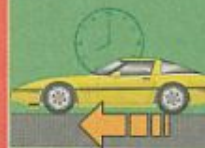
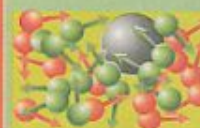
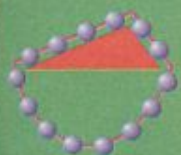
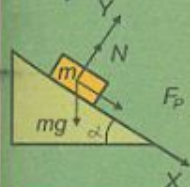
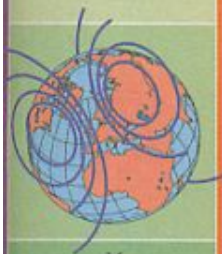


ФИЗИКА

В таблицах
и схемах

ДЛЯ
ШКОЛЬНИКОВ

$$E=mc^2$$



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



ФИЗИКА

в таблицах и схемах

Для школьников

Москва
«Лист Нью»
2005

ББК 22.3
Ф 48

Ф 48 **Физика в таблицах и схемах.** Учебно-образовательная серия. — М.: Лист Нью. 2005. — 112 с.

В данном пособии в схематичной и доступной форме представлены основные понятия, определения и законы физики. Пособие может использоваться как учебное и справочное, а также для обобщающего повторения при подготовке к экзаменам. Особое внимание уделено тем разделам программы, которые вызывают наибольшие сложности у абитуриентов.

Пособие предназначено учащимся старших классов школ, лицеев и гимназий, а также абитуриентам.

ISBN 5-7871-0097-2

ББК 22.3

Составитель	Колбергенов Г.
Художник	Шалаева Т.
Компьютерная вёрстка	Егоренкова И.
Оформление обложки	Феногенов В.

В книге использованы некоторые определения, заимствованные из следующих учебных пособий:

Трофимова Т.И. «Курс физики», изд-е 3-е, М., «Высшая школа», 1994 г.
Трофимова Т.И. «Физика. 500 основных законов и формул». М., «Высшая школа», 1995 г.
Трофимова Т.И. «Физика. Краткий справочник школьника». М., «Дрофа», 1996 г.

ISBN 5-7871-0097-2

© ООО «Лист Нью», 2005

СОДЕРЖАНИЕ

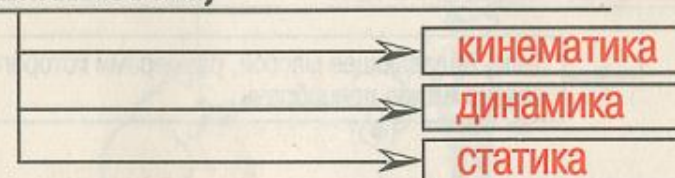
<u>Механика. Кинематика</u>	5
Механическое движение. Система отсчета. Траектория.	
Скорость. Ускорение	6
Равномерное и равноускоренное движение	10
Движение по окружности	13
<u>Динамика</u>	15
1-ый закон Ньютона	15
2-ой закон Ньютона	16
3-ий закон Ньютона	18
Закон Всемирного тяготения. Движение в поле тяготения Земли	19
Силы упругости. Закон Гука. Силы трения	23
Импульс. Закон сохранения импульса	26
Работа. Энергия. Закон сохранения энергии	27
<u>Статика</u>	30
Равновесие тел. Условия равновесия тел	30
Виды равновесия	31
<u>Гидростатика и аэростатика</u>	32
Давление жидкостей и газов. Закон Архимеда	32
<u>Механические колебания и волны.</u> Основные характеристики	33
Гармонические, свободные и вынужденные колебания	33
Резонанс. Автоколебания	35
Волны. Основные характеристики	36
Интерференция и дифракция волн	37
<u>Молекулярно-кинетическая теория.</u> Основные понятия	39
Тепловое равновесие. Температура	41
Основное уравнение молекулярно-кинетической теории	
идеального газа	42
Уравнение состояния идеального газа	44
Изопроцессы	45
<u>Элементы термодинамики.</u> Основные понятия	47
Первый закон термодинамики. Адиабатический процесс	49
Второй закон термодинамики	52

Тепловой двигатель. Цикл Карно	52
Изменение агрегатного состояния вещества	54
<u>Основы электродинамики</u>	58
Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда	58
Электростатика. Закон Кулона	60
Электрическое поле. Напряженность и потенциал поля	61
Проводники и диэлектрики в электрическом поле	65
Конденсаторы	67
<u>Постоянный электрический ток</u>	69
Сила тока. ЭДС. Напряжение	69
Закон Ома. Сопротивление. Работа тока	70
Последовательное и параллельное соединение проводников	72
Электрический ток в различных средах	73
Полупроводники	77
<u>Магнитное поле</u> . Закон Ампера. Сила Лоренца	79
Намагниченность	82
Электромагнитная индукция	83
Вихревое электрическое поле. Самоиндукция	84
<u>Электромагнитные колебания</u>	86
Колебательный контур. Генератор электромагнитных колебаний	86
Переменный ток. Индуктивность и ёмкость в цепи переменного тока. Резонанс	88
Трансформатор	91
<u>Оптика</u> . Геометрическая оптика	92
Законы геометрической оптики. Полное отражение	92
Прохождение света через пластину и призму	94
Линза	94
<u>Элементы физической оптики</u>	99
Интерференция, дифракция, дисперсия и поляризация света	99
Световые кванты. Фотоэффект. Давление света	102
<u>Элементы специальной теории относительности</u>	104
<u>Атом и атомное ядро</u>	106
Радиоактивность. Ядерные реакции	109

МЕХАНИКА

Механика – раздел физики, который изучает закономерности механического движения и причины, вызывающие или изменяющие это движение.

Классическая механика (Механика Ньютона)

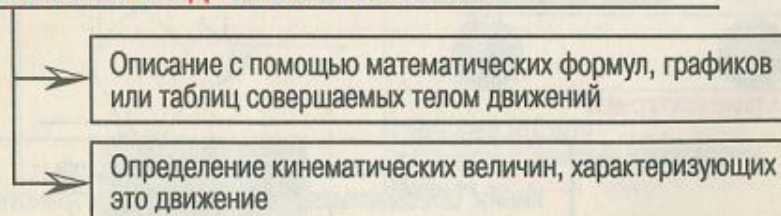


КИНЕМАТИКА

Кинематика изучает движения тел, не рассматривая причин, вызывающих эти движения.



Основные задачи кинематики



Механическое движение

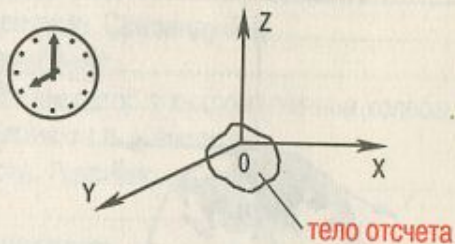
Изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей

Материальная точка

Тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь

Система отсчета

Тело отсчета — тело, относительно которого изучается движение материальной точки

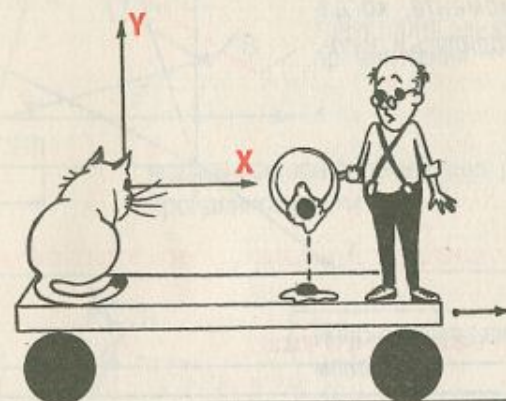


Совокупность системы координат и часов, жестко связанных с телом отсчета

Траектория

Траектория движения материальной точки — линия, описываемая этой точкой в пространстве

Траектория одного и того же движения различна в различных системах отсчета

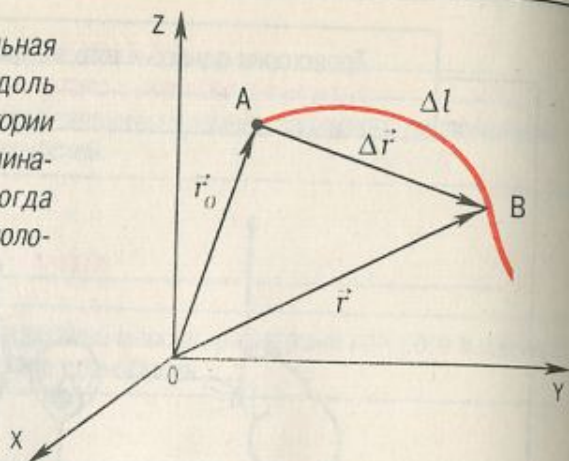


В системе отсчета (XY) , связанной с движущейся платформой, траектория падения тела — **прямая линия**



В системе отсчета $(X'Y')$, связанной с Землей, траектория падения — **кривая линия**

Пусть материальная точка движется вдоль произвольной траектории и отсчет времени начинается с момента, когда точка находилась в положении А.



Радиус-вектор точки

Вектор (\vec{r}), характеризующий положение точки относительно выбранной системы отсчета в данный момент времени

Вектор перемещения

Вектор, характеризующий изменение положения точки за рассматриваемый промежуток времени: $\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$

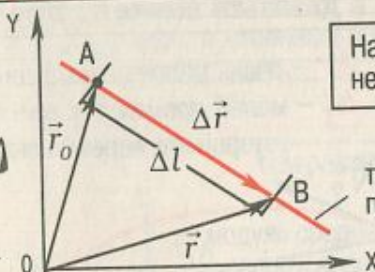
Длина пути

Длина участка траектории АВ, пройденного материальной точкой с момента начала отсчета времени

Длина пути является скалярной функцией времени.

$$\Delta l = \Delta l(t)$$

Прямолинейное движение точки



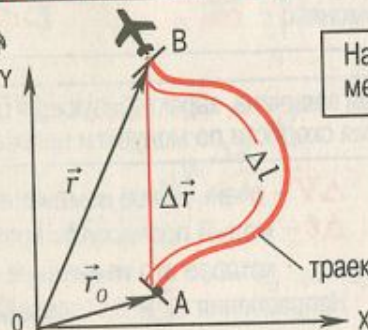
Направление движения не изменяется.

траектория движения — прямая линия

$$|\Delta \vec{r}| = \Delta l$$

— модуль вектора перемещения равен пройденному пути

Криволинейное движение точки



Направление движения меняется.

траектория движения

$$|\Delta \vec{r}| < \Delta l$$

— модуль вектора перемещения меньше пройденного пути

Скорость

Векторная величина, которая определяет как быстроту движения, так и его направление в данный момент времени

Средняя скорость точки за время Δt

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

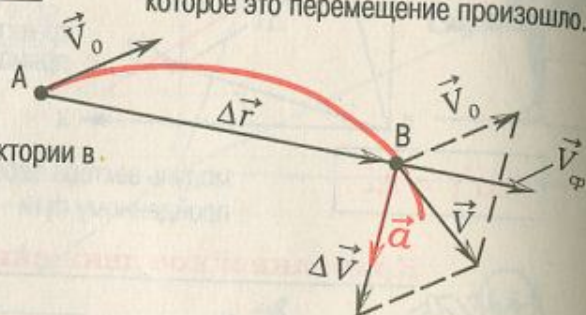
$\Delta \vec{r}$ — перемещение точки за время Δt
Направления $\vec{v}_{\text{ср}}$ и $\Delta \vec{r}$ совпадают.

Мгновенная скорость точки (скорость точки в данный момент времени)

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

$\Delta \vec{r}$ – очень малое перемещение,
 Δt – малый промежуток времени, за
которое это перемещение произошло.

\vec{v} направлена по касательной к траектории в сторону движения.



Ускорение

Векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости по модулю и направлению

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$\Delta \vec{v}$ – очень малое изменение скорости,
 Δt – малый промежуток времени, за
которое это изменение произошло.
Направления \vec{a} и $\Delta \vec{v}$ совпадают.

Равномерное прямолинейное движение

Движение с постоянной по модулю и направлению скоростью

Точка движется по прямой и за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути

Уравнение движения в векторной форме:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

$$\Delta \vec{r} = \vec{v} \cdot \Delta t$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v} \cdot (t - t_0)$$

Уравнение движения в скалярной форме:

$$\Delta l = v \cdot \Delta t$$

$$l = l_0 + v \cdot (t - t_0)$$

Равноускоренное движение

Движение с ускорением, постоянным по модулю направлению

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot (t - t_0)$$

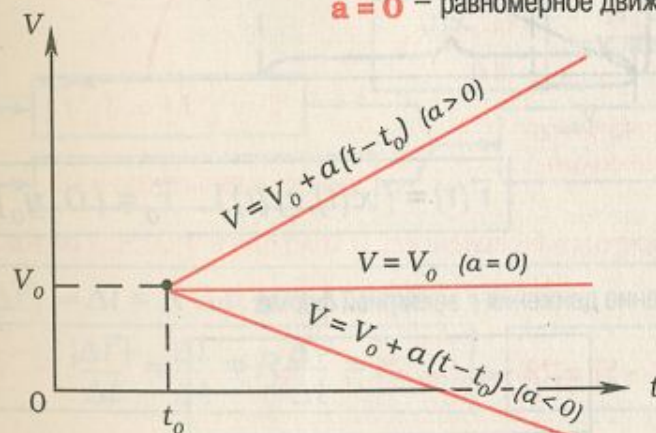
– мгновенная
скорость точки
при равноускоренном движении

$$|\vec{v}_{cp}| = \frac{|\vec{v}_0 + \vec{v}|}{2}$$

– модуль средней скорости при
равноускоренном движении

График скорости

$a > 0$ – равноускоренное движение,
 $a < 0$ – равнозамедленное движение,
 $a = 0$ – равномерное движение



Равноускоренное прямолинейное движение

Постоянный вектор ускорения \vec{a} и вектор начальной скорости \vec{v}_0 лежат на одной прямой

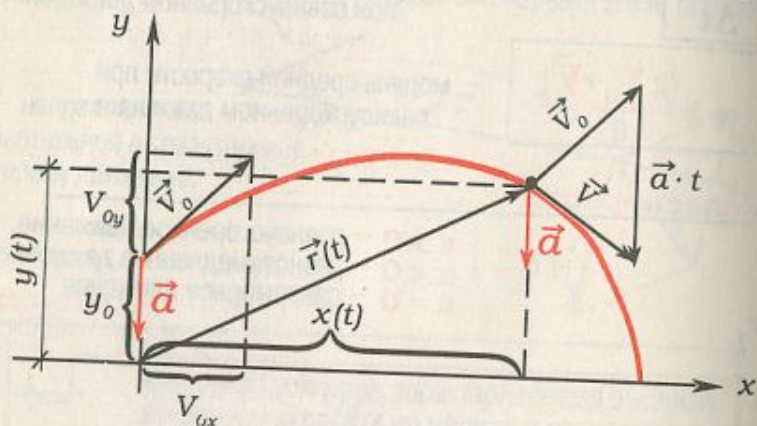
Модуль вектора перемещения равен пройденному пути: $\Delta l = |\Delta \vec{r}|$

Пройденный путь при равноускоренном прямолинейном движении:

$$l = l_0 + v_0 \cdot t + a \frac{t^2}{2} \quad (t_0 = 0)$$

Равноускоренное двумерное движение

Вектор начальной скорости \vec{V}_0 и вектор **постоянного** ускорения \vec{a} не лежат на одной прямой



$$\vec{r}(t) = \{x(t), y(t)\}, \quad \vec{r}_0 = \{0, y_0\}$$

Уравнение движения в векторной форме:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{V}_0 \cdot t + \vec{a} \frac{t^2}{2}$$

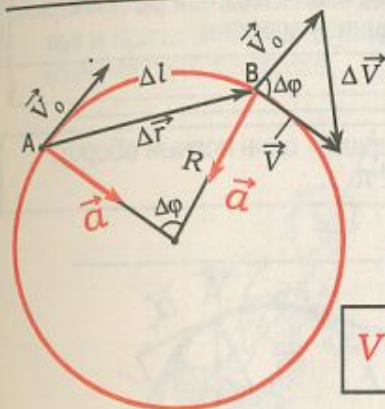
Уравнение движения в скалярной форме:

$$\begin{cases} y(t) = y_0 + V_{0y} \cdot t + a \frac{t^2}{2} \\ x(t) = V_{0x} \cdot t \end{cases}$$

— равноускоренное прямо-
линейное движение по оси OY

— равномерное движение по оси OX

Равномерное движение материальной точки по окружности



Траектория движения точки — **окружность радиуса R**

Δl — путь, пройденный точкой из положения A в положение B за время Δt

$\Delta \varphi$ — угловое перемещение (угол поворота радиуса за время Δt малое)

$$V = |\vec{V}| = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad \text{— линейная скорость}$$

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad \text{— угловая скорость}$$

$$|\vec{V}_0| = |\vec{V}| = V$$

ω — постоянная величина

равномерное движение по окружности

Связь между угловой и линейной скоростями

$$|\Delta \vec{r}| \approx \Delta l = R \cdot \Delta \varphi, \text{ если } \Delta t \text{ малое}$$

$$V = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} \approx \frac{\Delta l}{\Delta t} = R \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = R \cdot \omega \rightarrow \mathbf{V = R \cdot \omega}$$

Центростремительное ускорение

$$\Delta V = V \cdot \Delta \varphi, \text{ если } \Delta t \text{ малое}$$

$$a = |\vec{a}| = \frac{|\Delta \vec{V}|}{\Delta t} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = V \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = V \cdot \omega = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$$

$$\mathbf{a = \frac{V^2}{R}}$$

Вектор \vec{a} в любой точке траектории перпендикулярен скорости движения и направлен к центру окружности

Частота вращения

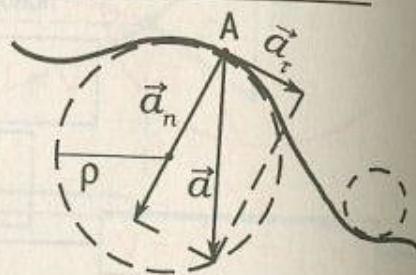
Число полных оборотов, совершаемых точкой при равномерном ее движении по окружности в единицу времени

Период вращения

Время, за которое точка совершает один полный оборот, т.е. поворачивается на угол 2π

Криволинейное движение

Любое **криволинейное движение** можно представить как последовательность движений, происходящих по дугам окружностей.



Тангенциальная составляющая ускорения характеризует быстроту изменения скорости по модулю (направлена по касательной к траектории).

$$a_\tau = |\vec{a}_\tau| = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Нормальная составляющая ускорения характеризует быстроту изменения скорости по направлению (направлена к центру кривизны траектории).

$$a_n = |\vec{a}_n| = \frac{V^2}{\rho}$$

ρ — радиус кривизны в точке A

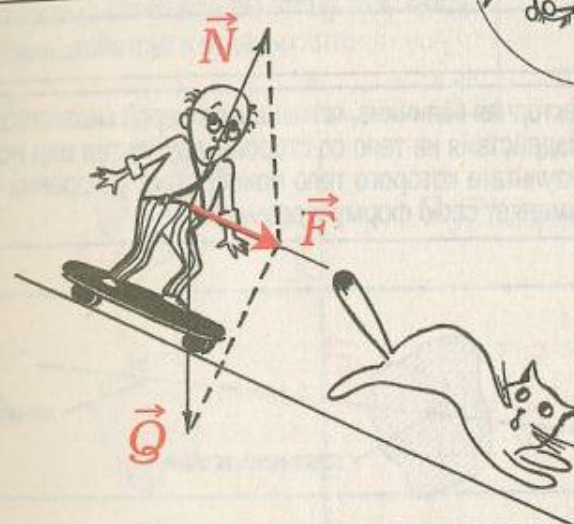
Полное ускорение при криволинейном движении

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$

ДИНАМИКА

Динамика изучает законы движения тел и причины, которые вызывают или изменяют это движение.

**Инерциальная система отсчета**

Система отсчета, относительно которой свободная материальная точка, **не подверженная воздействию других тел**, движется равномерно и прямолинейно (по инерции).

Первый закон Ньютона. (Закон инерции)

Существуют такие системы отсчета (**инерциальные системы отсчета**), относительно которых поступательно движущиеся тела сохраняют свою скорость постоянной, если на них не действуют другие тела.

Инертность тел

Свойство, присущее всем телам и заключающееся в том, что тела оказывают сопротивление изменению их скорости (как по модулю, так и по направлению).

Масса тела

Физическая величина (скалярная), являющаяся мерой его инерционных (**инертная масса**) и гравитационных (**гравитационная масса**) свойств.

Сила

Векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры.



Второй закон Ньютона

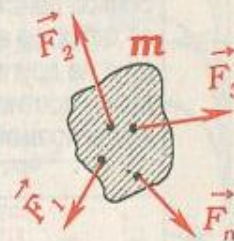
Ускорение, приобретаемое материальной точкой (телом), пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки (тела).



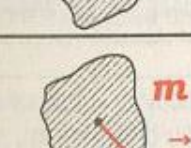
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Независимость действия сил

Ускорение, сообщаемое телу при одновременном действии нескольких сил, равно векторной сумме ускорений, которые сообщила бы этому телу каждая сила, действуя в отдельности:

$$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 + \dots + \vec{a}_n$$



	$\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_1}{m}$
	$\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_2}{m}$
	$\vec{a}_n = \frac{\vec{F}_n}{m}$

$$\vec{a}_n = \frac{\vec{F}_1}{m} + \frac{\vec{F}_2}{m} + \dots + \frac{\vec{F}_n}{m} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}$$

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n \quad \text{— равнодействующая}$$

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

Ускорение, сообщаемое телу в результате одновременного действия нескольких сил, равно ускорению, которое сообщает их равнодействующая.

Третий закон Ньютона

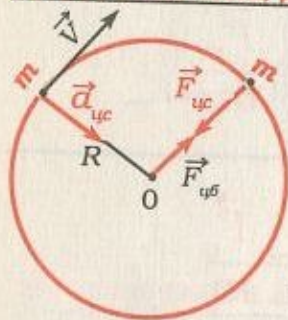
Всякое действие материальных точек (тел) друг на друга имеет характер взаимодействия; силы, с которыми действуют друг на друга материальные точки, всегда равны по модулю, противоположно направлены и действуют вдоль прямой, соединяющей эти точки.

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

Эти силы приложены к разным материальным точкам (телам), всегда действуют **парами** и являются силами **одной природы**.



Динамика тел, движущихся по окружности



$\vec{a}_{цс}$ – центростремительное ускорение

Ускорение вызывается силой

На тело с массой m , движущееся равномерно по окружности, действует сила $\vec{F}_{цс}$ (центростремительная сила), направленная к центру окружности.

По второму закону Ньютона $F_{цс} = m \cdot a_{цс}$

$$a_{цс} = \frac{v^2}{R}$$

$$F_{цс} = \frac{mv^2}{R}$$

$$F_{цс} = m \omega^2 R$$

$$a_{цс} = \omega^2 R$$

По третьему закону Ньютона центростремительной силе $\vec{F}_{цс}$, противодействует равная по модулю и противоположно направленная сила $\vec{F}_{цб}$ (центробежная сила). $\vec{F}_{цб} = -\vec{F}_{цс}$

Закон всемирного тяготения (Ньютон)

Между любыми двумя материальными точками действует сила притяжения, величина которой прямопропорциональна массам точек и обратнопропорциональна квадрату расстояния между ними.

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



F – величина силы притяжения,
 m_1, m_2 – масса материальных точек,
 r – расстояние между ними,
 G – гравитационная постоянная



Численное значение гравитационной постоянной

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

Сила тяжести



$\vec{Q} = \vec{F}_T + \vec{F}_{цб}$ — равнодействующая двух сил — силы тяготения \vec{F}_T и центробежной силы $F_{цб} = m \omega^2 \cdot r$, r — радиус обращения тела

Угловая скорость вращения Земли мала ($\omega \approx 0,08$ рад/с)

$$F_{цб} \ll F_T$$

$$\vec{Q} \approx \vec{F}_T$$

Ускорение свободного падения

\vec{g} — ускорение, с которым тело массой m движется в поле тяготения Земли

$$\vec{g} = \frac{\vec{Q}}{m} \rightarrow \vec{Q} = \vec{F}_T \rightarrow g = \frac{F_T}{m} = \frac{G \frac{m M}{R^2}}{m} = \frac{GM}{R^2} \rightarrow g = \frac{GM}{R^2}$$

g зависит от географической широты

g зависит от географической широты места

Первая космическая скорость

Минимальная скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно могло двигаться вокруг Земли по круговой орбите, т.е. превратиться в искусственный спутник Земли

$$V_1 = \sqrt{gR} = 7,9 \text{ км/с}$$

Вторая космическая скорость

Наименьшая скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно могло преодолеть притяжение Земли и превратиться в спутник Солнца, т.е. чтобы его орбита в поле тяготения Земли стала параболической

$$V_2 = \sqrt{2gR} = 11,2 \text{ км/с}$$

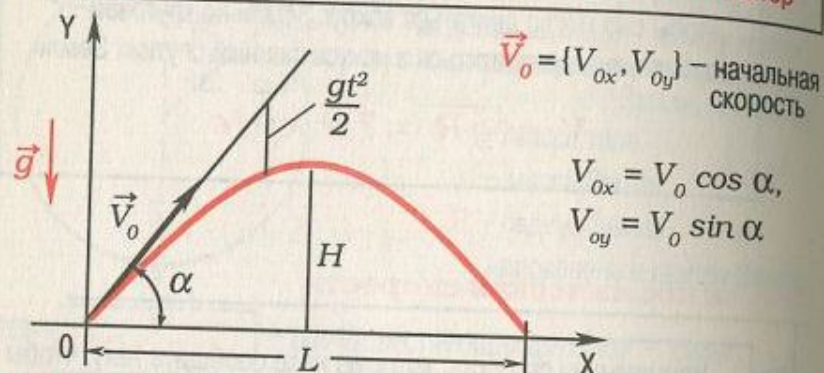
Третья космическая скорость

Скорость, которую необходимо сообщить телу на Земле, чтобы оно покинуло пределы Солнечной системы, преодолев притяжение Солнца

$$V_3 = 16,7 \text{ км/с}$$

Движение тел у поверхности Земли

\vec{g} (ускорение свободного падения) – **постоянный вектор**



$$X = V_0 \cdot t \cos \alpha,$$

$$Y = V_0 \cdot t \sin \alpha - gt^2/2$$

– координаты тела относительно неподвижной инерциальной системы отсчета

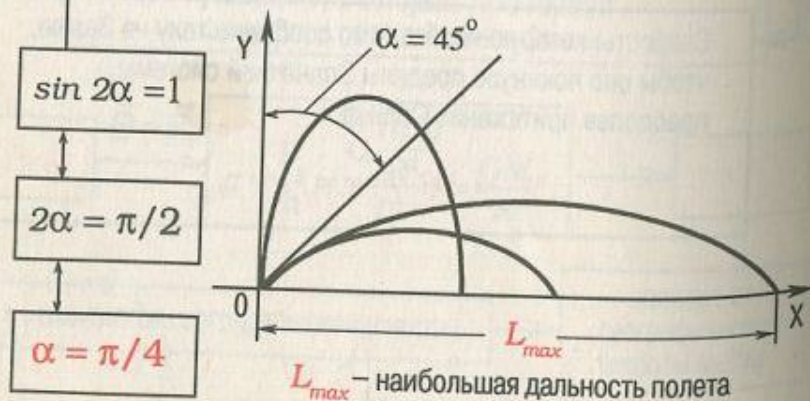
$$H = \frac{V_0^2}{2g} \sin^2 \alpha$$

– наибольшая высота подъёма

$$L = \frac{V_0^2}{g} \sin 2\alpha$$

– дальность полета

$$L = L_{\max} = \frac{V_0^2}{g}$$



Силы упругости

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

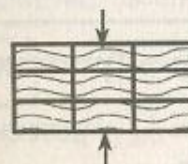
Деформация – изменение объёма и/или формы тела

Типы деформаций

Основные: растяжение (сжатие) и сдвиг

Растяжение и сжатие

Сдвиг



Другие типы деформаций

Изгиб

(сочетание растяжения и сжатия)

Кручение

(сводится к сдвигу)

Растяжение

Сжатие



Упругие и пластические деформации

Упругие – исчезают после прекращения действия внешних сил

Пластические – не исчезают после прекращения действия внешних сил

Закон Гука

Для малых упругих деформаций растяжения и сжатия выполняется **закон Гука**:

Сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела и направлена в сторону, противоположную направлению перемещений частиц тела при деформации

$$F = k \cdot |\Delta l|,$$

k – коэффициент жесткости,
 Δl – удлинение тела



При 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)

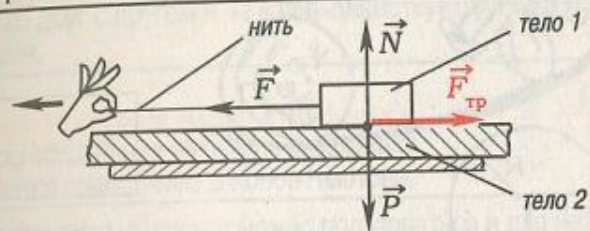
Сила нормального давления (тела на опору)

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

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

Силы трения

Сила трения ($\vec{F}_{\text{тр}}$) возникает на поверхности соприкосновения прижатых друг к другу тел при относительном перемещении их и препятствует их взаимному перемещению.



$\vec{F}_{\text{тр}}$ – **сила трения покоя**, если внешняя сила \vec{F} недостаточна для относительного перемещения тел

$$\vec{F}_{\text{тр}} = -\vec{F}$$

$$0 < |\vec{F}_{\text{тр}}| < F_{\text{тр. max}} = \mu_0 \cdot N$$

$F_{\text{тр. max}}$ – максимальная сила трения покоя,
 μ_0 – коэффициент трения покоя

$\vec{F}_{\text{тр}}$ – **сила трения скольжения**, если под действием силы F происходит относительное перемещение тел

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$$

N – сила давления,
 μ – коэффициент трения скольжения

Коэффициент трения скольжения

μ зависит

– от площади соприкосновения трущихся поверхностей: медленно возрастает с ее увеличением

– от скорости \vec{V} относительного движения поверхностей: μ может как возрастать, так и убывать с ростом \vec{V} в зависимости от материала поверхностей

Трение качения



Импульс силы

Векторная физическая величина, являющаяся мерой действия силы за некоторый промежуток времени

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot t$$

\vec{I} — импульс силы \vec{F} за время t

Импульс тела. (Количество движения)

Векторная физическая величина, являющаяся мерой механического движения

$$\vec{P} = m \cdot \vec{V}$$

\vec{P} — импульс тела массой m , движущегося со скоростью \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:
 Закон сохранения импульса в механике является следствием законов Ньютона.

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$

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).

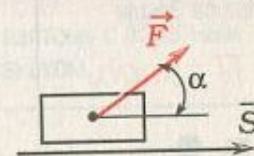
Если проекция суммы внешних сил на какую-либо координатную ось равна нулю, сохраняется проекция суммарного импульса на данную ось.

Работа

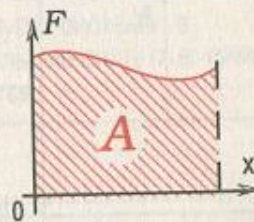
Работа постоянной силы \vec{F} :

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

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



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



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: $A = \frac{mV^2}{2}$ (за нулевой уровень принимается состояние покоя)

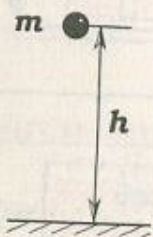
Теорема о кинетической энергии

Работа сил, приложенных к телу, равна изменению его кинетической энергии: $A = \Delta E = E_2 - E_1$

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

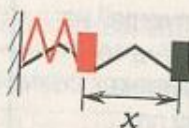
$$\Pi = mgh$$



Нулевой уровень соответствует $h=0$

Потенциальная энергия сжатой или растянутой пружины

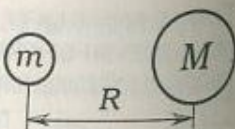
$$\Pi = \frac{kx^2}{2}$$



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

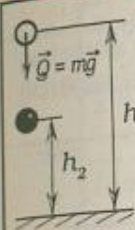
Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия материальных точек или однородных шаров

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



Нулевой уровень соответствует $R \rightarrow \infty$

Работа силы тяжести



$$\begin{aligned} A &= Q \cdot S = mg(h_1 - h_2) = \\ &= -(mgh_2 - mgh_1) = \\ &= -(\Pi_2 - \Pi_1) \\ A &= -(\Pi_2 - \Pi_1) \end{aligned}$$

Работа силы тяжести не зависит от траектории движения тела и всегда равна изменению потенциальной энергии тела, взятому с противоположным знаком.

Работа силы упругости

$A = F_{\text{ср}} \cdot S$, где $F_{\text{ср}} = k \frac{x_1 + x_2}{2}$ – среднее значение силы упругости при изменении длины пружины от x_1 до x_2 ,
 $S = x_1 - x_2$ – смещение

$$\begin{aligned} A &= k \frac{x_1 + x_2}{2} (x_1 - x_2) = k \frac{(x_1^2 - x_2^2)}{2} = \\ &= -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right) = -(\Pi_2 - \Pi_1) \end{aligned}$$

Работа силы упругости равна изменению потенциальной энергии, взятому с обратным знаком.

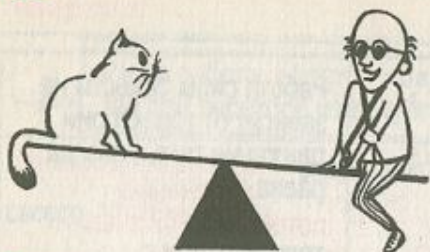
Закон сохранения механической энергии

Полная механическая энергия замкнутой системы, в которой действуют только потенциальные силы (т.е. силы упругости и тяготения), не изменяется: $E + \Pi = \text{const}$

Мощность

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

$$N = \frac{A}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{S}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$



СТАТИКА

Статика — раздел механики, в котором рассматривается равновесие тел.

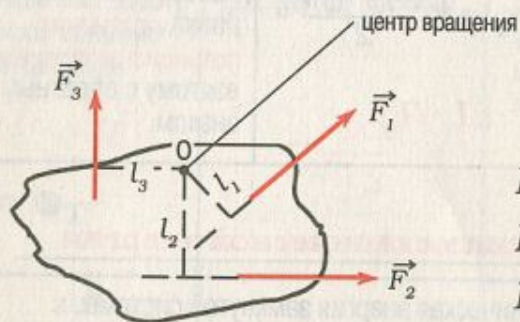
Равновесие тел

Состояние механической системы, в котором тела остаются неподвижными по отношению к выбранной системе отсчета.

Момент силы равен произведению силы на плечо: $M = F \cdot l$;

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

Момент силы, вращающий тело **против часовой стрелки**, считают **положительным**, а момент, 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.

В однородном поле тяготения центр тяжести и центр масс совпадают.

Условия равновесия тел

1. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю: $\Sigma \vec{F} = 0$

2. Алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, равна нулю: $\Sigma M = 0$

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

<p>Устойчивое</p>	<p>При малом отклонении тела от положения равновесия возникает сила, стремящаяся вернуть тело в исходное состояние.</p>
<p>Безразличное</p>	<p>При малом отклонении тело остается в равновесии.</p>
<p>Неустойчивое</p>	<p>При малом отклонении тела из положения равновесия возникают силы, стремящиеся увеличить это отклонение.</p>

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.

ГИДРОСТАТИКА И АЭРОСТАТИКА

Давление жидкостей и газов

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

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

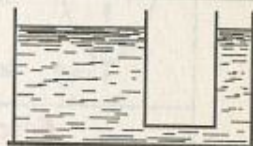


Закон Паскаля: внешнее давление, оказываемое на жидкость или газ, передается без изменения в каждую точку жидкости или газа.

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.**



Атмосферное давление

Обусловлено весом воздушного столба. Действует на все тела, находящиеся вблизи поверхности Земли. Нормальное атмосферное давление равно 101 кПа (760 мм рт.ст.).

Атмосферное давление **уменьшается с увеличением высоты.**

Закон Архимеда

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

$$F_A = \rho_{жс} g V,$$

где $\rho_{жс}$ — 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.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Колебания — движения или процессы, которые характеризуются определенной повторяемостью во времени.

Механические колебания — колебания механических величин (смещения, скорости, ускорения, давления и т.п.).

Амплитуда колебаний — модуль максимального отклонения физической величины от ее среднего (равновесного) значения.

Частота колебаний — число полных колебаний, совершаемых в единицу времени.

Период колебаний — время одного полного колебания, т.е. минимальный промежуток времени, через который происходит повторение процесса.

Период (T) и частота (ν) связаны соотношением $\nu = 1/T$

Гармонические колебания — колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса.

Уравнение гармонических колебаний

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

где

x — величина смещения от положения равновесия,

A — амплитуда,

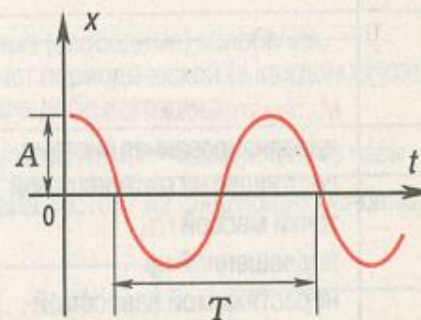
ω — циклическая частота, связанная с частотой ν

соотношением $\omega = 2\pi\nu$,

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

φ_0 — начальная фаза колебания.

График гармонических колебаний



Свободные колебания

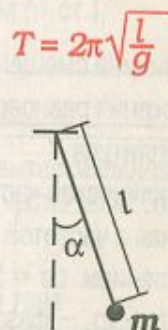
Колебания, которые совершаются за счет первоначально сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему (систему, совершающую колебания).

Примеры свободных механических колебаний

Пружинный маятник – груз массой m , подвешенный на абсолютно упругой пружине и совершающий гармонические колебания под действием упругой силы $F = -kx$, k – жесткость пружины.



Математический маятник – идеализированная система, состоящая из материальной точки массой m , подвешенной на нерастяжимой невесомой нити, и колеблющаяся под действием силы тяжести.

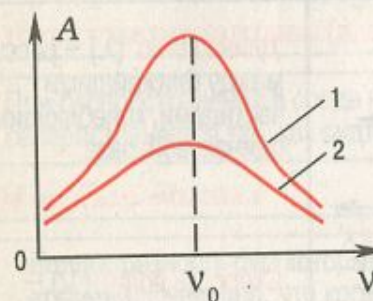


Вынужденные колебания

Колебания, возникающие под действием внешней периодически изменяющейся силы

Частота вынужденных колебаний равна частоте изменения внешней силы.

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



Чем меньше трение, тем больше амплитуда резонансных колебаний и тем острее пик на резонансной кривой (кривая 1)

Автоколебания

Незатухающие собственные (свободные) колебания, поддерживаемые за счет периодической (в каждом цикле) подкачки энергии от какого-либо источника

Пример автоколебательной системы – механические часы

Автоколебательная система состоит из следующих основных элементов:



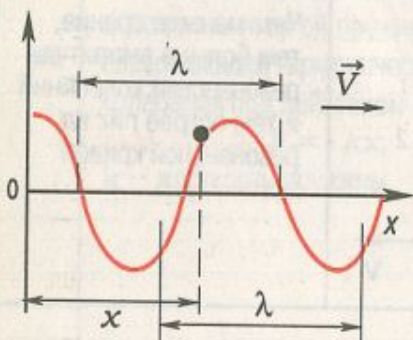
Волны

Распространение колебаний в пространстве с течением времени



Упругие (или механические) волны — механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде.

В **продольных волнах** частицы среды колеблются в направлении распространения волны, в **поперечных** — в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения волны.



(гармоническая поперечная волна, распространяющаяся со скоростью \vec{V} вдоль оси x)

Длина волны (λ) — расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе

$$\lambda = V \cdot T$$

Скорость волны (\vec{V}) — скорость перемещению точки, в которой колебание имеет определенную фазу (например, скорость перемещения "гребня" или "впадины")

$$V = \lambda \cdot \nu$$

Волновой фронт — геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени t .

Волновая поверхность — геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе.

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

Сферические и плоские волны

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



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



Принцип суперпозиции (наложения) волн

При распространении в среде нескольких волн каждая из них распространяется так, как будто другие волны отсутствуют.

Когерентные волны

Волны, разность фаз которых остается постоянной во времени. Очевидно, что когерентными могут быть лишь волны, имеющие одинаковую частоту.

Интерференция волн

Явление наложения в пространстве двух (или нескольких) когерентных волн в разных его точках, при котором получается усиление или ослабление результирующей волн в зависимости от соотношения между фазами этих волн.

Принцип Гюгенса

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.



Дифракция волн

Отклонение направления распространения волн от прямолинейного у границы преграды (огибание препятствий)
Дифракция проявляется, если размеры препятствий достаточно малы (сравнимы с длиной волны).

Принцип Гюенса-Френеля – дифракция обусловлена интерференцией вторичных волн.

Дифракция на малом препятствии



Дифракция на малом отверстии



Звуковые волны (пример механических волн)

Человеческое ухо воспринимает звук с частотой от 20 Гц до 20000 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 20000 Гц – **ультразвуком**.



Скорость звука

в воздухе около
330 м/с

в воде
1500 м/с

в стали около
6000 м/с

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ



Молекула – наименьшая устойчивая частица данного вещества, обладающая его основными химическими свойствами. Молекулы состоят из **атомов**.

Количество вещества (ν) – величина, пропорциональная числу молекул (N) данного вещества (измеряется в **молях**).

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

Моль – количество вещества, в котором содержится столько же молекул, сколько атомов углерода содержится в 0,012 кг углерода ^{12}C .

Число Авогадро (N_A) – число молекул в 1 моле вещества.
 $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Молярная масса (M) – масса 1 моля вещества.

$$M = N_A \cdot m_0,$$

где m_0 – масса молекулы данного вещества.

$$M = N_A \cdot m_0 = \frac{N}{\nu} \cdot m_0 = \frac{m}{\nu}$$

где $m = N \cdot m_0$ – масса данного вещества.

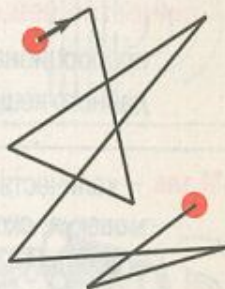
Основные положения молекулярно-кинетической теории

1. Все тела в природе состоят из молекул.
2. Молекулы находятся в непрерывном хаотическом (беспорядочном) движении.
3. Молекулы взаимодействуют между собой.

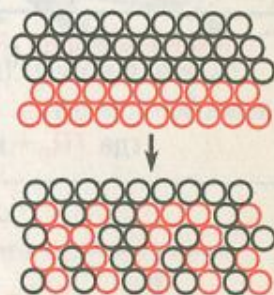
Опытные обоснования молекулярно-кинетической теории

Броуновское движение —

хаотическое движение взвешенных в жидкости или газе частиц под действием ударов молекул жидкости или газа ("танец" пылинок в солнечном луче)



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



Тепловое равновесие

Процесс продолжается
достаточно долго

Два тела находятся в контакте друг с другом и изолированы от других тел

Устанавливается
тепловое равновесие

Более нагретое тело остывает, а более холодное — нагревается

Дальнейшего остывания и нагревания тел не происходит



Температура

Физическая величина, характеризующая степень нагретости тела.

Температура одинакова во всех частях системы тел, находящихся в состоянии **теплового равновесия**.

Температуру измеряют **термометрами**. Действие жидкостных (ртутных, спиртовых) термометров основано на тепловом расширении жидкостей при нагревании.

Шкала температур Цельсия

За 0°C принята температура таяния льда, за 100°C — температура кипения воды при нормальных условиях.

Идеальный газ

Идеализированная модель, согласно которой:

- 1) размеры молекул газа пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними;
- 2) между молекулами газа отсутствуют силы взаимодействия;
- 3) столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

Позволяет вычислить давление газа P , если известны масса m_0 молекулы газа, среднее значение квадрата скорости молекул \bar{V}^2 и концентрация n молекул:

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \bar{V}^2$$

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{V}^2}{2} = \frac{2n\bar{E}}{3}$$

$$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{V}^2}{2}$$

– среднее значение кинетической энергии поступательного движения молекул идеального газа

Температура – мера средней кинетической энергии молекул

Опытный факт: для любых газов, находящихся в состоянии теплового равновесия, $\frac{PV}{N} = \text{const}$

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E} \xrightarrow{n = \frac{N}{V}} P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \bar{E} \rightarrow \frac{P \cdot V}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}$$

Средняя кинетическая энергия молекул любых газов, находящихся в тепловом равновесии, одинакова

Температура (T) – это величина, пропорциональная средней кинетической энергии хаотического движения молекул, которую определяют по формуле:

$$\bar{E} = \frac{2}{3} kT$$

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

Абсолютная температура – температура T , измеренная по шкале Кельвина (К).

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

$$T = t + 273$$

Соотношение между давлением, концентрацией молекул и абсолютной температурой

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E} \quad \xrightarrow{\bar{E} = \frac{2}{3} kT} \quad P = nkT$$

Уравнение состояния идеального газа

$$R = N_A \cdot k = 8,31 \text{ Дж/(К. моль)} \quad \text{— универсальная газовая постоянная}$$

$$P = nkT \quad \rightarrow \quad PV = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{Уравнение Менделеева-Клапейрона}$$

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона) связывает между собой основные параметры, характеризующие состояние газа: давление P , объем V , температуру T .

При $m = \text{const}$ уравнение состояния принимает вид:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{const} \quad \text{Уравнение Клапейрона}$$

Изопроцессы

Процессы, происходящие при постоянном значении одного из параметров состояния (T , V или P) с данной массой газа

Изотермический процесс

Процесс, происходящий при постоянной температуре ($T = \text{const}$)

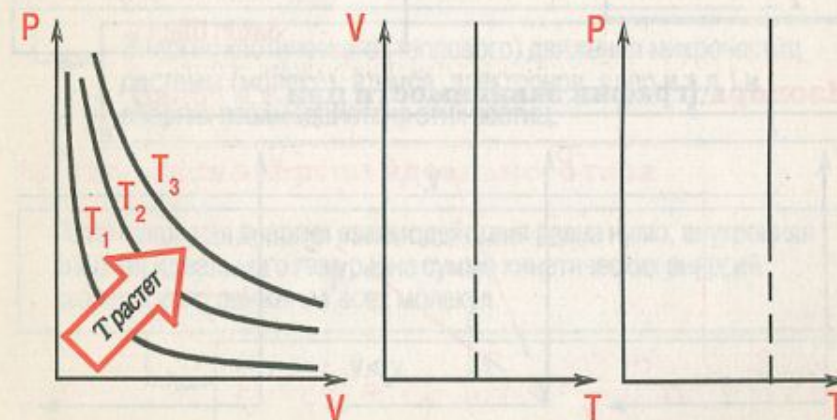
$$\frac{PV}{T} = \text{const} \quad \xrightarrow{T = \text{const}} \quad PV = \text{const}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Закон Бойля-Мариотта

Изотерма

График зависимости между параметрами состояния газа при $T = \text{const}$

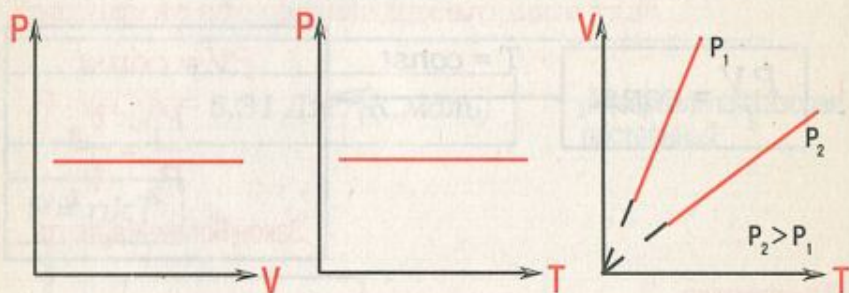


Изобарный процесс

Процесс, происходящий при постоянном давлении
($P = \text{const}$)

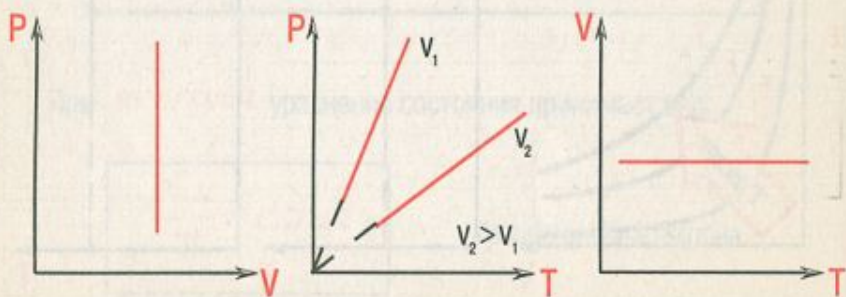
$$\frac{PV}{T} = \text{const} \xrightarrow{P = \text{const}} \frac{V}{T} = \text{const} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Закон Гей-Люссака

Изобара (график зависимости при $P = \text{const}$)**Изохорный процесс: при $V = \text{const}$**

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \xrightarrow{V = \text{const}} \frac{P}{T} = \text{const} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Закон Шарля

Изохора (график зависимости при $V = \text{const}$)**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

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

Термодинамическая система

Совокупность макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией как между собой, так и с другими телами (внешней средой).

Термодинамические параметры (параметры состояния)

Совокупность физических величин, характеризующих свойства термодинамической системы. Обычно в качестве параметров состояния выбирают температуру, давление и объем.

Термодинамическое равновесие

Равновесие макроскопической системы, если ее состояние с течением времени не изменяется.

Внутренняя энергия (U) системы

Энергия хаотического (теплового) движения микрочастиц системы (молекул, атомов, электронов, ядер и т.д.) и энергия взаимодействия этих частиц.

Внутренняя энергия идеального газа

Потенциальная энергия взаимодействия равна нулю, внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических энергий хаотического движения всех молекул.

$$U = NE = \nu N_A \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT = \frac{3}{2} PV$$

Два способа изменения внутренней энергии

<p>Теплопередача – изменение внутренней энергии без совершения работы: энергия передается от более нагретых тел к менее нагретым</p>	<p>Совершение механической работы Например, нагревание при трении или при сжатии, охлаждение при расширении</p>
---	--



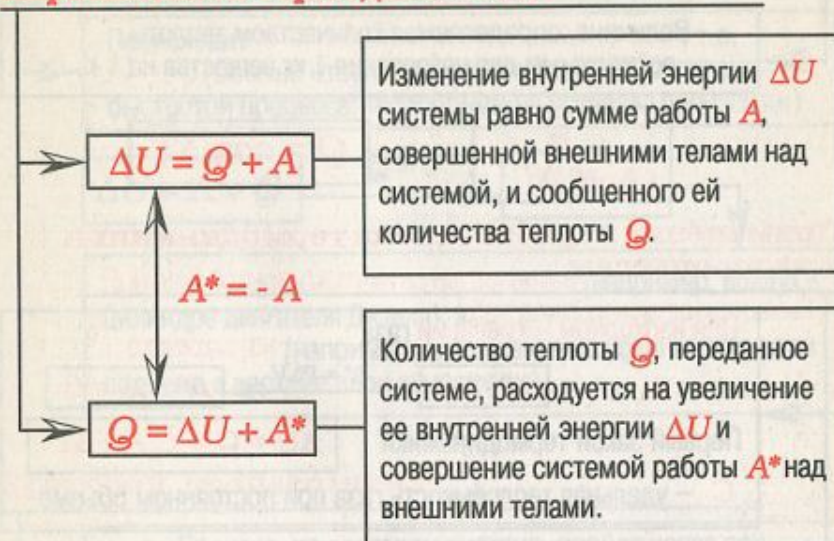
Виды теплопередачи

<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>

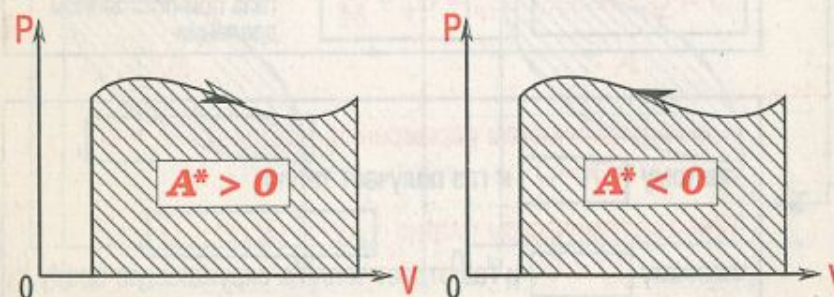
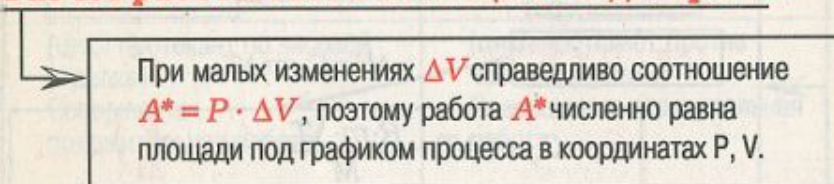
Количество теплоты

<p>Мера переданной энергии при осуществлении теплопередачи от одного тела к другому.</p>
--

Первый закон термодинамики



Расчет работы газа с помощью PV-диаграмм



Удельная теплоёмкость вещества

Величина, определяемая количеством теплоты, необходимым для нагревания 1 кг вещества на 1 К.

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Применение первого закона термодинамики к изопроцессам

При изохорном нагревании газа

$$\Delta V = 0$$

$$A^* = P \Delta V$$

$$A^* = A = 0$$

Первый закон термодинамики

$$\Delta U = Q = C_v \cdot m \cdot \Delta T$$

C_v – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме

При изобарном нагревании $P = \text{const}$

$$A^* = P \Delta V$$

$$P \Delta V = \frac{R \cdot m \cdot \Delta T}{M}$$

$$A^* = \frac{R \cdot m \cdot \Delta T}{M}$$

$$Q = \Delta U + A^*$$

$$\Delta U = C_v \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = C_v \cdot m \cdot \Delta T + \frac{R \cdot m \cdot \Delta T}{M} = \left(C_v + \frac{R}{M} \right) m \cdot \Delta T$$

$$Q = C_p \cdot m \cdot \Delta T$$

$$C_p = C_v + \frac{R}{M}$$

– удельная теплоемкость газа при постоянном давлении

При изотермическом расширении $\Delta U = 0, A^* > 0$,

поэтому $Q > 0$ и газ получает тепло

При изотермическом сжатии $\Delta U = 0, A^* < 0$,

поэтому $Q < 0$ и газ отдает тепло в окружающую среду.

Адиабатический процесс

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

$$\Delta U = A + Q$$

$$Q = 0$$

$$\Delta U = A$$

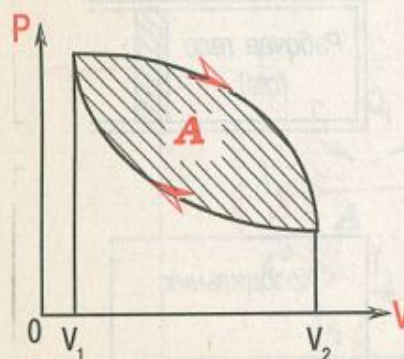
При адиабатном сжатии газ нагревается (например, воздух в цилиндре двигателя Дизеля), а при адиабатном расширении – охлаждается (например, охлаждение воздушных масс при подъеме в верхние слои атмосферы).

Круговой процесс (цикл)

Процесс, при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное.

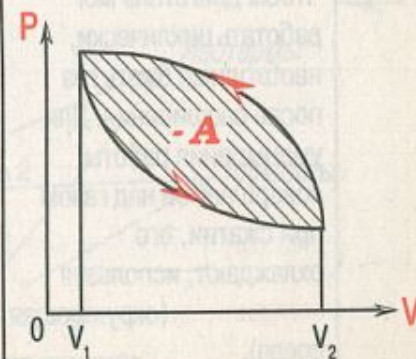
Прямой цикл

(цикл протекает по часовой стрелке)
Совершается положительная работа



Обратный цикл

(цикл протекает против часовой стрелки)
Совершается отрицательная работа



Второй закон термодинамики

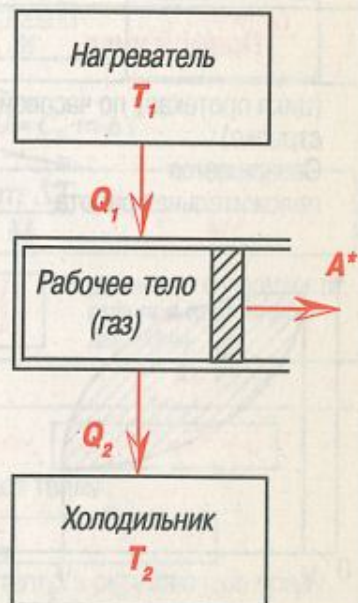
1. По Кельвину: невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную ей работу.
2. По Клаузиусу: невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача теплоты от менее нагретого тела к более нагретому.

Тепловой двигатель

Периодически действующий двигатель, совершающий работу за счет полученной извне теплоты

Принцип действия теплового двигателя

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** (окружающая среда).



Коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя и его максимальное значение

$$\Delta U = Q - A^* \xrightarrow{\Delta U = 0} A^* = Q_1 - Q_2$$

A^* – работа газа в цикле,
 Q_1 – тепло, полученное от нагревателя,
 Q_2 – тепло, отданное холодильнику

$$\eta = \frac{A^*}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

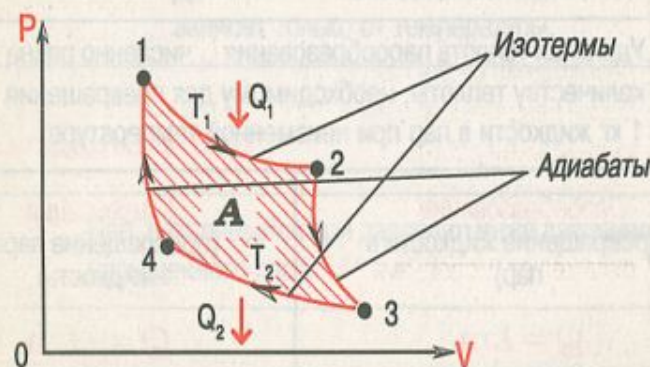
отношение полезно использованной энергии к затраченной энергии

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

T_1 – температура нагревателя,
 T_2 – температура холодильника

Цикл Карно

Из всех тепловых машин, работающих в контакте с нагревателем T_1 и холодильником T_2 ($T_2 < T_1$) максимально возможный КПД (η_{\max}) достигается в равновесном (обратимом) **цикле Карно**, состоящем из двух изотерм T_1 и T_2 и двух адиабат.



Изменение агрегатного состояния вещества

Взаимные превращения газов, жидкостей и твердых тел



Парообразование происходит с поглощением энергии. Энергия расходуется на разрыв межмолекулярных связей.

Удельная теплота парообразования

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

Парообразование
(превращение жидкости в пар)

$$Q = Lm$$

Конденсация
(превращение пара в жидкость)

$$Q = -Lm$$

Испарение

Парообразование, происходящее при любой температуре со свободной поверхности жидкости (с поверхности жидкости вылетают молекулы, кинетическая энергия которых превышает потенциальную энергию взаимодействия молекул).

Динамическое равновесие в системе жидкость-пар

Число молекул, испаряющихся с поверхности жидкости в единицу времени, равно числу возвращающихся молекул конденсируемого пара.

Насыщенный пар

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Давление P_n насыщенного пара зависит только от температуры.

Ненасыщенный пар

Пар, находящийся при давлении ниже давления насыщенного пара: $(P < P_n)$

Относительная влажность воздуха

Отношение давления P водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению P_n насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{P}{P_n} \cdot 100 \%$$

Точка росы

Температура, при которой водяной пар становится насыщенным.



Кипение

Процесс парообразования во всем объеме жидкости при определенной температуре T_k (температуре кипения).

Температура кипения

Температура, при которой давление насыщенного пара в пузырьках внутри жидкости равно внешнему давлению.

Критическая температура ($T_{кр}$)

Для каждого вещества (газообразного) существует критическая температура $T_{кр}$, при которой исчезает разница между жидкостью и ее насыщенным паром.

Плавление

Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое при нагревании.

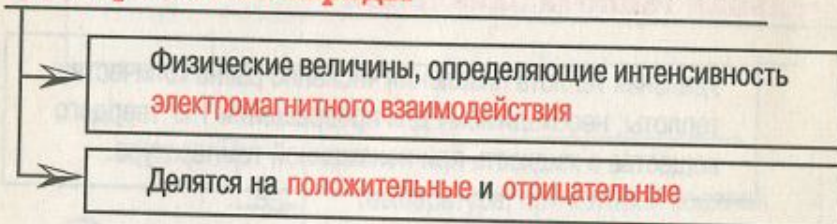
Удельная теплота плавления

Удельная теплота плавления численно равна количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг твердого вещества в жидкость при неизменной температуре.

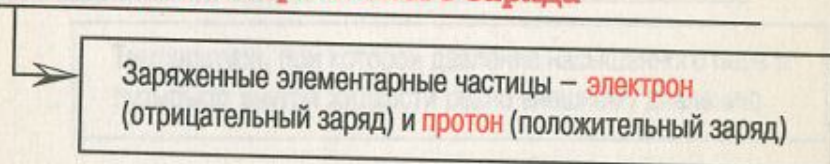
ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ



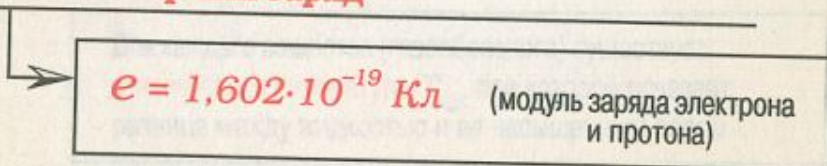
Электрические заряды



Носители электрического заряда



Элементарный заряд



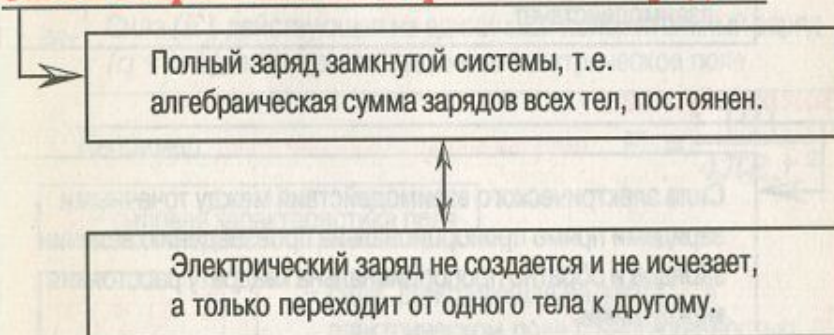
Заряженные тела

Заряд тела всегда представляется числом, кратным величине элементарного заряда:

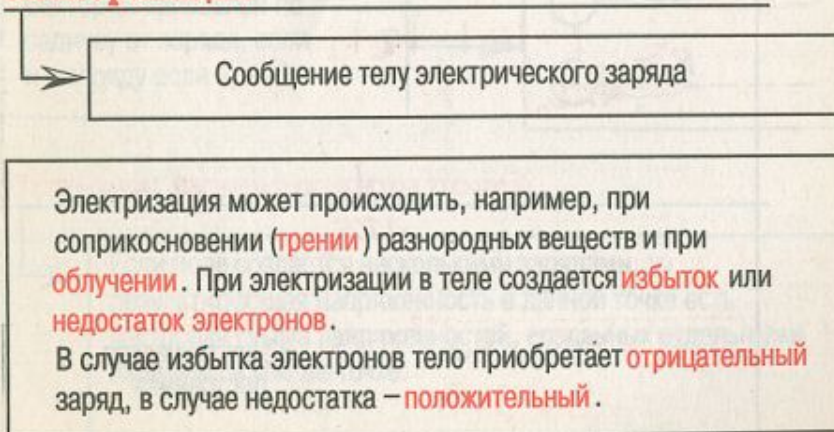
$$q = e(N_p - N_e), \text{ где}$$

N_e – количество электронов,
 N_p – количество протонов

Закон сохранения электрического заряда



Электризация



Электростатика

Раздел электродинамики, посвященный изучению покоящихся электрических зарядов.

Точечный заряд

Заряд, сосредоточенный на теле, линейные размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми он взаимодействует.

Закон Кулона

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

В вакууме

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Ф/м}$$

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

Электрическое поле

Силовое поле в пространстве, в котором заряженные частицы взаимодействуют друг с другом.

Электростатическое поле

Поле, которое создается неподвижными электрическими зарядами

Напряженность электрического поля

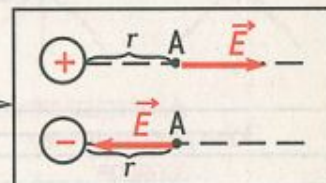
Сила (\vec{E}), действующая на единичный положительный заряд ($q = +1$), помещенный в данное электрическое поле.

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

\vec{E} — силовая характеристика поля

$\vec{F}_q = q \cdot \vec{E}$ — сила, действующая на заряд q в электрическом поле с напряженностью \vec{E}

Вектор \vec{E} направлен по радиусу от заряда, если $q > 0$, и к заряду если $q < 0$



Принцип суперпозиции полей

Если поле создается несколькими зарядами, то результирующая напряженность в данной точке есть векторная сумма напряженностей, созданных отдельными зарядами в той же точке:

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

Линии напряженности (силовые линии)

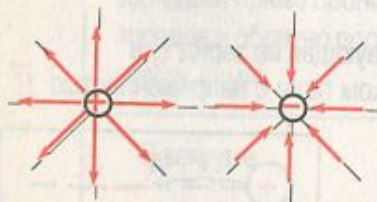
Линии, касательные к которым в каждой точке совпадают по направлению с вектором \vec{E} в этой точке

Силовые линии не пересекаются. Для электростатического поля силовые линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных, их обычно проводят с определенной густотой: число линий напряженности, пронизывающих единицу поперечной площадки, должно быть равно модулю вектора \vec{E} .

Примеры

Поле точечного заряда

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

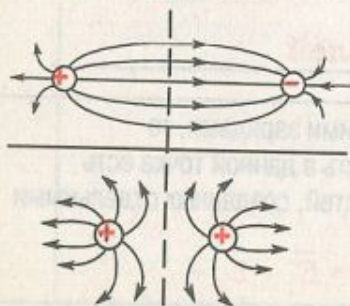


Поле проводящей сферы

$$E(r) = \begin{cases} 0 & \text{при } r < R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^2} & \text{при } r \geq R \end{cases}$$



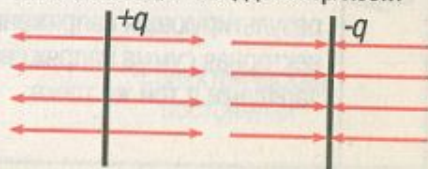
Поле двух точечных зарядов



Поле равномерно заряженной бесконечной плоскости

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon\epsilon_0}$$

$\sigma = q/s$ – поверхностная плотность заряда, численно равная электрическому заряду единицы площади поверхности



Работа сил электростатического поля

Электростатическое поле является **потенциальным**, т.е. работа кулоновских сил по перемещению заряда **не зависит от формы траектории**.

Работа кулоновских сил по перемещению заряда:

$$A = -\Delta\P = \Pi_1 - \Pi_2$$

Π – потенциальная энергия заряда

Потенциал (φ) электрического поля

Физическая величина, равная потенциальной энергии единичного положительного заряда в данной точке поля

$$\varphi = \frac{\Pi}{q}$$

Принцип суперпозиции для потенциала

Потенциал результирующего поля равен сумме потенциалов, создаваемых в данной точке отдельными зарядами:

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

Разность потенциалов

$$A = \Pi_1 - \Pi_2$$

$$\Pi = q\varphi$$

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Между двумя точками **1** и **2** в электростатическом поле

разность потенциалов

определяется работой, совершаемой кулоновскими силами при перемещении электрического заряда из точки **1** в точку **2**.

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{A}{q}$$

Если точка 2 находится в бесконечности, где потенциал принимается равным нулю, то

$$A = q\varphi_1$$

Потенциал численно равен работе кулоновских сил по перемещению единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность.

Соотношение между напряженностью и разностью потенциалов

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} = (+1) \cdot \vec{E} \cdot \vec{S} = |\vec{E}| \cdot |\vec{S}|$$

$$A = (+1)(\varphi_1 - \varphi_2) = -\Delta\varphi$$

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{d}$$

где $d = |\vec{S}|$

S – вектор перемещения

Эквипотенциальная поверхность

Поверхность, потенциалы всех точек на которой одинаковы

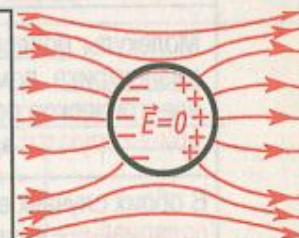
В каждой точке эквипотенциальной поверхности вектор \vec{E} перпендикулярен к ней.

Проводники и диэлектрики в электростатическом поле

Проводник – вещество, имеющее свободные заряженные частицы (в металлах – **электроны**, в электролитах – **ионы**)

Электростатическая индукция

Перераспределение зарядов в проводнике, помещенном в электростатическое поле. Заряды распределяются таким образом, чтобы **напряженность поля внутри** проводника была **равна нулю**, а поверхность проводника являлась **эквипотенциальной**.



Проводящий шар

Диэлектрики – вещества, в которых отсутствуют свободные заряженные частицы (практически не проводят электрический ток)

Виды диэлектриков

Неполярные диэлектрики

Центры положительного и отрицательного зарядов каждой молекулы в отсутствие поля совпадают.

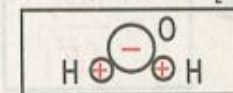


Атомы H, He

Полярные диэлектрики

Центры положительного и отрицательного зарядов каждой молекулы разделены даже в отсутствие поля, т.е. молекулу можно рассматривать как диполь (**диполем** называется электрически нейтральная система из двух точечных разноименных зарядов).

Молекула воды (H_2O)

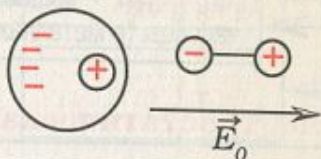


Эквивалентный диполь

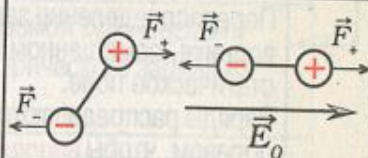


Поляризация диэлектриков

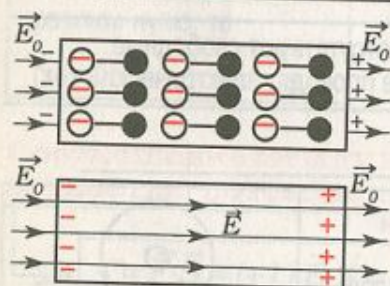
Молекулы неполярного диэлектрика, помещенного в электрическое поле, деформируются, в результате чего **возникают диполи**, ориентированные вдоль \vec{E}_0 .



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, электрическое поле внутри диэлектрика **ослабляется**.

Диэлектрическая проницаемость вещества

$$\epsilon = \frac{|\vec{E}_0|}{|\vec{E}|}$$

\vec{E} – напряженность электрического поля внутри диэлектрика,
 \vec{E}_0 – напряженность электрического поля в вакууме

В результате поляризации **напряженность поля** в диэлектрике уменьшается в ϵ раз.

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

Конденсаторы

Конденсатор – это система из двух проводников (обкладок), разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников.

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

Электрическая ёмкость конденсатора

Физическая величина, определяемая отношением заряда q одной из пластин конденсатора к разности потенциалов между его обкладками

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$$

Поле плоского конденсатора

Плоский конденсатор – две плоские металлические пластины, расположенные параллельно и разделенные слоем диэлектрика.

$$E = \frac{q}{\epsilon \cdot \epsilon_0 S}$$

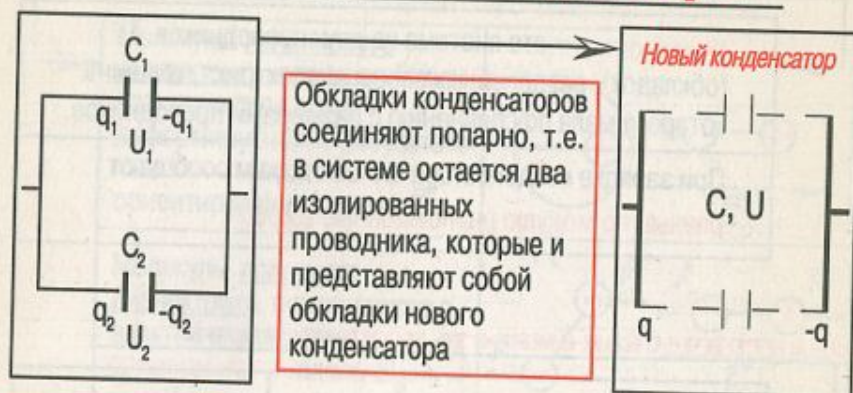
q – модуль заряда одной из его пластин,
 S – площадь пластин

Электроёмкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon S}{d}$$

ϵ – диэлектрическая проницаемость диэлектрика,
 d – толщина диэлектрика

Параллельное соединение конденсаторов

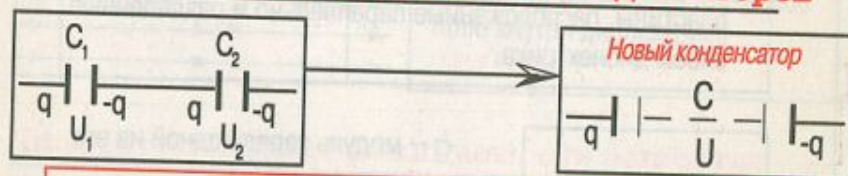


$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad \text{— напряжение конденсатора}$$

$$q = q_1 + q_2 \quad q = C \cdot U \quad C \cdot U = C_1 U_1 + C_2 U_2 = (C_1 + C_2) U$$

$$U_1 = U_2 = U \quad C = C_1 + C_2$$

Последовательное соединение конденсаторов



Производят только одно соединение, а две оставшиеся обкладки — одна от конденсатора C_1 , другая от конденсатора C_2 — играют роль обкладок нового конденсатора.

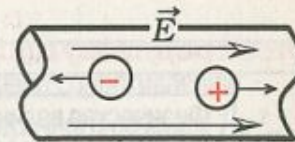
$$U = U_1 + U_2 \quad U = \frac{q}{C} \quad \frac{q}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) q$$

$$q = q_1 = q_2 \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрический ток — упорядоченное (направленное) движение электрических зарядов

В проводнике под действием приложенного электрического поля \vec{E} свободные электрические заряды перемещаются: положительные — по полю, отрицательные — против поля.



В проводнике возникает ток, называемый **током проводимости**.

Для возникновения и существования электрического тока необходимо:

Наличие свободных носителей тока — заряженных частиц, способных перемещаться упорядоченно

Наличие электрического поля, энергия которого, каким-то образом восполняясь, расходовалась бы на их упорядоченное движение

Сила тока

Скалярная физическая величина I , численно равная заряду, который переносится за единицу времени через поперечное сечение проводника: $I = \Delta q / \Delta t$

$$I = |q_0| \cdot n \cdot \vec{V} \cdot S, \quad \text{где:}$$

q_0 — заряд свободной заряженной частицы;
 n — концентрация носителей заряда;
 \vec{V} — средняя скорость их упорядоченного движения;
 S — площадь сечения проводника.

Сторонние силы

Силы неэлектрического происхождения, действующие на заряды со стороны источников тока (гальванических элементов, аккумуляторов, генераторов).

Электродвижущая сила (ЭДС)

Физическая величина, определяемая работой ($A_{ст}$), совершаемой **сторонними силами** при перемещении единичного положительного заряда.

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$$

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

Напряжение (U) на участке цепи

Физическая величина, определяемая работой, совершаемой суммарным полем кулоновских и сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}$$

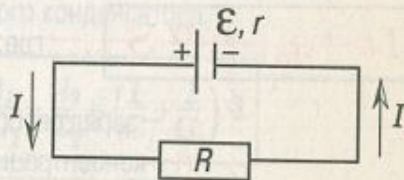
Законы постоянного тока

Закон Ома для участка цепи: сила тока прямо пропорциональна напряжению на данном участке
 R – сопротивление участка цепи

$$I = \frac{U}{R}$$

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

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



Сопротивление однородного линейного проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ – удельное электрическое сопротивление;
 S – площадь поперечного сечения проводника;
 l – его длина

ρ (удельное сопротивление) численно равно сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м^2 .

Работа и мощность тока

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

– Работа электрического тока на участке цепи за время Δt

$$P = \frac{A}{t} = I \cdot U$$

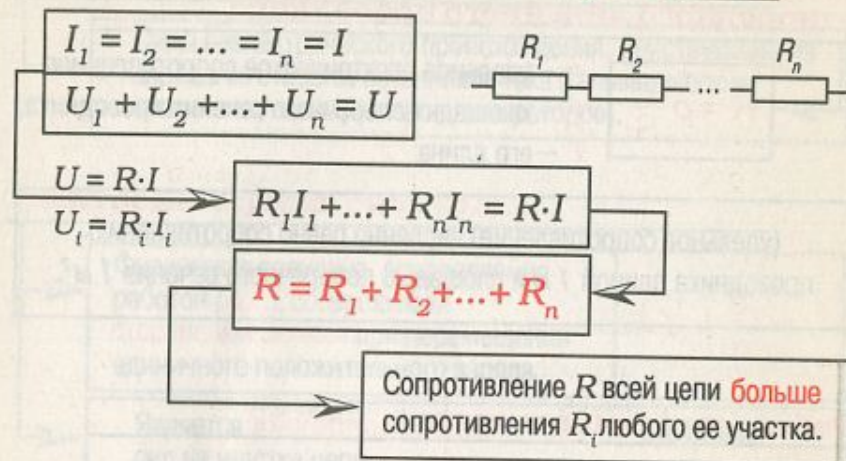
– Мощность электрического тока

Закон Джоуля-Ленца

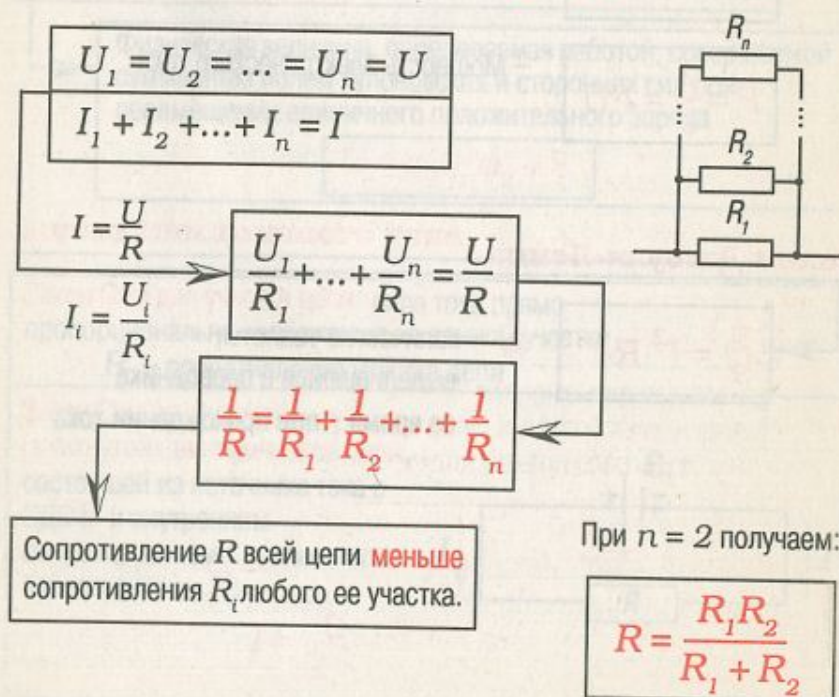
$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Q – количество теплоты, выделившейся в проводнике за время t при прохождении тока

Последовательное соединение проводников



Параллельное соединение проводников



Электрический ток в металлах

В металлах свободными носителями заряда являются электроны. При образовании кристаллической решетки **валентные электроны** каждого атома могут **свободно перемещаться** в пределах данного кристаллического тела. Сопротивление металлов обусловлено дефектами решетки и тепловыми колебаниями ионов (поэтому оно растет при нагревании).

Сверхпроводимость

Свойство металлов и их сплавов, заключающееся в том, что их электрическое сопротивление скачком падает до нуля при охлаждении ниже **критической температуры T_k** , характерной для данного проводника, т.е. металл становится абсолютным проводником.

Критическая температура для металлов составляет $1-20$ К. Для некоторых керамических материалов T_k достигает 100 К и выше; для них наблюдается **высокотемпературная сверхпроводимость**.

Электрический ток в электролитах

Электролиты – вещества, растворы которых проводят электрический ток. Электролиты – класс проводников, в которых электрический ток всегда сопровождается их химическими изменениями. К электролитам относят, например, растворы солей, кислот и щелочей.

Электролитическая диссоциация

Расщепление молекул электролита на положительные и отрицательные ионы под действием растворителя

Электролиз

Выделение вещества на электродах при прохождении через раствор (электролит) электрического тока

Закон Фарадея (Закон электролиза)

Масса m вещества, выделившегося на электроде, пропорциональна заряду q , прошедшему через электролит

$$m = kq \quad \text{или} \\ m = kIt$$

k – электрохимический эквивалент

$$k = \frac{M}{e N_A \cdot n}$$

M – молярная масса,
 n – валентность,
 e – элементарный заряд,
 N_A – постоянная Авогадро

Зависимость удельного сопротивления металлов и электролитов от температуры

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

ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C ,
 t – температура по шкале Цельсия,
 α – температурный коэффициент сопротивления

Для металлов $\alpha > 0$ (сопротивление при нагревании увеличивается),
для электролитов $\alpha < 0$ (сопротивление при нагревании уменьшается).

Электрический ток в газах

Газы в нормальных условиях являются диэлектриками. Носители электрического тока в газах возникают только в результате ионизации.

Газовый разряд – прохождение электрического тока через газы.

Несамостоятельный газовый разряд – разряд, существующий только под действием внешних ионизаторов (ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоактивное излучения, сильный нагрев).

Самостоятельный газовый разряд – разряд в газе, сохраняющийся после прекращения действия внешнего 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).

Напряжение пробоя – напряжение, при котором возникает самостоятельный разряд.

Типы самостоятельного разряда

1. Тлеющий разряд

Возникает при низких давлениях. $P \sim 0,01 \div 1$ мм рт.ст., применяется в газосветных трубках и газовых лазерах.

2. Искровой разряд

Возникает при больших напряженностях электрического поля в газе, находящемся под давлением порядка атмосферного (молния, пробой диэлектрика).

3. Дуговой разряд

Возникает: а) если после зажигания искрового разряда от мощного источника постепенно уменьшать расстояние между электродами; б) если электроды сблизить до соприкосновения (минуя стадию искры), а потом их развести.

4. Коронный разряд

Возникает при высоком давлении в резко неоднородном поле вблизи электродов с большой кривизной поверхности (например, остря).

Понятие о плазме

Плазма (четвертое состояние вещества) — частично или полностью ионизированный газ, в котором концентрации положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы (т.е. электрически нейтральный).

Газоразрядная плазма возникает при газовых разрядах.

Высокотемпературная плазма возникает при сверхвысоких температурах ($T > 10^6$ К).

Электрический ток в вакууме

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

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

Термоэлектронная эмиссия — явление испускания свободных электронов с поверхности нагретых тел.

Полупроводники

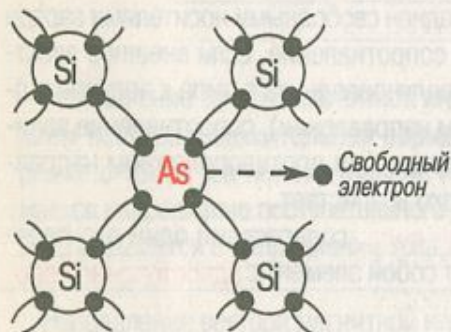
Вещества, в которых число свободных зарядов сильно зависит от температуры.

При низких температурах полупроводник является диэлектриком. Однако уже при комнатной температуре полупроводник проводит ток.

Удельное сопротивление полупроводников на несколько порядков больше, чем у металлов, и быстро уменьшается с увеличением температуры.

Типы полупроводников

1. **Чистые полупроводники** (кремний, германий), обладающие собственной проводимостью, т.е. проводимостью, возникающей в результате разрыва ковалентных связей в чистом полупроводнике.
2. **Примесные полупроводники n-типа**, обладающие электронной проводимостью (например, примесь мышьяка в кремнии).

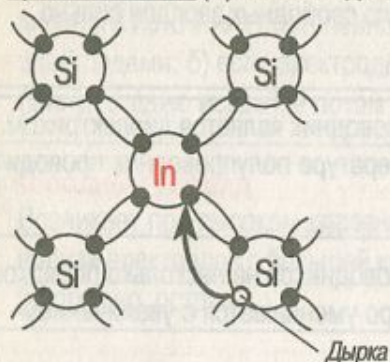


5-валентные атомы мышьяка (As) в кристалле кремния (Si)

Примесные атомы, занимающие часть мест в кристаллической решетке, обладают большей валентностью, чем основные атомы, т.е. содержат один лишний электрон.

При повышении температуры эти лишние электроны становятся свободными.

3. Примесные полупроводники р-типа, обладающие дырочной проводимостью (примесь индия в кремнии).



3-валентные атомы индия (In) в кристалле кремния (Si)

Валентность у примесных атомов меньше, чем у основных.

Появляются "дырки", которые "движутся" под действием электрического поля как положительно заряженные частицы.

Электронно-дырочный переход (р-п-переход)

Представляет собой контакт между полупроводниками "р" и "п"-типа.

В результате встречной диффузии электронов и дырок у р-п-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 р-типа к полупроводнику п-типа (ток идет в прямом направлении), сопротивление запирающего слоя резко уменьшается; при противоположном направлении тока сопротивление резко возрастает.

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

Полупроводниковый прибор, содержащий два р-п-перехода, называют **транзистором**. Транзистор позволяет усиливать слабые электрические сигналы.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



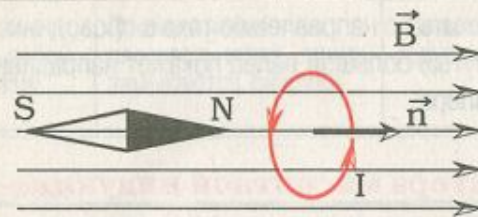
Силовое поле в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты

Описывает **магнитное взаимодействие**, возникающее:

- а) между двумя токами;
- б) между током и движущимся зарядом;
- в) между двумя движущимися зарядами.

Создается токами, магнитами и движущимися зарядами и действует на внесенные в него токи, магниты и движущиеся заряды.

Вектор магнитной индукции (\vec{B}) – силовая характеристика магнитного поля



Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением вектора положительной нормали к свободно подвешенной рамке с током (за положительное направление нормали принимается направление поступательного движения винта, головка которого вращается в направлении тока, текущего в рамке).

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

Закон Ампера

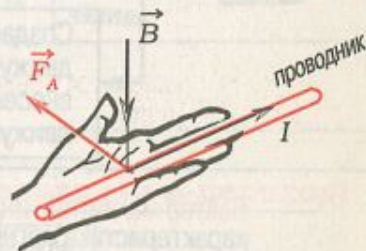
Величина силы Ампера (\vec{F}_A), действующей со стороны магнитного поля на участок проводника с током, пропорциональна силе тока I , длине участка Δl и $\sin\alpha$,

$$F_A = I \cdot \Delta l \cdot B \cdot \sin\alpha$$
 где α — угол между вектором и направлением проводника.

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

Направление \vec{F}_A определяется по **правилу левой руки**:

если ладонь левой руки расположить так, чтобы в нее входил \vec{B} , а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера.



Модуль вектора магнитной индукции

$F_A = F_{\max}$ при $\alpha = 90^\circ$. (F_{\max} — максимальное значение силы Ампера)

Отношение $\frac{F_{\max}}{I \cdot \Delta l}$ является характеристикой магнитного поля в месте расположения проводника и называется модулем вектора магнитной индукции.

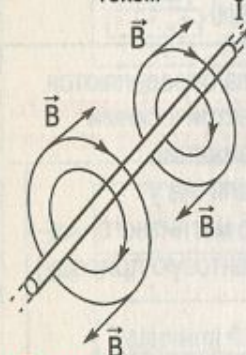
$$B = \frac{F_{\max}}{I \cdot \Delta l}$$

Линии магнитной индукции

Линии, касательные к которым направлены так же, как и вектор \vec{B} в данной точке поля. (Линии магнитной индукции всегда замкнутые, т.е. поле является **вихревым**.)

Примеры магнитных полей

Бесконечно длинный провод с током



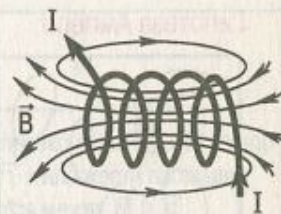
Линии представляют собой concentric circles.

Виток с током



Проходя через плоскость витка, линии замыкаются снаружи.

Катушка с током (соленоид)



Поле внутри катушки однородное.

Сила Лоренца

Сила, действующая со стороны магнитного поля на движущийся заряд q_0 : $F_L = q_0 \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$, где \vec{v} — скорость заряда, α — угол между векторами \vec{B} и \vec{v} .

($\vec{F}_L \perp \vec{B}$ и $\vec{F}_L \perp \vec{v}$) Сила Лоренца перпендикулярна векторам \vec{B} и \vec{v} .

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} .

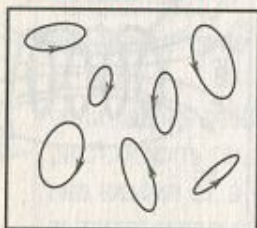
Магнитные свойства вещества

Вещество, создающее собственное магнитное поле, называется намагниченным. Намагниченность возникает при помещении вещества во внешнее магнитное поле.

Магнитная индукция в веществе \vec{B} выражается через магнитную индукцию внешнего поля \vec{B}_0 (в той же точке пространства) по формуле:

$\vec{B} = \mu \vec{B}_0$, где μ – коэффициент, характеризующий магнитные свойства среды (магнитная проницаемость среды).

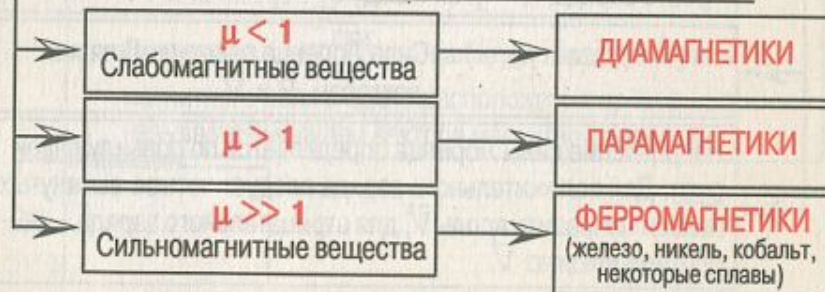
Гипотеза Ампера:



магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами (орбитальное движение электронов в атомах, наличие у электрона собственного магнитного момента, имеющего квантовую природу) внутри вещества.

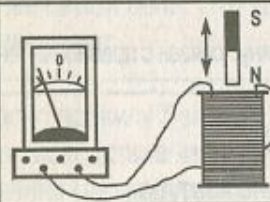
Если направления этих токов неупорядочены, порождаемые ими магнитные поля компенсируют друг друга, т.е. тело не намагничено. Во внешнем магнитном поле происходит упорядочение этих токов, вследствие чего в веществе и возникает "собственное" магнитное поле (намагниченность).

Классификация веществ по их магнитным свойствам



Электромагнитная индукция

Явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного поля, пронизывающего контур, называется **электромагнитной индукцией**, а возникающий ток – **индукционным**.



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

Магнитный поток через площадку площадью S

$$\Phi = B_n \cdot S = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

B_n – проекция вектора \vec{B} на нормаль \vec{n} к плоскости площадки
 α – угол между \vec{B} и \vec{n}

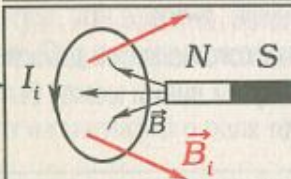
Величина Φ пропорциональна числу линий магнитной индукции, пронизывающих контур



Индукционный ток в замкнутом контуре возникает при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.

Правило Ленца

Индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, всегда имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.



При приближении магнита к контуру в последнем возникает индукционный ток (I_i) такого направления, что контур и магнит отталкиваются друг от друга.

Закон электромагнитной индукции

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

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{знак минус связан с правилом Ленца})$$

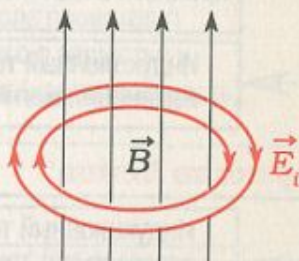
$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$$

\mathcal{E}_i – индукционный ток,
 R – сопротивление контура

Вихревое электрическое поле

Электрическое поле, возникающее при изменениях магнитного поля, которое и является причиной возникновения индукционного тока.

Вихревое электрическое поле не связано с электрическими зарядами, его линии напряженности представляют собой замкнутые линии.



Вихревое электрическое поле, в отличие от кулоновского (электростатического), **не является потенциальным** (т.е. работа сил вихревого электрического поля при движении электрического заряда по замкнутой линии может быть отлична от нуля).

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**.

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

Индуктивность

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

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

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.

Энергия магнитного поля тока

$$W_m = \frac{L I^2}{2}$$

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.
<p>Зависимость силы тока i через катушку и напряжения u на конденсаторе от времени t в течение половины периода</p>	

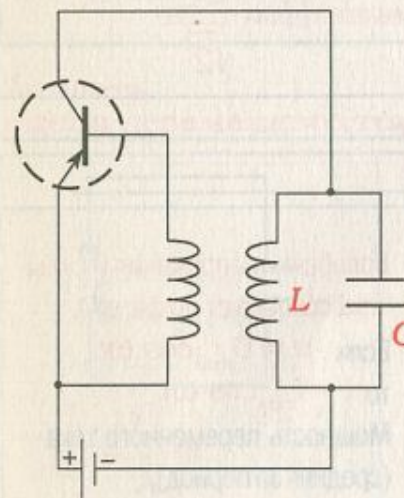
В колебательном контуре происходят периодические превращения энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности и обратно.

При отсутствии потерь на нагревание и излучение энергия в контуре сохраняется, поэтому

$$\frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2}$$

Генератор электромагнитных колебаний

Как и все реальные 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 эмиттербаза транзистора.

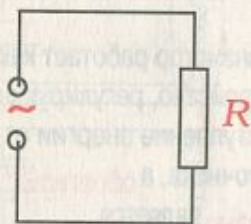
Переменный электрический ток

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. Соотношение между действующими значениями и амплитудными:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Активное сопротивление в цепи переменного тока



$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

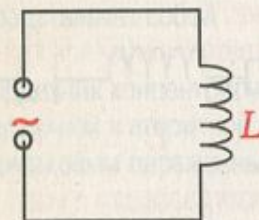
Колебания напряжения и силы тока совпадают по фазе.

Если $u = U_{\max} \cos \omega t$, то $i = I_{\max} \cos \omega t$.

Мощность переменного тока (средняя за период), выделяющаяся на активном сопротивлении

$$P = 1/2 I_{\max} U_{\max} = IU = I^2 R$$

Индуктивность в цепи переменного тока



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

Если $i = I_{\max} \cos \omega t$, то

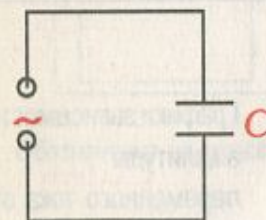
$$u = U_{\max} \cos (\omega t + \pi/2) = -U_{\max} \sin \omega t$$

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{X_L}$$

$$I = \frac{U}{X_L}$$

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

Емкость в цепи переменного тока



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

Если $i = I_{\max} \cos \omega t$, то

$$u = U_{\max} \cos (\omega t - \pi/2) = U_{\max} \sin \omega t$$

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{X_C}$$

$$I = \frac{U}{X_C}$$

Величина $X_C = 1/\omega C$ – емкостное сопротивление.

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

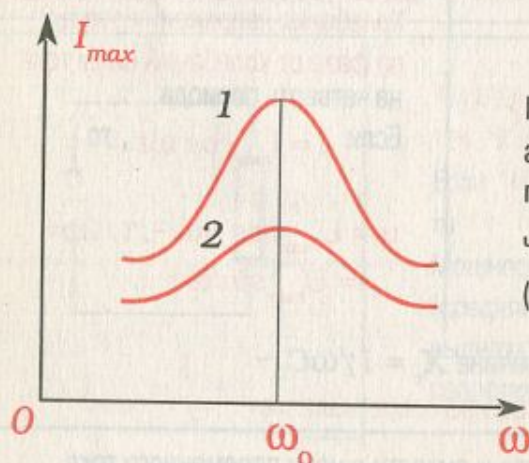
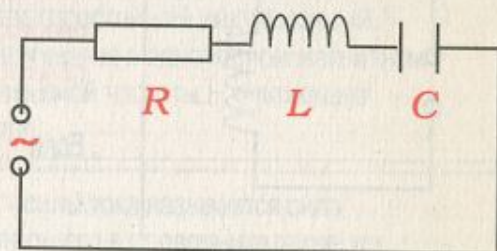
Возникает, когда индуктивное сопротивление равно по величине емкостному:

$$\omega L = 1/\omega C,$$

откуда

$$\omega = 1/\sqrt{LC}$$

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

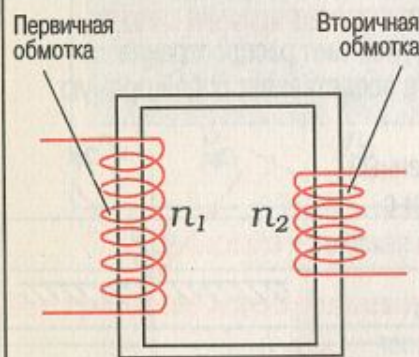


Графики зависимости амплитуды I_{max} переменного тока от частоты ω ($R_1 < R_2$)

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

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 каждом витке наводится одинаковая ЭДС индукции. Повышающий трансформатор увеличивает напряжение, понижающий – уменьшает.



Обозначение на схемах:



Отношение напряжений на обмотках приблизительно равно отношению числа 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.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА



Геометрическая оптика — раздел оптики, в котором законы распространения света рассматриваются на основе представления о световых лучах.

Световой луч — линия, вдоль которой распространяется энергия световых электромагнитных волн.

Законы геометрической оптики

Закон прямолинейного распространения света.

В однородной среде или вакууме свет распространяется прямолинейно, т.е. луч света представляет собой прямую линию.

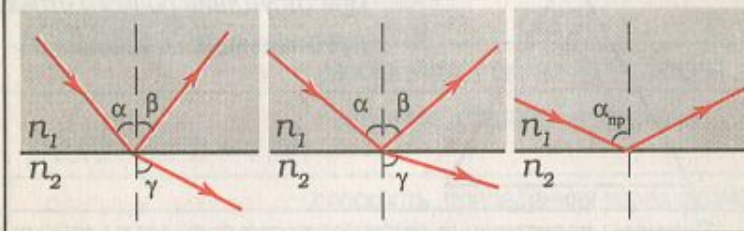
Закон отражения. Отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения; угол отражения равен углу падения ($\alpha = \beta$)



Закон преломления. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости; отношение синусов углов падения и преломления есть величина постоянная для данных сред (относительный показатель преломления): n_{21} . Показатель преломления равен отношению скоростей света в данных средах: $n_{21} = V_1/V_2$. Показатель преломления относительно вакуума называется **абсолютным показателем преломления** и показывает, во сколько раз скорость света в данной среде меньше скорости света в вакууме: $n = C/V$.

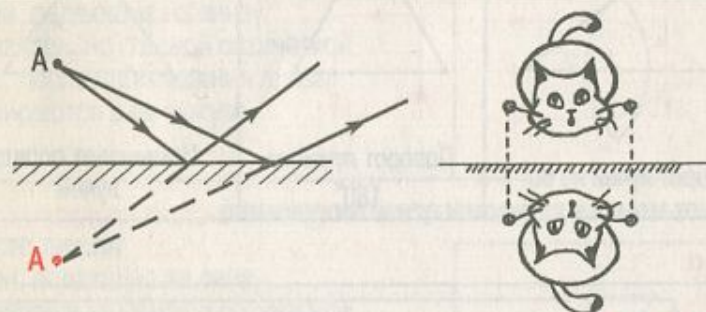
Полное отражение

Если свет распространяется из среды с большим показателем преломления n_1 (оптически более плотной) в среду с меньшим показателем преломления n_2 (оптически менее плотную) ($n_1 > n_2$), то преломленный луч удаляется от нормали и угол преломления γ больше, чем угол падения α . При некотором угле падения ($\alpha = \alpha_{\text{пр}}$) угол преломления окажется равным $\pi/2$. Угол $\alpha_{\text{пр}} = \arcsin n_2/n_1$ называется **предельным углом**. При углах падения $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$ весь падающий свет полностью отражается.



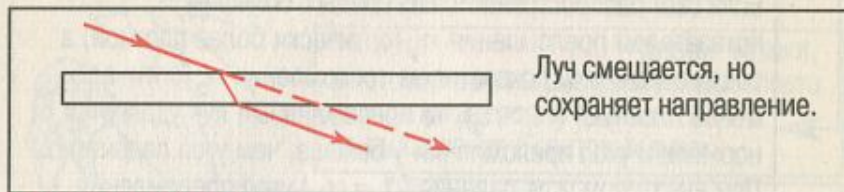
Плоское зеркало — плоская отражающая поверхность

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.

Прохождение света через плоскопараллельную пластинку



Прохождение света через треугольную призму



Примеры прохождения света через треугольную призму при наличии полного отражения



Линза

Прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями

Линза называется **тонкой**, если ее толщина мала по сравнению с радиусами кривизны поверхности.

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.

Фокус — точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу, параллельно главной оптической оси.

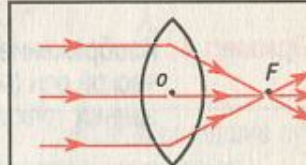
Фокусное расстояние — расстояние от линзы до ее фокуса.

Оптическая сила линзы — величина, обратная фокусному расстоянию: $D = 1/F$.

Фокальная плоскость — плоскость, проведенная через фокус перпендикулярно к главной оси.

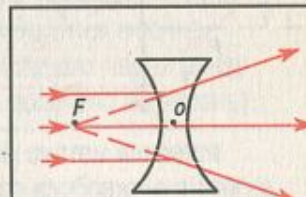
Собирающая линза (оптический центр находится в самом толстом месте линзы)

Лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, после прохождения линзы собираются в ее фокусе.



Рассеивающая линза (оптический центр находится в самом тонком месте линзы)

Лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, после прохождения линзы идут так, что их продолжения проходят через фокус, расположенный с той стороны линзы, откуда падают лучи.



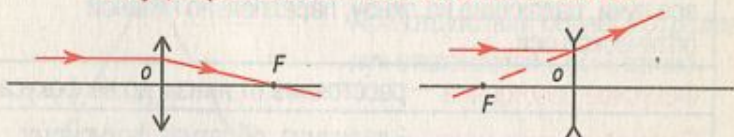
Построение изображений в линзах

Для построения изображений обычно используют следующие "удобные" лучи, ход которых после прохождения через линзы известен:

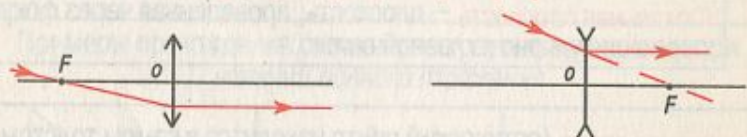
1. Луч, проходящий через оптический центр



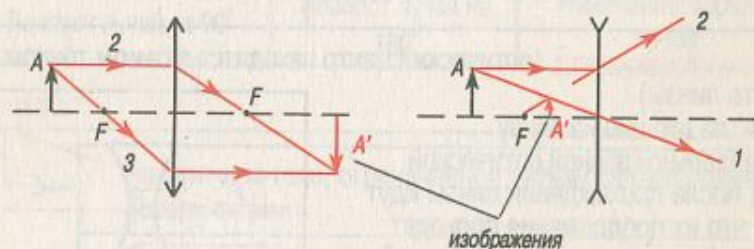
2. Луч, параллельный главной оптической оси



3. Луч, проходящий через фокус



Пример 1. Изображение точки, не лежащей на главной оптической оси (можно использовать любые два из указанных трех лучей).



Собирающая линза

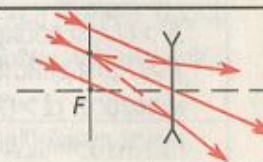
Рассеивающая линза

Ход пучка параллельных лучей, идущих вдоль побочной оптической оси

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

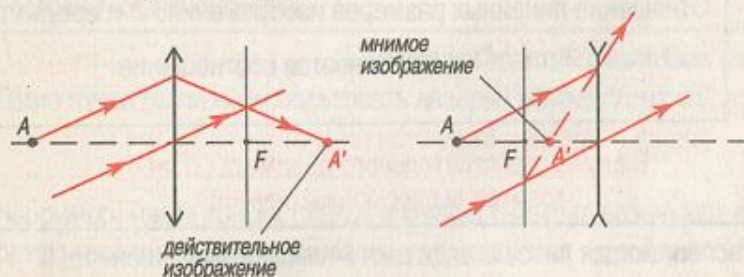


После прохождения через рассеивающую линзу лучи идут так, что их продолжения пересекаются в одной точке "ближней" фокальной плоскости.



Этим свойством можно воспользоваться для построения изображения точки, лежащей на главной оптической оси.

Пример 2. Построение изображения точки, лежащей на главной оптической оси.



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).

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

Формула линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad \text{где } d - \text{расстояние от линзы до источника,}$$

$$f - \text{расстояние от линзы до изображения}$$

$F > 0$ для собирающей линзы, $F < 0$ для рассеивающей,
 $f > 0$ для действительного изображения, $f < 0$ для мнимого,
 $d > 0$, если на линзу падает расходящийся пучок лучей ("действительный" источник), $d < 0$, если пучок сходящийся.

Увеличение линзы (Γ)

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

В случае действительного предмета ($d > 0$) возможны следующие случаи:

1. Рассеивающая линза всегда дает мнимое и уменьшенное ($\Gamma < 1$) изображение предмета (очки для близоруких).
2. Собирающая линза формирует мнимое изображение предмета в том случае, если $d < F$, однако в отличие от рассеивающей линзы, изображение получается увеличенным ($\Gamma > 1$). Этот случай реализуется при использовании лупы.
3. Если предмет расположен за фокусом ($d > F$), то изображение получается действительным; если $d < 2F$, то изображение на экране получается увеличенным (проекторный аппарат); в случае если $d > 2F$ формируется уменьшенное изображение предмета (фотоаппарат).

ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Волновые свойства света обнаруживаются в явлениях интерференции и дифракции.

Интерференция света – пространственное перераспределение светового потока при наложении двух (или нескольких) когерентных световых волн, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности (интерференционная картина).

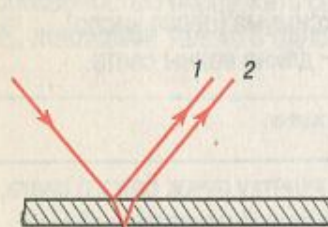
Условие интерференционных максимумов $\Delta l = \pm m\lambda$

Условие интерференционных минимумов $\Delta l = \pm (2m + 1)\lambda/2$
 Δl – разность хода двух волн, возбуждающих колебания в данной точке, λ – длина волны, $m = 0, 1, 2, \dots$

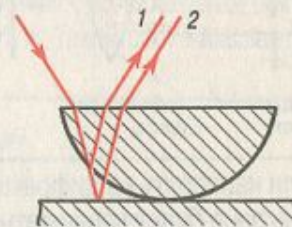
Когерентные волны – волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

Когерентные световые пучки – пучки когерентных световых волн. 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

Дифракция света

Явление отклонения света от **прямолинейного распространения**. Наблюдается при прохождении света сквозь малые отверстия или при огибании светом препятствий, размеры которых сравнимы с длиной световой волны.

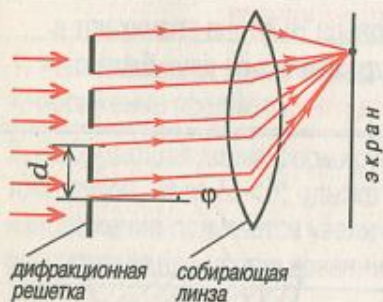
Пример: при прохождении света через малое круглое отверстие на экране вокруг центрального светлого пятна наблюдаются чередующиеся темные и светлые кольца.



Объяснение Френеля: световые волны, приходящие в результате дифракции из разных точек отверстия в одну точку на экране, интерферируют между собой.

Дифракционная решетка

Представляет собой большое количество узких параллельных щелей, имеющих одинаковую ширину a и одинаковые промежутки между ними b . Расстояние $d = a + b$ называется **постоянной** (или **периодом**) решетки.



Интерференционный максимум наблюдается под углом φ , определяемым условием: $d \sin \varphi = k\lambda$, где k — порядок максимума (целое число), λ — длина волны света.

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

Дисперсия света

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

Белый свет (например, солнечный) представляет собой совокупность электромагнитных **мономатических** (одноцветных) волн, т.е. волн, имеющих определенную длину волны.

В вакууме волны с любой длиной распространяются с одной и той же скоростью $c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$.

В веществе скорость электромагнитных волн меньше, причем она **зависит от длины волны**.

Следствие дисперсии — разложение в спектр пучка белого света при прохождении его через призму.



Поляризация света

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**.



Пучок поляризованного света испускает **лазер**.

Световые кванты

Свет обладает как свойствами волн (**интерференция** и **дифракция света**), так и свойствами частиц (**корпускул**).

Корпускулярные свойства света проявляются при взаимодействии его с веществом (например, при фотоэффекте).

Гипотеза Планка: свет излучается и поглощается отдельными "порциями" — **квантами** (или **фотонами**).

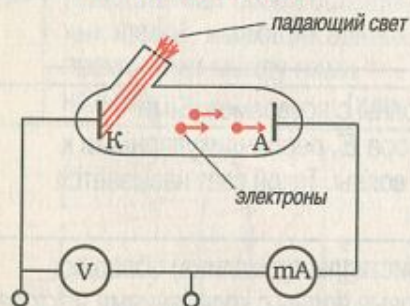
Энергия каждого кванта определяется формулой $E = h \cdot \nu$,

где ν — частота света,

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка.

Фотоэффект: явление испускания электронов веществом под действием света.

Установка для исследования фотоэффекта (**вакуумная лампа с холодным катодом**)



Зависимость фототока от напряжения



Законы фотоэффекта:

1. Сила тока насыщения прямо пропорциональна интенсивности светового излучения, падающего на поверхность тела.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.
3. Если частота света меньше некоторой определенной для данного вещества минимальной частоты, то фотоэффект не происходит (красная граница фотоэффекта).

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

Поглощая квант света, электрон приобретает энергию $h \cdot \nu$. При вылете из металла энергия каждого электрона уменьшается на определенную величину, которую называют работой выхода. ($A_{\text{вых}}$ — работа, которую необходимо затратить, чтобы удалить электрон из металла).

Максимальная энергия электронов после вылета (если нет других потерь) имеет вид:

$$mV^2/2 = h\nu - A_{\text{вых}} \quad \text{— уравнение Эйнштейна}$$

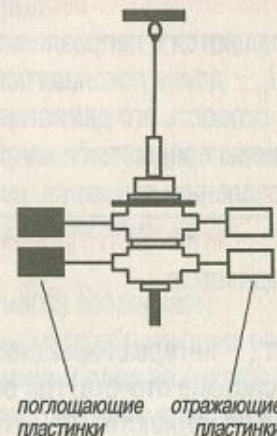
Если $h\nu < A_{\text{вых}}$, то фотоэффект не происходит. Значит, красная граница фотоэффекта равна: $\nu_{\text{min}} = A_{\text{вых}}/h$

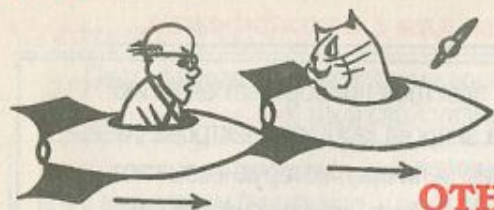
Давление света

Обусловлено тем, что фотоны обладают импульсом ($p = E/c$, где c — скорость света) и передают его телу при отражении и при поглощении.

Опыты Лебедева по измерению давления света

Установка Лебедева состояла из легкого стержня, подвешенного в вакууме на тонкой нити. По краям стержня были закреплены две тонких пластинки — одна отражающая, другая поглощающая. Освещая пластинки и измеряя закручивание нити, он вычислял световое давление. (При отражении фотона переданный импульс в два раза больше, чем при поглощении).





ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Специальная теория относительности Эйнштейна (СТО) представляет собой систему современных взглядов на пространство-время и опирается на два постулата:

1. **Принцип относительности Эйнштейна:** все физические законы — как механические, так и электромагнитные — имеют одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчета (ИСО).
2. **Постоянство скорости света:** скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО — она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

Некоторые следствия постулатов СТО

1. **Относительность одновременности.** Два события, происходящие в одной ИСО одновременно, но в различных точках пространства, могут быть не одновременными в другой ИСО.

2. **Относительность расстояний.** Длина l движущегося предмета сокращается в направлении движения: $l = l_0 \sqrt{1 - V^2/c^2} \Rightarrow l < l_0$, где l_0 — длина покоящегося предмета, V — скорость его движения в данной ИСО. Размеры предметов в направлении, перпендикулярном направлению движения, не изменяются.

3. **Относительность промежутков времени.** Ход движущихся часов замедляется: $\tau = \tau_0 / \sqrt{1 - V^2/c^2} \Rightarrow \tau > \tau_0$

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.

4. **Релятивистский закон сложения скоростей**, направленных вдоль одной прямой:

$$V_2 = \frac{V + V_1}{1 + \frac{V \cdot V_1}{c^2}}$$

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.

Связь между массой и энергией

Зависимость массы от скорости:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - V^2/c^2},$$

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

Импульс движущегося тела:

$$\vec{P} = m_0 \vec{V} / \sqrt{1 - V^2/c^2}$$

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.

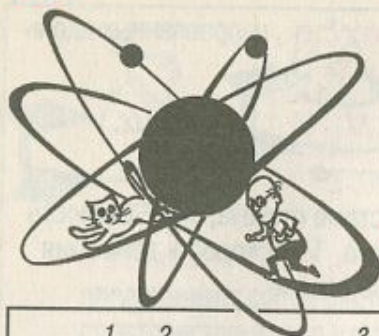
Энергия движущегося тела: $E = mc^2 = m_0 c^2 / \sqrt{1 - V^2/c^2}$

При $V=0$ энергия тела равна энергии покоя $E_0 = m_0 c^2$.

Энергия покоя E_0 имеется у любого тела уже благодаря самому факту его существования.

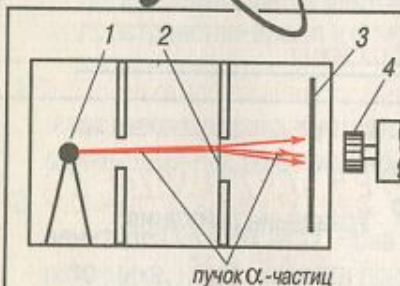
При увеличении энергии любой покоящейся системы на ΔE_0 ее масса возрастает на $\Delta m_0 = \Delta E_0 / c^2$.

Примеры: а) при нагревании тела его масса возрастает; б) масса ядра меньше суммы масс образующих его нуклонов, так как при разделении ядра на нуклоны надо совершить большую положительную работу против ядерных сил.



АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

Открытие атомного ядра (опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц)



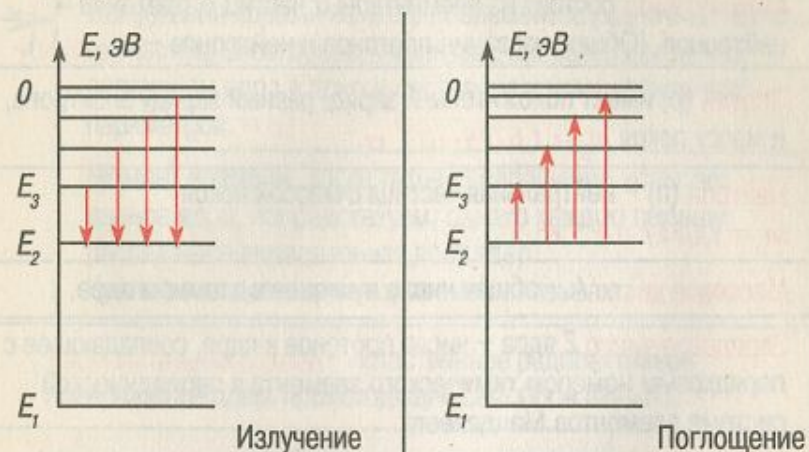
1 – радиоактивное вещество,
2 – тонкая металлическая
пластинка,
3 – экран, покрытый слоем
кристаллов сульфида цинка,
способных светиться под ударами
быстрых заряженных частиц,
4 – микроскоп.

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 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_R в стационарное состояние с меньшей энергией E_n **излучается фотон** с энергией $h\nu_{Rn} = E_R - E_n$. При поглощении атомом фотона с такой энергией происходит обратный переход.

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



Экспериментальные методы регистрации заряженных частиц

Методы основаны на использовании систем в долгоживущем неустойчивом состоянии, в которых под действием пролетающей заряженной частицы происходит переход в устойчивое состояние.

Счетчик Гейгера основан на ударной ионизации газа; он фиксирует только факт пролета частицы.

В **камере Вильсона** используется пересыщенный пар. Камера фиксирует траекторию заряженной частицы; вдоль траектории возникают ионы, на которых конденсируются капельки жидкости.

Пузырьковая камера содержит перегретую жидкость. Частицы хорошо тормозятся жидкостью, что позволяет наблюдать несколько последовательных реакций.

В **толстослойных фотоэмульсиях** пролетающие частицы образуют скрытое изображение. После проявления видны все события, происшедшие за время наблюдения.

Строение ядра

Атомное ядро состоит из элементарных частиц – протонов и нейтронов. (Общее название протонов и нейтронов – **нуклоны**).

Протон (p) имеет положительный заряд, равный заряду электрона, и массу покоя $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг.

Нейтрон (n) – нейтральная частица с массой покоя $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг.

Массовое число A – общее число нуклонов в атомном ядре.

Зарядовое число Z ядра – число протонов в ядре, совпадающее с порядковым номером химического элемента в периодической системе элементов Менделеева.

Атомное ядро характеризуется зарядом Ze (e – заряд протона).

Обозначения ядер: ${}_Z^AX$, где X – обозначение химического элемента.

Например, ${}_1^1\text{H}$ – ядро атома водорода (**протон**),
 ${}_2^4\text{He}$ – ядро атома гелия (**α -частица**),
 ${}_{92}^{235}\text{U}$ – ядро урана, в котором содержится 92 протона и $235 - 92 = 143$ нейтрона.

Изотопы

Ядра с одинаковыми Z (заряд), но разными A (масса)

Изотопы есть у всех элементов: вещество представляет собой смесь изотопов в определенной пропорции. У некоторых ядер есть только один стабильный изотоп, а остальные радиоактивные; начиная с $Z = 84$, все изотопы элементов радиоактивны.

Пример. Изотопы водорода: ${}_1^2\text{H}$ – стабильный **дейтерий**,
 ${}_1^3\text{H}$ – β -радиоактивный **тритий**.

Радиоактивность

Испускание ядрами некоторых элементов различных частиц (α -частиц, электронов, γ -квантов), сопровождающееся переходом ядра в другое состояние и изменением его параметров.

Момент времени, когда такое превращение испытает данное ядро, непредсказуем; однако каждую секунду распадается определенная доля ядер.

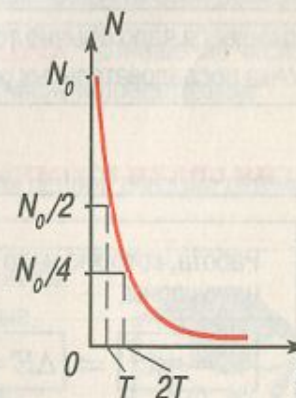
Число распадов в единицу времени называют **активностью**.

Радиоактивный распад – естественное радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно.

Закон радиоактивного распада

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

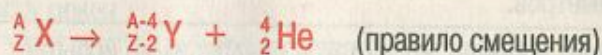
где N – число нераспавшихся ядер в данный момент времени t ,
 N_0 – число таких ядер в начальный момент,
 T – **период полураспада** (промежуток времени, в течение которого число радиоактивных ядер уменьшается вдвое).



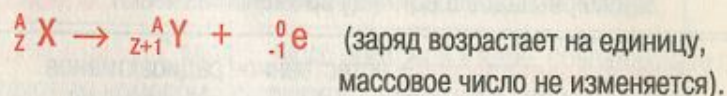
Закон радиоактивного распада является статистическим законом: он справедлив только при $N \gg 1$. Предсказать момент распада данного конкретного ядра невозможно: это случайное событие.

Виды радиоактивного распада

α-распад представляет собой излучение α-частиц (ядер гелия ${}^4_2\text{He}$) высокой энергии. Масса ядра уменьшается на 4 единицы, а заряд – на 2 единицы.



β-распад – излучение электрона:



γ-излучение представляет собой испущенные **возбужденным ядром** кванты света высокой частоты (γ-кванты). Параметры ядра при γ-излучении не меняются, ядро лишь переходит в состояние с меньшей энергией.

Распавшееся ядро обычно тоже радиоактивно, т.е. происходит цепочка последовательных радиоактивных превращений.

Энергия связи атомных ядер

Работа, которую надо совершить для разделения ядра на нуклоны.

$$E = mc^2 \Rightarrow \Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad - \text{энергия связи, где}$$

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{ядра}} \quad - \text{дефект массы ядра}$$

Ядерные реакции

Превращение атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами (в том числе и с γ-квантами) или друг с другом.

Законы сохранения электрических зарядов и массовых чисел: сумма зарядов (массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов (массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции.

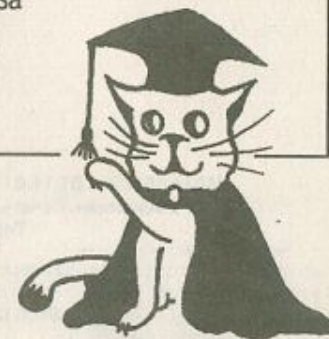
Реакция деления ядра – тяжелое ядро под действием нейтронов (и других частиц) делится на несколько более легких ядер (осколков), чаще всего на два ядра, близких по массе.

Цепная реакция деления – ядерная реакция, в которой частицы, вызывающие реакцию, образуются как продукты этой реакции.

Коэффициент размножения (k) нейтронов – отношение числа нейтронов в данном поколении к их числу в предыдущем поколении.

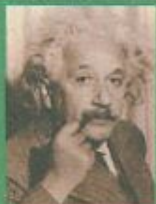
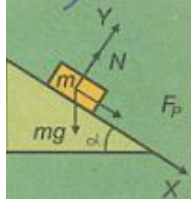
Необходимым условием для развития цепной реакции деления является требование $k \geq 1$.

Термоядерная реакция – реакция синтеза легких атомных ядер в более тяжелые, происходящая при сверхвысокой температуре (примерно 10^7 К и выше).



ФИЗИКА

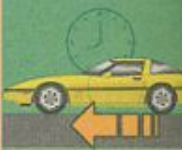
$$E=mc^2$$



ISBN 5-7871-0097-2



9 785787 100976



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