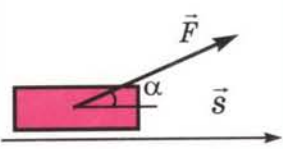
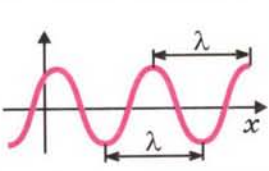
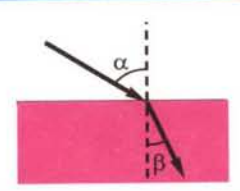


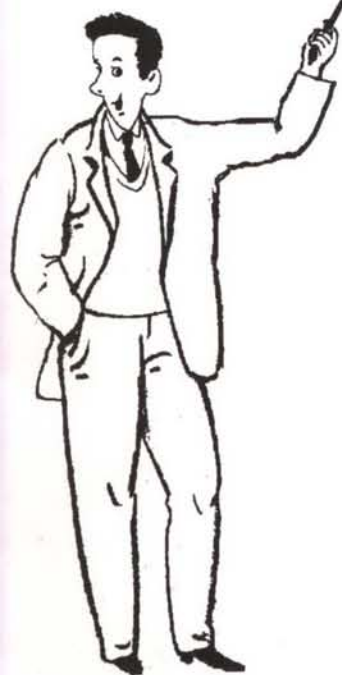
ФИЗИКА

в таблицах

для 7-11 классов

И.М.Гельфгат
Л.Э.Генденштейн
Л.А.Кирик
Е.Ю.Свириновская

	МЕХАНИКА
	МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА
	ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ
	КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ
	ОПТИКА
	АТОМНАЯ ФИЗИКА



И. М. Гельфгат, Л. Э. Генденштейн,
Л. А. Кирик, Е. Ю. Свириновская

ФИЗИКА В ТАБЛИЦАХ

Книга предназначена учащимся школ, лицеев и гимназий, а также абитуриентам, студентам педагогических вузов и преподавателям. В книге представлены основные факты, определения, формулировки законов физики, а также формулы. Пособие может использоваться как учебное и справочное, а также для обобщающего повторения при подготовке к экзаменам (в том числе вступительным).

Учебное пособие

ГЕЛЬФГАТ ИЛЬЯ МАРКОВИЧ
ГЕНДЕНШТЕЙН ЛЕВ ЭЛЕВИЧ
КИРИК ЛЕОНИД АНАТОЛЬЕВИЧ
СВИРИНОВСКАЯ ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА

ФИЗИКА В ТАБЛИЦАХ

Сдано в набор 03.03.98. Подписано в печать 05.03.98
Формат 60x84/8. Печать офсетная. Тираж 20000 экз.

ООО "Илекса", 121354, г. Москва, а/я 282
Творческое объединение "Гимназия", г. Харьков, ул. Тобольская, 46а

Заказы по телефонам:
в Москве (095) 365-30-55
в Харькове (0572) 30-70-59, 11-80-62, 32-83-10

Отпечатано на ордена Трудового Красного Знамени
Чеховском полиграфическом комбинате
Государственного комитета Российской Федерации
по печати
142300, г. Чехов Московской области
Тел. (272) 71-336. Факс (272) 62-536

ISBN 5-89237-031-3

© Гельфгат И.М., Генденштейн Л.Э.,
Кирик Л.А., Свириновская Е.Ю., 1998
© ООО "ИЛЕКСА", 1998
© ТО "ГИМНАЗИЯ", 1998

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	6
РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ	6
НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ	7
ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ	7
КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ	8
РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ	8
ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ	8

ДИНАМИКА

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА	9
СИЛЫ УПРУГОСТИ	10
СИЛА ТЯГОТЕНИЯ	11
СИЛЫ ТРЕНИЯ	12
ИМПУЛЬС	13
РАБОТА	13
ЭНЕРГИЯ	14
МОЩНОСТЬ	14
КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ	14

СТАТИКА

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	15
УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ	15
ВИДЫ РАВНОВЕСИЯ	16
ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ	16

ГИДРОСТАТИКА И АЭРОСТАТИКА

ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ	17
ЗАКОН АРХИМЕДА	17

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ	18
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ	18
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ	19

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА	20
УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА	20
ИЗОПРОЦЕССЫ	21

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ	22
НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР, ВЛАЖНОСТЬ	22
ЖИДКОСТИ	23
ТВЕРДЫЕ ТЕЛА	23
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ	24

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ	25
ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ	25
РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ	26
УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА	26
РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ	27
АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС	27
ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ	27

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА	28
ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ	28
ЗАКОН КУЛОНА	29
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	29
РАБОТА СИЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	30
ПОТЕНЦИАЛ	30
РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ	31
СИЛОВЫЕ ЛИНИИ (ЛИНИИ НАПРЯЖЕННОСТИ)	31
ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ	32
ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ	33
КОНДЕНСАТОРЫ. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ	34
ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	34

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ТОКА	35
СИЛА ТОКА. ПЛОТНОСТЬ ТОКА	35
СТОРОННИЕ СИЛЫ	35
ЭДС И НАПРЯЖЕНИЕ	36
ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	36
РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА	37
СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ. РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА	37

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

МЕТАЛЛЫ	38
ЭЛЕКТРОЛИТЫ	38
ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ	39
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ. ТИПЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА	39
ПЛАЗМА	40
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ	40
ПОЛУПРОВОДНИКИ	40
ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ	41
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД	41

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ	42
СИЛА АМПЕРА	43
ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ	43
СИЛА ЛОРЕНЦА. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ	44
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА	45

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

СХЕМА ОПЫТОВ ПО НАБЛЮДЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ	46
ПРАВИЛО ЛЕНЦА	46
ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ	47
ВИХРЕВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	47
САМОИНДУКЦИЯ. ИНДУКТИВНОСТЬ	48
ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКА	48

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

КОЛЕБАНИЯ

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАНИЙ	49
ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ	49
СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ПРИМЕРЫ СВОБОДНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ	50
ЭНЕРГИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ	50
ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ. РЕЗОНАНС	51
АВТОКОЛЕБАНИЯ	51
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ	52
ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ	52
ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК	53
РЕЗОНАНС В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	54
ТРАНСФОРМАТОР	54

ВОЛНЫ

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН.....	55
СФЕРИЧЕСКИЕ И ПЛОСКИЕ ВОЛНЫ.....	55
ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ ВОЛН.....	56
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН.....	57
МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ. ЗВУК.....	58
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ.....	58
ПРИНЦИПЫ РАДИОСВЯЗИ.....	59
РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН.....	60

ОПТИКА

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ.....	61
ЛИНЗЫ.....	63
ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЛИНЗАХ.....	64
ФОРМУЛА ЛИНЗЫ.....	65

СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

ДИСПЕРСИЯ.....	66
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ.....	66
ДИФРАКЦИЯ. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА.....	67
ПОЛЯРИЗАЦИЯ.....	68
ВИДЫ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	68
СПЕКТРЫ.....	69

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ПОСТУЛАТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.....	70
СЛЕДСТВИЯ ПОСТУЛАТОВ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.....	70
РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДИНАМИКА. СВЯЗЬ МЕЖДУ МАССОЙ И ЭНЕРГИЕЙ.....	71

АТОМНАЯ ФИЗИКА

СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ.....	72
ФОТОЭФФЕКТ.....	72
ДАВЛЕНИЕ СВЕТА.....	73
ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕТА.....	73

СТРОЕНИЕ АТОМА

ОТКРЫТИЕ АТОМНОГО ЯДРА.....	74
ПОСТУЛАТЫ БОРА.....	74
ЛАЗЕРЫ.....	75

ЯДРА И ЧАСТИЦЫ

МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.....	75
СТРОЕНИЕ ЯДРА.....	76
ИЗОТОПЫ.....	76
РАДИОАКТИВНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ. ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА.....	77
БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	77
ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР.....	78
ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.....	78
ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР.....	79
ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.....	79
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ.....	80

КИНЕМАТИКА

Раздел механики, в котором рассматривается описание движения тел.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Материальная точка — тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

Система отсчета состоит из тела отсчета, по отношению к которому описываются движения тел, связанной с ним системы координат и часов.

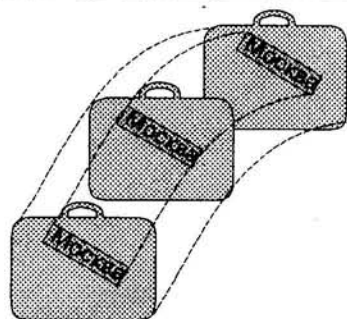
Перемещение \vec{s} — вектор, соединяющий начальное положение материальной точки с конечным.

Траектория — линия, описываемая в пространстве движущейся материальной точкой.

Путь l — длина траектории.



Поступательное движение — движение, при котором любой отрезок, соединяющий две точки тела, остается параллельным сам себе. При поступательном движении скорости всех точек тела одинаковы по величине и по направлению.



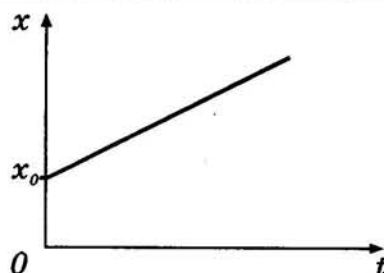
РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Скорость равномерного прямолинейного движения $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$. Единица измерения $[v] = \text{м/с}$.

Зависимость координаты тела от времени

$$x = x_0 + s = x_0 + vt$$



НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

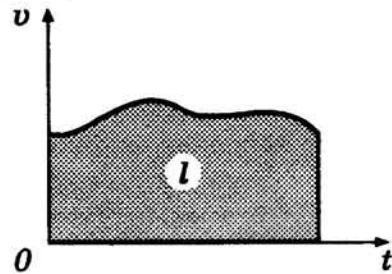
Средняя скорость $v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}$

(векторная величина).

Часто средней скоростью называют скалярную величину l/t (точное название такой величины — средняя путевая скорость).

Мгновенная скорость — средняя скорость за очень малый промежуток времени:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$



Путь численно равен площади под графиком зависимости модуля скорости от времени.

ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

Движение, при котором тело движется прямолинейно и его скорость за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину.

$$\text{Ускорение } a = \frac{v - v_0}{t}; [a] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

$$\text{Скорость } \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

Для случая, когда скорость направлена вдоль оси x :

$$v = v_0 + at.$$

$$\text{Зависимость перемещения от времени: } s = v_0t + \frac{at^2}{2}.$$

$$\text{Часто используются также формулы } s = \frac{(v + v_0) \cdot t}{2}; s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}; v = \sqrt{2as}$$

(последняя формула — для движения без начальной скорости).

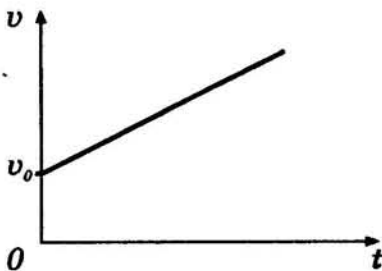


График зависимости скорости от времени
(при $v_0 > 0, a > 0$)

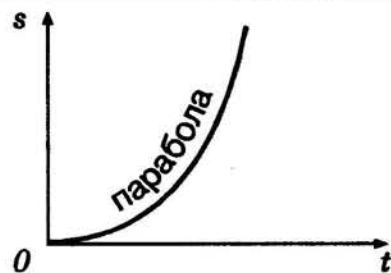


График зависимости перемещения от времени
(при $v_0 = 0$)

КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Криволинейное движение происходит с **ускорением**, потому что вектор скорости изменяется со временем: он всегда направлен по касательной к траектории, и поэтому его направление изменяется.



РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

Период T — время одного полного оборота,

частота $n = 1/T$ численно равна числу оборотов за единицу времени,

$$\text{линейная скорость } v = \frac{2\pi R}{T}.$$

Угловая скорость $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ численно равна углу поворота за единицу времени.

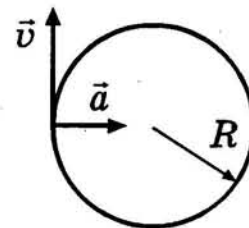
$$[T] = \text{с}, [n] = \text{с}^{-1}, [v] = \text{м/с}, [\omega] = \text{рад/с}.$$

Соотношения между величинами:

$$\omega = 2\pi n = 2\pi/T, v = \omega R.$$

$$\text{Ускорение } a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

Это ускорение направлено к центру и называется **центростремительным**.



ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ (в случае, когда можно пренебречь сопротивлением воздуха)

Тело участвует в двух движениях:

равномерном движении по горизонтали и равноускоренном — по вертикали.

Ускорение тела в любой точке траектории равно ускорению свободного падения \vec{g} .

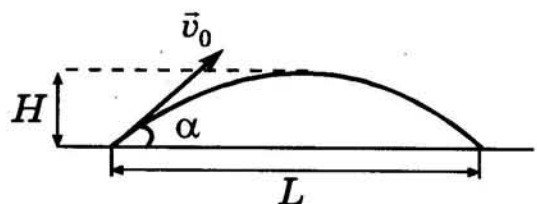
Траектория тела является параболой.

$$\text{Время полета } T = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g},$$

$$\text{высота подъема } H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

$$\text{дальность полета } L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

(дальность полета максимальна при $\alpha = 45^\circ$).



ДИНАМИКА

Раздел механики, изучающий законы движения тел.

Основное содержание динамики составляют три закона Ньютона.

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Первый закон Ньютона: существуют системы отсчета, относительно которых тело сохраняет свою скорость неизменной, если на него не действуют другие тела или действия других тел компенсируют друг друга. Такие системы отсчета называются **инерциальными**.

Таким образом, все тела, на которые не действуют другие тела, движутся друг относительно друга **равномерно и прямолинейно**, а система отсчета, связанная с любым из них, является инерциальной. Первый закон Ньютона называют иногда законом инерции (**инерция** — явление, состоящее в том, что скорость тела остается неизменной при отсутствии внешних воздействий на тело или их компенсации).

Второй закон Ньютона: векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этому телу ускорение:

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

$$[F] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$$

Сила величиной в 1 ньютон сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с².

Таким образом, все тела обладают свойством **инертности**, состоящим в том, что скорость тела нельзя изменить мгновенно. Мерой инертности тела является его **масса**: чем больше масса тела, тем большую силу надо приложить, чтобы сообщить ему то же ускорение.

Третий закон Ньютона: тела взаимодействуют друг с другом с силами, направленными вдоль одной прямой, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Силы, входящие в III закон Ньютона, имеют **одинаковую физическую природу** и **не компенсируют друг друга**, т.к. приложены к разным телам.

Таким образом, силы всегда существуют парами: например, сила тяжести, действующая на человека со стороны Земли, связана по III закону Ньютона с силой, с которой человек притягивает Землю. Эти силы равны по величине, но ускорение Земли во много раз меньше, чем ускорение человека, поскольку ее масса намного больше.

В МЕХАНИКЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ ТРИ ВИДА СИЛ:

1. Силы упругости
2. Сила тяготения
3. Силы трения

СИЛЫ УПРУГОСТИ

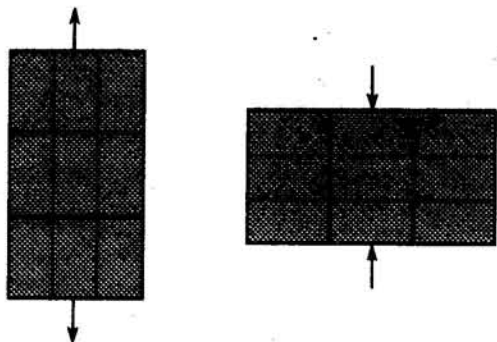
Возникают при деформации тела и направлены в сторону, противоположную смещению частиц тела из положения равновесия.

Деформация - изменение объема и/или формы тела.

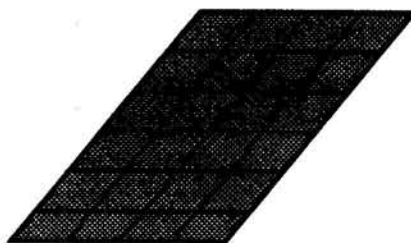
ТИПЫ ДЕФОРМАЦИЙ

Основные: растяжение (сжатие) и сдвиг

Растяжение и сжатие



Сдвиг

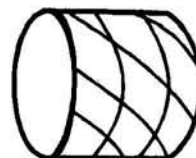


Другие типы деформаций

Изгиб (сочетание растяжения и сжатия)



Кручение (сводится к сдвигу)



УПРУГИЕ И ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ

Упругие —исчезают после прекращения действия внешних сил.

Пластические — не исчезают после прекращения действия внешних сил.

Для малых упругих деформаций растяжения и сжатия выполняется

$$\text{закон Гука: } F = k |\Delta l|,$$

где Δl — величина деформации, k — коэффициент жесткости. $[k] = \text{Н/м}$.

Сила упругости направлена противоположно деформации, поэтому в проекции на ось x закон Гука принимает вид:

$$F_x = -kx, \text{ где } x = \Delta l \text{ — удлинение тела}$$

($x > 0$ при деформации растяжения, $x < 0$ при деформации сжатия).

ПРИМЕРЫ СИЛ УПРУГОСТИ

Сила реакции опоры (сила, действующая со стороны опоры на тело).

Сила нормального давления (тела на опору).

Сила реакции опоры и сила нормального давления направлены перпендикулярно поверхности соприкосновения тел.

Сила натяжения — направлена вдоль нити (троса и т.п.).

Для тела, находящегося на горизонтальной опоре, **вес** — сила нормального давления.

СИЛА ТЯГОТЕНИЯ

Закон всемирного тяготения

Материальные точки притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2},$$

где G — **гравитационная постоянная**, численно равная силе взаимодействия двух материальных точек массой по 1 кг каждая, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

Из закона всемирного тяготения следует, что

масса характеризует не только инертные, но и гравитационные свойства тела.

Закон всемирного тяготения применим также к сферически симметричным телам (например, к планетам и звездам).

Сила тяжести (сила притяжения тела к Земле) у поверхности Земли равна $G \frac{M_3 \cdot m}{R_3^2}$,

где M_3 — масса Земли, R_3 — ее радиус.

По II закону Ньютона она равна mg , следовательно, ускорение свободного падения

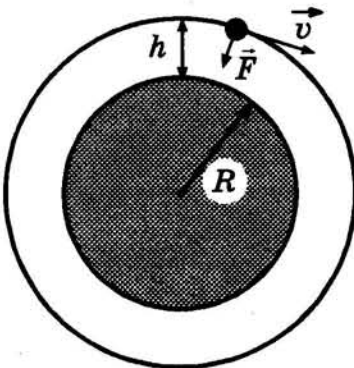
$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}.$$

С таким ускорением падают тела вблизи поверхности Земли, если можно пренебречь сопротивлением воздуха.

(В действительности вследствие вращения Земли и сплюснутости ее у полюсов величина g зависит от географической широты: вблизи полюсов $g = 9,83$ м/с², вблизи экватора $g = 9,78$ м/с².)

Если тело находится на высоте h над поверхностью Земли,

то сила тяготения сообщает ему ускорение $a = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$.



Если тело, брошенное горизонтально, имеет скорость, равную $\sqrt{G \frac{M_3}{R_3 + h}} = \sqrt{\frac{gR_3^2}{R_3 + h}}$, то оно

становится **искусственным спутником Земли**, движущимся по круговой орбите.

Вблизи поверхности Земли (при $h \ll R_3$) эта скорость равна 7,9 км/с. Она называется **первой космической скоростью**.

Скорость, которую нужно придать телу, чтобы оно покинуло Землю и стало спутником Солнца, называют

второй космической скоростью.

Она равна 11,2 км/с.

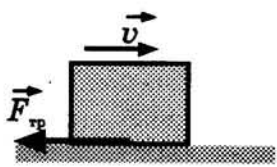
СИЛЫ ТРЕНИЯ

Возникают при соприкосновении тел и направлены вдоль поверхности соприкосновения. Различают **трение скольжения**, **трение покоя** и **трение качения**.

СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Возникает при скольжении одного тела вдоль поверхности другого; направлена в сторону, противоположную этому движению.

Обусловлена разрушением неровностей на поверхностях соприкасающихся тел при их относительном движении, а также преодолением сил межмолекулярного взаимодействия.



$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N,$$

где μ - коэффициент трения,
 N — сила нормального давления.

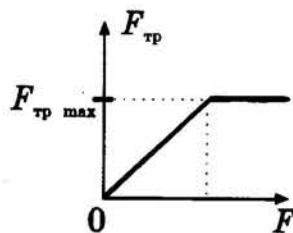
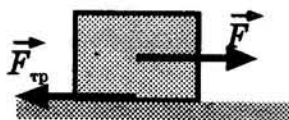
Величина силы трения скольжения слабо зависит от скорости относительного движения тел и практически не зависит от площади их соприкосновения. Коэффициент трения скольжения зависит от материала, из которого изготовлены соприкасающиеся поверхности тел, и от качества их обработки.

СИЛА ТРЕНИЯ ПОКОЯ

Возникает при попытке сдвинуть одно тело вдоль поверхности другого и препятствует возможному движению. Величина силы трения покоя удовлетворяет неравенству $F_{\text{тр}} \leq \mu N$ и может быть найдена из условия, что равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна нулю.

Сила трения покоя $F_{\text{тр}}$ возрастает с увеличением сдвигающей силы F от нуля до своего максимального значения, равного

$$F_{\text{тр max}} = \mu N.$$



ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ

Возникает при качении одного тела по поверхности другого. Обусловлено, в частности, деформациями при соприкосновении тел. Как правило, сила трения качения значительно меньше, чем сила трения скольжения, поэтому колесо широко используется во всех наземных транспортных средствах.

Для уменьшения трения используются шариковые и роликовые подшипники, в которых трение скольжения заменяется трением качения.

ИМПУЛЬС

Равен произведению массы тела на его скорость:

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

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Векторная сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, остается неизменной.

(Замкнутой называется система тел, взаимодействующих только друг с другом и не взаимодействующих с другими телами.)

II закон Ньютона в импульсной форме:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t},$$

откуда следует $\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$. Величина $\vec{F}\Delta t$ называется **импульсом силы**.

Закон сохранения импульса в механике является следствием законов Ньютона.

Законом сохранения импульса можно пользоваться и для незамкнутых систем, если сумма внешних сил, действующих на тела системы, равна нулю (т.е. если внешние силы компенсируют друг друга).

Если проекция суммы внешних сил на какую-либо координатную ось равна нулю, сохраняется проекция суммарного импульса на данную ось.

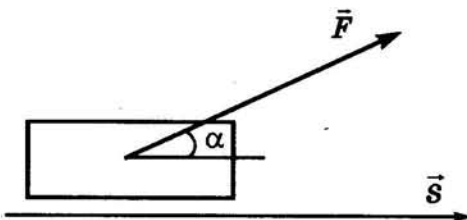
РАБОТА

Работа постоянной силы \vec{F} :

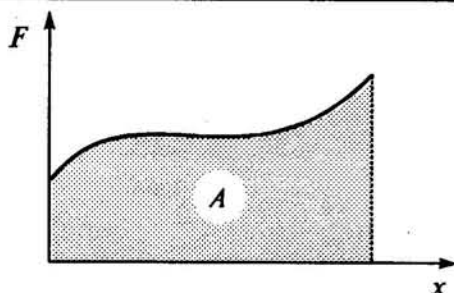
$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cdot \cos \alpha,$$

где \vec{s} — перемещение тела, α — угол между направлением действия силы и направлением перемещения.

$$[A] = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$



Если величина силы, действующей на тело, зависит от координаты x , то работа этой силы численно равна площади под графиком функции $F(x)$.



ЭНЕРГИЯ

Равна работе, которую может совершить тело или система тел при переходе из данного состояния на нулевой уровень.

Кинетическая энергия — энергия, которой обладают тела вследствие своего движения:

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

За нулевой уровень принимается состояние покоя.

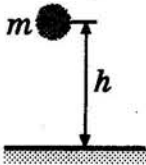
ТЕОРЕМА О КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Работа сил, приложенных к телу, равна изменению его кинетической энергии: $A = \Delta E_k$

Потенциальная энергия — энергия, обусловленная взаимодействием различных тел или частей одного и того же тела. Она зависит от взаимного расположения тел или величины упругой деформации тела.

Потенциальная энергия тела, поднятого на высоту, намного меньшую радиуса Земли

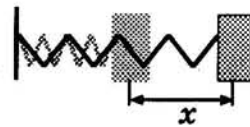
$$E_p = mgh$$



Нулевой уровень соответствует $h = 0$

Потенциальная энергия сжатой или растянутой пружины

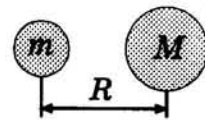
$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$



Нулевой уровень соответствует $x = 0$ (недеформированная пружина)

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия материальных точек или однородных шаров

$$E_p = -G \frac{Mm}{R}$$



Нулевой уровень соответствует $R \rightarrow \infty$

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Полная механическая энергия замкнутой системы, в которой действуют только потенциальные силы (т.е. силы упругости и тяготения), не изменяется:

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

МОЩНОСТЬ

Быстрота совершения работы. Численно равна работе, совершаемой за единицу времени:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{s}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}; \quad [N] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}$$

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД)

Отношение полезной работы к затраченной: $\eta = \frac{A_n}{A_z}$

КПД часто выражают в процентах.

СТАТИКА

Раздел механики, в котором рассматривается равновесие тел.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Момент силы

Равен произведению силы на ее плечо:

$$M = F \cdot l; [M] = \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Плечо силы — расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Момент силы, вращающий тело **против часовой стрелки**, считают **положительным**, а момент силы, вращающий тело **по часовой стрелке** — **отрицательным**.



$$M_1 = F_1 l_1 > 0$$

$$M_2 = F_2 l_2 > 0$$

$$M_3 = -F_3 l_3 < 0$$

Центр масс — точка, через которую должна проходить линия действия силы, чтобы под действием этой силы тело двигалось поступательно.

Центр тяжести — точка приложения силы тяжести, действующей на тело.

Центр тяжести совпадает с центром масс

(сила тяжести вызывает поступательное движение тела).

УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ

1. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю:

$$\sum \vec{F} = 0.$$

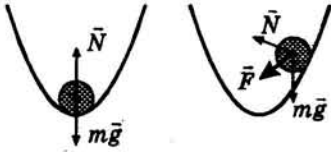
2. Алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, равна нулю:

$$\sum M = 0.$$

Если твердое тело имеет закрепленную ось вращения, следует учитывать только второе условие равновесия, так как сила реакции оси автоматически обеспечивает выполнение первого условия.

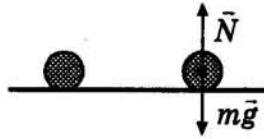
ВИДЫ РАВНОВЕСИЯ

Устойчивое



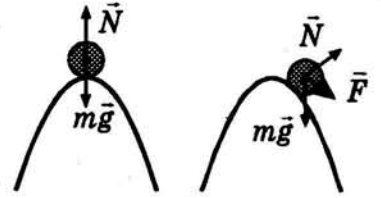
При малом отклонении тела от положения равновесия возникает сила, стремящаяся возвратить тело в исходное состояние.

Безразличное



При малом отклонении тело остается в равновесии.

Неустойчивое



При малом отклонении тела из положения равновесия возникают силы, стремящиеся увеличить это отклонение.

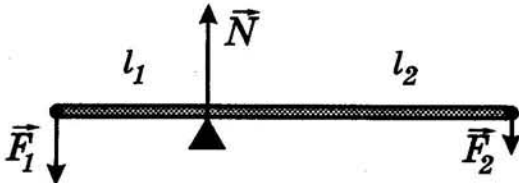
В положении устойчивого равновесия тело обладает минимальной потенциальной энергией; при выведении тела из этого положения его потенциальная энергия увеличивается.

Если работу над телом совершает только сила тяжести, то в положении устойчивого равновесия центр тяжести тела находится на наименьшей высоте.

ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ

РЫЧАГ

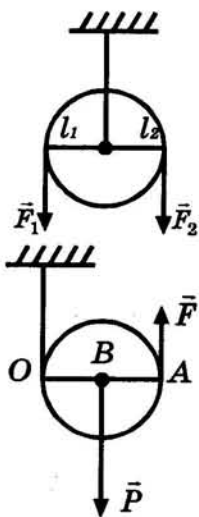
Твердое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси.



Условие равновесия рычага
(под действием двух сил)

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

БЛОК



Неподвижный блок представляет собой равноплечий рычаг:

$$l_1 = l_2 = r \Rightarrow F_1 = F_2.$$

Не дает выигрыша в силе, но позволяет изменять ее направление.

Подвижный блок представляет собой рычаг, у которого одно плечо (плечо OA силы \vec{F}) в 2 раза больше второго (плечо OB силы \vec{P}).

Поэтому $\frac{P}{F} = 2$, т. е. подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза.

При использовании простых механизмов выигрыша в работе не получают (в соответствии с законом сохранения энергии).

ГИДРОСТАТИКА И АЭРОСТАТИКА

ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Давление — физическая величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности:

$$p = \frac{F}{S}; [p] = \frac{Н}{м^2} = \text{Па}.$$

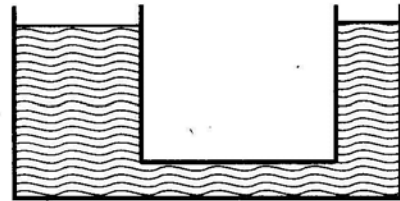
Закон Паскаля: внешнее давление, оказываемое на жидкость или газ, передается без изменения в каждую точку жидкости или газа.

Давление, обусловленное весом жидкости, зависит от глубины h по закону $p = \rho gh$.

ЗАКОН СООБЩАЮЩИХСЯ СОСУДОВ

Если в открытые сообщающиеся сосуды налита одна и та же жидкость, ее **уровень во всех сосудах одинаков**.

(Если можно пренебречь капиллярными явлениями, см. раздел "Жидкости".)



АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Обусловлено **весом воздушного столба**. Нормальное атмосферное давление на уровне моря равно 101 кПа (760 мм рт.ст.). Атмосферное давление **уменьшается с высотой** (например, на высоте 5 км оно равно примерно половине нормального атмосферного давления).

ЗАКОН АРХИМЕДА

На тело, погруженное в жидкость, действует **выталкивающая сила**, равная весу жидкости в объеме погруженной части тела. Эту силу называют силой Архимеда:

$$F_A = \rho_{ж} g V,$$

где $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, V — объем погруженной части тела (равный объему вытесненной жидкости).

Закон Архимеда применим не только к жидкостям, но и к газам.

Тело плавает, если сила Архимеда уравнивает силу тяжести. Плавание возможно как на поверхности жидкости (дерево, корабли), так и внутри жидкости (рыбы, подводные лодки).

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Молекула - мельчайшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства.

Молекулы состоят из **атомов**.

Например, молекула воды состоит из двух атомов водорода и атома кислорода.

Молекулы некоторых веществ (например, гелия) состоят из одного атома.

Количество вещества ν пропорционально числу молекул N этого вещества: $\nu = \frac{N}{N_A}$.

1 моль любого вещества содержит столько же молекул, сколько атомов содержится в 0,012 кг изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$.

Число Авогадро N_A - число молекул в 1 моле вещества. $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Молярная масса M — масса 1 моля вещества.

$M = N_A m_0$, где m_0 — масса молекулы данного вещества.

Отсюда следует: $m = N m_0 = \nu M$, где m — масса данного вещества.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

1. Все тела состоят из молекул (атомов).
2. Молекулы (атомы) находятся в непрерывном хаотическом движении.
3. Молекулы (атомы) взаимодействуют друг с другом — притягиваются или отталкиваются.

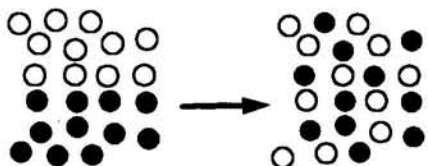
ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Прямые

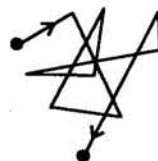
Наблюдение строения вещества в электронный микроскоп.
Рентгеноструктурный анализ.

Косвенные

Диффузия — явление проникновения молекул одного вещества в межмолекулярные промежутки другого (подтверждает движение молекул).



Броуновское движение — хаотическое движение взвешенных в жидкости или газе частиц под действием ударов молекул жидкости или газа.



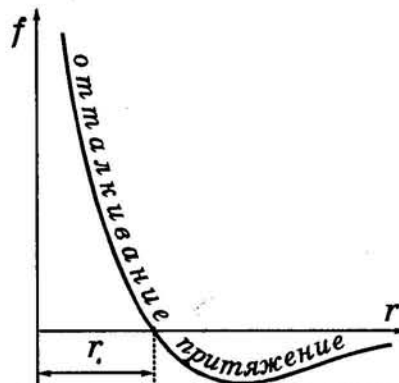
Существование жидких и твердых тел подтверждает взаимодействие молекул.

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НИМИ

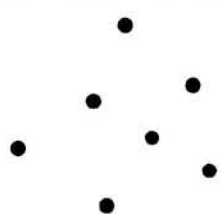
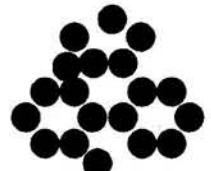
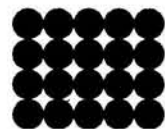
Расстояние r_0 соответствует положению равновесия.

При $r > r_0$ молекулы притягиваются.

При $r < r_0$ молекулы отталкиваются.



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ГАЗЫ	ЖИДКОСТИ	ТВЕРДЫЕ ТЕЛА
Занимают весь предоставленный объем. Не сохраняют форму	Сохраняют объем. Обладают свойством текучести.	Сохраняют форму и объем.
Нет порядка в расположении молекул. Расстояние между молекулами гораздо больше размеров молекул. 	Упорядоченное расположение ближайших соседей (ближний порядок). Расстояние между молекулами сравнимо с их размерами. 	В кристаллических твердых телах молекулы располагаются в определенном порядке (дальний порядок). Расстояние между молекулами порядка размеров молекул. 
Молекулы свободно движутся во всех направлениях, столкновения относительно редки. В разреженных газах величина потенциальной энергии взаимодействия молекул намного меньше их кинетической энергии: $ W_p \ll W_k$	Частицы колеблются вблизи положений равновесия, время от времени переходя в соседнее положение равновесия, что обуславливает текучесть жидкостей. $ W_p > W_k$	Частицы колеблются вблизи положений равновесия, что обуславливает сохранение формы. $ W_p \gg W_k$

С ростом температуры растет средняя скорость хаотического движения частиц, а, следовательно, и скорость диффузии.

У большинства веществ **объем увеличивается при нагревании** (важное исключение — вода: при нагревании от 0°C до 4°C она сжимается).

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

Модель реального газа, в которой взаимодействием между молекулами можно пренебречь. (Молекулы рассматриваются как упругие шарики, взаимодействующие только при столкновениях, причем размеры шариков намного меньше расстояний между ними.)

Давление газа на стенки сосуда обусловлено ударами хаотически движущихся молекул.

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$$p = \frac{1}{3} n \cdot m_0 \cdot \overline{v^2},$$

где p — давление, n — концентрация молекул (число молекул в единице объема),
 m_0 — масса одной молекулы, $\overline{v^2}$ — средний квадрат скорости молекул.

Другие формы записи этого уравнения:

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \overline{E_k}; \quad p = \frac{1}{3} \rho \cdot \overline{v^2},$$

где $\overline{E_k}$ — средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул,
 ρ — плотность газа.

$$\text{При тепловом равновесии } \overline{E_k} = \frac{3}{2} k \cdot T,$$

где T — абсолютная температура, k — постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$).

Абсолютная температура измеряется в кельвинах (К). Она является мерой средней кинетической энергии движения молекул.

Соотношение между абсолютной температурой T и температурой t по шкале Цельсия:

$$T = t + 273.$$

При изменениях температуры $\Delta T = \Delta t$.

Соотношение между давлением, концентрацией молекул и абсолютной температурой:

$$p = n k T.$$

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$$\text{Уравнение Менделеева - Клапейрона: } pV = \frac{m}{M} RT,$$

где $R = kN_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ — универсальная газовая постоянная.

При $m = \text{const}$ это уравнение принимает вид $\frac{p \cdot V}{T} = \text{const}$ (уравнение Клапейрона).

ИЗОПРОЦЕССЫ

Так называются процессы, происходящие при постоянном значении одного из параметров состояния (T , V или p) с данной массой газа.

Изотермический процесс:
при $T = const$

$$pV = const;$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

(Закон Бойля - Мариотта)

Изобарный процесс:
при $p = const$

$$\frac{V}{T} = const;$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

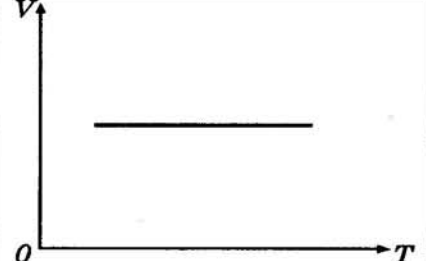
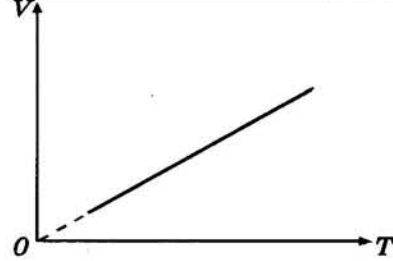
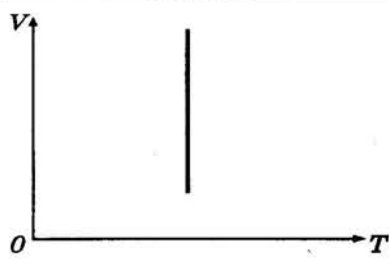
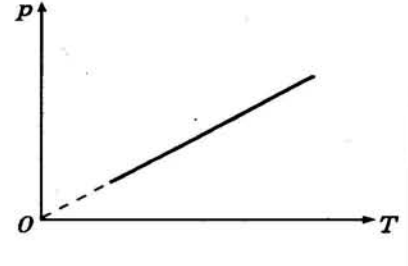
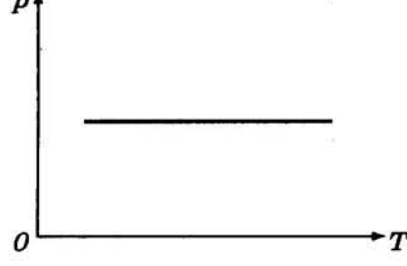
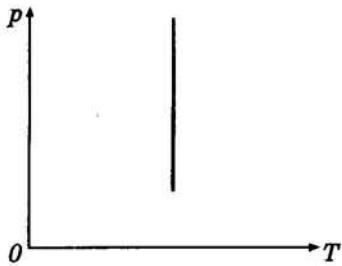
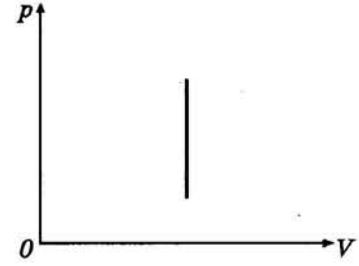
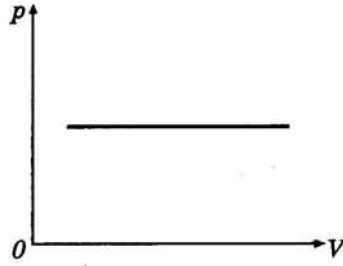
(Закон Гей-Люссака)

Изохорный процесс:
при $V = const$

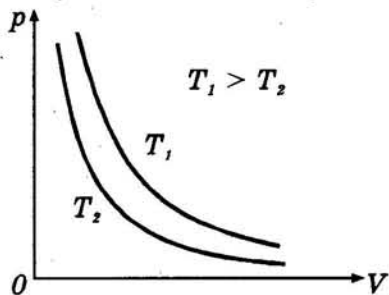
$$\frac{p}{T} = const$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

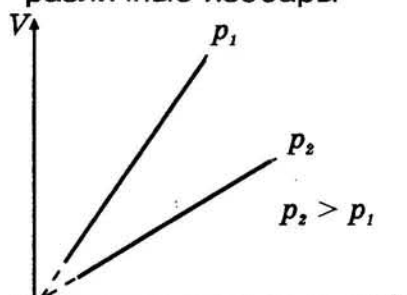
(Закон Шарля)



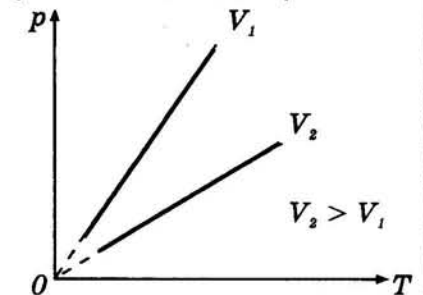
различные изотермы



различные изобары



различные изохоры



СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Плавление кристаллических твердых тел происходит при постоянной температуре $T_{п.л}$ (температура плавления) с поглощением энергии.

Энергия расходуется на разрушение кристаллической решетки.

Парообразование происходит с поглощением энергии. Энергия расходуется на разрыв межмолекулярных связей. Различают два вида парообразования: **испарение** — парообразование, происходящее при любой температуре со свободной поверхности жидкости и **кипение** — процесс парообразования во всем объеме жидкости при определенной температуре T_k (температуре кипения). Это температура, при которой давление насыщенного пара в пузырьках внутри жидкости равно внешнему давлению.



Кристаллизация и конденсация происходят с выделением энергии. Процессы кипения, кристаллизации и конденсации происходят при наличии в веществе примесей, пылинок (т.е. центров, вокруг которых происходит образование зародышей нового агрегатного состояния). Если вещество однородно, то его можно довести до температуры, при которой оно не может устойчиво существовать в данном агрегатном состоянии (например, перегретая жидкость или перенасыщенный пар).

Для каждого вещества существует **критическая температура** $T_{кр}$, при которой исчезает различие между жидкостью и ее насыщенным паром.

НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР, ВЛАЖНОСТЬ

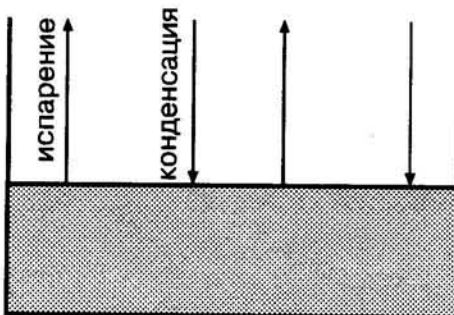
Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется

насыщенным.

Давление p_H насыщенного пара зависит только от температуры.

Если $p < p_H$, пар называется **ненасыщенным.**

Давление p ненасыщенного пара зависит и от объема.



Относительная влажность φ равна отношению парциального давления пара к давлению

насыщенного пара при данной температуре: $\varphi = \frac{p}{p_H} \cdot 100\%$.

Точка росы — температура, при которой водяной пар становится насыщенным.

ЖИДКОСТИ

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

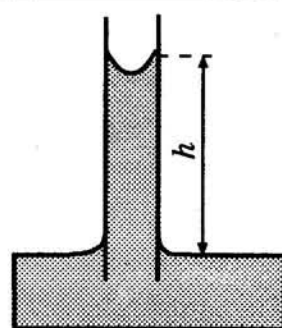
Вдоль поверхности жидкости перпендикулярно к линии, ограничивающей эту поверхность, действует **сила поверхностного натяжения** F_H , которая стремится сократить площадь поверхности жидкости до минимума. **Поверхностное натяжение** σ равно отношению силы поверхностного натяжения к длине границы поверхностного слоя:

$$\sigma = \frac{F_H}{l}; \quad [\sigma] = \frac{Н}{м}.$$

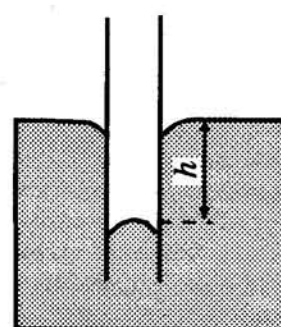
КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Если жидкость смачивает стенки капилляра, она поднимается в капилляре, если не смачивает, опускается. В случае полного смачивания или несмачивания высота h подъема или опускания жидкости в цилиндрическом капилляре радиуса r определяется по формуле

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$



смачивание
(вода и чистое
стекло, ртуть и чугун)



несмачивание
(вода и парафин)

ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ

Атомы (молекулы) расположены в строго определенном порядке, не меняющемся во всем объеме кристалла (соль, лед, кварц, медь).

Проявляют упругость при механических воздействиях, как кратковременных, так и длительных.

Обладают определенной температурой плавления $T_{пл}$.
При $T < T_{пл}$ тело остается твердым, при $T > T_{пл}$ становится жидким.

АМОРФНЫЕ

Отсутствует дальний порядок в расположении молекул (стекло, смолы).

При кратковременных механических воздействиях проявляют упругие свойства, при длительных воздействиях текучи (проявляются свойства жидкостей).

Нет определенной температуры плавления. Переход из твердого состояния в жидкое происходит постепенно – вещество размягчается, растет текучесть.

Монокристаллы

Состоят из одиночных кристаллов. Физические свойства **зависят** от направления (**анизотропия**).

Поликристаллы

Состоят из множества одиночных кристаллов. Физические свойства **не зависят** от направления (**изотропия**).

Физические свойства **не зависят** от направления (**изотропия**).

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

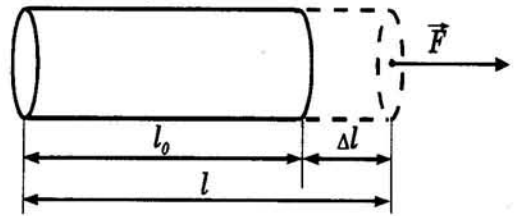
При механических воздействиях в твердых телах возникают деформации (см. "Силы упругости"). Простейший тип деформации – **деформация растяжения (сжатия)**.

Мерой деформации является **относительное удлинение** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$,

где Δl – удлинение тела, l_0 – начальная длина тела.

Механическое напряжение σ – отношение силы упругости F к площади S сечения, перпендикулярного направлению действия силы.

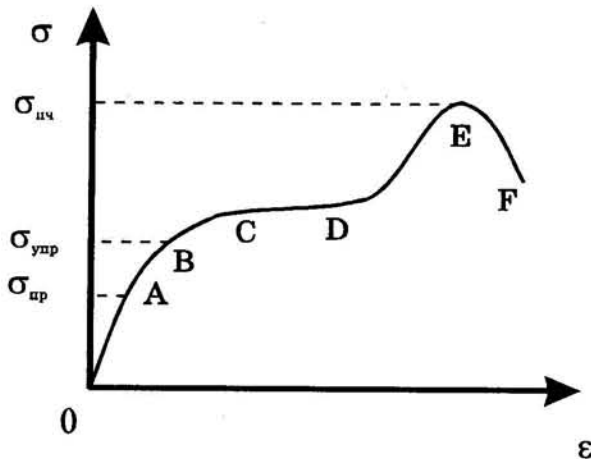
$$\sigma = \frac{F}{S}; \quad [\sigma] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$$



Согласно закону Гука при малых деформациях механическое напряжение прямо пропорционально относительному удлинению:

$$\sigma = E|\varepsilon|, \text{ где } E \text{ — модуль Юнга (модуль упругости)}. [E] = \text{Па}$$

ДИАГРАММА РАСТЯЖЕНИЯ



Участок OA – малые деформации: выполняется закон Гука.

$\sigma_{пр}$ – предел пропорциональности: максимальное значение напряжения, при котором выполняется закон Гука.

Участок AB – упругие деформации, но закон Гука не выполняется.

$\sigma_{упр}$ – предел упругости (при $\sigma < \sigma_{упр}$ не возникают остаточные деформации).

Участок BC – пластические деформации.

Участок CD – область текучести.

$\sigma_{пч}$ – предел прочности: напряжение, при котором тело начинает разрушаться.

Участок EF – разрушение (разрыв) тела.

Запас прочности k равен отношению предела прочности к максимально допустимому механическому напряжению.

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Внутренней энергией U называется сумма кинетической энергии хаотического движения частиц, из которых состоит тело, и потенциальной энергии их взаимодействия.

Для идеального одноатомного газа $U = N\bar{E}_k = N \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$.

СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

<p>Теплопередача – изменение внутренней энергии без совершения работы: энергия передается от более нагретых тел (или участков тел) к менее нагретым.</p>	<p>Совершение работы Например, нагревание при трении или при сжатии, охлаждение при расширении.</p>	
<p>ВИДЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ</p>		
<p>Теплопроводность – непосредственный обмен энергией между хаотически движущимися частицами взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.</p>	<p>Конвекция – перенос энергии потоками жидкости или газа.</p>	<p>Излучение – перенос энергии электромагнитными волнами. Единственный вид теплопередачи, возможный в вакууме.</p>

ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

ПЕРВЫЙ ЗАКОН

Изменение внутренней энергии ΔU системы равно сумме работы A , совершенной внешними телами над системой, и сообщенного ей количества теплоты Q :

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

Таким образом, $Q = \Delta U + A'$, то есть количество теплоты Q , переданное системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии ΔU и совершение системой работы $A' = -A$.

Работа A и количество теплоты Q зависят от процесса перехода системы из одного состояния в другое:

при одних и тех же начальном и конечном состояниях A и Q могут быть различны.

В отличие от A и Q , изменение внутренней энергии ΔU зависит только от начального и конечного состояний.

ВТОРОЙ ЗАКОН

Формулировка Клаузиуса: невозможен процесс, единственным результатом которого является переход энергии в форме теплоты от менее нагретого тела к более нагретому.

Формулировка Кельвина: невозможен процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты в эквивалентную ей работу.

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ, ПОГЛОЩАЕМОГО ИЛИ ВЫДЕЛЯЕМОГО В РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ

НАГРЕВАНИЕ ИЛИ ОХЛАЖДЕНИЕ

$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t = cm\Delta T$, где c — удельная теплоемкость вещества,
 m — его масса, t_1 и t_2 — начальная и конечная температуры вещества.

Если $t_2 < t_1$, то $Q < 0$, т.е. тело отдает тепло другим телам.

Удельная теплоемкость c численно равна количеству теплоты, необходимому

для нагревания вещества массой 1 кг на 1 К, $[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

ПЛАВЛЕНИЕ

$$Q = \lambda m$$

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

$$Q = -\lambda m$$

Здесь λ — **удельная теплота плавления**, $[\lambda] = \text{Дж/кг}$.

Удельная теплота плавления λ численно равна количеству теплоты, которое необходимо передать 1 кг твердого вещества для его плавления при температуре плавления.

ПАРООБРАЗОВАНИЕ

$$Q = Lm$$

КОНДЕНСАЦИЯ

$$Q = -Lm$$

Здесь L — **удельная теплота парообразования**, $[L] = \text{Дж/кг}$.

Удельная теплота парообразования L численно равна количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг жидкости в пар при неизменной температуре.

СГОРАНИЕ ТОПЛИВА

$$Q = q \cdot m,$$

где q — **удельная теплота сгорания топлива**. $[q] = \text{Дж/кг}$

Удельная теплота сгорания численно равна количеству теплоты, выделившемуся при полном сгорании 1 кг топлива.

УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

Является следствием **закона сохранения энергии** для процессов теплообмена:

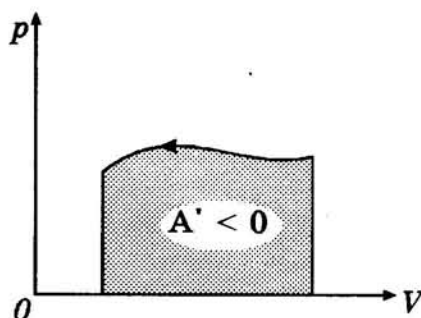
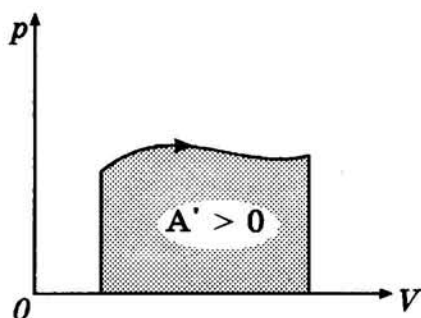
$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0,$$

где Q_1, Q_2 и т.д. — количество теплоты, полученное или отданное соответствующим телом

(для тел, отдающих тепло, $Q < 0$).

РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

При малых изменениях объема ΔV справедливо соотношение $A' = p \Delta V$, поэтому работа A' численно равна площади под графиком процесса в координатах p, V .



АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

Происходит **без теплообмена с внешней средой**, т.е. $Q = 0$. (Обычно отсутствие теплообмена обусловлено быстротой процесса: теплообмен не успевает произойти.)

При $Q = 0$ из первого закона термодинамики следует $\Delta U = A$. Поэтому **при адиабатном сжатии газ нагревается** (например, воздух в компрессоре или в цилиндре двигателя Дизеля), а **при адиабатном расширении – охлаждается** (пример: охлаждение воздушных масс при подъеме в верхние слои атмосферы).

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

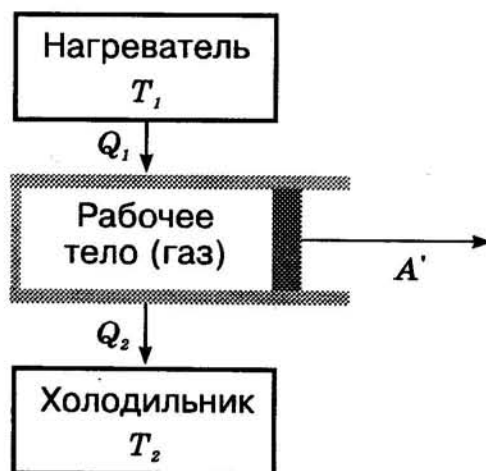
Представляют собой устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Энергия, выделившаяся при сгорании топлива в **нагревателе**, передается **рабочему телу** – газу. Расширяясь, газ совершает механическую работу.

Чтобы двигатель мог работать циклически, необходимо сжать газ после расширения. Для уменьшения работы, совершаемой над газом при сжатии, его охлаждают, используя **холодильник** (обычно им является окружающая среда).

$$\text{КПД теплового двигателя } \eta = \frac{A'}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|}.$$

Здесь A' – полезная работа, совершаемая рабочим телом, Q_1 и Q_2 – количества теплоты, полученной рабочим телом от нагревателя и переданной холодильнику.



КПД теплового двигателя, работающего при температуре нагревателя T_1 и температуре

$$\text{холодильника } T_2, \text{ не может превышать величины } \eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Физическая величина, характеризующая способность тел или частиц вступать в **электромагнитные взаимодействия**.

Единица измерения: $[q] = \text{Кл} = \text{А} \cdot \text{с}$.

Электрические заряды делятся на положительные и отрицательные.



Одноименные заряды отталкиваются

Разноименные заряды притягиваются

Носителями электрического заряда являются элементарные частицы (протон имеет положительный заряд, электрон — отрицательный).

Элементарный заряд $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл (модуль заряда электрона и протона).

Атомы электрически нейтральны, т.к. содержат равное число протонов и электронов.

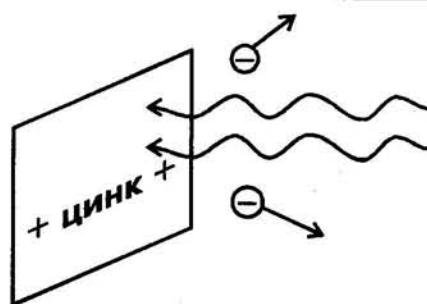
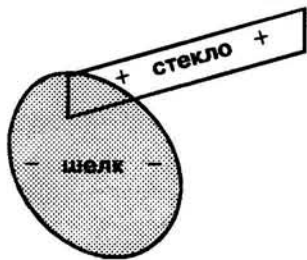
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

В изолированной системе тел алгебраическая сумма электрических зарядов остается неизменной. Это означает, что электрический заряд не создается и не исчезает, а только переходит от одного тела к другому.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ

Представляет собой сообщение телу электрического заряда.

Электризация может происходить, например, при соприкосновении (**трении**) разнородных веществ и при **облучении**. При электризации в теле создается **избыток или недостаток электронов**. В случае избытка электронов тело приобретает отрицательный заряд, в случае недостатка — положительный.



Электризация при трении

Электризация при поглощении ультрафиолетового излучения

ЗАКОН КУЛОНА

Сила электростатического взаимодействия между точечными зарядами прямо пропорциональна произведению величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$\text{В вакууме } F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}, \text{ где } k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Принято записывать $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная.

$$\text{При этом закон Кулона принимает вид: } F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

$$\text{В однородном диэлектрике (газе или жидкости) } F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость среды ($\epsilon > 1$).

Величина ϵ показывает, во сколько раз **уменьшается** сила электростатического взаимодействия между зарядами в данной среде.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Заряженные частицы взаимодействуют друг с другом не непосредственно, а через **электрическое поле**.

Электростатическое (кулоновское) поле создается заряженными телами и частицами, а переменное магнитное поле порождает **вихревое** электрическое поле.

На заряд в электрическом поле действует сила, величина которой **прямо пропорциональна** величине заряда. Поэтому отношение $\frac{\vec{F}}{q}$ **не зависит от величины заряда** q . Эта величина является **силовой характеристикой поля** и называется

$$\text{напряженностью электрического поля: } \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

$$\text{Единица измерения } [E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

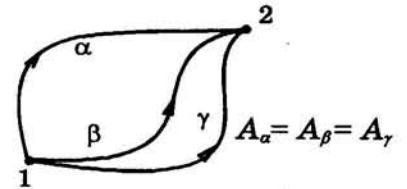
$$\text{Например, напряженность поля точечного заряда в вакууме } E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Вектор \vec{E} совпадает по направлению с силой, действующей в данной точке поля на единичный положительный заряд, а модуль E численно равен величине этой силы.

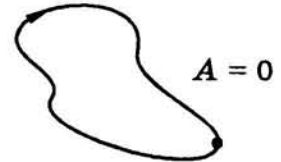
Принцип суперпозиции электрических полей: напряженность электрического поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из зарядов: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = \sum_i \vec{E}_i$.

РАБОТА СИЛ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Электростатическое поле является **потенциальным**, то есть работа кулоновских сил по перемещению заряда из одной точки поля в другую **не зависит от формы траектории**, а зависит лишь от положения начальной и конечной точек.



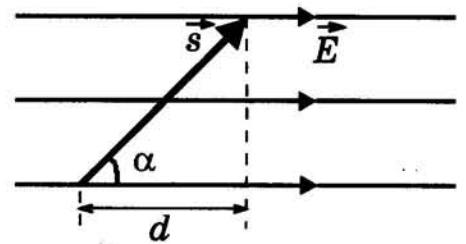
Работа кулоновских сил при перемещении заряда по любой **замкнутой** траектории равна **нулю**.



Работа кулоновских сил по перемещению заряда q в **однородном** электрическом поле:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = qEs \cdot \cos \alpha = qEd,$$

где d — проекция перемещения на направление силовых линий. В случае **неоднородного** поля эта формула применима только при **малых** перемещениях.



Работа кулоновских сил по перемещению заряда $A = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2}$, где W_p — потенциальная энергия заряда в поле. Для **взаимодействия двух точечных зарядов** в вакууме

$$W_p = k \frac{q_1 q_2}{r} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

ПОТЕНЦИАЛ

Потенциальная энергия W_p заряда в данной точке поля **прямо пропорциональна** величине заряда q . Поэтому отношение $\frac{W_p}{q}$ **не зависит от величины заряда**. Эта величина является **энергетической характеристикой электростатического поля** и называется **потенциалом**: $\varphi = \frac{W_p}{q}$. Единица измерения: $[\varphi] = \text{Дж/Кл} = \text{В}$.

Например, потенциал поля точечного заряда q в вакууме $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$,

где r — расстояние от заряда.

Потенциал численно равен потенциальной энергии единичного положительного заряда в данной точке поля.

Из **принципа суперпозиции** следует, что потенциал электрического поля **системы зарядов** равен алгебраической **сумме** потенциалов полей, создаваемых каждым из зарядов:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots = \sum_i \varphi_i$$

РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ

Работа кулоновских сил по перемещению заряда $A = W_{p1} - W_{p2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Величина $\varphi_1 - \varphi_2$ называется **разностью потенциалов**.

Разность потенциалов между точками 1 и 2 численно равна работе кулоновских сил по перемещению единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2.

Если точка 2 находится в бесконечности, где потенциал принимается равным нулю, то $A = q\varphi_1$, т.е. потенциал численно равен работе кулоновских сил по перемещению единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность.

Физический смысл имеет только **разность потенциалов** между двумя точками.

Соотношение между напряженностью и разностью потенциалов: $E = -\frac{\Delta\varphi}{d}$

(знак минус означает, что вектор \vec{E} направлен всегда в сторону убывания потенциала).

Эквипотенциальная поверхность –

поверхность, потенциалы всех точек на которой одинаковы.

При перемещении заряда вдоль такой поверхности работа кулоновских сил равна нулю.

В каждой точке эквипотенциальной поверхности вектор \vec{E} перпендикулярен к ней.

СИЛОВЫЕ ЛИНИИ (ЛИНИИ НАПРЯЖЕННОСТИ)

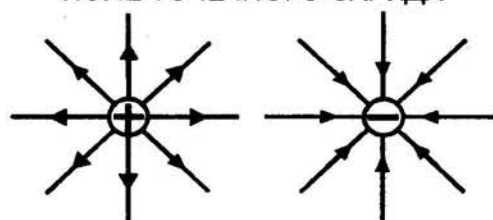
Воображаемые линии, касательные к которым в каждой точке совпадают по направлению с вектором \vec{E} в этой точке.

Силовые линии не пересекаются. Для электростатического поля силовые линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.

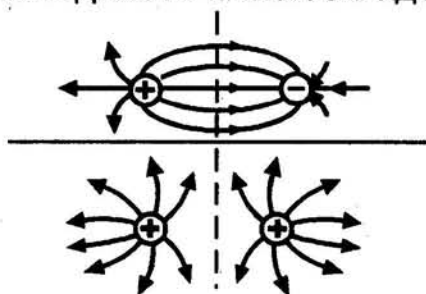
Силовые линии изображают так, что густота силовых линий пропорциональна величине напряженности электрического поля.

ПРИМЕРЫ

ПОЛЕ ТОЧЕЧНОГО ЗАРЯДА



ПОЛЕ ДВУХ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ

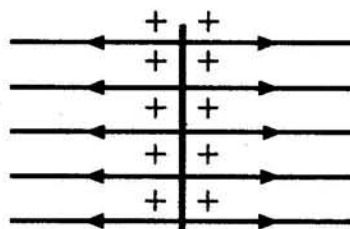


ПОЛЕ РАВНОМЕРНО ЗАРЯЖЕННОЙ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛОСКОСТИ

Поле однородное, $E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0}$,

где $\sigma = \frac{q}{S}$ — поверхностная плотность

заряда, численно равная электрическому заряду единицы площади поверхности.

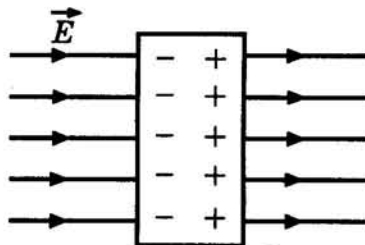


ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

ПРОВОДНИКИ

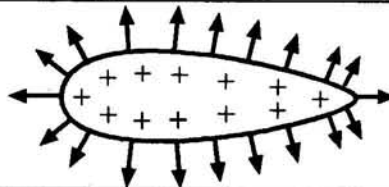
Имеются **свободные заряженные частицы**:
в металлах – электроны, в электролитах – ионы.

В проводнике, помещенном в электростатическое поле, происходит **перераспределение зарядов**. Это явление называется **электростатической индукцией**. Перераспределение зарядов продолжается до тех пор, пока напряженность электрического поля **внутри** проводника не обратится в **нуль**. Поверхность проводника является **эквипотенциальной поверхностью**. Потенциал всех точек проводника одинаков.



Заряд проводника всегда сосредоточен на его **поверхности**.

Вектор \vec{E} напряженности электрического поля у поверхности проводника направлен **перпендикулярно** этой поверхности.



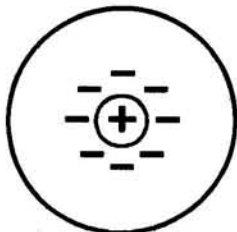
ДИЭЛЕКТРИКИ

Практически не проводят электрический ток (отсутствуют свободные заряженные частицы).

ВИДЫ ДИЭЛЕКТРИКОВ

НЕПОЛЯРНЫЕ

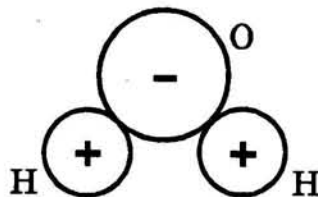
В отсутствие внешнего электрического поля центры распределения положительных и отрицательных зарядов в молекуле совпадают.



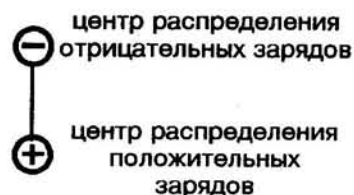
Атомы H, He

ПОЛЯРНЫЕ

Центры распределения положительных и отрицательных зарядов в молекуле не совпадают, т. е. молекулу можно рассматривать как диполь (диполем называется электрически нейтральная система из двух точечных разноименных зарядов).



Молекула воды

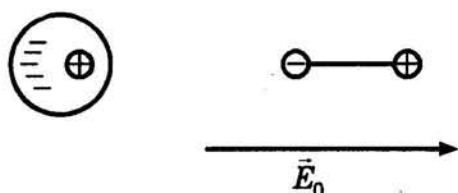


Эквивалентный диполь

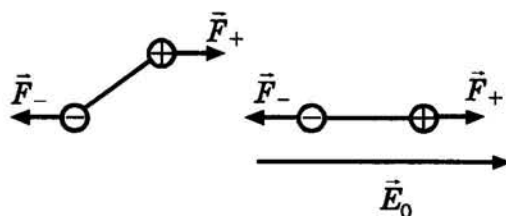
ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Молекулы неполярного диэлектрика, помещенного в электрическое поле, деформируются, в результате чего **возникают диполи,**

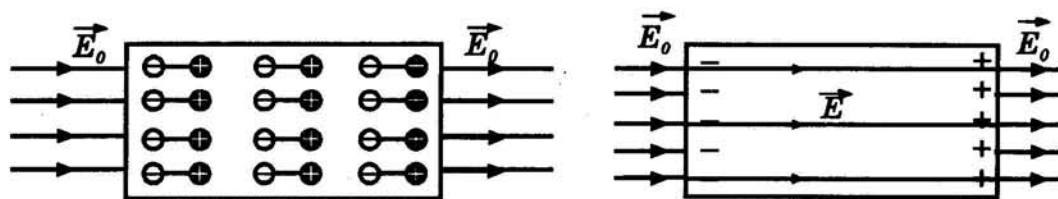
ориентированные вдоль \vec{E}_0



Молекулы полярного диэлектрика, помещенного в электрическое поле, **ориентируются** вдоль \vec{E}_0 .



В обоих случаях во внешнем электрическом поле происходит **поляризация** диэлектрика, т.е. появление на его поверхности **связанных** электрических зарядов.



Связанные электрические заряды на поверхности диэлектрика создают внутри него поле, направленное **противоположно** внешнему полю, вследствие чего **электрическое поле внутри диэлектрика ослабляется:** напряженность поля в диэлектрике уменьшается в ϵ раз.

В диэлектрике $\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon}$, где \vec{E}_0 — поле тех же зарядов в вакууме.

Например, поле точечного заряда $E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$, потенциал $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$.

В результате поляризации сила взаимодействия между заряженными телами, погруженными в диэлектрик, уменьшается в ϵ раз по сравнению с силой взаимодействия между этими же телами в вакууме.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Вода	81	Алмаз	5,7
Глицерин	43	Слюда	5,7 - 7,2
Спирт	26	Титанат бария	1200

КОНДЕНСАТОРЫ. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ

Конденсатор представляет собой два проводника (обкладки), разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников.

При зарядке конденсатора его обкладкам сообщают **равные по модулю разноименные заряды.**

При этом электрическое поле сосредоточено в основном между обкладками. Под зарядом q конденсатора понимают модуль заряда **одной** из его обкладок.

Электрической емкостью C конденсатора называется отношение заряда конденсатора к разности потенциалов между его обкладками:

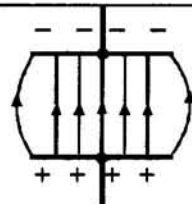
$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}; [C] = \Phi = \frac{\text{Кл}}{\text{В}}.$$

Емкость C численно равна заряду, который нужно сообщить конденсатору, чтобы разность потенциалов между обкладками стала равной 1 В.

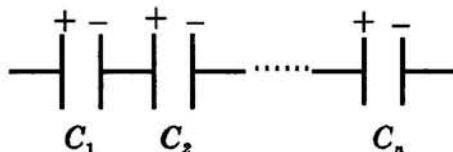
Чем больше емкость, тем больший заряд можно поместить на обкладки конденсатора при той же разности потенциалов между ними.

Емкость плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}$,

где S — площадь пластин, ε — диэлектрическая проницаемость диэлектрика, d — его толщина.

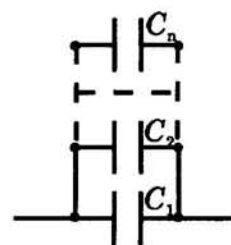


ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ



При **последовательном** соединении конденсаторов их общая емкость определяется из соотношения

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$



При **параллельном** соединении конденсаторов $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$.

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Энергия заряженного конденсатора

$$W_p = \frac{q(\varphi_1 - \varphi_2)}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2}.$$

Для плоского конденсатора $W_p = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2}{2} V$,

где V — объем, в котором сосредоточено однородное электрическое поле.

Величина $w_p = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2}{2}$ численно равна энергии электрического поля в единице объема и называется **плотностью энергии** электрического поля.

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ТОКА

Электрический ток представляет собой **упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц**, поэтому для его существования необходимо выполнение двух условий:

1. **Наличие свободных носителей заряда** (т.е. электронов и/или ионов).

Это означает, что электрическая цепь должна быть замкнутой: при размыкании возникает участок, где свободные заряды отсутствуют.

2. **На заряженные частицы должны действовать силы**, вызывающие их упорядоченное движение (важное исключение – сверхпроводники: для них это условие не выполняется).

За направление электрического тока принято направление упорядоченного движения положительно заряженных частиц (в металлах свободные **электроны движутся в направлении, противоположном направлению тока**).

СИЛА ТОКА. ПЛОТНОСТЬ ТОКА

Силой тока называется величина I , численно равная заряду, который переносится за единицу времени через поперечное сечение проводника: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$. Сила тока является скалярной величиной. Единица измерения $[I] = \text{A}$ (в СИ это одна из основных единиц).

$$I = |q_0| \cdot n \cdot \bar{v} \cdot S,$$

где q_0 — заряд свободной заряженной частицы (электрона в металле, иона в электролите и т.д.); n — концентрация носителей заряда (их число в единице объема); \bar{v} — средняя скорость их упорядоченного движения; S — площадь сечения проводника.

Плотность тока $j = \frac{I}{S} = |q_0| n \bar{v}$. В металлических проводниках $\bar{v} < 10^{-3}$ м/с даже при очень больших токах, в то время как скорость беспорядочного движения свободных электронов достигает 10^7 м/с. Однако скорость распространения электрического тока (например, при замыкании цепи) совпадает со скоростью света ($3 \cdot 10^8$ м/с).

СТОРОННИЕ СИЛЫ

Для существования постоянного тока необходимо, чтобы на заряженные частицы помимо кулоновских сил действовали какие-то **непотенциальные** силы, совершающие работу при перемещении заряда по замкнутой цепи. Такие силы называют **сторонними**.

Сторонние силы действуют во всех источниках тока (гальванических элементах, аккумуляторах, генераторах). Они могут быть обусловлены химическими, тепловыми, магнитными явлениями. **Внутри** источника тока свободные заряды движутся под действием сторонних сил **против** кулоновских сил. В результате поддерживается разность потенциалов между полюсами источника и, следовательно, ток во внешней цепи (источник тока **не создает** заряды на полюсах, а **разделяет** заряды).

ЭДС И НАПРЯЖЕНИЕ

Электродвижущая сила (ЭДС) – величина, численно равная **работе сторонних сил** при перемещении единичного положительного заряда: $\mathcal{E} = A_{\text{ст}}/q$, где $A_{\text{ст}}$ – работа сторонних сил при перемещении заряда q по электрической цепи.

Является **энергетической характеристикой** сторонних сил на участке цепи.

Напряжение U на участке цепи – величина, численно равная **полной работе** при перемещении единичного положительного заряда по участку цепи: $U = \frac{A}{q}$.

В отсутствие сторонних сил напряжение равно разности потенциалов.

ЭДС и напряжение, как и разность потенциалов, измеряются в вольтах.

ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Закон Ома для участка цепи: сила тока прямо пропорциональна напряжению на данном участке. Этот закон выполняется для металлических проводников и электролитов.

Коэффициент пропорциональности записывается в виде $\frac{1}{R}$, т.е. $I = \frac{U}{R}$; $[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}$.

Величина R называется **электрическим сопротивлением** участка цепи.

Электрическое сопротивление характеризует интенсивность превращения энергии электрического тока во внутреннюю энергию проводника.

1 Ом – сопротивление такого участка цепи, через который при напряжении 1 В протекает ток силой 1 А.

Цилиндрический проводник (длина l и площадь сечения S) имеет сопротивление $R = \rho \frac{l}{S}$,

где ρ – удельное сопротивление материала. Оно численно равно сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м². $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$.

Закон Ома для полной (замкнутой) электрической цепи, состоящей из источника тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r и внешнего сопротивления R :

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Напряжение на внешней цепи:

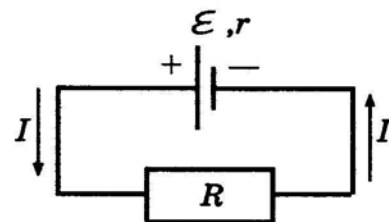
$$U = IR = \mathcal{E} - Ir < \mathcal{E}$$

Разомкнутая цепь: $R \rightarrow \infty$, $I \rightarrow 0$, $U \rightarrow \mathcal{E}$.

Короткое замыкание:

$$R \rightarrow 0, I \rightarrow I_{\text{max}}, U \rightarrow 0.$$

$I_{\text{max}} = \mathcal{E}/r$ называют током короткого замыкания.



РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА

Работа электрического тока на участке цепи за время t :

$$A = I \cdot U \cdot t.$$

Мощность электрического тока: $P = \frac{A}{t} = I \cdot U.$

Закон Джоуля-Ленца

Количество теплоты, выделившейся в проводнике при прохождении тока: $Q = I^2 R t.$

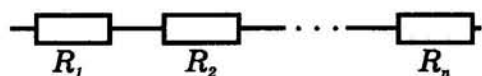
Если на участке цепи отсутствуют сторонние силы, то

$$U = \phi_1 - \phi_2 = IR \text{ и } A = Q = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t, \quad P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

При наличии сторонних сил $Q \neq A$ (например, если на участке цепи имеется генератор или двигатель, разряжающийся или заряжающийся аккумулятор и т.д.).

СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ. РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ (ЦЕПЬ БЕЗ РАЗВЕТВЛЕНИЙ)



Сила тока во всех частях такой цепи одинакова: $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$
(вследствие закона сохранения заряда).

Напряжение на концах цепи равно сумме напряжений $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

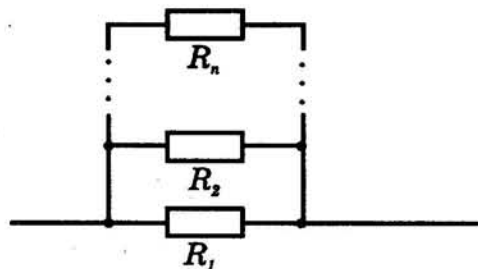
Таким образом, сопротивление R всей цепи

больше сопротивления R_i
любого ее участка.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Пример: соединение ламп в елочной гирлянде.

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



Напряжение во всех ветвях цепи одинаково:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n;$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

(следствие закона сохранения заряда).

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Таким образом, сопротивление R всей цепи **меньше** сопротивления R_i
любого ее участка.

$$\text{При } n = 2 \text{ получаем } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Пример: соединение электроприборов в квартире.

Для измерения силы тока **амперметр** включается в цепь последовательно, чтобы через него проходил такой же ток, как и через другие элементы цепи.

Для измерения напряжения на участке цепи **вольтметр** подключается к этому участку параллельно, чтобы напряжение на вольтметре совпадало с напряжением на участке цепи.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

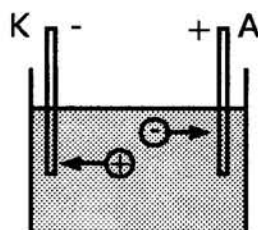
Среды	Носители заряда
Металлы	Свободные электроны
Электролиты	Положительные и отрицательные ионы
Газы, плазма	Электроны и ионы
Вакуум	Электроны, вылетевшие в результате эмиссии с поверхности металла
Полупроводники	Электроны и дырки

МЕТАЛЛЫ

При образовании кристаллической решетки **валентные электроны** каждого атома "обобществляются", т.е. могут **свободно перемещаться** в пределах данного кристаллического тела. Сопротивление металлов обусловлено дефектами решетки и тепловыми колебаниями ионов (поэтому оно растет при нагревании). У ряда металлов и сплавов при охлаждении ниже некоторой критической температуры возникает **сверхпроводимость**: сопротивление становится равным нулю.

ЭЛЕКТРОЛИТЫ

В растворах солей, щелочей, кислот постоянно происходит распад молекул на ионы (**электролитическая диссоциация**). При сближении положительных и отрицательных ионов может происходить обратный процесс (**рекомбинация**). Между этими процессами устанавливается динамическое равновесие при определенной степени диссоциации. Количество образовавшихся ионов при нагревании увеличивается, вследствие чего сопротивление электролита уменьшается.



Прохождение тока сопровождается **электролизом** — выделением на электродах веществ, входящих в состав электролита. Если масса и заряд иона m_0 и q_0 , а через электролит проходит заряд $q = It$, то

$$\frac{m}{q} = \frac{m_0}{q_0},$$

где m — масса вещества, выделившегося на электроде.

Закон Фарадея. Поскольку $m_0 = \frac{M}{N_A}$; $q_0 = ne$, получаем

$$m = \frac{1}{eN_A} \frac{M}{n} I \cdot t = k \cdot I \cdot t.$$

Здесь M — молярная масса, n — валентность, e — элементарный заряд,

N_A — постоянная Авогадро, $k = \frac{1}{eN_A} \frac{M}{n}$ — **электрохимический эквивалент** вещества.

ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И ЭЛЕКТРОЛИТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где ρ_0 — удельное сопротивление при 0°C ,

t — температура по шкале Цельсия,

α — температурный коэффициент сопротивления (относительное изменение сопротивления проводника при нагревании его на один градус). $[\alpha] = (^\circ\text{C})^{-1} = \text{K}^{-1}$.

Для металлов $\alpha > 0$ (сопротивление при нагревании увеличивается),

для электролитов $\alpha < 0$ (сопротивление при нагревании уменьшается).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

Газы в нормальных условиях — диэлектрики.

Носители электрического тока в газах возникают только в результате ионизации.



Внешние ионизаторы (ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоактивное излучения, сильный нагрев) вызывают **несамостоятельный газовый разряд**.

Его вольт-амперная характеристика соответствует участкам I и II на графике $I(U)$; участок II соответствует **насыщению**, при котором все возникающие в газе заряженные частицы достигают электродов.

Участок III соответствует **самостоятельному газовому разряду** (этот разряд продолжается и после прекращения действия ионизатора).

Ионизация при самостоятельном разряде осуществляется электронным ударом. Она

возможна при условии $\frac{mv^2}{2} \geq A_i$ (m, v — масса и скорость электрона, A_i — работа

ионизации), поэтому газовый разряд возникает только при достаточно большой напряженности поля и/или температуре: необходимо, чтобы электроны имели достаточно большие скорости.

ТИПЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

тлеющий ($p \sim 0,01 \div 1$ мм рт.ст., применяется в газосветных трубках и газовых лазерах)

коронный (в сильно неоднородном электрическом поле у заряженного острия, провода ЛЭП)

искровой (молния, пробой диэлектрика)

дуговой (испускание электронов с поверхности раскаленного катода; применяется в прожекторах, проекционных лампах, для электросварки)

ПЛАЗМА

Представляет собой частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы (т.е. электрически нейтральный). Плазму называют четвертым состоянием вещества (наряду с твердым, жидким и газообразным).

Плазма с температурой до 10^5 К считается холодной (газоразрядная плазма, ионосфера, межзвездная среда), плазма с температурой 10^6 К и выше – горячей (звезды).

Каждая заряженная частица в плазме взаимодействует с большим количеством других заряженных частиц, потому что кулоновские силы медленно убывают с увеличением расстояния. По этой причине плазма очень чувствительна к действию электрического и магнитного полей.

Носителями электрического заряда в плазме являются электроны и ионы.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ

Вакуумом называют очень разреженный газ, молекулы которого сталкиваются друг с другом реже, чем со стенками сосуда.

Носители тока в вакууме — электроны, вылетевшие вследствие эмиссии (испускания) с поверхности электродов.

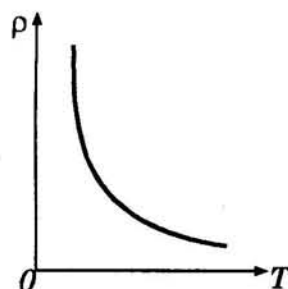
Термоэлектронная эмиссия — испускание электронов с поверхности нагретых тел.

Вторичная электронная эмиссия — испускание электронов с поверхности тел, бомбардируемых заряженными частицами.

ПОЛУПРОВОДНИКИ

Величина удельного сопротивления является промежуточной между величинами, характерными для металлов и хороших диэлектриков.

Удельное сопротивление полупроводников очень быстро убывает с повышением температуры.



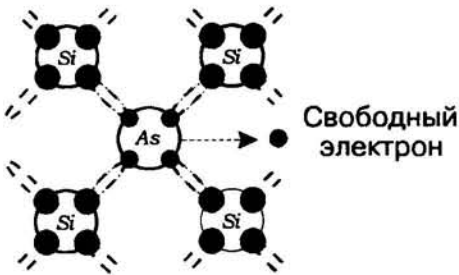
Типичными полупроводниками являются, например, Ge и Si (элементы IV группы периодической системы).

Проводимость, возникающая в результате разрыва ковалентных связей в чистом полупроводнике, называется **собственной**. Ее можно создать не только нагреванием, но и освещением. Однако значительно более широкое применение находит **примесная** проводимость полупроводников (см. следующий раздел).

ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Обусловлена наличием в полупроводнике малого количества примесей.

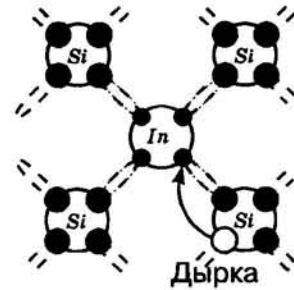
ПОЛУПРОВОДНИК *n*-ТИПА



Если валентность примесных атомов, замещающих основные атомы, больше, чем у основных, появляются свободные электроны.

Пример:
5-валентные атомы As в кристалле Si.

ПОЛУПРОВОДНИК *p*-ТИПА



Если валентность примесных атомов меньше, чем у основных, появляются "дырки", которые движутся под действием электрического поля как положительно заряженные частицы.

Пример:
3-валентные атомы In в кристалле Si.

Примесная проводимость, как правило, намного превышает собственную. Поэтому электрические свойства полупроводников определяются характером и количеством примесей.

ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД (*p-n* переход)

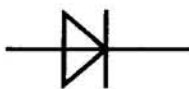
Представляет собой контакт между полупроводниками "*p*" и "*n*"-типа.

В результате встречной диффузии электронов и дырок у *p-n* перехода образуется запирающий электрический слой, поле которого препятствует дальнейшему переходу электронов и дырок через границу. Запирающий слой обеднен свободными носителями заряда и поэтому имеет повышенное сопротивление. Если внешнее электрическое поле направлено от полупроводника *p*-типа к полупроводнику *n*-типа (ток идет в прямом направлении), сопротивление запирающего слоя резко уменьшается; при противоположном направлении тока сопротивление резко возрастает.

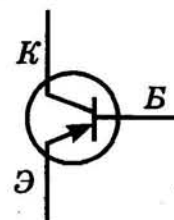
Поэтому **полупроводниковый диод**, содержащий один *p-n* переход, практически представляет собой элемент с **односторонней проводимостью**.

Полупроводниковый прибор, содержащий два *p-n* перехода, называют **транзистором**. Этот прибор, позволяющий усиливать слабые электрические сигналы, является основным элементом электронных схем.

Обозначения на электрических схемах



Полупроводниковый диод
(прямое направление – слева направо)

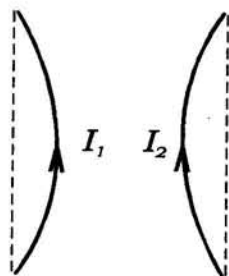


Транзистор *p-n-p* типа
(Э – эмиттер, Б – база, К – коллектор)

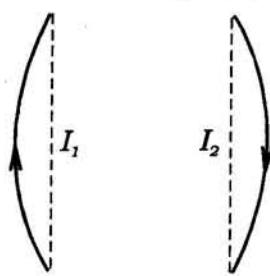
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Вид материи, основной особенностью которого является **силовое действие на движущиеся заряженные частицы.**

Между движущимися зарядами (а, следовательно, и между проводниками с током) существует магнитное взаимодействие, которое передается через магнитное поле.



Параллельные токи притягиваются

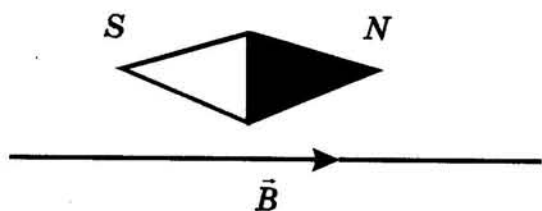


"Антипараллельные" токи отталкиваются.

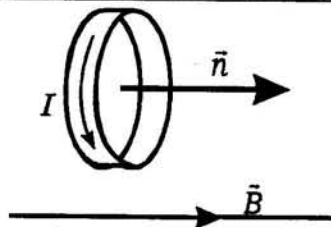
Магнитное поле обнаруживается также по действию на постоянные магниты, в частности, магнитные стрелки. На магнитную стрелку и рамку с током магнитное поле оказывает **ориентирующее действие.**

Магнитное поле порождается движущимися заряженными частицами (электрическим током), постоянными магнитами, а также изменяющимся электрическим полем.

Силовой характеристикой магнитного поля является **вектор магнитной индукции \vec{B} .**

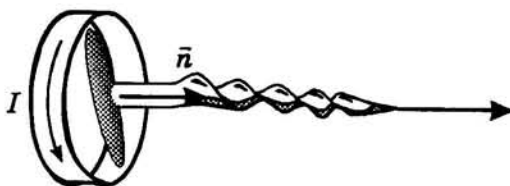


Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением оси магнитной стрелки в поле (от южного полюса к северному).



Направление вектора магнитной индукции совпадает также с направлением вектора положительной нормали к свободно подвешенной рамке с током.

Направление вектора положительной нормали \vec{n} определяется с помощью **правила буравчика**: если рукоятку буравчика с **правой резьбой** вращать по направлению тока в рамке, то направление вектора \vec{n} совпадает с направлением движения острия буравчика.



СИЛА АМПЕРА

Сила \vec{F}_A , действующая со стороны магнитного поля на участок проводника с током (сила Ампера), пропорциональна силе тока I , длине участка Δl и $\sin \alpha$,

где α — угол между вектором \vec{B} и направлением проводника.

Максимальное значение силы F_{\max} достигается при $\alpha = 90^\circ$.

Отношение $\frac{F_{\max}}{I \cdot \Delta l}$ является характеристикой магнитного поля в месте расположения проводника; это отношение называют модулем вектора магнитной индукции:

$$B = \frac{F_{\max}}{I \cdot \Delta l}; [B] = \text{Тл} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$$

Величина силы Ампера $F_A = I \cdot \Delta l \cdot B \cdot \sin \alpha$.

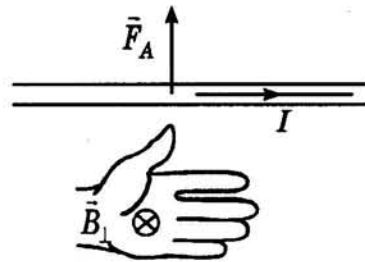
Вектор \vec{F}_A перпендикулярен к проводнику с током и к вектору \vec{B} .

Направление \vec{F}_A определяется по **правилу**

левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы перпендикулярная к

проводнику составляющая \vec{B}_\perp вектора магнитной индукции входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали бы направление тока,

то отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Ампера \vec{F}_A .



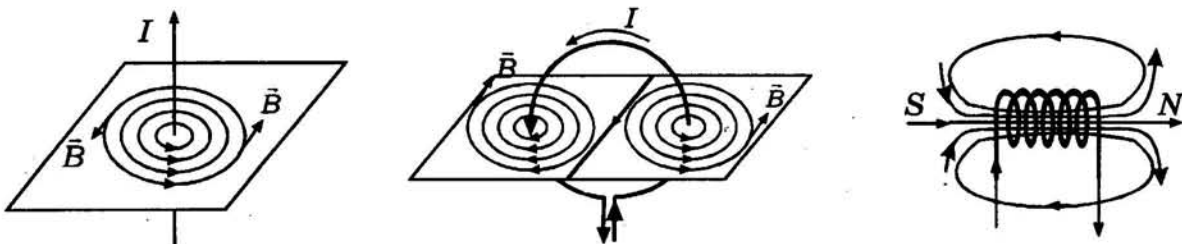
ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Графически магнитное поле можно изобразить с помощью линий магнитной индукции, т.е.

линий, касательные к которым направлены так же, как и вектор \vec{B} в данной точке поля.

Линии магнитной индукции всегда замкнутые (в отличие от силовых линий электростатического поля), т.е. магнитное поле является **вихревым**.

ПРИМЕРЫ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ



Во всех случаях направление вектора \vec{B} связано с направлением электрического тока правилом буравчика.

СИЛА ЛОРЕНЦА

На частицу с зарядом q , движущуюся со скоростью \vec{v} в магнитном поле с индукцией \vec{B} , действует сила Лоренца. Величина этой силы определяется соотношением

$$F_{\text{Л}} = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где α — угол между векторами \vec{B} и \vec{v} .

Сила Лоренца перпендикулярна обоим этим векторам.

Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки.

Для положительного заряда следует четыре вытянутых пальца направить вдоль \vec{v} , для отрицательного заряда — противоположно \vec{v} .

Поскольку сила Лоренца направлена перпендикулярно скорости, она не совершает работы, и поэтому модуль скорости заряженной частицы под действием $\vec{F}_{\text{Л}}$ не изменяется.

ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

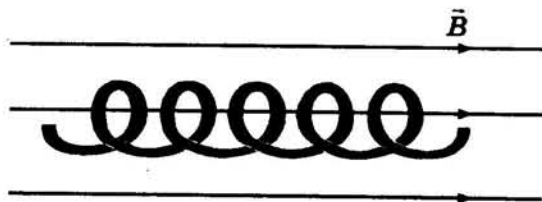
Если частица влетает в область однородного магнитного поля, причем $\vec{v} \perp \vec{B}$, она движется по окружности радиуса $R = \frac{mv}{|q|B}$, поскольку сила Лоренца $F_{\text{Л}} = \frac{mv^2}{R}$ играет роль центростремительной силы.

По величине R (т.е. по искривлению траектории частицы в магнитном поле) в масс-спектрометрах определяют удельный заряд частицы $\frac{q}{m}$.

Период обращения $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$ не зависит от скорости частицы

(это справедливо только при $v \ll c$).

Если угол между \vec{v} и \vec{B} не равен 0° и 90° , частица в однородном магнитном поле движется по винтовой линии. Если $\vec{v} \parallel \vec{B}$, частица в магнитном поле движется по прямой линии ($\vec{F}_{\text{Л}} = 0$).



Траектория движения заряженной частицы в однородном магнитном поле.

В кинескопах телевизоров электроны на пути к экрану отклоняет сила Лоренца, поскольку управление электронным пучком осуществляется с помощью магнитных катушек.

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

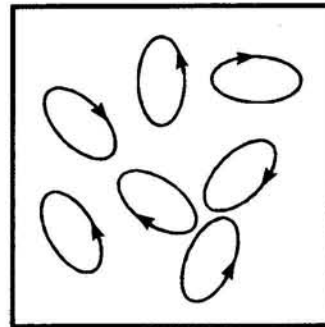
Вектор магнитной индукции в веществе изменяется по величине: $\vec{B} = \mu \vec{B}_0$, где \vec{B}_0 – вектор магнитной индукции **внешнего** поля (т.е. поля, создаваемого теми же самыми токами в вакууме), μ – магнитная проницаемость вещества.

Отличие \vec{B} от \vec{B}_0 обусловлено тем, что в веществе возникает "собственное" магнитное поле, которое векторно складывается с внешним полем \vec{B}_0 .

Если в результате поле усиливается, $\mu > 1$; если ослабляется, $\mu < 1$.

Гипотеза Ампера: магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами внутри вещества.

Если направления этих токов неупорядочены, порождаемые ими магнитные поля компенсируют друг друга, т.е. тело не намагничено. Во внешнем магнитном поле происходит упорядочение этих токов, вследствие чего в веществе и возникает "собственное" магнитное поле (вещество намагничивается).



КЛАССИФИКАЦИЯ ВЕЩЕСТВ ПО ИХ МАГНИТНЫМ СВОЙСТВАМ

<p>Диамагнетики ($\mu < 1$)</p> <p>Парамагнетики ($\mu > 1$)</p>	}	<p>Слабромагнитные вещества</p> <p>($\mu - 1 \ll 1$); $\mu = \text{const}$;</p>
--	---	---

Ферромагнетики ($\mu \gg 1$) — сильномагнитные вещества;
в этих веществах μ зависит от B_0 .

ПРИРОДА МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ТОКОВ

1. Орбитальное движение электронов в атомах.

2. Наличие у электрона собственного магнитного момента, имеющего квантовую природу.

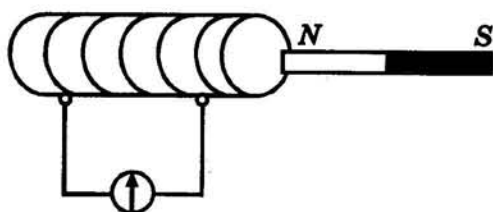
В слабромагнитных веществах "собственные" поля создают лишь орбитальные токи (магнитные моменты различных электронов в атомах компенсируют друг друга).

Ферромагнетизм проявляется у небольшой группы твердых кристаллических тел (Fe, Ni, Co и др., а также ряда сплавов). Он обусловлен нескомпенсированными магнитными моментами электронов в атоме. Ферромагнетики могут оставаться намагниченными длительное время после исчезновения внешнего магнитного поля. Это позволяет использовать их как постоянные магниты, магнитные стрелки, носители информации (магнитная лента, диск).

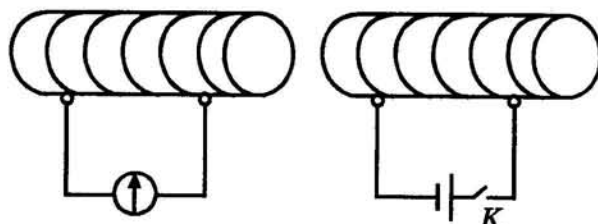
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Магнитное поле может порождать в замкнутом контуре электрический ток. Это явление называют электромагнитной индукцией, а возникающий ток – индукционным.

УПРОЩЕННАЯ СХЕМА ОПЫТОВ ПО НАБЛЮДЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ



Индукционный ток возникает, если двигать катушку или магнит так, чтобы менялось число линий магнитной индукции, пронизывающих замкнутый контур.

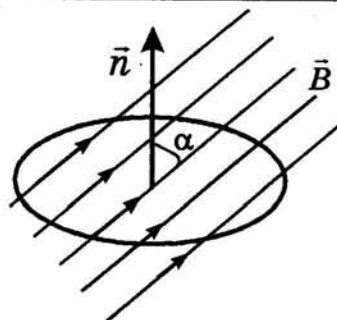


Магнит можно заменить катушкой, подключенной к источнику тока. Индукционный ток в левой катушке возникает при включении и выключении тока в правой катушке.

Магнитный поток (поток магнитной индукции) Φ через площадку площадью S определяется формулой

$$\Phi = B_n S = BS \cos \alpha.$$

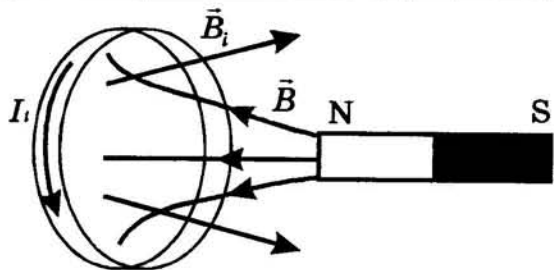
Здесь B_n – проекция вектора \vec{B} на нормаль \vec{n} к плоскости площадки, α – угол между \vec{B} и \vec{n} . $[\Phi] = \text{Вб} = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{В} \cdot \text{с}$. Величина Φ пропорциональна числу линий магнитной индукции, пронизывающих контур.



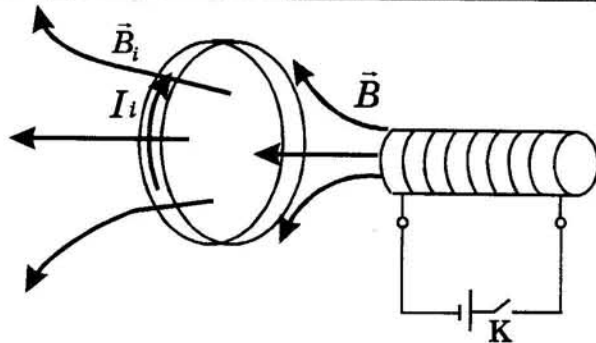
Вывод из опытов: индукционный ток в замкнутом контуре возникает при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.

ПРАВИЛО ЛЕНЦА

Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению внешнего магнитного потока, которым вызван этот ток. Другое направление индукционного тока противоречило бы закону сохранения энергии.



Магнит приближают к кольцу ($\Delta\Phi > 0$)



Ключ К размыкают ($\Delta\Phi < 0$)

На рисунках \vec{B}_i – магнитная индукция поля индукционного тока I_i (направление \vec{B}_i и направление индукционного тока связаны согласно правилу буравчика).

ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

ЭДС индукции \mathcal{E}_i в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

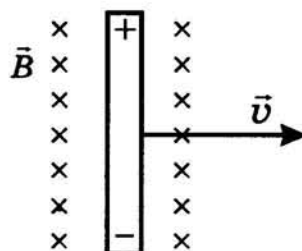
(знак минус связан с правилом Ленца).

Индукционный ток вычисляется по формуле $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$, где R – сопротивление контура.

В частности, при поступательном движении со скоростью \vec{v} проводника длины l в однородном магнитном поле в этом проводнике возникает ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_i = Blv \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами \vec{B} и \vec{v} (на рисунке показан случай $\alpha = 90^\circ$).



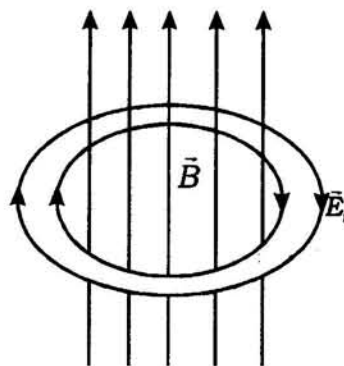
При **движении проводника** в постоянном магнитном поле разделение зарядов обусловлено действием силы Лоренца на свободные заряженные частицы.

ВИХРЕВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

В **неподвижных проводниках** возникновение индукционного тока обусловлено тем, что изменяющееся магнитное поле порождает **вихревое электрическое поле**.

Силовые линии вихревого электрического поля замкнуты. Поэтому такое поле вызывает индукционный ток в замкнутом контуре.

Вихревое электрическое поле, в отличие от кулоновского (электростатического), **не является потенциальным**.



На рисунке показан случай $\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$

Вихревое электрическое поле может вызвать индукционные токи и в сплошных проводниках. Такие токи называются **вихревыми** или **токами Фуко**. Переменные вихревые токи высокой частоты применяются в индукционных печах.

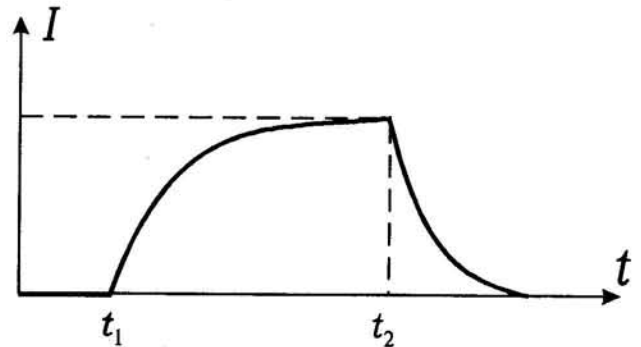
САМОИНДУКЦИЯ

Изменение тока в цепи приводит к изменению магнитного поля. Изменяющееся магнитное поле приводит к появлению вихревого электрического поля, вследствие чего появляется ЭДС индукции в той же самой цепи.

Это явление называют **самоиндукцией**, а ЭДС называют **ЭДС самоиндукции** \mathcal{E}_{is} .

Согласно правилу Ленца \mathcal{E}_{is} противодействует изменению тока I в цепи, вследствие чего величина I не может изменяться мгновенно (механический аналог – инертность).

В цепях постоянного тока самоиндукция возникает только при замыкании цепи (момент t_1 на рисунке) и ее размыкании (момент t_2 на рисунке).



ИНДУКТИВНОСТЬ

Пронизывающий контур магнитный поток Φ пропорционален силе тока I , т.е. $\Phi = LI$.

Величина L называется **индуктивностью** и является характеристикой контура; она зависит от его размеров и формы, а также от магнитной проницаемости среды.

Согласно закону электромагнитной индукции

$$\mathcal{E}_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Величина L численно равна \mathcal{E}_{is} при изменении силы тока на 1А за 1с.

$$[L] = \text{Гн} = \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{Ом} \cdot \text{с}$$

Индуктивность контура является мерой его "инертности" по отношению к изменению силы тока в контуре (т.е. L является аналогом инертной массы в механике).

ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКА

Для создания тока в контуре необходимо совершить работу по преодолению ЭДС самоиндукции, т.е. затратить некоторую энергию. Эта энергия "запасается" в магнитном поле контура с током. Она выделяется после размыкания цепи (обнаруживая себя, например, по возникающей искре).

$$\text{Энергия магнитного поля тока } W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

КОЛЕБАНИЯ

Колебание - процесс, при котором происходит **периодическое** (или почти периодическое) изменение физических величин.

Например, при механических колебаниях периодически изменяются координата, скорость, ускорение, при электромагнитных — напряжение и сила тока.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАНИЙ

Амплитуда — модуль максимального отклонения физической величины от ее среднего (равновесного) значения. Амплитуда обозначается обычно латинской буквой с индексом "М", например, x_M ; I_M и т.п.

Частота ν - число колебаний в единицу времени. $[\nu] = \text{Гц} = \text{с}^{-1}$.

Период T — время одного полного колебания, т.е. минимальный промежуток времени, через который происходит повторение процесса. Период и частота связаны соотношением

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

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Так называют колебания, происходящие по закону синуса или косинуса.

Уравнение гармонических колебаний

$$x = x_M \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где

x — величина смещения от положения равновесия,

x_M — амплитуда,

ω — циклическая частота, связанная с частотой ν соотношением $\omega = 2\pi\nu$,

$\varphi = \omega t + \varphi_0$ — фаза колебания,

φ_0 — начальная фаза колебания,

t — время.

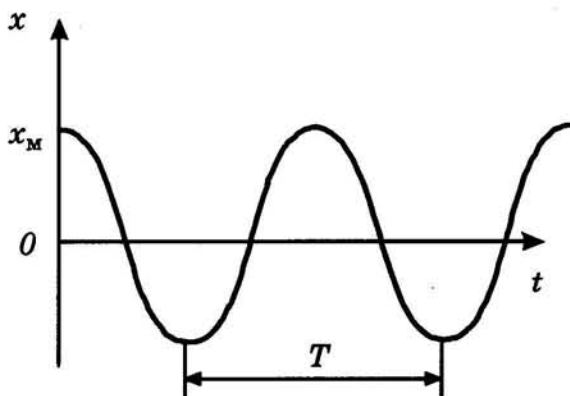


График гармонических колебаний

Если процесс описывается уравнением $x'' = -\omega^2 x$, то он представляет собой гармоническое колебание с циклической частотой ω .

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Свободными называются колебания, происходящие под действием **внутренних сил** в системе.

При отклонениях системы от положения устойчивого равновесия возникает **возвращающая сила**. В результате система возвращается в положение равновесия. Затем она по инерции проходит положение равновесия и отклоняется в противоположную сторону — таким образом, возникают колебания. В отсутствие сопротивления движению (трения) колебания были бы незатухающими.

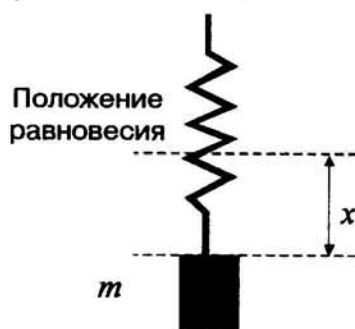
Свободные колебания в реальных системах — всегда затухающие.

Малые колебания, как правило, являются гармоническими.

Период этих колебаний не зависит от их амплитуды.

ПРИМЕРЫ СВОБОДНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

КОЛЕБАНИЯ ГРУЗА НА ПРУЖИНЕ

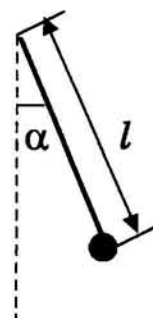


Для пружинного маятника

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

где m — масса груза, k — жесткость пружины.

КОЛЕБАНИЯ ГРУЗА НА НИТИ



Для математического маятника (материальная точка на невесомой нерастяжимой нити)

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

ЭНЕРГИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Прямо пропорциональна квадрату амплитуды.

Например, энергия колебаний пружинного маятника $W = \frac{kx_M^2}{2}$.

При колебаниях происходят превращения кинетической энергии W_k в потенциальную W_p и обратно.

В отсутствие сил трения $W_k + W_p = \text{const}$. Следовательно, $\frac{kx_M^2}{2} = \frac{mv_M^2}{2}$.

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Происходят под действием **периодически изменяющейся внешней силы**. Частота вынужденных колебаний равна частоте изменения внешней силы.

РЕЗОНАНС

Если частота ν внешней силы совпадает с частотой ν_0 свободных колебаний системы, **амплитуда колебаний резко возрастает**.

Это может, например, приводить к разрушению конструкций. Амплитуда установившихся колебаний в режиме резонанса тем больше, чем меньше силы трения в колебательной системе.

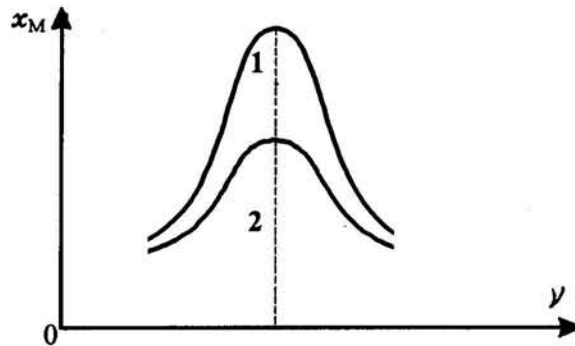


График зависимости амплитуды x_M вынужденных колебаний от частоты ν внешней силы.

1 — малая сила трения; 2 — большая сила трения.

АВТОКОЛЕБАНИЯ

Так называются колебания, поддерживаемые за счет **внутренних источников энергии** системы при отсутствии внешней переменной силы.

Пример автоколебательной системы — механические часы.

Автоколебательная система состоит из следующих основных элементов:

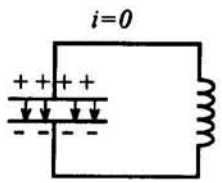


ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

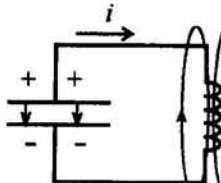
Свободные электромагнитные колебания происходят в **колебательном контуре**.

Период $T = 2\pi\sqrt{LC}$ (формула Томсона)

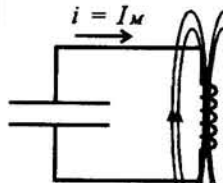
При замыкании обкладок заряженного конденсатора через катушку в цепи возникает ток.



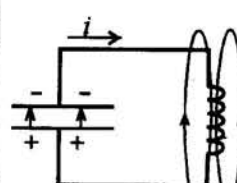
Вследствие явления самоиндукции сила тока нарастает постепенно.



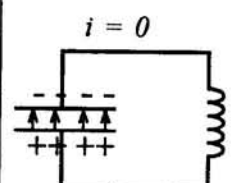
К моменту полной разрядки конденсатора сила тока достигает максимальной величины.



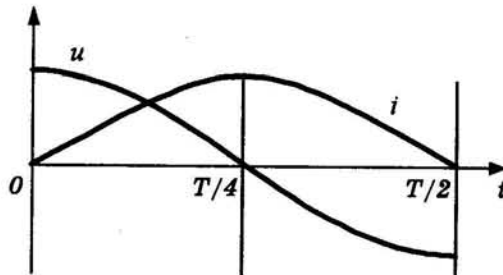
После этого сила тока начинает постепенно убывать, однако ток продолжает идти в ту же сторону, перезаряжая конденсатор.



Состояние колебательного контура через половину периода.



Зависимость силы тока i через катушку и напряжения u на конденсаторе от времени в течение половины периода

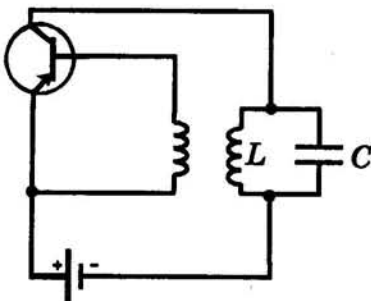


В колебательном контуре происходят **периодические превращения энергии** электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности и обратно. При отсутствии потерь на нагревание и излучение

энергия в контуре сохраняется, поэтому $\frac{CU_M^2}{2} = \frac{LI_M^2}{2}$.

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Как и все свободные колебания, колебания в реальном контуре являются затухающими.



Для создания **незатухающих** колебаний используется генератор электромагнитных колебаний, являющийся **автоколебательной системой**.

Транзистор работает как устройство, регулирующее поступление энергии от источника, а **обратной связью** является индуктивная связь катушки колебательного контура с катушкой в цепи эмиттер — база транзистора.

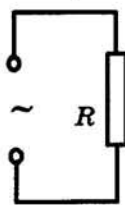
ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Представляет собой **вынужденные электрические колебания**. Переменный ток низкой частоты получают с помощью индукционного генератора (простейший индукционный генератор — рамка, вращающаяся в однородном магнитном поле), переменный ток высокой частоты — с помощью генератора на транзисторе.

Действующим значением силы тока называется сила постоянного тока, выделяющего в проводнике такое же **количество теплоты**, как и переменный ток за то же время. Аналогично определяется и действующее значение напряжения. Соотношения между

действующими значениями и амплитудными: $I = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$, $U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$.

АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

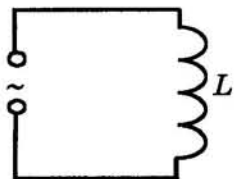


$$I_M = \frac{U_M}{R}, \quad I = \frac{U}{R}$$

Колебания напряжения и силы тока **совпадают по фазе**.

Если $u = U_M \cos \omega t$, то $i = I_M \cos \omega t$.
Мощность переменного тока (средняя за период), выделяющаяся на активном сопротивлении, $P = \frac{1}{2} I_M U_M = IU = I^2 R$.

ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



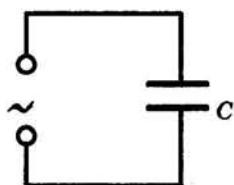
$$I_M = \frac{U_M}{X_L}, \quad I = \frac{U}{X_L}$$

Колебания напряжения опережают по фазе колебания силы тока на четверть периода.

Если $i = I_M \cos \omega t$, то
 $u = U_M \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) = -U_M \sin \omega t$.

Величина $X_L = \omega L$ называется **индуктивным сопротивлением**.

ЕМКОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



$$I_M = \frac{U_M}{X_C}, \quad I = \frac{U}{X_C}$$

Величина $X_C = \frac{1}{\omega C}$ называется **емкостным сопротивлением**.

Колебания напряжения отстают по фазе от колебаний силы тока на четверть периода.

Если $i = I_M \cos \omega t$, то
 $u = U_M \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = U_M \sin \omega t$.

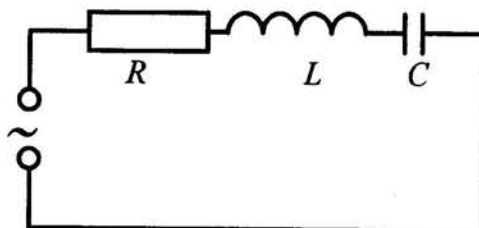
Для индуктивности и емкости в цепи переменного тока $P = 0$ (энергия периодически запасается в электрической цепи и возвращается в источник тока).

РЕЗОНАНС В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

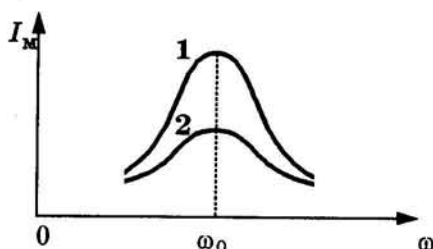
Резкое увеличение силы тока.

Возникает, когда индуктивное сопротивление равно по величине

емкостному: $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, откуда $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.



При этом период колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$, т.е. совпадает с частотой свободных колебаний в контуре.



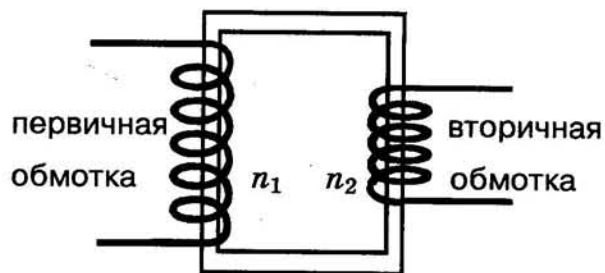
Графики зависимости амплитуды I_M переменного тока от частоты ω


$$(R_1 < R_2)$$

Явление резонанса используется, например, в радиосвязи для настройки на частоту передающей станции.

ТРАНСФОРМАТОР

Устройство для преобразования напряжения переменного тока. Представляет собой две катушки (обмотки) на общем ферромагнитном сердечнике (обычно замкнутом). Сердечник концентрирует магнитное поле, так что все витки первичной и вторичной обмоток пронизываются практически одинаковым переменным магнитным потоком. В результате в каждой витке наводится одинаковая ЭДС индукции. Повышающий трансформатор увеличивает напряжение, понижающий — уменьшает.



Обозначение на схемах: 

Отношение напряжений на обмотках приблизительно равно отношению числа

$$\text{витков в этих обмотках: } \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Это отношение обозначается K и называется коэффициентом трансформации. При $K > 1$ трансформатор понижающий, при $K < 1$ — повышающий.

Трансформаторы используются для повышения напряжения с целью передачи электроэнергии по линиям электропередачи, а также для понижения напряжения при распределении электроэнергии потребителям. Такое преобразование напряжения необходимо для уменьшения потерь в линиях электропередачи: поскольку эти потери прямо пропорциональны квадрату силы тока, следует уменьшить силу тока, а для этого необходимо (при сохранении той же мощности) увеличить напряжение.

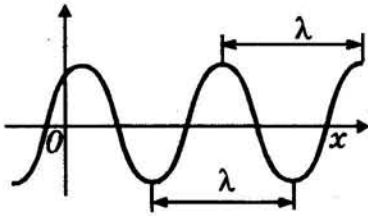
ВОЛНЫ

Распространение колебаний в пространстве с течением времени.

Примеры волн: механические и электромагнитные.

Принцип суперпозиции: волны от нескольких источников распространяются независимо друг от друга.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН



Частота ν

Период T

Скорость волны v —

скорость перемещения точки, в которой колебание имеет определенную фазу (например, скорость перемещения "гребня" или "впадины").

Длина волны λ — расстояние между ближайшими точками на одном луче, колебания в которых происходят в одинаковой фазе (например, расстояние между соседними максимумами)

Соотношение между этими величинами:

$$\lambda = vT, \quad v = \lambda\nu.$$

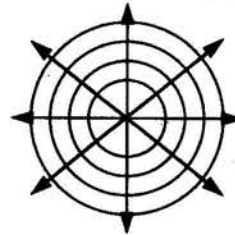
Волновая поверхность (волновой фронт) —
поверхность, все точки на которой колеблются в одинаковой фазе.

Луч — линия, перпендикулярная волновой поверхности.
Эта линия показывает направление распространения волны.

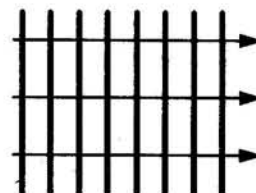
СФЕРИЧЕСКИЕ И ПЛОСКИЕ ВОЛНЫ

1. Сферические волны. Волновые поверхности имеют форму концентрических сфер. Такие волны распространяются в однородной среде от точечного источника.

На поверхности жидкости возникают круговые волны.



2. Плоские волны. Волновые поверхности имеют форму параллельных плоскостей (или прямых, если волна распространяется по поверхности).



При достаточно большом удалении от источника любую волну в ограниченном объеме пространства можно приближенно рассматривать как плоскую.

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ ВОЛН

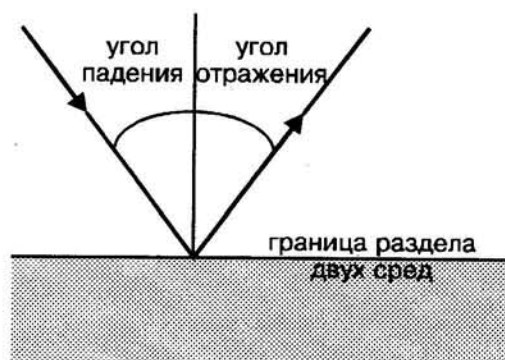
Происходит на границе раздела двух сред.

Законы отражения и преломления волн можно вывести из **принципа Гюйгенса**, согласно которому **каждая точка любой волновой поверхности является источником вторичных волн**.

Поверхность, касательная ко всем этим вторичным волнам, тоже является волновой поверхностью в один из последующих моментов времени.



ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ



1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к границе раздела лежат в одной плоскости.
2. Угол отражения равен углу падения (углы отсчитываются от перпендикуляра к границе раздела сред).

ЗАКОНЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ



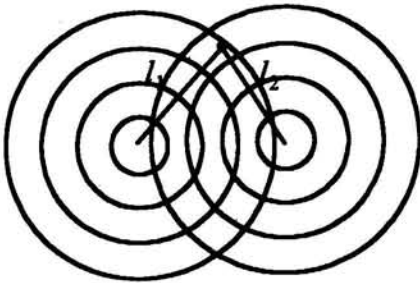
1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела сред лежат в одной плоскости.
2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред. Она называется **относительным показателем преломления** этих сред и равна отношению скоростей распространения волн в этих средах:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}.$$

Проявлением преломления является **рефракция** — искривление лучей при прохождении волны через неоднородную среду (например, солнечных лучей через атмосферу Земли).

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ И ДИФРАКЦИЯ ВОЛН

Интерференция представляет собой явление увеличения или уменьшения амплитуды результирующей волны в результате сложения двух или нескольких волн с одинаковыми периодами колебаний.



Условие интерференционного максимума для волн от двух точечных источников, разность фаз которых равна нулю:

$$\Delta l = k\lambda,$$

то есть разность хода волн Δl равна целому числу длин волн (или, что то же самое, **четному** числу полуволен).

Условие интерференционного минимума:

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

то есть разность хода волн равна **нечетному** числу полуволен.

Разностью хода волн называется величина

$$\Delta l = |l_1 - l_2|$$

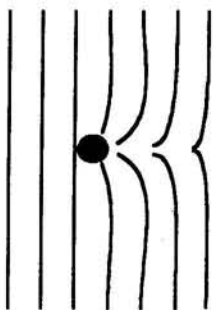
Необходимое условие интерференции — **когерентность** двух источников: они должны испускать волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз.

Дифракция представляет собой отклонение от прямолинейного распространения волн, огибание препятствий.

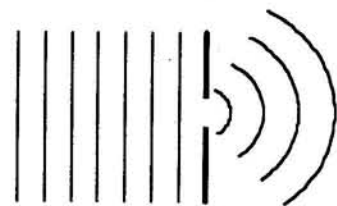
Дифракция проявляется, если размеры препятствий достаточно малы (сравнимы с длиной волны).

Согласно принципу Гюйгенса-Френеля, дифракция обусловлена интерференцией вторичных волн.

**ДИФРАКЦИЯ
НА МАЛОМ ПРЕПЯТСТВИИ**



**ДИФРАКЦИЯ
НА МАЛОМ ОТВЕРСТИИ**



МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ. ЗВУК

При распространении механических волн происходят колебания частиц среды. Если эти колебания происходят **вдоль** направления распространения волны, волна является **продольной**, если **перпендикулярно** — **поперечной**.

Продольные волны могут распространяться в газах, жидкостях, твердых телах, поперечные — в твердых телах.

Важным примером механических волн являются **звуковые волны**. Человеческое ухо воспринимает звук с частотой от 20 Гц до 20 000 Гц. Высота звука определяется его частотой, громкость — амплитудой и частотой звуковых колебаний (наиболее громким при данной амплитуде является звук с частотой 3,5 кГц).

Звуковые волны с частотой ниже 20 Гц называются **инфразвуком**, а с частотой выше 20 000 Гц — **ультразвуком**.

Скорость звука в воздухе около 330 м/с, в воде 1500 м/с, в стали — около 6000 м/с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Представляют собой **колебания электромагнитного поля**, распространяющиеся в пространстве со скоростью света.

Электромагнитные волны **излучаются ускоренно движущимися электрическими зарядами** (в частности, колеблющимися): переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле, а переменное магнитное поле, в свою очередь, порождает переменное вихревое электрическое поле.

Электромагнитная волна является **поперечной**: направления \vec{E} и \vec{B} перпендикулярны направлению распространения волны; кроме того $\vec{E} \perp \vec{B}$.

ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t},$$

где ΔW — электромагнитная энергия, проходящая за время Δt через поверхность площадью S , расположенную перпендикулярно лучам.

$$\text{Измеряется в } \frac{\text{В} \cdot \text{т}}{\text{м}^2}.$$

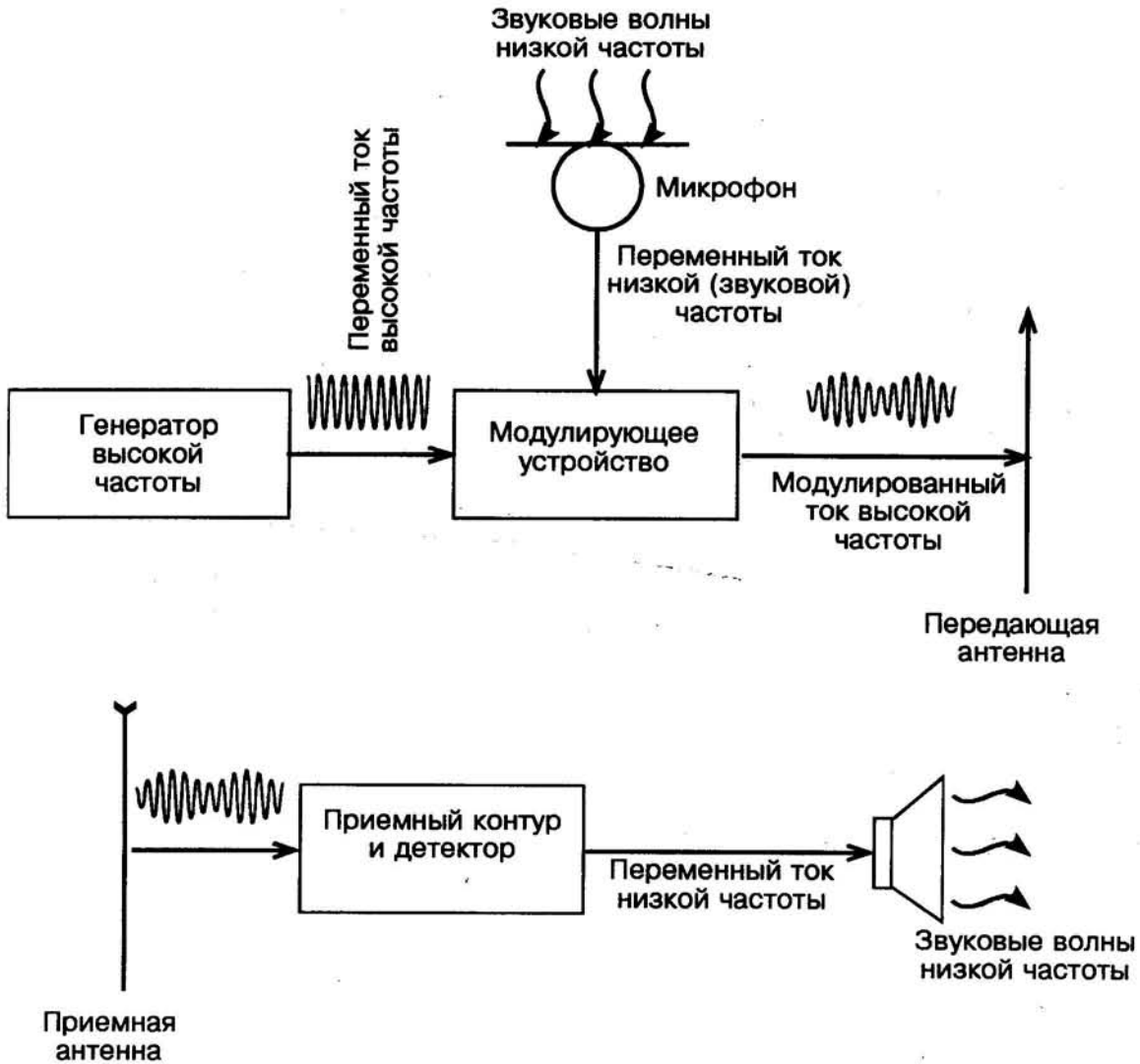
Величина I связана с плотностью энергии w соотношением: $I = wc$, где c — скорость распространения электромагнитных волн (скорость света).

Для точечного источника $I \sim \frac{1}{R^2}$, где R — расстояние до источника.

Зависимость от частоты излучения выражается соотношением: $I \sim \omega^4$.

Пример: при увеличении расстояния в 10 раз плотность потока излучения уменьшается в 100 раз; при увеличении частоты излучения в 10 раз плотность потока излучения увеличивается в 10 000 раз.

ПРИНЦИПЫ РАДИОСВЯЗИ (СХЕМА)



(на схеме не показаны усилители в цепях передатчика и приемника)

СХЕМА УСТРОЙСТВА ДЛЯ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Основой устройства является генератор электромагнитных колебаний, в котором последовательно с источником тока подключена вторичная обмотка трансформатора. По первичной обмотке этого трансформатора протекает переменный ток звуковой частоты (эта обмотка через усилитель подключена к микрофону).

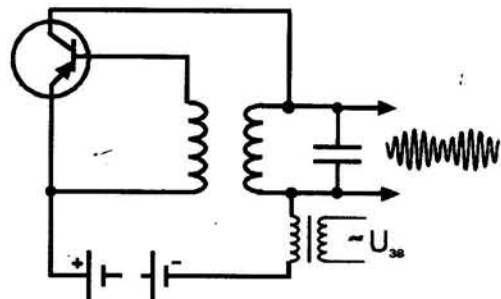
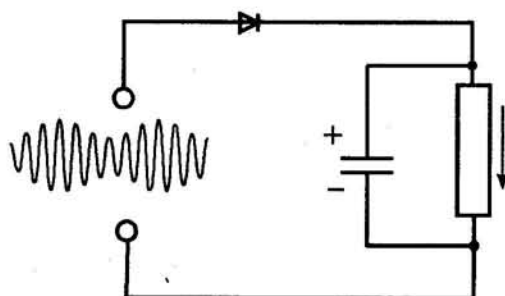


СХЕМА ДЕТЕКТОРА, ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО МОДУЛИРОВАННЫЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАНИЯ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ



НАЗНАЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЕЙ ДЕТЕКТОРА

Диод выпрямляет ток.



Фильтр сглаживает пульсации.

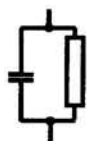
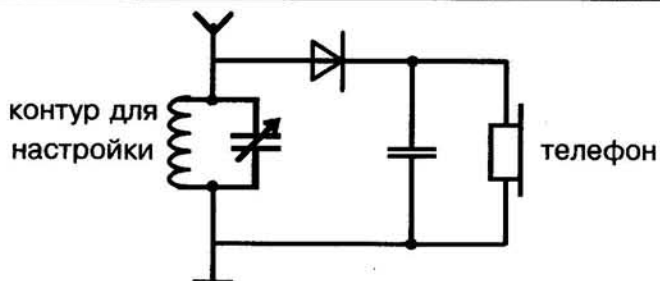


Схема простейшего (детекторного) радиоприемника, работающего на энергии приходящей электромагнитной волны



РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Длинные и средние волны ($\lambda > 100$ м) распространяются на большие расстояния, поскольку способны огибать выпуклую поверхность Земли за счет дифракции и рефракции.

Короткие волны ($10\text{ м} < \lambda < 100$ м) тоже позволяют осуществлять радиосвязь между удаленными точками земного шара благодаря многократному отражению от ионосферы и от поверхности Земли.

Ультракороткие волны ($\lambda < 10$ м) обеспечивают радиосвязь только в пределах прямой видимости, поскольку они не отражаются от ионосферы, а проходят сквозь нее. Телевещание возможно только в этом частотном диапазоне, поэтому раньше приходилось строить многочисленные телевизионные ретрансляторы на расстоянии прямой видимости один от другого. Ультракороткие волны способны обеспечивать связь через искусственные спутники Земли, а также связь с космическими кораблями. Сейчас спутники-ретрансляторы широко применяются для связи и телевидения.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Условие применимости геометрической оптики: длина волны света пренебрежимо мала по сравнению с характерными размерами препятствий.

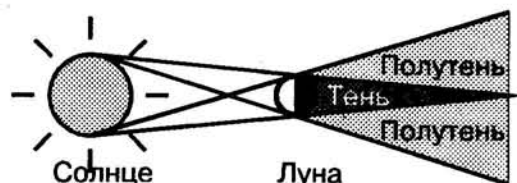
Основное понятие геометрической оптики — **световой луч**, являющийся идеализацией очень узкого светового пучка. Направление светового луча указывает направление распространения света.

Световые лучи распространяются независимо друг от друга.

ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

В ВАКУУМЕ И В ОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ СВЕТ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ ПРЯМОЛИНЕЙНО.

Закон прямолинейного распространения света позволяет определить области тени и полутени от точечных и протяженных источников.



На границе раздела двух сред свет испытывает **отражение и преломление**.

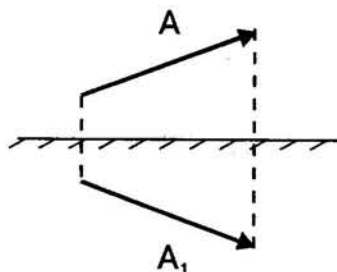
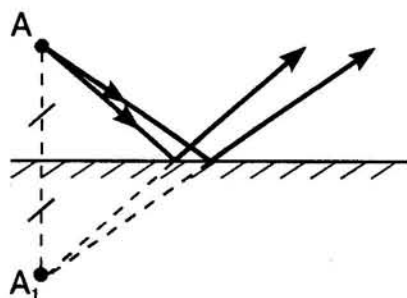
ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ

1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к границе раздела двух сред лежат в одной плоскости.

2. Угол отражения равен углу падения.



ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПЛОСКОМ ЗЕРКАЛЕ



Изображение предмета в плоском зеркале является **мнимым** (после отражения от зеркала пересекаются не сами лучи, а их продолжения); изображение находится на таком же расстоянии от зеркала, как и предмет (за зеркалом); имеет такой же размер.

ЗАКОНЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела двух сред лежат в одной плоскости.

2. Отношение синусов углов падения и преломления есть величина постоянная для данных сред (относительный показатель преломления):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}.$$



Показатель преломления равен отношению скоростей света в данных средах: $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$.

Показатель преломления относительно вакуума называется абсолютным показателем преломления и показывает, во сколько раз скорость света в данной среде

меньше скорости света в вакууме: $n = \frac{c}{v}$.

Среда с большим показателем преломления называется оптически более плотной. При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную угол преломления больше угла падения.

Если угол падения превышает

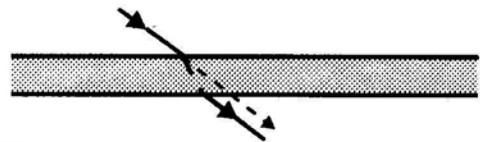
$$\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \text{ (этот угол называется}$$

предельным углом полного отражения), происходит полное отражение света от границы раздела сред.

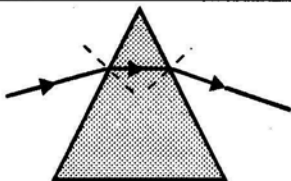


ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА ЧЕРЕЗ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ПЛАСТИНКУ

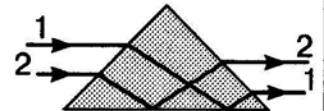
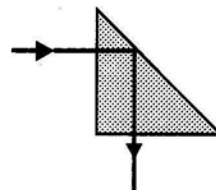
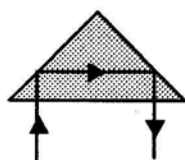
Луч смещается, но сохраняет направление.



ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА ЧЕРЕЗ ТРЕУГОЛЬНУЮ ПРИЗМУ



При отсутствии полного отражения луч отклоняется к основанию.



Примеры прохождения света через треугольную призму при наличии полного отражения.

ЛИНЗЫ

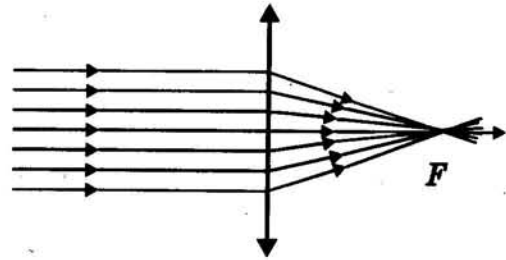
Линза представляет собой прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Линза называется тонкой, если ее толщина мала по сравнению с радиусами кривизны поверхностей.

Основное свойство линзы: лучи, испущенные точечным источником света под малыми углами к главной оптической оси, после преломления в линзе собираются в одну точку (или собираются продолжения лучей), т.е. **изображением точечного источника является точка.**

СОБИРАЮЩАЯ ЛИНЗА

Параллельный пучок лучей после прохождения через линзу становится **сходящимся.**

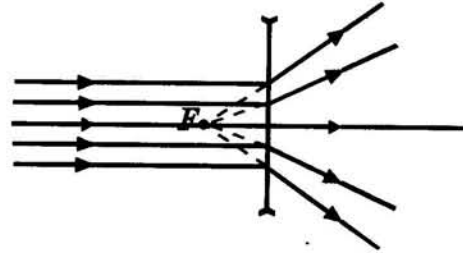
Если падающий пучок параллелен главной оптической оси, лучи после прохождения линзы собираются в ее **фокусе.**



РАСSEИВАЮЩАЯ ЛИНЗА

Параллельный пучок лучей после прохождения через линзу становится **расходящимся.**

Если падающий пучок параллелен главной оптической оси, то после прохождения линзы лучи идут так, что их продолжения проходят через фокус, расположенный с той стороны линзы, откуда падает параллельный пучок.

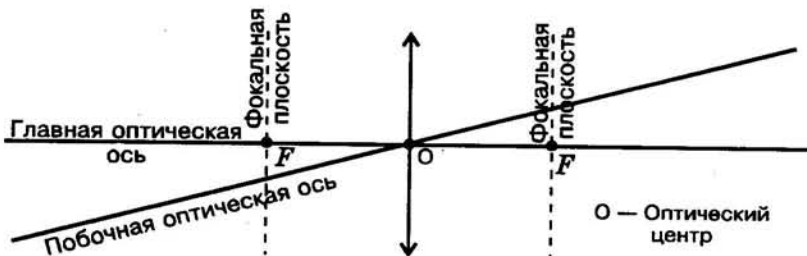


ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЛИНЗЫ

Главная оптическая ось — прямая, проходящая через центры сферических поверхностей линзы.

Оптический центр — пересечение главной оптической оси с линзой.

Побочная оптическая ось — любая прямая, проходящая через оптический центр.



Расстояние от линзы до ее фокуса называется **фокусным расстоянием**. Величина, обратная фокусному расстоянию, называется **оптической силой** линзы: $D=1/F$.

$[D] = \text{дптр} = \text{м}^{-1}$. Например, если $F=20 \text{ см}$, $D=5 \text{ дптр}$.

ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЛИНЗАХ

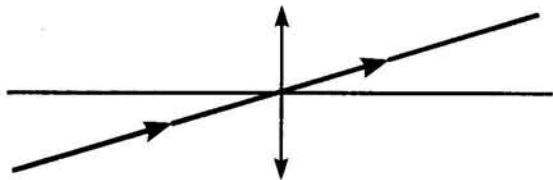
Изображение называется **действительным**, если прошедшие лучи образуют **сходящийся пучок** и пересекаются в одной точке.

(действительное изображение может быть получено на экране).

Изображение называется **мнимым**, если прошедшие лучи образуют **расходящийся пучок** — оно находится в точке пересечения продолжений лучей, прошедших через линзу (мнимое изображение не может быть получено на экране).

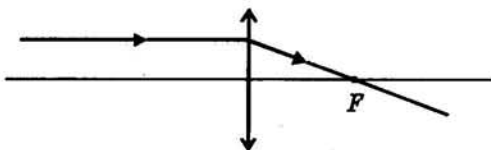
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЫЧНО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ЛУЧИ:

1. Луч, проходящий через **оптический центр**, после прохождения через линзу не изменяет направления.

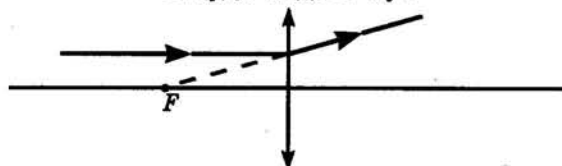


2. Луч, **параллельный главной оптической оси**, после прохождения через линзу идет:

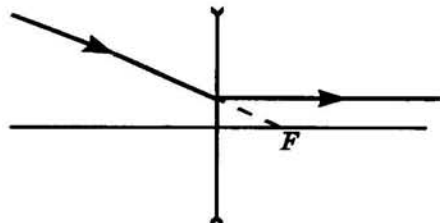
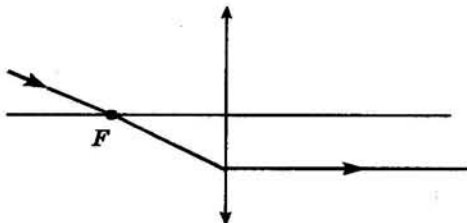
а) для собирающей линзы — через фокус, расположенный по другую сторону линзы



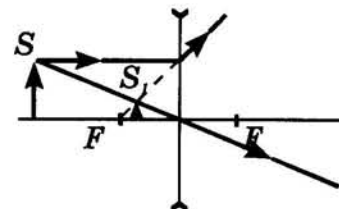
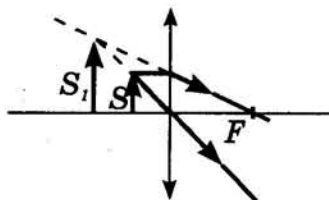
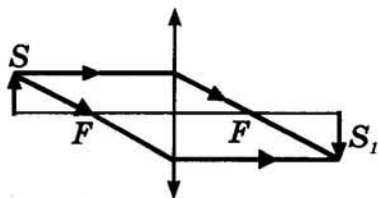
б) для рассеивающей линзы — так, что продолжение луча идет через фокус, расположенный по ту же сторону линзы, откуда падает луч



3. Луч, идущий через "**ближний**" фокус (для собирающей линзы) или направленный так, что его продолжение проходит через "**дальний**" фокус (для рассеивающей линзы), после прохождения через линзу идет параллельно главной оптической оси.



Для построения изображения точки, не лежащей на главной оптической оси, можно использовать любые два из указанных трех лучей, например:



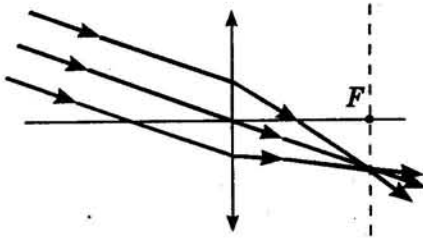
Собирающая линза: источник расположен дальше фокуса, изображение действительное, перевернутое (увеличенное, если расстояние от источника до линзы меньше $2F$; уменьшенное — если больше $2F$).

Собирающая линза: источник расположен ближе фокуса, изображение мнимое, прямое, увеличенное.

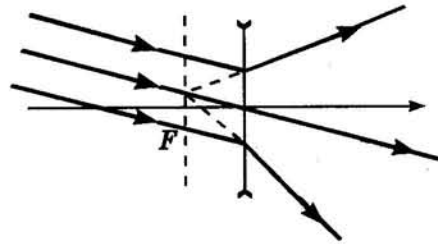
Рассеивающая линза: при любом расположении источника изображение мнимое, прямое, уменьшенное.

ХОД ПУЧКА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛУЧЕЙ, ИДУЩИХ ВДОЛЬ ПОБОЧНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ

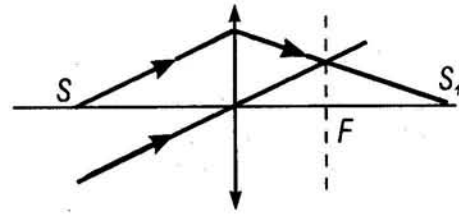
После прохождения через собирающую линзу лучи пересекаются в одной точке, находящейся в фокальной плоскости линзы



После прохождения через рассеивающую линзу лучи идут так, что их продолжения пересекаются в одной точке "ближней" фокальной плоскости.



Этим свойством можно воспользоваться для **построения изображения точки, лежащей на главной оптической оси:** надо взять произвольный луч, проходящий через данную точку и параллельный ему луч, проходящий через оптический центр. После прохождения через линзу эти лучи пересекутся в одной точке фокальной плоскости — это позволяет определить ход луча, проходящего через данную точку, лежащую на главной оптической оси.



ФОРМУЛА ЛИНЗЫ

Связывает расстояние d от линзы до источника и расстояние f от линзы до изображения:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

Эта формула может применяться для действительных и мнимых изображений как в случае собирающей линзы, так и в случае рассеивающей, если считать:

$F > 0$ для собирающей линзы, $F < 0$ для рассеивающей,

$f > 0$ для действительного изображения, $f < 0$ для мнимого.

Величина d положительна, если на линзу падает расходящийся пучок лучей ("действительный" источник) и отрицательна, если пучок сходящийся (продолжения лучей пересекаются за линзой в месте нахождения "мнимого" источника).

Увеличением линзы Γ называется отношение линейных размеров изображения H

и предмета h , т.е. $\Gamma = H/h$. Выполняется соотношение $\Gamma = \left| \frac{f}{d} \right|$.

Важнейшим свойством всех оптических систем является **обратимость хода лучей:** источник и его изображение всегда можно поменять местами.

СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

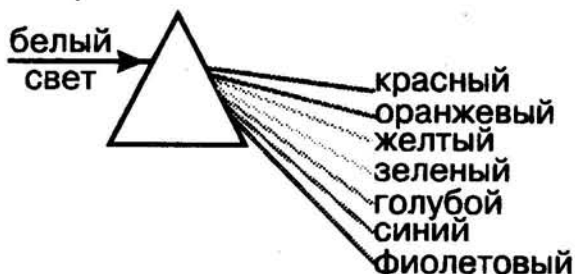
Волновая природа света обнаруживается в явлениях **интерференции и дифракции** (см. раздел "Колебания и волны").

ДИСПЕРСИЯ

Зависимость скорости света (и, следовательно, показателя преломления) от длины волны.

Белый свет (например, солнечный) представляет собой совокупность электромагнитных **монохроматических** (в переводе с латыни "одноцветных") волн, т. е. волн, имеющих определенную длину волны. В вакууме волны с любой длиной волны распространяются с одной и той же скоростью $c = 299\,792\,458$ м/с. В веществе (стекло, вода и т. п.) скорость электромагнитных волн меньше, причем она **зависит от длины волны**.

В результате дисперсии пучок белого света после преломления в призме разлагается в разноцветный спектр. Лучи спектра можно снова собрать с помощью зеркал или другой призмы и получить белый свет.



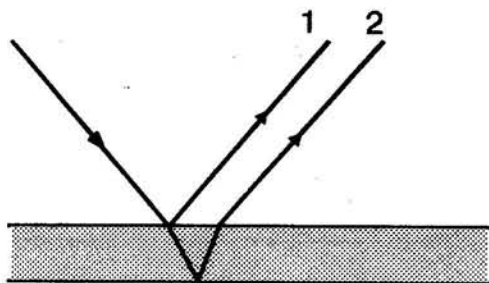
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Представляет собой наложение двух или нескольких световых волн с одинаковой длиной волны, при котором возникают чередующиеся максимумы и минимумы (**интерференционная картина**). Для наблюдения интерференции необходимы **когерентные световые пучки**, т. е. пучки света не только с одинаковой длиной волны, но и с постоянной разностью фаз.

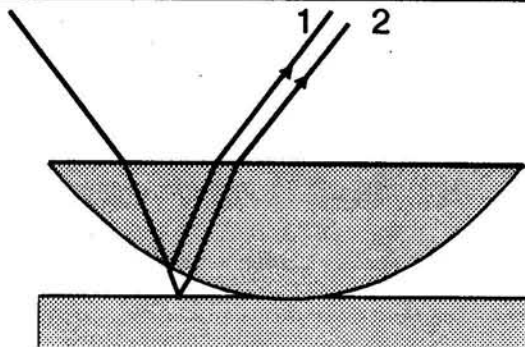
Такие пучки (если не использовать лазеры) можно получить,

если пучок света от одного и того же источника разделить на два пучка.

Например, цвета тонких пленок и кольца Ньютона возникают в результате интерференции волн, отраженных от двух близко расположенных поверхностей.



Возникновение цветов тонких пленок



Возникновение колец Ньютона

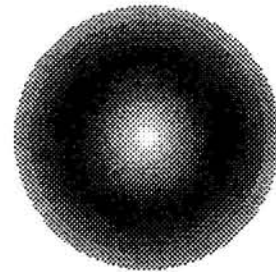
Применения интерференции света: просветление оптики, точное определение размеров тел, контроль качества обработки поверхностей.

ДИФРАКЦИЯ

Представляет собой **отклонение от прямолинейного распространения света**. Наблюдается при прохождении света через малые отверстия или при огибании светом препятствий, размеры которых сравнимы с длиной световой волны.

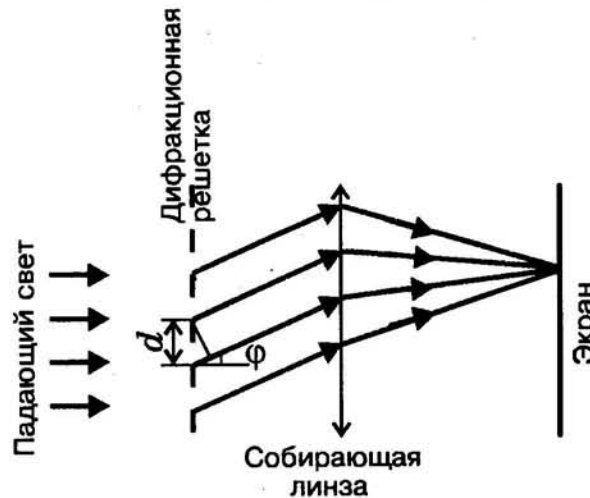
Дифракция возникает в результате интерференции вторичных волн (принцип Гюйгенса — Френеля).

Примеры: свет, прошедший через малое отверстие, дает на экране систему концентрических кругов, тень от малого диска содержит светлое пятно в центре (см. рисунок).



ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Представляет собой пластинку с большим числом чередующихся прозрачных и непрозрачных полос (число полос может достигать до нескольких тысяч на 1 мм). Используется для исследования спектрального состава света и измерения длины световой волны.



(На рисунке дифракционная решетка сильно увеличена.)

Максимум наблюдается под углом φ , определяемым условием:

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

где k — порядок максимума (целое число), λ — длина волны света, d — период дифракционной решетки.

Это соотношение называется **формулой дифракционной решетки**.

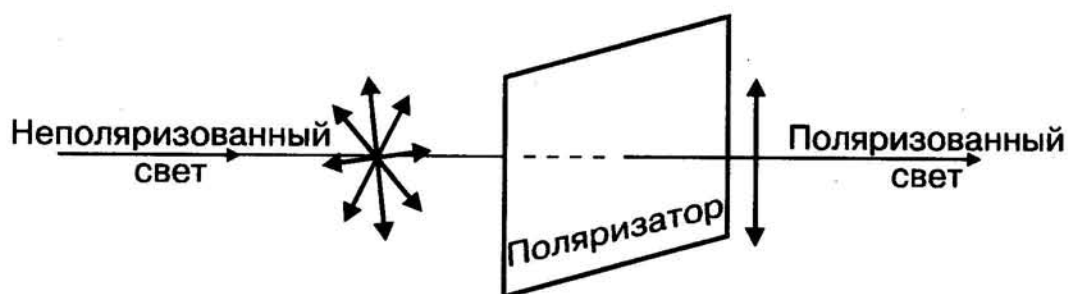
Если направить на дифракционную решетку пучок белого света, на экране будет наблюдаться резкий белый центральный максимум (при $k = 0$), а максимумы других порядков будут наблюдаться при различных углах, благодаря чему на экране возникают разноцветные "спектральные" полосы.

В отличие от разложения света с помощью призмы при дифракции больше всего отклоняется не фиолетовый, а красный свет, поскольку у него больше длина волны.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Электромагнитные волны (в т. ч. световые) являются **поперечными**: векторы \vec{E} и \vec{B} перпендикулярны к направлению распространения волны. Естественный свет содержит волны с всевозможными направлениями колебаний вектора \vec{E} , перпендикулярными к направлению распространения волны. Такой свет называется **неполяризованным**.

Поляризаторы (поляроиды и кристаллы турмалина) обладают способностью пропускать световые волны с колебаниями вектора \vec{E} , лежащими только в одной плоскости. Такой свет называется **поляризованным**.



Частичная или полная поляризация происходит также при отражении и преломлении света. Пучок поляризованного света испускает лазер.

ВИДЫ ИЗЛУЧЕНИЙ

Свет испускается возбужденными атомами, т. е. атомами, получившими энергию извне.

Тепловое излучение – излучение, при котором атомы получают энергию, необходимую для излучения, за счет энергии теплового движения атомов и молекул.

Примеры: излучение Солнца, ламп накаливания, пламени.

Во всех остальных случаях **излучение** называется **люминесцентным**.

Электролюминесценция – свечение, сопровождающее электрический разряд в газе. Возбуждение атомов происходит вследствие соударений с быстрыми электронами, получившими энергию при движении в сильном электрическом поле.

Примеры: северные сияния, светящиеся трубки для рекламы.

Катодолюминесценция – свечение твердых тел вследствие бомбардировки электронными пучками. Пример: свечение экрана телевизора.

Хемилюминесценция – свечение холодных тел, при котором возбуждение атомов происходит вследствие химических реакций. Примеры: светлячки, гнилушки.

Фотолюминесценция – свечение тел под действием падающего на них света.

В лампах дневного света происходит электролюминесценция (при прохождении тока через пары ртути возникает ультрафиолетовое излучение), а также фотолюминесценция (нанесенный на внутренние стенки лампы люминофор поглощает ультрафиолетовое излучение и испускает видимый свет).

СПЕКТРЫ

СПЕКТРАЛЬНЫЕ АППАРАТЫ (СПЕКТРОСКОП И СПЕКТРОГРАФ)

Позволяют определить **спектральный состав света**, т. е. найти, излучение каких частот входит в состав данного света, а также определить интенсивность излучения различных частот.

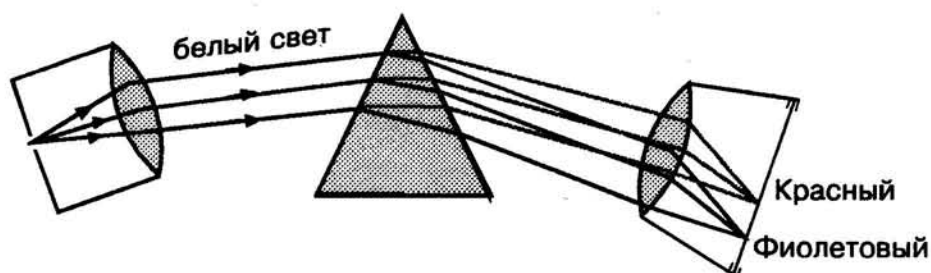


Схема спектроскопа

СПЕКТРЫ ИСПУСКАНИЯ

Сплошной (или непрерывный): сплошная цветная полоса с постепенным переходом цветов от красного к фиолетовому. Источник излучения — раскаленные твердые и жидкие тела, а также горячая плазма. Вид сплошного спектра зависит в основном от температуры тела и мало зависит от вида вещества.

Линейчатый: совокупность отдельных светлых линий различных цветов на темном фоне. Источник излучения — раскаленные одноатомные газы (т. е. изолированные возбужденные атомы). Поскольку атомы каждого химического элемента излучают строго определенные длины волн, вид линейчатого спектра позволяет определить химический состав данного образца).

Полосатый: совокупность отдельных светлых полос, разделенных темными промежутками (в действительности каждая полоса образована большим числом очень тесно расположенных линий). Источник излучения, например, раскаленные многоатомные газы (т. е. изолированные возбужденные молекулы).

СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ

При прохождении белого света через атомарный газ свет частично поглощается атомами газа, в результате чего наблюдаются **темные линии на фоне сплошного спектра**. Эти линии соответствуют тем же частотам (длинам волн), что и линии спектра испускания данного газа. Следовательно, атомы наиболее интенсивно поглощают свет как раз тех длин волн, которые они испускают в возбужденном состоянии.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Метод определения химического состава вещества по виду его спектра испускания или поглощения. Для получения линейчатого спектра испускания вещество переводят в атомарное газообразное состояние с помощью электрического разряда.

Главными достоинствами метода являются чрезвычайно **высокая чувствительность**, а также возможность определить химический состав на большом расстоянии (так был определен химический состав звезд).

С помощью спектрального анализа были **открыты новые химические элементы** (например, гелий). Спектральный анализ широко применяется в металлургии, атомной технике, производстве чистых материалов, астрофизике.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Представляет собой систему современных взглядов на пространство-время.

ПОСТУЛАТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- 1. Принцип относительности Эйнштейна:** все физические процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета, т.е. во всех этих системах отсчета физические законы имеют одинаковую форму.
- 2. Постоянство скорости света:** скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета — она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

СЛЕДСТВИЯ ПОСТУЛАТОВ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- 1. Относительность одновременности:** два пространственно разделенных события, одновременные в одной инерциальной системе отсчета, могут не быть одновременными в другой инерциальной системе отсчета.

При переходе из одной системы отсчета в другую может измениться последовательность событий во времени, однако последовательность причинно связанных событий остается неизменной во всех системах отсчета: следствие наступает всегда после причины.

- 2. Скорость света в вакууме является максимально возможной скоростью передачи взаимодействий**

($c = 299\,792\,458$ м/с; в расчетах обычно принимается $c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

- 3. Относительность расстояний** — длина l движущегося предмета сокращается в направлении движения:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow l < l_0,$$

где l_0 — длина покоящегося предмета,

v — скорость его движения в данной системе отсчета.

Размеры предметов в направлении, перпендикулярном направлению движения, не изменяются.

- 4. Относительность промежутков времени** — ход движущихся часов замедляется:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \tau > \tau_0,$$

где τ_0 — интервал времени, измеренный часами, покоящимися в той системе отсчета, где оба события произошли в одной и той же точке пространства,

τ — интервал времени между двумя событиями, измеренный движущимися часами.

5. Релятивистский закон сложения скоростей, направленных вдоль одной прямой:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}},$$

где v_1 — скорость тела в первой системе отсчета, v_2 — скорость того же тела во второй системе отсчета, v — скорость движения первой системы отсчета относительно второй.

При $v_1 \ll c$, $v \ll c$ получаем $v_2 = v_1 + v$,

т.е. закон сложения скоростей в классической механике.

Если $v = c$ (то есть речь идет о распространении света), получаем

$$v_2 = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c,$$

что соответствует второму постулату теории относительности.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДИНАМИКА. СВЯЗЬ МЕЖДУ МАССОЙ И ЭНЕРГИЕЙ

Зависимость массы от скорости:

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

где m_0 — масса покоящегося тела, m — масса того же тела, движущегося со скоростью v .

Импульс движущегося тела:

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Уравнение движения: $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$, где \vec{F} — сила, действующая на тело.

Это уравнение совпадает с уравнением второго закона Ньютона, записанного в "импульсной" форме.

Энергия движущегося тела:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

При изменении энергии на ΔE масса изменяется на $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$.

Энергия покоя $E_0 = m_0 c^2$ имеется у любого тела уже благодаря самому факту его существования. Эта энергия полностью освобождается (переходит в другую форму) при аннигиляции пары частица — античастица. При ядерных реакциях происходит частичное превращение энергии покоя атомных ядер в кинетическую энергию ядер и/или их осколков (см. разделы "Энергия связи атомных ядер", "Ядерные реакции").

СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

Свет обладает как свойствами частиц (корпускул), так и свойствами волн.

Корпускулярные свойства света проявляются при **взаимодействии его с веществом** (например, при фотоэффекте): он излучается и поглощается отдельными "порциями" — **квантами** (или **фотонами**).

Энергия каждого кванта $E = h\nu$,

где ν — частота света,

$h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка.

Импульс фотона $p = E/c$, где c — скорость света.

Волновые свойства света проявляются при его **распространении** в явлениях **интерференции и дифракции** (см. раздел "Световые волны").

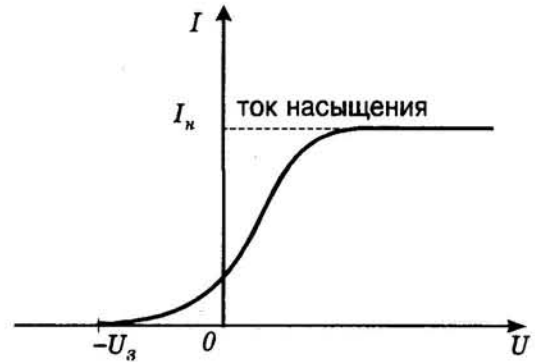
ФОТОЭФФЕКТ

Представляет собой явление вырывания электронов из вещества под действием света.

Установка для исследования фотоэффекта



Зависимость фототока от напряжения (U_3 — задерживающее напряжение)



НАБЛЮДАЕМЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Сила тока насыщения прямо пропорциональна интенсивности светового излучения.

Задерживающее напряжение линейно возрастает с частотой света и не зависит от интенсивности светового излучения.

ВЫВОДЫ

Количество вырываемых электронов прямо пропорционально интенсивности светового излучения.

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

ТЕОРИЯ ФОТОЭФФЕКТА

Соотношение между задерживающим напряжением и максимальной кинетической энергией фотоэлектронов:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_s,$$

где m — масса электрона, e — модуль заряда электрона.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

где A — работа выхода электронов из металла.

Уравнение получено в предположении, что каждый вылетающий электрон поглощает один фотон.

Фотоэффект возможен при условии $h\nu > A$. Красная граница фотоэффекта $\nu_{\min} = \frac{A}{h}$.
При $\nu < \nu_{\min}$ фотоэффект невозможен.

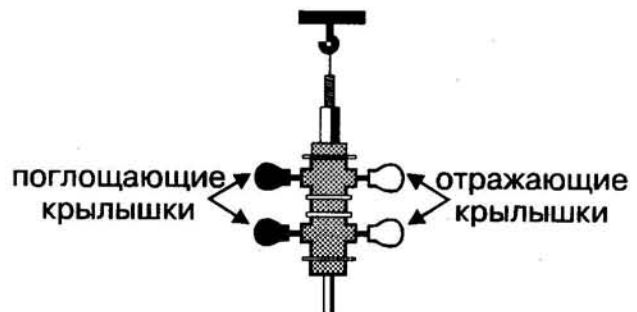
ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОЭФФЕКТА

Фотоэлементы: автоматика (например, в метро), воспроизведение звука, записанного на киноплёнке.

Полупроводниковые фотоэлементы:
например, солнечные батареи, устанавливаемые на космических кораблях.

ДАВЛЕНИЕ СВЕТА

Обусловлено тем, что фотоны обладают импульсом и передают его телу при отражении и при поглощении. Передача импульса при отражении от зеркальной поверхности вдвое больше, чем при поглощении на черной поверхности, поэтому расположенный в вакууме стержень с крылышками при попадании на него света будет поворачиваться (опыт Лебедева).



Установка для исследования давления света

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕТА

Фотосинтез: в молекулах хлорофилла под действием света из углекислого газа и воды образуются кислород и органические вещества.

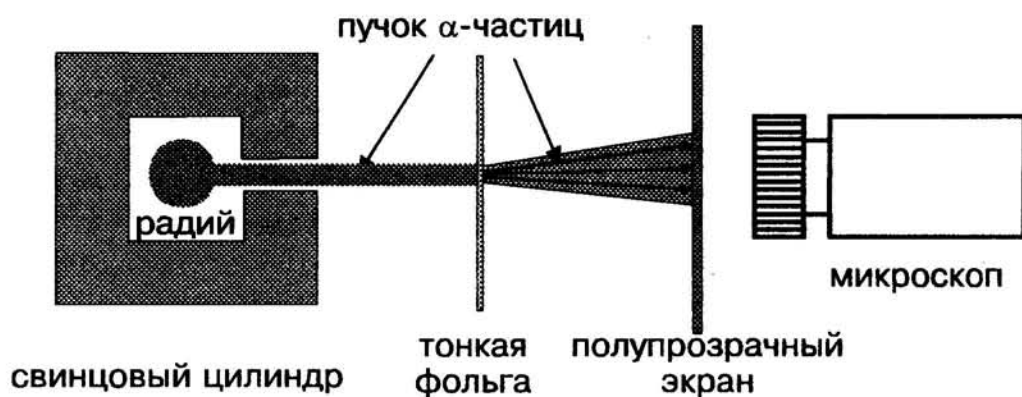
Фотография: образование серебра при падении света на кристаллы бромистого серебра.

Зрение: разложение некоторых молекул в сетчатке под действием света.

СТРОЕНИЕ АТОМА

ОТКРЫТИЕ АТОМНОГО ЯДРА

(опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц)

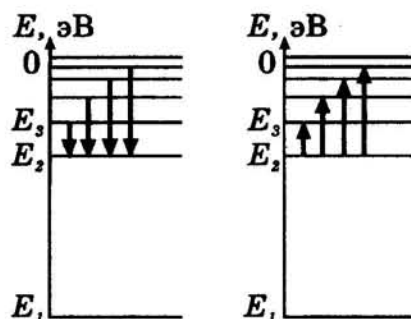


Рассеяние α -частиц на большие углы свидетельствует о существовании массивного **атомного ядра**, размер которого в $10^4 - 10^5$ раз меньше размера атома (размер атома 10^{-10} м, размер ядра $10^{-14} - 10^{-15}$ м).

ПОСТУЛАТЫ БОРА

1. Атомная система может находиться только в **стационарных состояниях**, каждому из которых соответствует **определенная энергия E_n** ; в стационарном состоянии атом не излучает.

2. При переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k в стационарное состояние с меньшей энергией E_n **излучается фотон** с энергией $h\nu_{kn} = E_k - E_n$. При поглощении атомом фотона с такой энергией происходит обратный переход.



Излучение

Поглощение

Условное изображение энергетических уровней и переходов между ними при излучении и поглощении фотона.

Постулаты Бора позволили объяснить свойства атома водорода (его размер, спектральные линии, энергию ионизации).

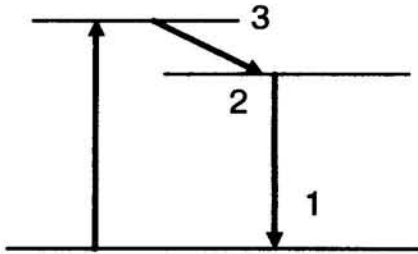
Однако теория Бора не позволяла предсказывать свойства других атомов. Для последовательного объяснения свойств атомов и других объектов микромира была создана новая физическая теория — **квантовая механика**.

ЛАЗЕРЫ

Представляют собой устройства для получения **узких когерентных пучков света**.

Действие лазера основано на явлении **индуцированного излучения** (излучение атомом фотона-«близнеца» под действием падающего света).

Принцип работы трехуровневого лазера (рубиновый лазер)



“1” — невозбужденный уровень

“2” — возбужденный уровень с большим временем жизни ($\sim 10^{-3}$ с)

“3” — возбужденный уровень с малым временем жизни ($\sim 10^{-8}$ с)

После вспышки мощной лампы система из состояния “1” переходит в состояние “3”, а оттуда в состояние “2”. Когда в этом состоянии оказывается достаточно большое количество атомов, происходит индуцированный переход на уровень “1”, т.е. лазер начинает работать.

Применение лазеров: передача информации, сверхточные измерения, резка и сварка материалов, медицина.

ЯДРА И ЧАСТИЦЫ

МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА. Действие прибора основано на явлении **ударной ионизации** газа: пролетающая заряженная частица ионизирует молекулы газа, образовавшиеся электроны ускоряются электрическим полем внутри счетчика до энергий, необходимых для ударной ионизации. Регистрирует электроны и γ -кванты.

Позволяет регистрировать только факт пролета частицы.

КАМЕРА ВИЛЬСОНА. Действие прибора основано на **конденсации перенасыщенного пара** (воды или спирта) на ионах, образующихся вдоль траектории полета заряженной частицы. Поместив камеру Вильсона в однородное магнитное поле и измерив радиус кривизны трека (следа пролетевшей частицы), можно определить удельный заряд частицы.

Позволяет регистрировать траектории заряженных частиц.

ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА. Действие основано на **образовании пузырьков пара в перегретой жидкости** (жидком водороде или пропане) на ионах, возникающих вдоль траектории полета заряженной частицы. Преимущество пузырьковой камеры перед камерой Вильсона: большая плотность рабочего вещества (можно наблюдать серию превращений частиц).

Позволяет регистрировать траектории заряженных частиц.

МЕТОД ТОЛСТОСЛОЙНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ. Используется ионизирующее действие быстрых заряженных частиц на фотоэмульсию.

Позволяет регистрировать редкие явления.

СТРОЕНИЕ ЯДРА

Ядра всех атомов состоят из **протонов** (элементарный заряд $+e$, масса $m_p=1,673 \cdot 10^{-27}$ кг) и **нейтронов** (заряд равен нулю, масса $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг).

Общее название протонов и нейтронов — **нуклоны**.

Между нуклонами действуют короткодействующие силы притяжения — **ядерные силы**.

<p>Число протонов в ядре обозначается Z и совпадает с порядковым номером элемента в таблице Менделеева.</p> <p>Заряд ядра равен Ze.</p>	<p>Число нейтронов в ядре обозначается N.</p>	<p>Общее число нейтронов и протонов в ядре обозначается A и называется массовым числом:</p> <p>$A=Z+N$.</p>
--	---	---

Обозначения ядер:



где X — обозначение химического элемента.

Например, ${}^1_1\text{H}$ — ядро атома **водорода (протон)**, ${}^4_2\text{He}$ — ядро атома **гелия (α -частица)**,

${}^{235}_{92}\text{U}$ — ядро **урана**, в котором содержится 92 протона и $235 - 92 = 143$ нейтрона.

ИЗОТОПЫ

Так называются атомы, имеющие **одинаковый заряд ядра, но различную массу**.

Все изотопы одного и того же элемента обладают **одинаковыми химическими свойствами**, но могут отличаться **радиоактивностью**.

Например, ${}^2_1\text{H}$ — **дейтерий** и ${}^3_1\text{H}$ — **тритий** являются изотопами водорода (тритий радиоактивен).

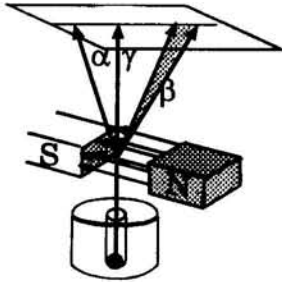
ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПОВ

Метод меченых атомов (биология, физиология, медицина, промышленность, археология).

Источники γ -лучей ("кобальтовая пушка" с изотопом ${}^{60}_{27}\text{Co}$).

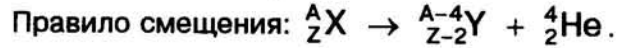
Ускорение мутаций для искусственного отбора (в сельском хозяйстве).

РАДИОАКТИВНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ



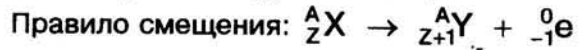
α-распад:

испускание ядрами α-частиц (ядер гелия ${}^4_2\text{He}$).



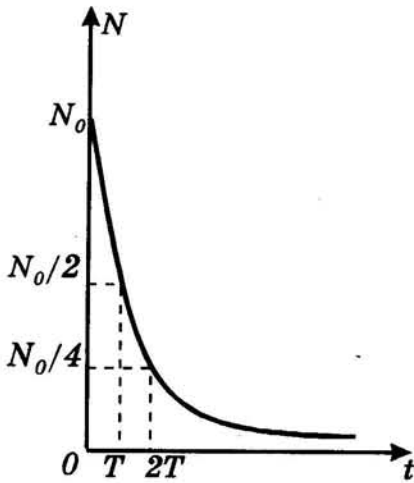
β-распад:

испускание ядрами электронов.



Возможно также излучение γ - квантов возбужденными (поглотившими некоторую энергию) ядрами. При этом массовое число и порядковый номер элемента не изменяются.

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА



$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

где N — число нераспавшихся атомов в данный момент времени t ,

N_0 — число таких атомов в начальный момент,

T — **период полураспада** (промежуток времени, в течение которого число радиоактивных атомов уменьшается вдвое).

Закон радиоактивного распада является **статистическим** законом: он справедлив только при $N \gg 1$. Предсказать момент распада данного конкретного ядра невозможно: это случайное событие (атомы "не стареют").

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Поглощенная доза излучения $D = \frac{E}{m}$,

где E — поглощенная энергия излучения, m — масса облучаемого вещества.

В СИ величина D измеряется в **грях**. $1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Естественный фон радиации соответствует годовой дозе $2 \cdot 10^{-3}$ Гр.
Предельно допустимая доза 0,05 Гр за год. Разовая доза в 3 — 10 Гр смертельна.

На практике широко применяется внесистемная единица **рентген (Р)**.
 Можно приближенно считать $1 \text{ Р} = 0,01 \text{ Гр}$.

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР

Энергия, необходимая для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны

В соответствии с формулой $E = m \cdot c^2$ энергия связи $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$,

где $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{ядра}}$

представляет собой **дефект массы ядра**.

Удельная энергия связи — энергия связи, приходящаяся на **один нуклон**. Наибольшую удельную энергию связи (8,6 МэВ/нуклон) имеют элементы с номерами от 50 до 60, поэтому ядра этих элементов наиболее устойчивы.

Таким образом, при делении тяжелых ядер и соединении (синтезе) легких должна выделяться энергия.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Представляют собой превращения атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами или друг с другом. Для осуществления таких реакций необходимо сближение ядер и частиц на расстояние порядка 10^{-15} м (размеры ядра). В случае реакции между ядрами требуется большая энергия для преодоления их кулоновского отталкивания. Эту энергию можно сообщить ядрам с помощью ускорителей или нагрева до очень высоких температур (см. раздел "Термоядерные реакции").

В важном случае ядерных реакций при бомбардировке нейтронами высокая энергия не нужна, потому что кулоновское отталкивание отсутствует.

Энергетический выход ядерной реакции

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

где Δm — разность между суммарной массой покоя частиц и ядер, вступающих в реакцию, и продуктов реакции.

Если $\Delta E < 0$, то энергия в реакции не выделяется, а поглощается.

При бомбардировке ядер тяжелых элементов нейтронами происходит **деление ядер** — они распадаются на два "осколка", сравнимых по массе (ядра элементов из середины таблицы Менделеева).

При этом испускается γ -излучение, а также вылетает несколько нейтронов (обычно 2 — 3). Вследствие электростатического отталкивания ядер-осколков они приобретают очень большую скорость, т. е. при делении ядер выделяется значительная энергия.

Вылетающие нейтроны, в свою очередь, могут приводить к делению новых ядер. В результате может возникнуть **цепная реакция**. Для ее возникновения необходимо, чтобы коэффициент размножения нейтронов K был не меньше 1, т. е. число нейтронов с течением времени не уменьшалось.

При делении 1г урана выделяется такая же энергия, как при сгорании 3т угля.

СХЕМА ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

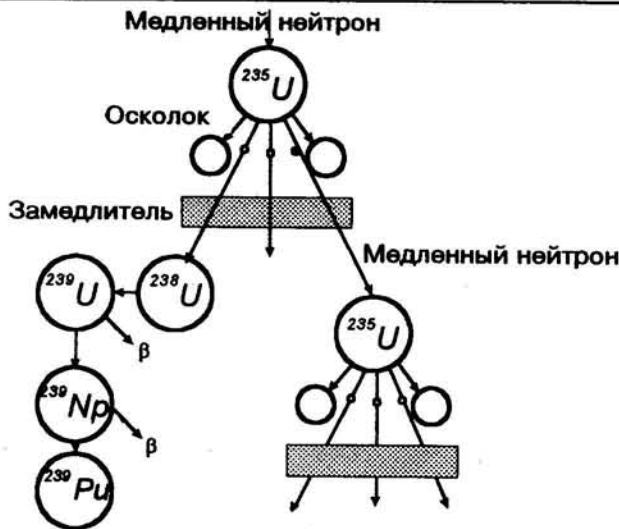
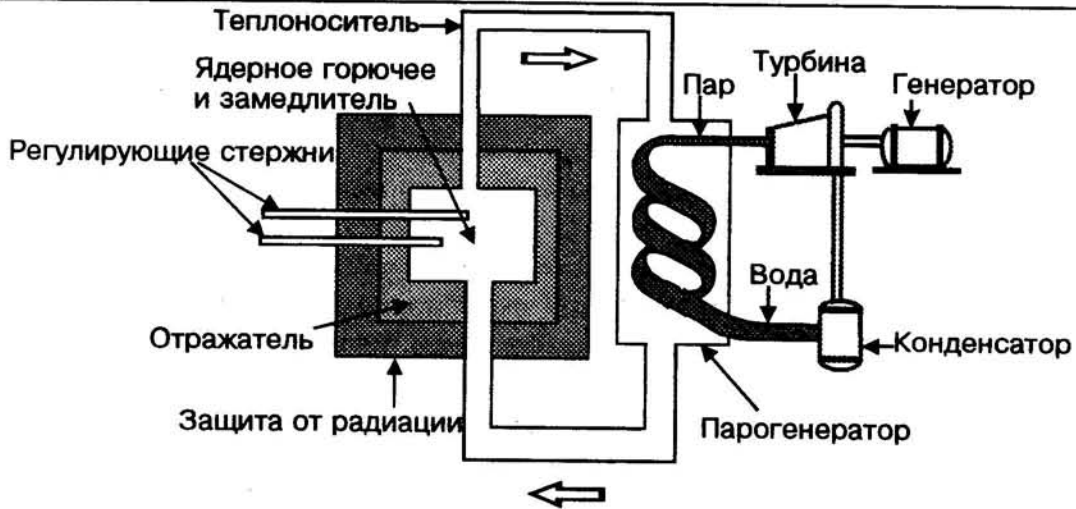


СХЕМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ЯДЕРНЫМ РЕАКТОРОМ



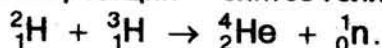
ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Представляют собой реакции синтеза легких ядер.

Для осуществления термоядерных реакций необходимы **очень высокие температуры** ($T \sim 10^8$ К): сталкивающиеся ядра должны иметь достаточно большую скорость, чтобы преодолеть кулоновское отталкивание.

Такую температуру может иметь только плазма.

Термоядерные реакции являются источником энергии излучения Солнца и звезд. На Земле осуществлена пока только неуправляемая термоядерная реакция (**в водородной бомбе**). Интенсивно ведутся работы по осуществлению **управляемой термоядерной реакции**. Пример термоядерной реакции — синтез гелия из ядер дейтерия и трития:



При этом выделяется энергия 3,5 МэВ/нуклон.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Мельчайшие частицы вещества, которые при столкновениях друг с другом не распадаются на части, а **испытывают взаимные превращения**.

Чтобы при столкновениях элементарных частиц рождались новые частицы, кинетическая энергия сталкивающихся частиц должна быть сравнимой с энергией покоя рождающихся частиц. Частицы с такими большими энергиями находят в космических лучах или разгоняют в ускорителях.

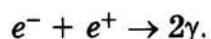
Общее число открытых элементарных частиц исчисляется сотнями, однако большую часть их составляют так называемые "резонансы", т. е. частицы, время жизни которых не превышает 10^{-23} с (это означает, что длина пробега такой частицы даже при скорости, близкой к скорости света, не превышает 10^{-15} м — размера атомного ядра).

Для каждой частицы существует **античастица**, т. е. частица с такой же массой, но противоположной величиной электрического заряда и других "зарядов" (лептонного, барионного и т. п.). Примеры пар частица-античастица: электрон (e^-) и позитрон (e^+), протон (p) и антипротон (\bar{p}), нейтрон (n) и антинейтрон (\bar{n}).

Существуют также "истинно нейтральные" частицы, которые совпадают со своими античастицами, например, фотон (γ), нейтральный пион (π^0).

При столкновении частицы со "своей" античастицей происходит их **аннигиляция**, т. е. превращение в излучение.

Так, при аннигиляции электрона и позитрона может происходить рождение двух фотонов:



До недавнего времени считалось, что между элементарными частицами возможны 4 вида взаимодействий: **сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное** (виды взаимодействий перечислены в порядке убывания интенсивности). Сегодня установлено, что электромагнитное и слабое взаимодействия являются проявлениями единого **электрослабого** взаимодействия.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Лептоны — частицы, не участвующие в сильных взаимодействиях (например, электроны, мюоны, нейтрино). Поскольку нейтрино не участвуют и в электромагнитных взаимодействиях, для этих частиц земной шар намного прозрачнее, чем оконное стекло для фотонов.

Адроны — частицы, участвующие во всех видах взаимодействий (к числу этих частиц принадлежат нуклоны и все "резонансы").

На основе предположения, что все адроны состоят из **кварков** — частиц с дробными электрическими зарядами $e/3$ и $2e/3$, удалось построить классификацию адронов.

Однако "разбить" адроны на свободные кварки не удается даже при энергиях, во много раз превышающих энергии покоя адронов. Поэтому предполагается, что кварки взаимодействуют друг с другом посредством обмена другими частицами (глюонами) таким образом, что "освободить" кварк невозможно (для этого потребовалась бы бесконечно большая энергия).

Издательство "Илекса" в 1997-98 гг. выпустило и планирует к выпуску следующие учебные пособия:

Развивающее обучение: Л.Э. Генденштейн, Е.Л. Мадышева ЭНЦИКЛОПЕДИЯ РАЗВИВАЮЩИХ ИГР в 10 книгах. // Э.Д. Наумова Играя, учимся говорить // Е. Д. Макшанцева Скворушка. Сборник музыкально-речевых игр для дошкольного возраста.

Русский язык: Ш.В.Журжина, Н.В.Костромина Дидактический материал по русскому языку (3-4 кл) // Е.М.Ткаченко СОВРЕМЕННЫЙ РУССКИЙ ЯЗЫК. Сборник диктантов по русскому языку / Синтаксис осложненного предложения / Пунктуация: Правила, упражнения, диктанты.

Математика: Л.Э.Генденштейн и др. Наглядный справочник по алгебре и началам анализа для 7-11 кл. // А.П.Ершова и др. Математика. Самостоятельные и контрольные работы. 7, 8 кл. // Е.М.Рабинович Сборник задач по геометрии на готовых чертежах. 7-9 кл. // Г.Г.Левитас Карточки для коррекции знаний учащихся по математике для 5-11 кл. // А.Г.Мерзляк и др. Алгебраический тренажер / Сборники задач и контрольных работ по математике. 5-11 кл. // П.И.Горнштейн и др. Задачи с параметрами / Экзамен по математике и его подводные рифы.

Физика: И.М.Гельфгат, Л.Э.Генденштейн, Л.А.Кирик 1001 задача по физике с ответами, указаниями и решениями / Физика в таблицах для 7-11 кл. // Л.А.Кирик Самостоятельные и контрольные работы по физике. 9-11 кл.

Биология: А.И.Никишов и др. Биология в таблицах для 6-11 классов / За страницами школьной зоологии / Дидактический материал по ботанике / Дидактический материал по анатомии / Введение в биологию для 5 кл.

Экология: И.Т.Суравегина и др. 60 вопросов по экологии для всех.

Химия: Л.А.Слета и др. Конкурсные задачи по химии с решениями.

Английский язык: А.Кристи Свидетель обвинения. На англ. яз. // История американской нации. На англ. яз. Сост. Т.И.Попова

Организация учебного процесса: Учебные стандарты школ России. В 2-х томах // В. Э. Лунячек Элементы технологии управления современной школой.

Розничная торговля производится по адресу: г. Москва, Измайловское ш., д. 47, магазин "Книги" (м. Семеновская). т. 366-61-79

По вопросам **оптовых закупок** обращаться

в **Москве:** ООО "Илекса", Измайловское ш., д. 48а. т/ф 365-30-55

в **Харькове:** Творческое объединение "Гимназия" т.(0572) 11-80-62

ISBN 5-89237-031-3



9 785892 370318