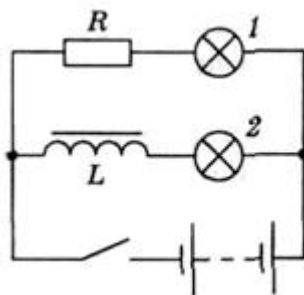


Рис. 42. Схема для наблюдения явления самоиндукции.

Индуктивность.

Величина магнитной индукции B , создаваемой током в замкнутом контуре, пропорциональна силе тока. Так как магнитный поток Φ пропорционален B , то можно утверждать, что

$$\Phi = L \cdot I,$$

где L — коэффициент пропорциональности между током в проводящем контуре и созданным им магнитным потоком, пронизывающим этот контур.

Величину L называют **индуктивностью** контура.

Используя закон электромагнитной индукции, получим формулу для вычисления ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_{SI} = \frac{\Delta \hat{\Phi}}{\Delta t} = - \frac{\Delta(LI)}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (90)$$

Единицу индуктивности в СИ называют генри (Гн). *Индуктивность проводника равна 1 Гн, если в нем при изменении силы тока на 1 А за 1 с возникает ЭДС самоиндукции 1 В:*

$$1 \text{ Гн} = 1 \text{ В} / (1 \text{ А/с}) = 1 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{А} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{с}$$

Индуктивность подобно электроемкости, зависит от геометрических факторов: размеров проводника и его формы, но не зависит непосредственно от силы тока в проводнике. Кроме геометрии проводника, индуктивность зависит от магнитных свойств среды, в которой находится проводник.

Энергия магнитного поля.

Аналогично электрическому полю магнитное поле имеет энергию. Магнитное поле внутри катушки с индуктивностью L , по которой протекает ток I , имеет энергию, поскольку источник тока выполняет работу по увеличению силы тока в катушке от 0 до I . Эта энергия выделяется при выключении катушки, так же как выделяется энергия электрического поля при разрядке конденсатора. Энергия магнитного поля W_L тем больше, чем больше индуктивность катушки L и сила тока I в катушке:

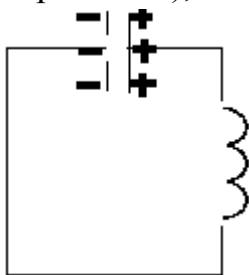
$$W_L = \frac{LI^2}{2}. \quad (91)$$

ЛЕКЦИЯ 16.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК.

Переменным, как правило, называют электрический ток $I(t)$, сила которого с течением времени изменяется по гармоническому закону. Для создания такого тока на участок цепи подают переменное напряжение $U(t)$, а в замкнутой цепи причиной переменного тока является переменная ЭДС. Такую ЭДС можно получить при вращении рамки в магнитном поле или магнита внутри катушки. Поскольку переменный ток сопровождается колебаниями заряда в проводнике под действием переменного напряжения, переменный ток называют вынужденными электромагнитными колебаниями.

Электромагнитными называют колебания, во время которых периодически изменяются электрические величины (заряды, токи, напряжение), что сопровождается преобразованиями электрического и магнитного полей. Колебания могут происходить в системе, которая называется **колебательным контуром**, состоящим из конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L . Колебательный контур называется идеальным, если в нем нет потерь энергии на нагревание ($R=0$) и излучение.



Чтобы возникли электрические колебания в этом контуре, ему необходимо сообщить некоторый запас энергии, т.е. зарядить конденсатор. Когда конденсатор зарядится, то электрическое поле будет сосредоточено между его пластинами. Энергия конденсатора в этот момент времени равна $W = \frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{q_{\max}^2}{2C}$. Сила тока в цепи равна нулю. При замыкании конденсатора на катушку он начинает разряжаться и в цепи возникнет ток, который, в свою очередь, создаст в катушке магнитное поле. При разрядке конденсатора ток не сразу достигает своего максимального значения, а постепенно. Это происходит потому, что вследствие явления самоиндукции в катушке возникает ЭДС, которая, согласно правилу Ленца, препятствует увеличению разрядного тока.

Когда разрядный ток достигает своего максимального значения, энергия магнитного поля максимальна и равна $W = \frac{LI_{\max}^2}{2}$, а энергия конденсатора в этот момент равна нулю. Таким образом, энергия электрического поля полностью переходит в энергию магнитного поля.

При уменьшении тока знак ЭДС самоиндукции в катушке изменяется на противоположный. Эта ЭДС поддерживает предыдущее направление тока и перезаряжает конденсатор до начального напряжения, превращая энергию магнитного поля в энергию электрического поля конденсатора. Далее рассмотренные процессы повторяются. Полная энергия колебательного контура, в любой момент времени, равна сумме энергий магнитного и электрического полей $W = \frac{LI_{\max}^2}{2} + \frac{q_{\max}^2}{2C}$. Так как эти колебания происходят за счет первоначального запаса энергии и без внешних воздействий, то они являются **свободными**.

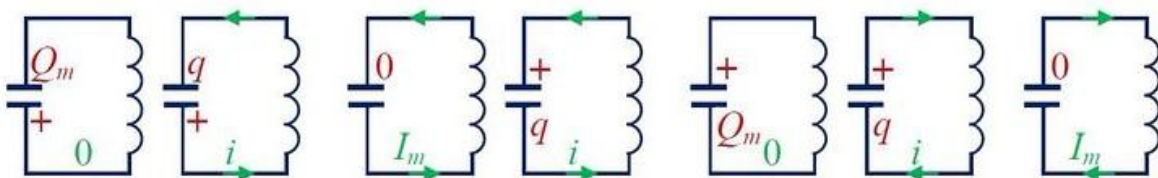


Рис. 43. Процессы в колебательном контуре.

Электрический заряд, сила тока, напряжение на конденсаторе меняются с течением времени по закону косинуса или синуса, т. е. совершают **гармонические** колебания, например:

$$q = q_m \cos \omega_0 t, \quad (92)$$

где q_m – максимальное значение заряда;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ – циклическая частота свободных колебаний.

Соответственно, период колебаний определяют по формуле Томсона :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}. \quad (93)$$

ЛЕКЦИЯ 17. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ.

Впервые гипотезу о существовании электромагнитных волн высказал в 1864 г. шотландский физик Джеймс Максвелл. В своих работах он показал, что источниками электрического поля могут быть как электрические заряды, так и магнитные поля, изменяющиеся со временем. Изменение индукции магнитного поля образует в пространстве вихревое электрическое поле, возникает индукционный ток в проводящем контуре. По закону Фарадея напряженность вихревого электрического поля пропорциональна скорости

изменения магнитного потока. Также Максвелл сделал вывод о том, что магнитное поле порождается как электрическим током, так и переменным электрическим полем. Причем, индукция магнитного поля будет также пропорциональной скорости изменения электрического поля.

Электромагнитная волна - это совокупность вихревых магнитного и электрического полей, взаимопревращение которых сопровождается распространением в пространстве с перенесением энергии и импульса, то есть это распространение в пространстве переменного электромагнитного поля.



Рис. 44. Электромагнитные колебания.

Теория электромагнитного поля была разработана Дж. К. Максвеллом. Согласно этой теории:

- электромагнитное поле существует реально;
- магнитное и электрическое поля — это две составляющие этого поля;
- переменное электрическое поле распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн со скоростью света.

В теории Максвелла электрические и магнитные свойства среды описываются с помощью трех величин: относительной диэлектрической проницаемости, относительной магнитной проницаемости и удельной электропроводности.



Рис. 45. Электромагнитная волна.

Электромагнитная волна поперечная, векторы E и B взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения электромагнитной волны. Взаимная ориентация \vec{E} , \vec{B} и \vec{v} всюду одинакова: направление распространения электромагнитной волны совпадает с поступательным движением буравчика, если вращательное движение буравчика соответствует направлению его кратчайшего поворота от \vec{E} к \vec{B} .

Длина электромагнитной волны λ — расстояние, на которое распространяется электромагнитная волна за один период, равная:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}, \quad (94)$$

где ν — частота электромагнитной волны, v — скорость распространения электромагнитной волны в среде.

Шкала электромагнитных волн.

Свойства электромагнитных волн очень сильно зависят от их частоты. Спектр электромагнитного излучения удобно изображать с помощью шкалы электромагнитных волн.



Рис. 46. Шкала электромагнитных волн.

Классификация электромагнитных волн в зависимости от частот (длин волн) дается в таблице 1.

Таблица 1.

Классификация электромагнитных волн

Виды излучения	Интервал частот, Гц	Интервал длин волн, м	Источники излучения
Низкочастотные волны	$< 3 \cdot 10^3$	$> 1 \cdot 10^5$	Генераторы переменного тока, электрические машины
Радиоволны	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^{-1}$	Колебательные контуры, вибраторы Герца
Микроволны	$3 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-4}$	Лазеры, полупроводниковые приборы
Инфракрасное излучение	$1 \cdot 10^{12} - 4 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-7}$	Солнце, электролампы, лазеры, космическое излучение
Видимое излучение	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$	$7 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	Солнце, электролампы, люминесцентные лампы, лазеры
Ультрафиолетовое	$8 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-8}$	Солнце, космическое излучение,

излучение			лазеры, электрические лампы
Рентгеновское излучение	$1 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$	$3 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-12}$	Бетатроны, солнечная корона, небесные тела, рентгеновские трубки
Гамма-излучение	$3 \cdot 10^{20} - 3 \cdot 10^{29}$	$1 \cdot 10^{-12} - 1 \cdot 10^{-21}$	Космическое излучение, радиоактивные распады, бетатроны

В настоящее время электромагнитные волны находят широкое применение в науке и технике:

- плавка и закалка металлов в электротехнической промышленности, изготовление постоянных магнитов (*низкочастотные волны*);
- телевидение, радиосвязь, радиолокация (*радиоволны*);
- сварка, резка, плавка металлов лазерами, приборы ночного видения (*инфракрасное излучение*);
- освещение, голография, лазеры (*видимое излучение*);
- люминесценция в газоразрядных лампах, лазеры (*ультрафиолетовое излучение*);
- рентгенотерапия, рентгеноструктурный анализ, лазеры (*рентгеновское излучение*);
- дефектоскопия, диагностика и терапия в медицине, исследование внутренней структуры атомов, лазеры, военное дело (*гамма-излучение*).

ЛЕКЦИЯ 18. ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ.

Оптика – раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом. Учение о свете принято делить на три части:

- геометрическая или лучевая оптика, в основе которой лежит представление о световых лучах;
- волновая оптика, изучающая явления, в которых проявляются волновые свойства света;
- квантовая оптика, изучающая взаимодействие света с веществом, при котором проявляются корпускулярные свойства света.

Геометрическая оптика основывается на таких законах:

1. **Закон прямолинейного распространения света:** в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно. Опытным доказательством этого закона могут служить резкие тени, отбрасываемые непрозрачными телами при освещении светом источника достаточно малых размеров («точечный источник»).

2. **Закон отражения света:** падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в

одной плоскости (плоскость падения). Угол отражения γ равен углу падения α .

3. **Закон преломления света:** падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β есть величина, постоянная для двух данных сред:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (95)$$

Постоянную величину n называют **показателем преломления** второй среды относительно первой. Физический смысл **показателя преломления** – это отношение скорости распространения волн в первой среде v_1 к скорости их распространения во второй среде v_2 :

$$n = \frac{v_1}{v_2}. \quad (96)$$

Показатель преломления среды относительно вакуума называют **абсолютным показателем преломления**. Абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света в вакууме к скорости света v в среде:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (97)$$

Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления:

$$n = \frac{n_2}{n_1}. \quad (98)$$

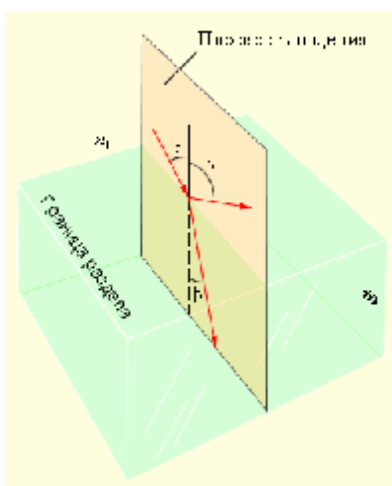


Рис. 47. Законы отражения и преломления света.

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления называют оптически менее плотной.

При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную $n_2 < n_1$ (например, из стекла в воздух) можно наблюдать

явление **полного отражения**, то есть исчезновение преломленного луча. Это явление наблюдается при углах падения, превышающих некоторый критический угол α_{np} , который называется предельным углом полного внутреннего отражения. Если $\alpha = \alpha_{np}$, то $\sin \beta = 1$, а $\sin \alpha_{i0} = \frac{n_2}{n_1}$. Если второй средой является воздух ($n_2 \approx 1$), то

$$\sin \alpha_{i0} = \frac{1}{n}, \quad (99)$$

где n – абсолютный показатель преломления первой среды.

Для границы раздела стекло–воздух ($n = 1,5$) критический угол равен $\alpha_{np} = 42^\circ$, для границы вода–воздух ($n = 1,33$) $\alpha_{np} = 48,7^\circ$.

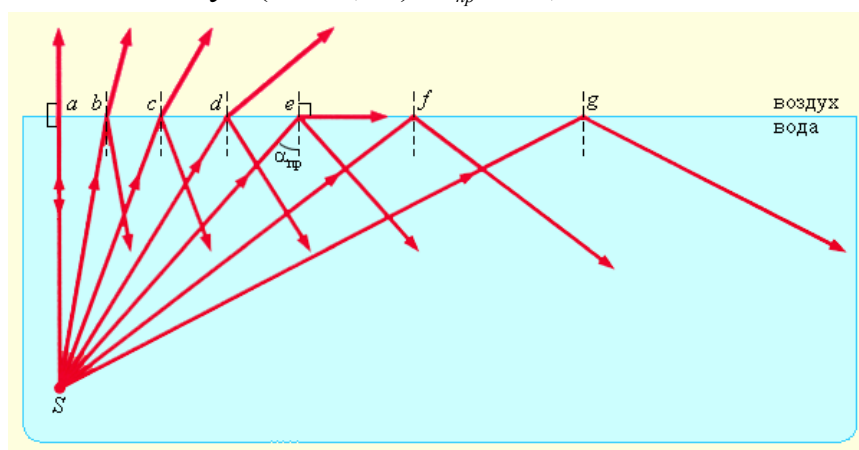


Рис. 48. Полное внутреннее отражение света на границе вода–воздух; S – точечный источник света.

Явление полного внутреннего отражения находит применение во многих оптических устройствах. Наиболее интересным и практически важным применением является создание волоконных световодов. При сильном изгибе волокна закон полного внутреннего отражения нарушается, и свет частично выходит из волокна через боковую поверхность.

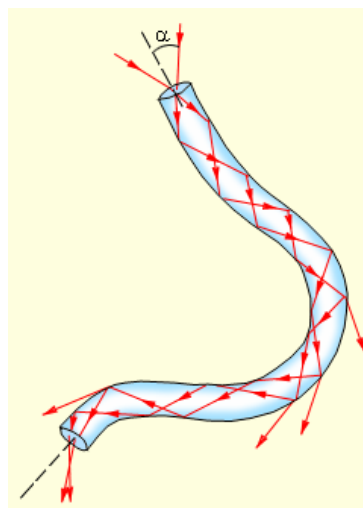


Рис. 49. Распространение света в волоконном световоде.

Простейшим оптическим устройством, способным создавать изображение предмета, является **плоское зеркало**. Изображение предмета, даваемое плоским зеркалом, формируется за счет лучей, отраженных от зеркальной поверхности. Это изображение является мнимым, так как оно образуется пересечением не самих отраженных лучей, а их продолжений в «зазеркалье».

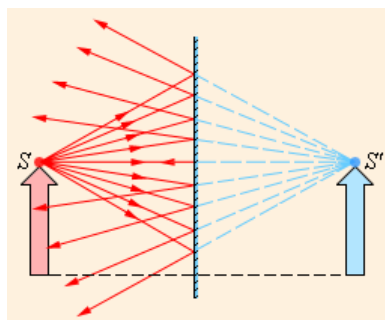


Рис. 50. Ход лучей при отражении от плоского зеркала. Точка S' является мнимым изображением точки S .

Вследствие закона отражения света мнимое изображение предмета располагается симметрично относительно зеркальной поверхности. Размер изображения равен размеру самого предмета.

ЛЕКЦИЯ 19. ТОНКИЕ ЛИНЗЫ. ГЛАЗ.

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны сферических поверхностей, то линзу называют **тонкой**. Линзы бывают собирающими и рассеивающими. Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше.

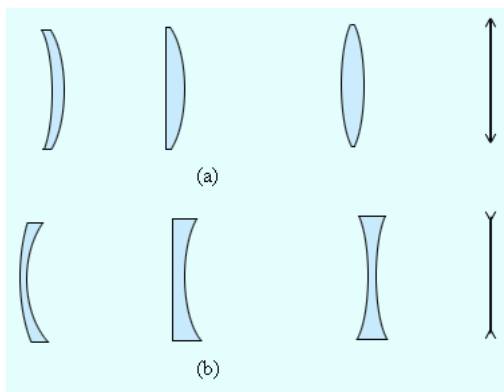


Рис. 51. Собирающие (a) и рассеивающие (b) линзы и их условные обозначения.

Прямая, проходящая через центры кривизны O_1 и O_2 сферических поверхностей, называется **главной оптической осью** линзы. В случае тонких линз приближенно можно считать, что главная оптическая ось пересекается с линзой в одной точке, которую принято называть **оптическим центром линзы** O . Луч света проходит через оптический центр линзы, не отклоняясь от первоначального направления. Остальные прямые, проходящие через оптический центр, называются **побочными оптическими осями**.

Если на линзу направить пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после прохождения через линзу лучи (или их продолжения) соберутся в одной точке F , которая называется **главным фокусом линзы**. У тонкой линзы имеются два главных фокуса, расположенных симметрично на главной оптической оси относительно линзы. У собирающих линз фокусы действительные, у рассеивающих – мнимые. Пучки лучей, параллельных одной из побочных оптических осей, после прохождения через линзу фокусируются в побочном фокусе F' , который расположен на пересечении побочной оси с фокальной плоскостью Φ , то есть плоскостью, перпендикулярной главной оптической оси и проходящей через главный фокус. Расстояние между оптическим центром линзы O и главным фокусом F называется **фокусным расстоянием**. Оно обозначается той же буквой F .

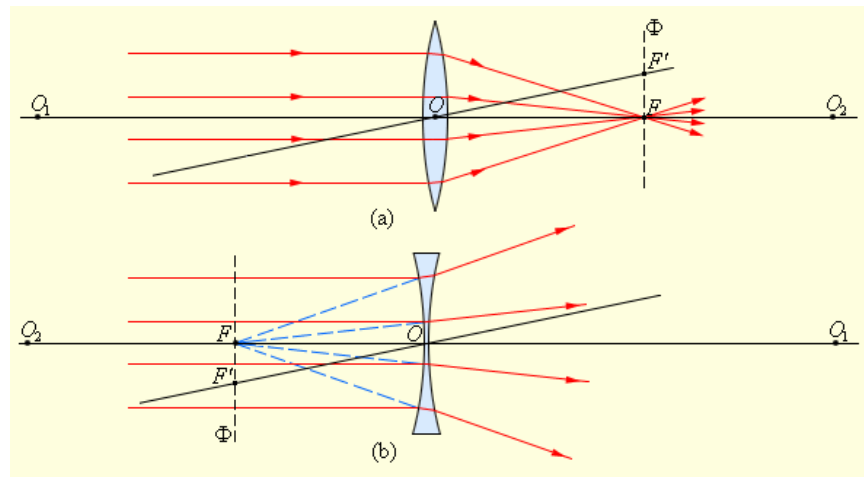


Рис. 52. Преломление параллельного пучка лучей в собирающей (а) и рассеивающей (b) линзах. Точки O_1 и O_2 – центры сферических поверхностей, O_1O_2 – главная оптическая ось, O – оптический центр, F – главный фокус, F' – побочный фокус, OF' – побочная оптическая ось, Φ – фокальная плоскость.

Основное свойство линз – способность давать изображения предметов. Изображения бывают прямыми и перевернутыми, действительными и мнимыми, увеличенными и уменьшенными.

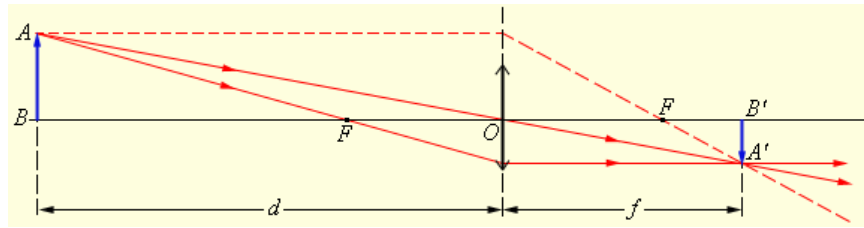


Рис. 53. Построение изображения в собирающей линзе.

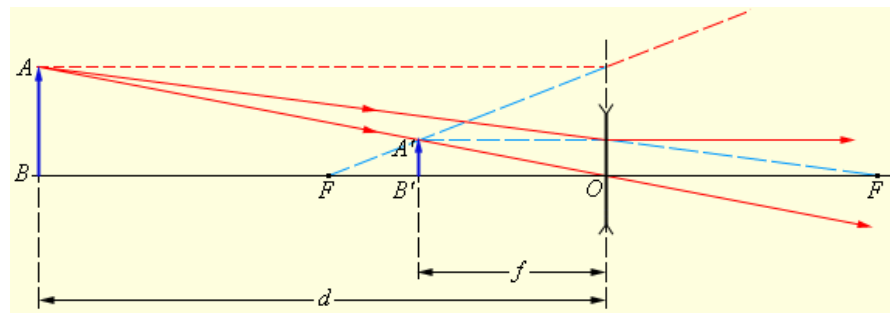


Рис. 54. Построение изображения в рассеивающей линзе.

Положение изображения и его характер (действительное или мнимое) можно также рассчитать с помощью **формулы тонкой линзы**. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через d , а расстояние от линзы до изображения через f , то формулу тонкой линзы можно записать в виде:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D. \quad (100)$$

Для собирающей линзы $F > 0$, а для рассеивающей $F < 0$. Если предмет действительный, то $d > 0$, если мнимый, то $d < 0$. Для действительного изображения $f > 0$, мнимого - $f < 0$.

Величину D , обратную фокусному расстоянию, называют **оптической силой линзы**. Единицей измерения оптической силы является диоптрия (дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м: $1 \text{ дптр} = \text{м}^{-1}$.

Глаз человека представляет собой сложную оптическую систему, которая по своему действию аналогична оптической системе фотоаппарата (рис. 55). Глаз имеет почти шарообразную форму и диаметр около 2,5 см. Снаружи он покрыт защитной оболочкой 1 белого цвета – склерой. Передняя прозрачная часть 2 склеры называется роговицей. На некотором расстоянии от нее расположена радужная оболочка 3, окрашенная пигментом. Отверстие в радужной оболочке представляет собой зрачок. В зависимости от интенсивности падающего света зрачок рефлекторно изменяет свой диаметр приблизительно от 2 до 8 мм, т.е. действует подобно диафрагме фотоаппарата. Между роговицей и радужной оболочкой находится прозрачная жидкость. За зрачком находится хрусталик 4 – эластичное линзоподобное тело. Особая мышца 5 может изменять в некоторых пределах

форму хрусталика, изменяя тем самым его оптическую силу. Остальная часть глаза заполнена стекловидным телом. Задняя часть глаза – глазное дно, оно покрыто сетчатой оболочкой 6, представляющей собой сложное разветвление зрительного нерва 7 с нервными окончаниями – палочками и колбочками, которые являются светочувствительными элементами.

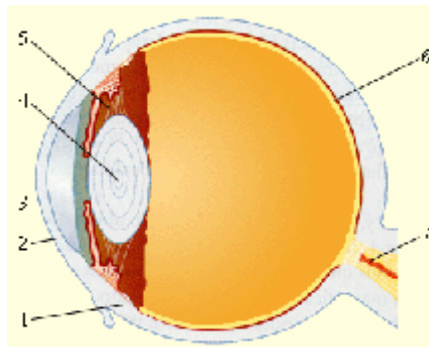


Рис.55. Глаз человека.

Лучи света от предмета, преломляясь на границе воздух–роговица, проходят далее через хрусталик (линзу с изменяющейся оптической силой) и создают изображение на сетчатке.

Роговица, прозрачная жидкость, хрусталик и стекловидное тело образуют оптическую систему, оптический центр которой расположен на расстоянии около 5 мм от роговицы. При расслабленной глазной мышце оптическая сила глаза приблизительно равна 59 дптр, при максимальном напряжении мышцы – 70 дптр.

Основная особенность глаза как оптического инструмента состоит в способности рефлекторно изменять оптическую силу глазной оптики в зависимости от положения предмета. Такое приспособление глаза к изменению положения наблюдаемого предмета называется **аккомодацией**. У глаза существует расстояние наилучшего зрения, т. е. расстояние от предмета до глаза, при котором удобнее всего (без чрезмерного напряжения) рассматривать детали предмета (например, читать мелкий текст). Это расстояние у нормального глаза условно полагают равным 25 см.

При нарушении зрения изображения удаленных предметов в случае ненапряженного глаза могут оказаться либо перед сетчаткой (близорукость), либо за сетчаткой (дальнозоркость).

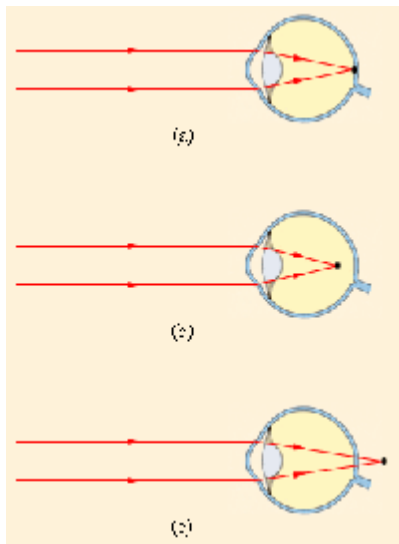


Рис. 56. Изображение удаленного предмета в глазе: (a) – нормальный глаз; (b) – близорукий глаз; (c) – дальновзоркий глаз.

Для дальновзоркого глаза необходимы очки с положительной оптической силой (собирающие линзы), для близорукого – с отрицательной оптической силой (рассеивающие линзы).

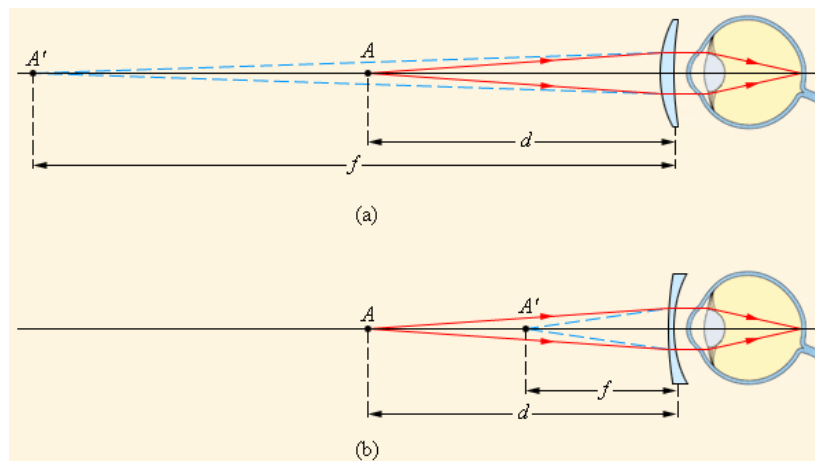


Рис. 57. Коррекция дальновзоркого (a) и близорукого (б) глаза с помощью очков.

ЛЕКЦИЯ 20.

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА.

В конце XVII века возникли две теории света: корпускулярная (И. Ньютон) и волновая (Р. Гук и Х. Гюйгенс). Согласно корпускулярной теории, свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами. Волновая теория, в отличие от корпускулярной, рассматривала свет как волновой процесс, подобный механическим волнам. В основу волновой теории был положен **принцип Гюйгенса**, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, становится центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение волнового фронта в следующий момент времени. Обе теории объясняли прямолинейное распространение света, законы отражения и преломления.

В 60-е годы XIX века Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что свет – это электромагнитные волны. Электромагнитная природа света получила признание после опытов Г. Герца по исследованию электромагнитных волн (1887–1888 гг.). В начале XX века после опытов П. Н. Лебедева по измерению светового давления (1901 г.) электромагнитная теория света превратилась в твердо установленный факт.

Электромагнитная теория света позволила объяснить многие оптические явления, такие как интерференция, дифракция, поляризация и т.д. Однако, эта теория не завершила понимание природы света. Для объяснения таких явлений, как излучение черного тела, фотоэффект, эффект Комптона и др. потребовалось введение квантовых представлений. Тот факт, что свет в одних опытах обнаруживает волновые свойства, а в других – корпускулярные, означает, что он имеет сложную двойственную природу, которую принято характеризовать термином корпускулярно-волновой дуализм.

Интерференция световых волн - явление наложения волн, при котором происходит устойчивое во времени их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других в зависимости от соотношения между фазами этих волн. Интерферировать могут только когерентные волны.

Первый эксперимент по наблюдению интерференции света в лабораторных условиях принадлежит И. Ньютону. Он наблюдал интерференционную картину, возникающую при отражении света в тонкой воздушной прослойке между плоской стеклянной пластиной и плосковыпуклой линзой большого радиуса кривизны. Интерференционная картина имела вид концентрических колец, получивших название колец Ньютона. Интерференция возникает при сложении волн, отразившихся от двух сторон воздушной прослойки. Лучи 1 и 2 – направления распространения волн; h – толщина воздушного зазора.

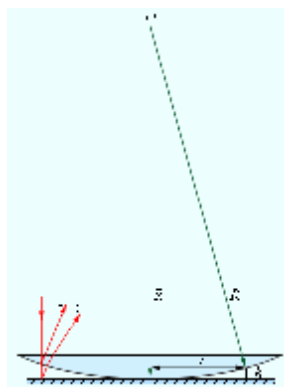


Рис. 58. Наблюдение колец Ньютона.

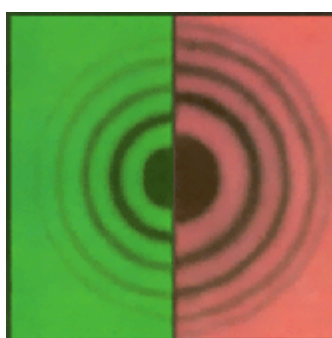


Рис. 59. Кольца Ньютона в зеленом и красном свете.

Интерференцией света объясняется окраска мыльных пузырей и тонких масляных пленок на воде. Световые волны частично отражаются от поверхности тонкой пленки, частично проходят в нее. На второй границе пленки вновь происходит частичное отражение волн. Световые волны, отраженные двумя поверхностями тонкой пленки, распространяются в одном направлении, но проходят разные пути. При разности хода Δ , кратной целому числу длин волн, наблюдается **интерференционный максимум**:

$$\Delta = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

При разности хода Δ , кратной нечетному числу полуволн, наблюдается **интерференционный минимум**:

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Когда выполняется условие максимума для одной длины световой волны, то оно не выполняется для других длин волн. Поэтому освещаемая белым светом тонкая бесцветная прозрачная пленка кажется окрашенной. При изменении толщины пленки или угла падения световых волн изменяется разность хода и условие максимума выполняется для другой длины волны.

Явление интерференции света в тонких пленках применяется для контроля качества обработки поверхности, просветления оптики.

Дифракция света - нарушение прямолинейного распространения лучей, т.е. проникновение света в зону геометрической тени после препятствий. Теоретически явление дифракции света объясняют исходя их принципа Гюйгенса-Френеля:

- каждая точка волновой поверхности является вторичным источником света;
- вторичные источники когерентны между собой, т.е. имеют одинаковую частоту и неизменную во времени разность фаз;
- результат действия волнового фронта в каждой точке пространства – результат интерференции света от вторичных источников.

Самое известное практическое применение дифракции света – это дифракционная решетка. Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Если на решетку падает монохроматическая волна, то щели (вторичные источники) создают когерентные волны. За решеткой ставится собирающая линза, далее – экран. В результате интерференции света от различных щелей решетки на экране наблюдается система максимумов и минимумов.

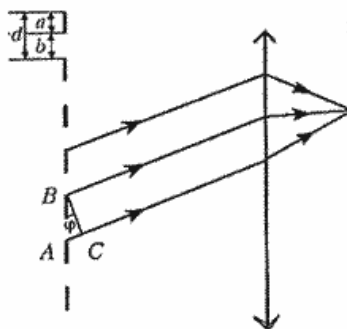


Рис. 60. Дифракция лучей на дифракционной решетке (a – ширина щели, b – ширина непрозрачного промежутка).

Разность хода между волнами от краев соседних щелей равна длине отрезка AC . Если на этом отрезке укладывается целое число длин волн, то волны от всех щелей будут усиливать друг друга. Таким образом, условие максимума определяется по формуле:

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (101)$$

где k – порядок (или номер) дифракционного спектра.

Величину $d=a+b$ называют периодом дифракционной решетки. При использовании белого света все максимумы (кроме центрального) имеют радужную окраску.

Поляризация света.

Излучение света атомами вещества происходит несогласованно, поэтому в луче естественного (неполяризованного света) присутствуют равновероятно различные направления колебаний вектора \vec{E} напряженности электрического поля. Существуют кристаллы, которые имеют свойство пропускать через себя только волны с определенным направлением вектора \vec{E} и поглощать все остальные. Свет, прошедший через кристалл турмалина, становится **поляризованным**, вектор его электрического поля колеблется в одной плоскости.

В 1809 году французский инженер Э. Малюс открыл закон, названный его именем. В опытах Малюса свет последовательно пропускать через две одинаковые пластинки из турмалина. Пластинки можно было поворачивать друг относительно друга на угол φ . Первый поляризатор играет роль поляризатора. Он превращал естественный свет в поляризованный. Второй поляризатор служил для анализа падающего на него света.

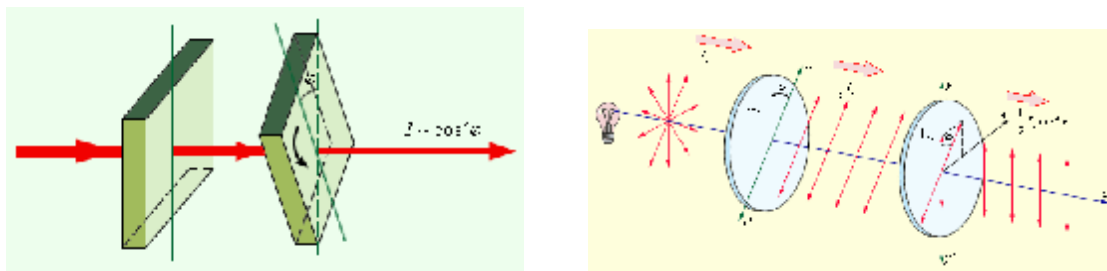


Рис. 61. Иллюстрация к закону Малюса.

Оказалось, что интенсивность прошедшего через анализатор света зависит от угла φ между оптическими осями поляризатора и анализатора:

$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi, \quad (102)$$

где I_0 - интенсивность поляризованного света.

Если второй кристалл повернуть на $\varphi = 90^\circ$, то свет не пройдет, хотя каждый кристалл выглядит почти прозрачным.

ЛЕКЦИЯ 21. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. ФОТОЭФФЕКТ. ФОТОНЫ.

В XIX веке физиков заинтересовала проблема изменения законов природы в системах отсчета, движущихся почти так же быстро, как и свет в вакууме. Эта проблема была решена в XX веке созданием новой теории – специальной теории относительности (СТО). С точки зрения СТО продолжительность событий, импульс, масса тела не являются величинами абсолютными, они зависят от скорости движения наблюдаемых объектов относительно наблюдателя. Эффекты СТО начинают проявляться только при скоростях, близких к скорости света, а при существенно меньших скоростях движение и характеристики объектов можно рассчитывать по хорошо знакомым классическим формулам. Теория относительности не отменяет, а включает в себя, как необходимую составную часть, всю классическую механику.

В основе СТО лежат два постулата. Первый постулат утверждает, что скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета. Т.е. для света классический закон сложения скоростей не выполняется. Второй постулат – принцип относительности А. Эйнштейна: все процессы, происходящие в природе, протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

Рассмотрим основные следствия СТО.

Сокращение длины: линейные размеры тел уменьшаются в направлении его движения:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (103)$$

Замедление времени: в движущейся системе отсчета время течет медленней:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (104)$$

Сложение скоростей:

$$u = \frac{v + u'_x}{1 + \frac{vu'_x}{c^2}}, \quad (105)$$

где u'_x – скорость света в системе отсчета K' ,

u – скорость тела в системе K ,

v – скорость системы K' относительно системы K .

Масса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (106)$$

где m_0 – масса покоя.

Энергия:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (107)$$

где $m_0 c^2 = E_0$ - энергия покоя.

Фотоэффект состоит в вырывании электронов из металла под действием падающего на него света.

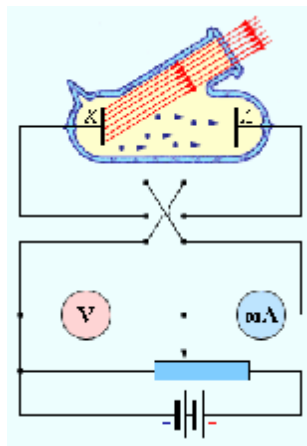


Рис. 63. Схема экспериментальной установки для изучения фотоэффекта.

В экспериментах О.Г. Столетова использовался стеклянный вакуумный баллон с двумя металлическими электродами, поверхность которых была тщательно очищена. К электродам прикладывалось некоторое напряжение U , полярность которого можно было изменять с помощью двойного ключа. Один из электродов (катод К) через кварцевое окошко освещался монохроматическим светом некоторой длины волны λ . При неизменном световом потоке снималась зависимость силы фототока I от приложенного напряжения.

Основные закономерности фотоэффекта:

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света ν и не зависит от его интенсивности.

Для каждого вещества существует так называемая красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота ν_{\min} , при которой еще возможен внешний фотоэффект.

Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.

Фотоэффект практически безинерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $\nu > \nu_{\min}$.

Все эти закономерности фотоэффекта в корне противоречили представлениям классической физики о взаимодействии света с веществом. Волновая теория света не могла объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока и пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света. Электромагнитная теория света оказалась неспособной объяснить эти закономерности.

Теоретическое объяснение наблюдаемых закономерностей фотоэффекта было дано Эйнштейном на основе гипотезы М. Планка о том, что свет излучается и поглощается определенными порциями, причем энергия каждой такой порции определяется формулой:

$$E = h\nu, \quad (108)$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка.

Эйнштейн пришел к выводу, что свет имеет прерывистую (дискретную) структуру. Электромагнитная волна состоит из отдельных порций – квантов, впоследствии названных **фотонами**. При взаимодействии с веществом фотон целиком передает всю свою энергию $h\nu$ одному электрону. Полученную от фотона энергию электрон использует на работу выхода $A_{\text{вых}}$, из металла и на кинетическую энергию:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (109)$$

Соотношение (109) называют **уравнением Эйнштейна для фотоэффекта**.

Уравнение Эйнштейна объясняет линейную зависимость максимальной кинетической энергии фотоэлектрона от частоты света, существование красной границы фотоэффекта ($h\nu_{\text{кк}} = \frac{h\tilde{\nu}}{\lambda_{\text{кк}}} = A_{\text{кк}}$), зависимость тока насыщения от интенсивности света.

ЛЕКЦИЯ 22. СТРОЕНИЕ АТОМА.

Первая попытка создания модели атома на основе накопленных экспериментальных данных (1903 г.) принадлежит Дж. Томсону. Он считал, что атом представляет собой электронейтральную систему шарообразной формы радиусом, примерно равным 10^{-10} м . Положительный заряд атома равномерно распределен по всему объему шара, а отрицательно заряженные электроны находятся внутри него.

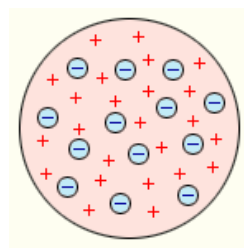


Рис. 64. Модель атома Дж. Томсона.

Однако через несколько лет в опытах великого английского физика Э.Резерфорда было доказано, что модель Томсона неверна. В своих исследованиях Резерфорд бомбардировал α -частицами атомы тяжелых элементов (золото, серебро, медь и др.).

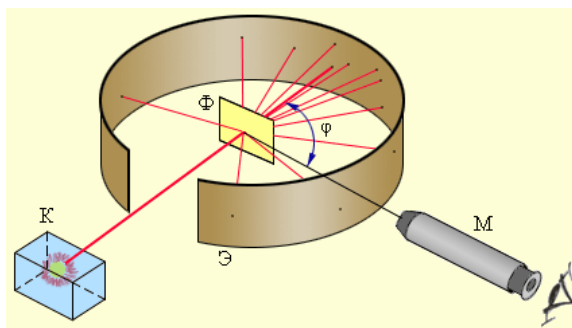


Рис. 65. Схема опыта Резерфорда по рассеянию α – частиц. К – свинцовый контейнер с радиоактивным веществом, Э – экран, покрытый сернистым цинком, Ф – золотая фольга, М – микроскоп.

Было обнаружено, что подавляющее большинство α - частиц проходит через тонкий слой металла, практически не испытывая отклонения. Однако, небольшая часть частиц отклоняется на значительные углы, превышающие 30° . Очень редкие α – частицы (приблизительно одна на десять тысяч) испытывали отклонение на углы, близкие к 180° (рис. 66).

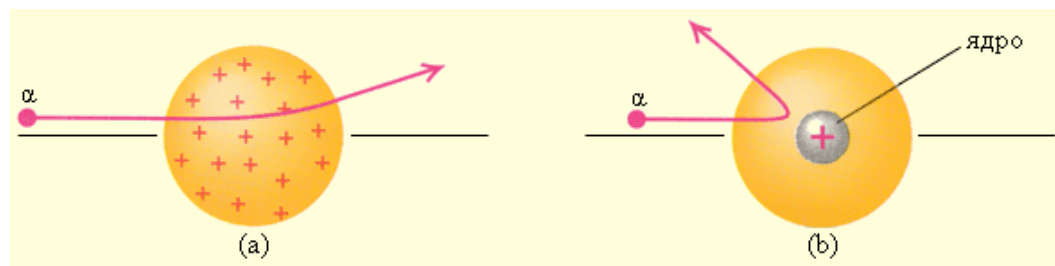


Рис. 66. Рассеяние α -частицы в атоме Томсона (а) и в атоме Резерфорда (б)

Анализ результатов экспериментов привели Резерфорда к выводу, что в центре атома находится плотное положительно заряженное ядро, диаметр которого не превышает $10^{-14} - 10^{-15}$ м. Это ядро занимает очень малую часть объема атома, но содержит весь положительный заряд и не менее 99,95 % его массы.

Опираясь на классические представления о движении микрочастиц, Резерфорд предложил планетарную модель атома. Согласно этой модели, в центре атома располагается положительно заряженное ядро, вокруг которого, под действием кулоновских сил, движутся электроны.

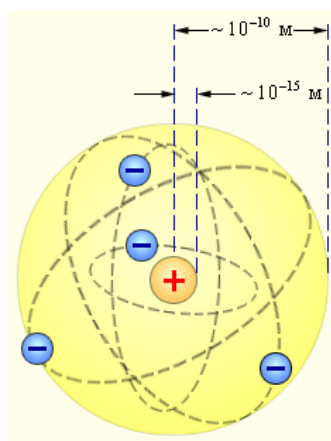


Рис. 67. Планетарная модель атома Резерфорда. Показаны круговые орбиты четырех электронов.

Ядерная модель атома объясняла опыты по рассеянию α -частиц, однако, оказалась неспособной объяснить сам факт длительного существования атома, т. е. его устойчивость. По законам классической электродинамики, движущийся с ускорением заряд должен излучать электромагнитные волны, уносящие энергию. За короткое время все электроны в атоме Резерфорда должны растратить всю свою энергию и упасть на ядро. Но этого не происходит, следовательно, внутренние процессы в атоме не подчиняются классическим законам.

Теория Н. Бора.

Следующий шаг в развитии представлений об устройстве атома в 1913 году сделал выдающийся датский физик Н. Бор. Чтобы снять противоречия ядерной модели Н. Бор дополнил классическую физику своими постулатами.

Первый постулат Бора гласит: атом может существовать только в особых стационарных состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n . В стационарных состояниях атом не излучает энергию.

Согласно первому постулату Бора, атом характеризуется системой энергетических уровней, каждый из которых соответствует определенному стационарному состоянию. Энергия электрона, движущегося по замкнутой

траектории вокруг положительно заряженного ядра, отрицательна. Поэтому, всем стационарным состояниям соответствуют значения энергии $E_n < 0$. При $E \geq 0$ электрон удаляется от ядра, т. е. происходит ионизация. Величина $|E_i|$ называется энергией ионизации. Состояние с энергией E_1 называется основным состоянием атома.

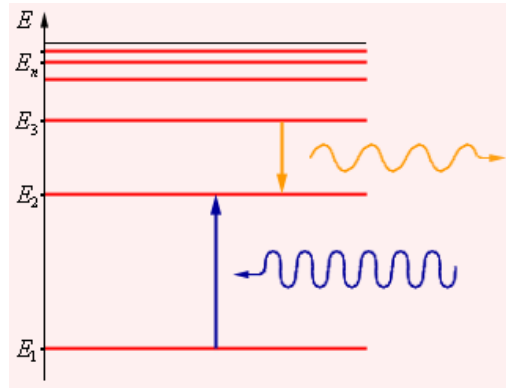


Рис. 68. Энергетические уровни атома и условное изображение процессов поглощения и испускания фотонов.

Второй постулат Бора: при переходе атома из одного стационарного состояния с энергией E_n в другое стационарное состояние с энергией E_m излучается или поглощается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:

$$h\nu_{nm} = E_n - E_m, \quad (110)$$

где h – постоянная Планка. Отсюда можно выразить частоту излучения:

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}.$$

Теория Бора при описании поведения атомных систем не отвергла полностью законы классической физики. В ней сохранились представления об орбитальном движении электронов в кулоновском поле ядра. Классическая ядерная модель атома Резерфорда в теории Бора была дополнена идеей о квантовании электронных орбит.

АТОМ ВОДОРОДА. ЛИНЕЙЧАТЫЕ СПЕКТРЫ.

В начале XIX века были открыты дискретные спектральные линии в видимой области излучения атома водорода (так называемый линейчатый спектр). Впоследствии закономерности, которым подчиняются длины волн (или частоты) линейчатого спектра, были хорошо изучены количественно (И.Бальмер, 1885 г.). Совокупность спектральных линий атома водорода в видимой части спектра была названа серией Бальмера. Позже аналогичные серии спектральных линий были обнаружены в ультрафиолетовой и инфракрасной частях спектра. В 1890 году И. Ридберг получил эмпирическую формулу для частот спектральных линий:

$$\nu_{\min} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (111)$$

Для серии Бальмера $m=2$, $n=3,4,5\dots$. Для ультрафиолетовой серии (серия Лаймана) $m=1$, $n=2,3,4,\dots$. Постоянная R в этой формуле называется постоянной Ридберга.

Правило квантования Бора записывается в виде:

$$m_e v \cdot r_n = n \frac{h}{2\pi}. \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (112)$$

Здесь m_e – масса электрона, v – его скорость, r_n – радиус стационарной круговой орбиты. Правило квантования Бора позволяет вычислить радиусы стационарных орбит электрона в атоме водорода и определить значения энергий. Скорость электрона, вращающегося по круговой орбите некоторого радиуса r в кулоновском поле ядра, как следует из второго закона Ньютона, определяется соотношением:

$$v^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r},$$

где e – элементарный заряд, ϵ_0 – электрическая постоянная. Скорость электрона v и радиус стационарной орбиты r_n связаны правилом квантования Бора. Отсюда следует, что радиусы стационарных круговых орбит определяются выражением:

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2 \cdot n^2}{\pi m_e e^2}. \quad (113)$$

Самой близкой к ядру орбите соответствует значение $n=1$. Радиус первой орбиты, который называется боровским радиусом, равен:

$$r_1 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м}.$$

Радиусы последующих орбит возрастают пропорционально n^2 . Рис. 69 иллюстрирует образование спектральных серий в излучении атома водорода при переходе электрона с высоких стационарных орбит на более низкие.

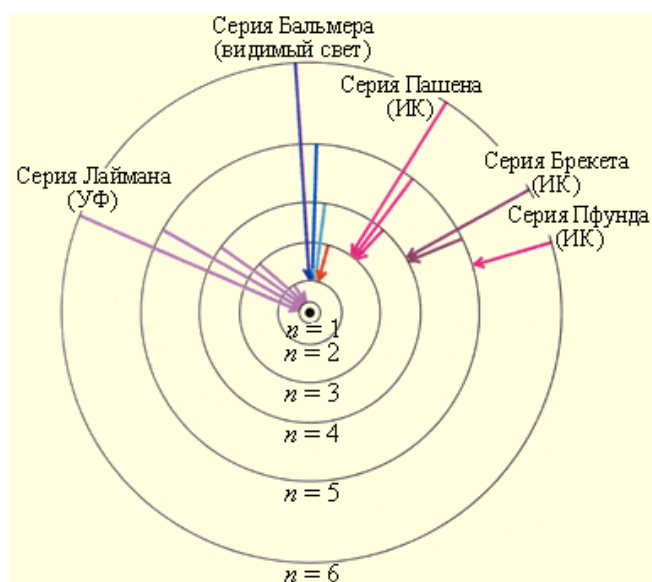


Рис.69. Стационарные орбиты атома водорода и образование спектральных серий

ЛЕКЦИЯ 23. СОСТАВ АТОМНОГО ЯДРА. РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЯДЕР.

Атомные ядра различных химических элементов состоят из частиц двух видов – протонов и нейтронов. Положительный заряд протона в точности равен элементарному заряду $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19}$ Кл, то есть равен по модулю отрицательному заряду электрона. Масса протона, по современным измерениям, равна $m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27}$ кг. Нейтрон – это элементарная частица, масса которой $m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27}$ кг. Нейтрон не имеет электрического заряда. Протоны и нейтроны называют **нуклонами**.

Число протонов, входящих в состав атомного ядра, обозначают символом Z и называют зарядовым числом (это порядковый номер химического элемента в периодической таблице Менделеева). Заряд ядра равен $Z \cdot e$, где e – элементарный заряд. Число нейтронов обозначают символом N .

Общее число нуклонов (т. е. протонов и нейтронов) называют массовым числом A :

$$A = Z + N.$$

Ядра химических элементов обозначают символом ${}^A_Z X$, где X – химический символ элемента. Ядра одного и того же химического элемента могут отличаться числом нейтронов. Такие ядра называются **изотопами**.

Радиоактивность - это явление излучения ураном, радием, торием и некоторыми другими элементами лучей, способных проникать через

вещество. Явление основывается на способности ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием частиц.

Э. Резерфорд установил, что радиоактивные ядра могут испускать излучения трех видов: положительно и отрицательно заряженные и нейтральные. Эти три вида излучений были названы α -, β - и γ -излучениями. В магнитном поле α - и β -лучи испытывают отклонения в противоположные стороны, причем β -лучи отклоняются значительно больше, а γ -лучи в магнитном поле не отклоняются.

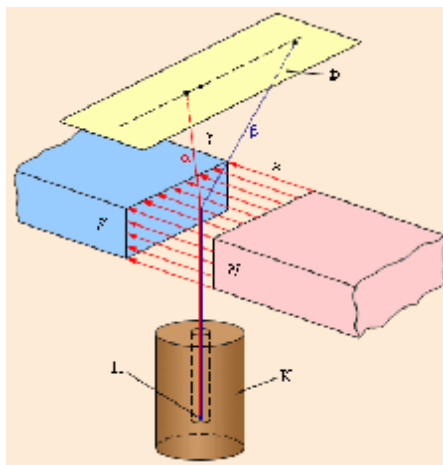
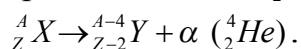
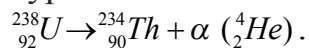


Рис. 70. Схема опыта по обнаружению α -, β - и γ -излучений. К – свинцовый контейнер, П – радиоактивный препарат, Ф – фотопластинка, \vec{B} – магнитное поле.

Альфа-распад. Альфа-распадом называется самопроизвольное превращение атомного ядра с числом протонов Z и нейтронов N в другое (дочернее) ядро, содержащее число протонов $Z-2$ и нейтронов $N-2$. При этом испускается α -частица – ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$:

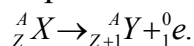


Пример альфа-распада для изотопа урана ${}^{238}\text{U}$:



Бета-распад. При бета-распаде из ядра вылетает электрон. Внутри ядер электроны существовать не могут, они возникают при β -распаде в результате превращения нейтрона в протон. При распаде нейтрон превращается в протон и электрон.

При β -распаде зарядовое число Z увеличивается на единицу, а массовое число A остается неизменным. дочернее ядро оказывается ядром одного из изотопов элемента, порядковый номер которого в таблице Менделеева на единицу превышает порядковый номер исходного ядра.



Гамма-распад. В отличие от α - и β -радиоактивности, γ -радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел. Как при α -, так и при β -распаде дочернее ядро может оказаться в некотором возбужденном состоянии и иметь избыток энергии. Переход ядра из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием электромагнитного излучения в виде одного или нескольких γ -квантов, энергия которых может достигать нескольких МэВ.

Закон радиоактивного распада.

Ядра атомов радиоактивного вещества распадаются самопроизвольно, независимо друг от друга. Поэтому, число распадов dN будет пропорционально количеству радиоактивных атомов $N(t)$ и времени наблюдения dt :

$$dN = -\lambda N(t) dt . \quad (114)$$

Коэффициент пропорциональности λ – это постоянная радиоактивного распада.

Скорость $\frac{dN}{dt}$ изменения количества ядер прямо пропорциональна $N(t)$ и определяет такую характеристику как **активность** радиоактивного распада A :

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda N . \quad (115)$$

Решение этого уравнения приводит к закону радиоактивного распада:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} , \quad (116)$$

где N_0 – начальное число радиоактивных ядер при $t=0$. За время $\tau = \frac{1}{\lambda}$ количество не распавшихся ядер уменьшится в $e \approx 2,7$ раза. Величину τ называют **средним временем жизни радиоактивного ядра**.

Для практического использования закон радиоактивного распада удобно записать в другом виде, используя в качестве основания число 2, а не e :

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} . \quad (117)$$

Величина T называется **периодом полураспада**. За время T распадается половина первоначального количества радиоактивных ядер. Величины T и τ связаны соотношением:

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \tau \ln 2 = 0,693\tau . \quad (118)$$

Энергия связи ядер.

Для того, чтобы атомные ядра были устойчивыми, протоны и нейтроны должны удерживаться внутри ядер огромными силами, во много раз превосходящими силы кулоновского отталкивания протонов. Силы, удерживающие нуклоны в ядре, называются ядерными. Энергия связи ядра равна энергии, которую необходимо затратить для полного расщепления

ядра на отдельные частицы. Из закона сохранения энергии следует, что энергия связи равна той энергии, которая выделяется при образовании ядра из отдельных частиц.

Масса любого ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс входящих в его состав протонов и нейтронов:

$$M_{\text{я}} < Zm_p + Nm_n$$

Разность масс

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}} \quad (119)$$

называется **дефектом массы**.

По дефекту массы с помощью формулы Эйнштейна $E = mc^2$ можно определить энергию, выделившуюся при образовании данного ядра, т. е. **энергию связи ядра** $E_{\text{св}}$:

$$E_{\text{св}} = \Delta Mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2. \quad (120)$$

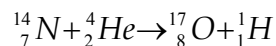
ЛЕКЦИЯ 24. ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА. ЯДЕРНЫЙ И ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОРЫ.

Ядерная реакция – это процесс сильного взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра и испусканием вторичных частиц и γ -квантов.

Реакцию взаимодействия ядра A и частицы a , в результате которой образуется ядро B и частица b , записывают в виде:

$$A + a = B + b. \quad (121)$$

Первая ядерная реакция была осуществлена Э. Резерфордом в 1919 г. Резерфорд бомбардировал атомы азота α -частицами. При соударении частиц происходила ядерная реакция, протекавшая по следующей схеме:



Ядерные реакции могут протекать как с выделением, так и с поглощением энергии. Энергетический выход реакции (121) вычисляется по формуле:

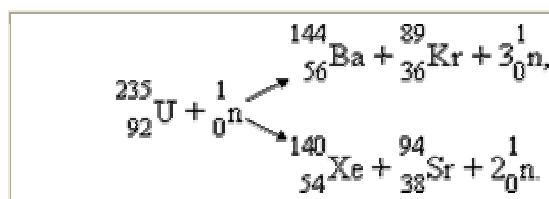
$$\Delta E = (m_2 - m_1)c^2, \quad (122)$$

где m_1 – общая масса частиц a и A до реакции;

m_2 – общая масса частиц b и B после реакции.

Особый практический интерес представляет облучение ядер нейтронами, которые не испытывают кулоновского отталкивания и, сравнительно, легко проникают внутрь ядра.

1. **Деление тяжелых ядер.** При бомбардировке урана нейтронами наблюдается реакция деления. Ядро атома урана, поглотив нейтрон, делится на два крупных фрагмента сравнимых масс и возникают химические элементы средней части периодической системы:



Деление ядра урана сопровождается выделением большого количества энергии (приблизительно 210 МэВ на один атом урана).

Во время деления ядра урана-235, которое вызвано столкновением с нейтроном, освобождается 2 или 3 нейтрона. При благоприятных условиях эти нейтроны могут попасть в другие ядра урана и вызвать их деление. На этом этапе появятся уже от 4 до 9 нейтронов, способных вызвать новые распады ядер урана и т. д. Такой лавинообразный процесс называется **цепной реакцией**.

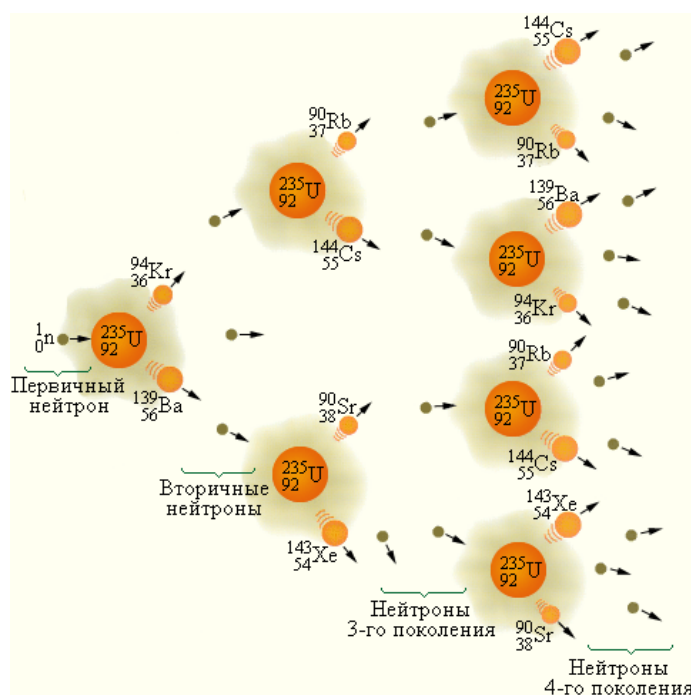


Рис. 71. Схема развития цепной реакции

Для осуществления цепной реакции необходимо, чтобы в каждом последующем поколении нейтронов было больше, чем в предыдущем. Это возможно только тогда, когда масса урана превосходит так называемую критическую массу, которую можно во много раз уменьшить, если использовать замедлители нейтронов (тяжелая вода D_2O , графит).

Устройство, в котором поддерживается управляемая реакция деления ядер, называется **ядерным реактором**.

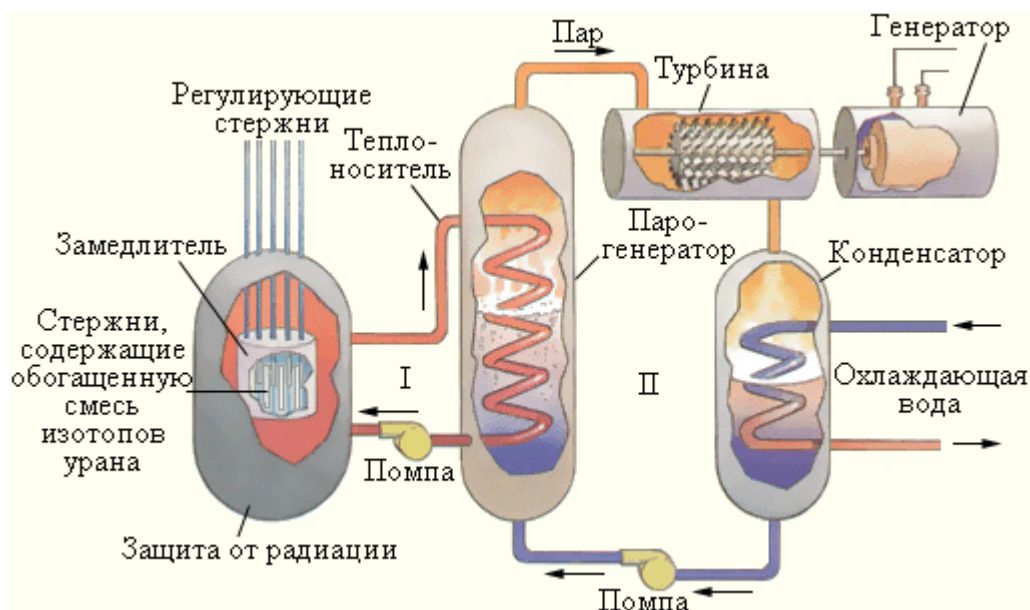
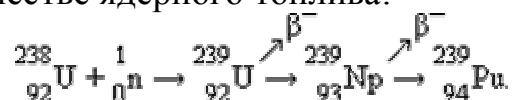


Рис. 72. Схема устройства ядерного реактора на медленных нейтронах

Ядерная реакция протекает в активной зоне реактора, которая заполнена замедлителем и пронизана стержнями, содержащими обогащенную смесь изотопов урана с повышенным содержанием урана-235 (до 3%). В активную зону вводятся регулирующие стержни, содержащие кадмий или бор, которые интенсивно поглощают нейтроны. Введение регулирующих стержней в активную зону позволяет управлять скоростью цепной реакции.

Наряду с ядерным реактором, работающим на медленных нейтронах, большой практический интерес представляют реакторы, работающие без замедлителя на быстрых нейтронах. В таких реакторах ядерным горючим является обогащенная смесь, содержащая не менее 15% изотопа $^{235}_{92}\text{U}$. Преимущество реакторов на быстрых нейтронах состоит в том, что при их работе ядра урана-238, поглощая нейтроны, посредством двух последовательных β^- -распадов превращаются в ядра плутония, которые затем можно использовать в качестве ядерного топлива:

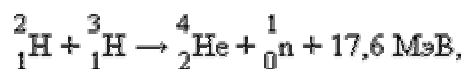


Термоядерные реакции. Второй путь освобождения ядерной энергии связан с реакциями синтеза. При слиянии легких ядер и образовании нового ядра выделяется большое количество энергии.

Реакция слияния легких ядер носит название **термоядерной реакции**, так как она может протекать только при очень высоких температурах. Чтобы два ядра вступили в реакцию синтеза, они должны сблизиться на расстояние действия ядерных сил порядка $2 \cdot 10^{-15}$ м, преодолев силу кулоновского

отталкивания. Т.е., кинетическая энергия теплового движения частиц должна превосходить потенциальную энергию кулоновского взаимодействия. Расчет необходимой для этого температуры приводит к величине порядка 10^8 – 10^9 К. Это чрезвычайно высокая температура. При такой температуре вещество находится в полностью ионизированном состоянии, которое называется **плазмой**.

Энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях, в расчете на один нуклон в несколько раз превышает удельную энергию, выделяющуюся в цепных реакциях деления ядер. Так, например, в реакции слияния ядер дейтерия и трития



выделяется 17,6 МэВ. Это одна из наиболее перспективных термоядерных реакций.

Получение сверхвысоких температур и удержание плазмы, нагретой до миллиарда градусов, представляет собой труднейшую научно-техническую задачу на пути осуществления управляемого термоядерного синтеза.

На данном этапе развития науки и техники удалось осуществить только неуправляемую реакцию синтеза в водородной бомбе. Высокая температура, необходимая для ядерного синтеза, достигается здесь с помощью взрыва обычной урановой или плутониевой бомбы.

Термоядерные реакции играют чрезвычайно важную роль в эволюции Вселенной. Энергия излучения Солнца и звезд имеет термоядерное происхождение.

ПРИЛОЖЕНИЯ
Фундаментальные постоянные

Название константы	Обозначение	Значение	Измерение
Гравитационная постоянная.	G	$6,672 \cdot 10^{-11}$	$\text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Ускорение свободного падения	g	9,8065	$\text{м} / \text{с}^2$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022045 \cdot 10^{23}$	Моль ⁻¹
Газовая постоянная	R	8,31441	
Постоянная Больцмана	k	$1,380662 \cdot 10^{-23}$	Дж/К
Скорость света в вакууме	c	$2,99792458 \cdot 10^8$	м/с
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} =$ $1,25663706 \cdot 10^{-6}$	Гн/м
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,8541878 \cdot 10^{-12}$	Ф/м
Масса покоя электрона	m_e	$9,109534 \cdot 10^{-31}$	кг
Масса покоя протона	m_p	$1,6726485 \cdot 10^{-27}$	кг
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,6749543 \cdot 10^{-27}$	кг
Элементарный заряд	q	$1,6021892 \cdot 10^{-19}$	Кл
Постоянная Планка	h	$6,626176 \cdot 10^{-34}$	Дж*с

Некоторые астрономические величины

Наименование	Величина (среднее значение)
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8$ м
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3,84 \cdot 10^8$ м

Плотность твёрдых тел

Твёрдое тело	Плотность, кг/м ³	Твёрдое тело	Плотность, кг/м ³
Алюминий	$2,7 \cdot 10^3$	Медь	$8,9 \cdot 10^3$
Барий	$3,5 \cdot 10^3$	Никель	$8,9 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,0 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Висмут	$9,8 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Железо	$7,8 \cdot 10^3$	Цезий	$1,9 \cdot 10^3$
Литий	$0,53 \cdot 10^3$	Цинк	$7,1 \cdot 10^3$

Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³	Жидкость	Плотность, кг/м ³
Вода (при 4°С)	$1,00 \cdot 10^3$	Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	Спирт	$0,80 \cdot 10^3$
		Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$

Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м ³	Газ	Плотность, кг/м ³
Водород	0,09	Гелий	0,18
Воздух	1,29	Кислород	1,43

Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей

Жидкость	Коэффициент, мН/м	Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	72	Ртуть	500
Мыльная вода	40	Спирт	22

Эффективный диаметр молекул

Газ	Диаметр, м	Газ	Диаметр, м
Азот	$3,0 \cdot 10^{-10}$	Гелий	$1,9 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2,3 \cdot 10^{-10}$	Кислород	$2,7 \cdot 10^{-10}$

Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Парафин	2,0	Вода	81
Стекло	7,0	Масло	2,2

Показатель преломления

Вещество	Показатель
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Стекло	1,5
Алмаз	2,42

Работа выхода электронов

Металл	Дж	эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Относительные атомные массы (атомные веса) A и порядковые номера Z некоторых элементов

Элемент	Химический символ	A	Z
Азот	N	14	7
Алюминий	Al	27	13
Аргон	Ar	40	18
Водород	H	1	1
Вольфрам	W	184	74
Гелий	He	4	2
Железо	Fe	56	26
Золото	Au	197	79
Калий	K	39	19
Кальций	Ca	40	20
Кислород	O	16	8
Магний	Mg	24	12
Марганец	Mn	55	25
Медь	Cu	64	29
Молибден	Mo	96	42
Натрий	Na	23	11
Неон	Ne	20	10
Никель	Ni	59	28
Олово	Sn	119	50
Платина	Pt	195	78
Ртуть	Hg	201	80
Сера	S	32	16
Серебро	Ag	108	47
Уран	U	238	92
Углерод	C	12	6
Хлор	Cl	35	17

ЛИТЕРАТУРА

1. Вердеревская Н. Н. Сборник задач и вопросов по физике (для студентов-иностранцев) : учеб. пособ. для студентов-иностранцев, обучающихся на подгот. фак. вузов / Н. Н. Вердеревская, С. П. Егорова. – М. : Высш. шк., 1989. – 224 с.
2. Физика : учеб. пособие для студ.-иностранцев подгот. фак. вузов / Л. Н. Курочкина, А. С. Каурова, Л. Д. Шутенко, Б. П. Стасюк . – М. : Высш. шк., 1983. – 392 с.
3. Корсак К. В. 25 повторяющихся лекций : навч. посіб. / К. В. Корсак. – К. : Вища шк., 1994. – 431 с.
4. Трубецкова С. В. Физика. Вопросы-ответы. Задачи-решения. Механика / С. В. Трубецкова. – М. : Физматлит, 2003. – 450 с.
5. Коршак Є. В. Фізика. Підручник для 10 класу. / Коршак Є. В., Ляшенко О. І., Савченко В. Ф. – К. : Генеза, 2010. – 192 с.
6. Мякишев Г. Я. Физика. 11 класс. / Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Чаругин В. М. – М. : Просвещение, 2010. – 399 с.
7. Яворский Б. М. Физика. Справочное руководство для поступающих в вузы / Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. – [изд. 5-е, перераб.]. – М. : Физматлит, 2004. – 592 с.
8. Кабардин О. Ф. Физика : Справочные материалы : учеб. пособ. для учащихся / О. Ф. Кабардин. – [3-е изд.]. – М. : Просвещение, 1991. – 367 с.
9. <http://www.physics.ru/courses>