

Экзамен

без
проблем

наглядно

доступно

К. Э. Немченко

ФИЗИКА

в схемах
и таблицах

эффективная подготовка к ЕГЭ



Наглядно

Доступно

К. Э. Немченко

ФИЗИКА

В схемах
и таблицах



МОСКВА 2015

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Н 50

Н 50 **Немченко К. Э.**
Физика в схемах и таблицах / К.Э. Немченко. — М. : Эксмо,
2015. — 208 с. — (Наглядно и доступно).

ISBN 978-5-699-50756-6

В издании в сжатой, концентрированной форме приводится основной теоретический материал, охватывающий школьный курс физики. Понятия, определения, формулы, правила объединены в наглядные логические модули, позволяющие лучше понять и усвоить информацию. В приложении собраны многочисленные таблицы физических постоянных и свойств различных материалов.

Пособие окажет учащимся существенную помощь в подготовке к единому государственному экзамену по физике.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721

ISBN 978-5-699-50756-6

© Немченко К. Э., 2011
© Оформление. ООО «Издательство
«Эксмо», 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физика является основой естествознания. С помощью физики можно понять явления, происходящие в самых разных масштабах: от элементарных частиц до Вселенной, причем не просто объяснять их, но и предсказывать и управлять ими.

Физика широко взаимодействует с другими науками. Она изучает законы природы, используя математику в качестве языка общения, а компьютерную технику и экспериментальные установки в качестве инструмента исследований.

Использование законов физики привело к тому, что многие науки стали точными. Химия, биология, геология перестали быть лишь описательными науками после того, как в их основу были заложены законы физики.

Благодаря изучению физики возникли столь привычные атрибуты современной цивилизации — телевидение, мобильная связь, компьютерная техника. Знание физических законов помогло человечеству обеспечить себя прежде всего энергией. Физические исследования позволили осуществить мечту человечества — полететь как птицы и даже добраться до других планет.

Зная законы физики, вы можете объяснить то, что происходит вокруг нас, и, главное — сможете внести свой вклад в прогресс и развитие человечества.

Предлагаемый вашему вниманию справочник «Физика в схемах и таблицах» является кратким обзором законов физики, физических явлений и понятий. Основное содержание книги соответствует действующей программе средней общеобразовательной школы. Добавлено описание физических явлений, которые, с одной стороны, интересны сами по себе и, с другой стороны, без которых затруднительно понять основной материал. Представление материала справочника в виде таблиц и схем поможет вам освежить знания по физике при выполнении домашних заданий, подготовке к контрольным и самостоятельным работам. Справочник будет полезен и при подготовке к единому государственному экзамену, так как представление материала показывает вам существующие логические связи между различными физическими понятиями, явлениями, законами и помогает в их понимании.

Автор

МЕХАНИКА

1. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

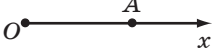
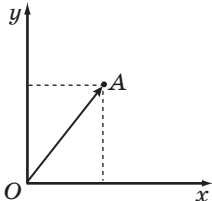
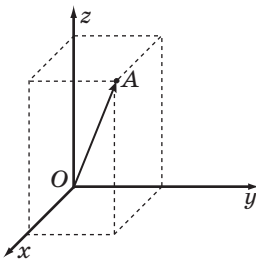
Механическое движение — изменение положения тела с течением времени.

Виды механического движения		
Поступательное движение	Вращательное движение	Колебательное движение

Система отсчета и относительность движения. Границы применимости классической механики

Для описания механического движения с помощью математических формул вводится понятие системы отсчета .	Система отсчета — совокупность системы координат для определения положения тела в пространстве и часов для определения времени.
---	--

Декартовы системы координат

Одномерная система координат	Двумерная система координат	Трёхмерная система координат
 <p>Точка O — начало отсчета Ось Ox — ось абсцисс</p> <p>На осях отмечается отрезок единичной длины</p>	 <p>Ось Oy — ось ординат</p>	 <p>Ось Oz — ось аппликат</p>

<p>Система отсчета, связанная с неподвижным наблюдателем, называется лабораторной системой отсчета.</p>		
<p>Система отсчета может быть связана с движущимся наблюдателем.</p>	<p>Движение в различных системах отсчета выглядит неодинаково. Поэтому говорят, что движение относительно.</p>	<p>Пример Пассажир, сидящий в летящем самолете, неподвижен относительно самолета, но он движется относительно поверхности Земли.</p>
<p>Часы в разных системах отсчета идут одинаково. Поэтому говорят, что время абсолютно. На самом деле это не так. Время у движущихся относительно друг друга наблюдателей течет по-разному. Это становится заметным при больших скоростях движения.</p>		
<p>Классическая механика изучает движение со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света.</p>	<p>Релятивистская механика изучает движение тел при больших скоростях, сравнимых со скоростью света.</p>	

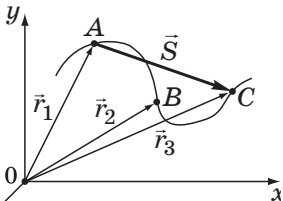
Механика		
<p><i>Статика</i> — это учение о равновесии тел под действием сил (греч. слово <i>statos</i> означает «стоящий»).</p>	<p><i>Кинематика</i> — это учение о геометрических свойствах движения тел.</p>	<p><i>Динамика</i> — это учение о движении тел под действием сил.</p>

<p>Систему отсчета можно выбрать произвольно. При кинематических исследованиях все системы отсчета равноправны. В задачах динамики также можно использовать любые произвольно движущиеся системы отсчета, но удобнее всего <i>инерциальные системы отсчета</i>, так как в них характеристики движения имеют более простой вид.</p>
--

2. КИНЕМАТИКА

**Понятие кинематики. Материальная точка.
Путь, перемещение**

Кинематика — раздел механики, в котором изучается движение тел без рассмотрения причин движения.

Основные понятия кинематики	
<p>Материальная точка — тело, размерами и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.</p>	<p>Землю <i>можно</i> считать материальной точкой, если необходимо вычислить период обращения Земли вокруг Солнца. Землю <i>нельзя</i> считать материальной точкой, если необходимо вычислить расстояние от Москвы до Владивостока.</p>
<p>Путь l — длина траектории, т. е. линии, которую описывает материальная точка в пространстве.</p>	<p>Кривая ABC — траектория.</p> 
<p>Траектория — линия, которую описывает в пространстве материальная точка.</p>	<p>Вектор $\vec{S} = \overline{AC}$ — перемещение.</p>
<p>Перемещение \vec{S} — вектор, соединяющий начальное и конечное положения материальной точки в пространстве.</p>	
<p>Поступательное движение — движение, при котором скорости всех точек тела одинаковы по величине и направлению. В этом случае движение тела можно рассматривать как движение одной точки. Поступательное движение — это один из видов механического движения.</p>	

Виды механического движения

Прямолинейное движение

Основное свойство прямолинейного движения:
траектория движения — прямая линия

Простейшие виды прямолинейного движения

<p>Равномерное прямолинейное движение</p>	<p>Неравномерное прямолинейное движение</p>	<p>Равноускоренное (равнозамедленное) прямолинейное движение</p>
---	---	--

Перемещение при прямолинейном движении тела

Перемещение равно разности координат:

$$S = x - x_0 .$$

Здесь x_0 — координата в начальный момент времени, x — координата в конечный момент времени.

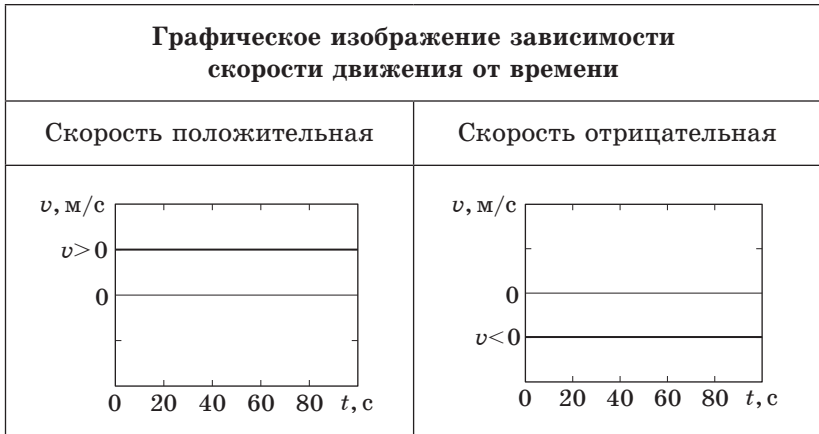
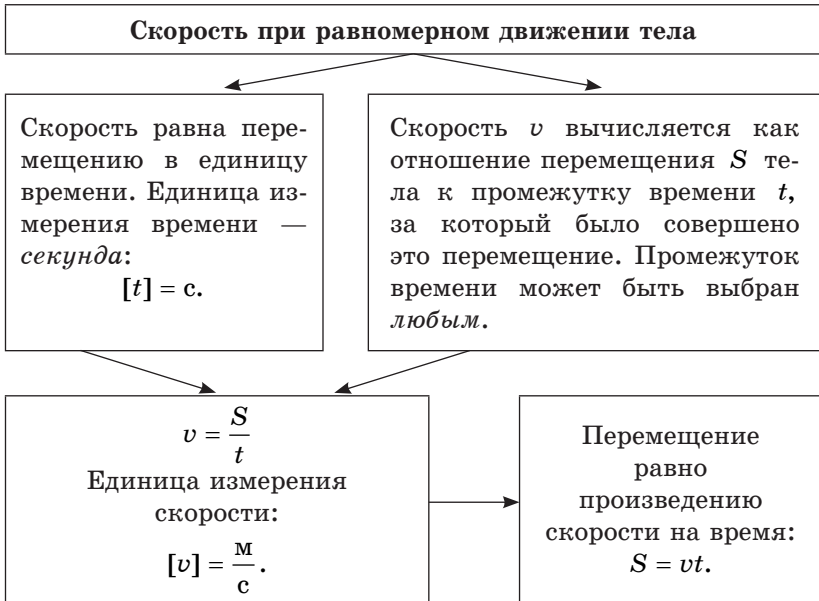
Ось Ox направлена вдоль направления движения.

Единица измерения координаты и перемещения — это единица измерения длины (*метр*):

$$[x] = [S] = \text{м} .$$

**Равномерное прямолинейное движение.
Скорость**

Равномерное прямолинейное движение — прямолинейное движение, при котором тело за равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.



Координата при равномерном движении тела

Перемещение тела равно произведению скорости на время, затраченное на это перемещение:

$$S = vt.$$

Путь равен модулю перемещения!

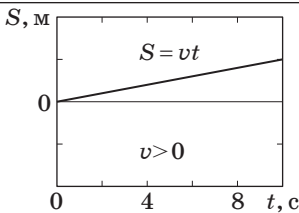
Координата в конечный момент времени равна:

$$x = x_0 + S,$$

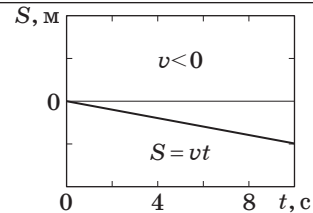
$$x = x_0 + vt.$$

Графическое изображение зависимости координаты от времени

Скорость положительная



Скорость отрицательная



Перемещение численно равно площади под графиком зависимости скорости от времени.

Неравномерное прямолинейное движение

Неравномерное прямолинейное движение — прямолинейное движение, при котором скорость тела меняется со временем.

Скорость при неравномерном движении тела

Средняя скорость

Средняя скорость v равна отношению *полного* перемещения $S_{\text{полн}}$ тела ко *всему* времени движения $t_{\text{полн}}$, за которое было совершено это перемещение:

$$v_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{полн}}}{t_{\text{полн}}}.$$

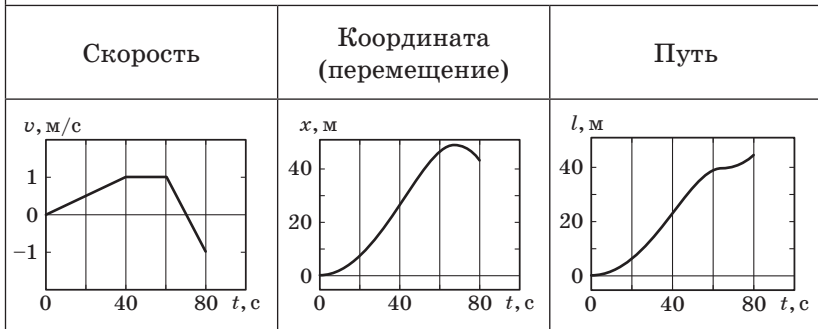
Мгновенная скорость

(*скорость в данный момент времени*)

Мгновенная скорость v равна отношению *малого* перемещения $S = x_2 - x_1 = \Delta x$ тела к *малому* промежутку времени $t_2 - t_1 = \Delta t$, за который было совершено это перемещение. При этом величина промежутка времени Δt стремится к нулю:

$$v_{\text{мгнов}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Графическое изображение зависимости скорости и координаты от времени



Средняя величина (модуль) скорости: отношение пройденного пути к времени, затраченному на этот путь.

Равноускоренное прямолинейное движение. Ускорение

Равноускоренное прямолинейное движение — прямолинейное движение, при котором скорость тела линейно зависит от времени.

Равноускоренное прямолинейное движение

Скорость линейно зависит от времени:
 $v = at + v_0$.
 v_0 — начальная скорость тела.

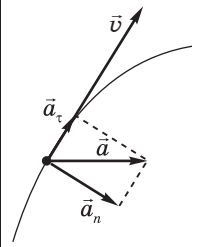
При равноускоренном движении скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину.

Ускорение тела — изменение скорости в единицу времени. Ускорение a вычисляется как отношение изменения скорости тела к промежутку времени, за который это изменение произошло:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0}.$$

Единица измерения ускорения $[a] = \text{м/с}^2$.

Ускорение, как и изменение скорости, направлено в сторону вогнутости траектории и может быть разложено на две составляющие — *тангенциальную* a_τ — по касательной к траектории движения — и *нормальную* a_n — перпендикулярно траектории.



Графическое изображение зависимости ускорения, скорости и координаты от времени

Равноускоренное движение

Ускорение	Скорость	Координата
$a = \text{const} > 0$	$v = v_0 + at$	$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$

Равнозамедленное движение

Ускорение	Скорость	Координата
$a = \text{const} < 0$	$v = v_0 - a t$	$x = x_0 + v_0 t - \frac{ a t^2}{2}$

Свободное падение тел

Свободным падением называется движение тела, обусловленное притяжением Земли, при отсутствии начальной скорости и сопротивления среды.

Вблизи поверхности Земли **все** тела, если на них действует только сила притяжения Земли, движутся с **одинаковым** ускорением, направленным по вертикали **вниз**. Это ускорение называется **ускорением свободного падения**, оно обозначается буквой g и равно:

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Высота, с которой падает тело	Скорость тела
$h = \frac{gt^2}{2}$	$v = \sqrt{2gh}$
Движение тела, брошенного вертикально вверх	
Высота подъема тела	Скорость тела
$h = h_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$	$v = v_0 - gt$
Здесь h_0 — начальная высота, v_0 — начальная скорость.	

Непрямолинейное движение

Непрямолинейное движение можно представить как комбинацию поступательного и вращательного движений.

Поступательное движение	Вращательное движение
движение, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остаётся параллельной своему первоначальному положению	движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на оси вращения

Движение тела, брошенного под углом к горизонту

Тело одновременно участвует в двух движениях	
По горизонтали (вдоль оси Ox)	По вертикали (вдоль оси Oy)
Движение — равномерное	Движение — равноускоренное
<p style="text-align: center;">Скорость</p> $v_x = v_{0x}$ $v_x = v_0 \cos \alpha$	<p style="text-align: center;">Скорость</p> $v_h = v_{0h} - gt$ $v_{0h} = v_0 \sin \alpha$
<p style="text-align: center;">Координата</p> $x = x_0 + v_{0x}t,$ $x = x_0 + v_0 \cos \alpha \cdot t$	<p style="text-align: center;">Координата</p> $y = h = h_0 + v_{0h}t - \frac{gt^2}{2},$ $h = h_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$
Траектория движения — парабола	
<p style="margin-top: 10px;">В вершине параболы вертикальная составляющая скорости v_{2h} равна нулю. В точке падения скорость тела равна по абсолютной величине скорости тела в точке бросания, а направление ее составляет тот же угол, что и в точке бросания (взятый с обратным знаком). Это следует из симметрии параболы и имеет место в отсутствие сопротивления воздуха.</p>	

Равномерное движение тела по окружности

Основные параметры:

R — радиус окружности;

L — длина окружности;

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

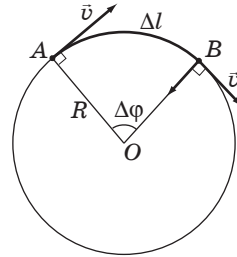
T — период вращения (время одного оборота);

v — линейная скорость;

$\Delta\varphi$ — угловое перемещение, т. е. угол поворота радиуса за малое время Δt ;

ω — угловая скорость (угол поворота в единицу времени);

ν — частота вращения (количество оборотов в единицу времени).



Радян — единица измерения угла. Определяется как отношение длины соответствующей дуги окружности к радиусу этой окружности:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{R} \text{ рад.}$$

Связь с градусами: $360^\circ = 2\pi \text{ рад.}$

Линейная скорость	Угловая скорость
$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{L}{T} = \frac{2\pi R}{T} = \omega \cdot R = \text{const}$	$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu = \frac{v}{R} = \text{const}$
$[v] = \text{м/с}$	$[\omega] = \text{рад/с}$

Связь между линейной v и угловой ω скоростями и центростремительным ускорением a определяется соотношениями:

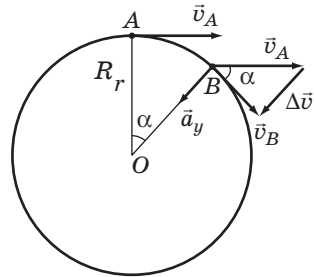
$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu;$$

$$v = \omega R;$$

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

Центростремительное ускорение

При равномерном вращении модуль скорости с течением времени не изменяется, однако направление скорости зависит от времени. Поскольку скорость точки изменяется по направлению, то тело имеет ускорение, которое называется центростремительным ускорением:



$$\vec{a}_{\text{мгнов}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}.$$

Величина этого ускорения равна:

$$|\vec{a}_{\text{ц}}| = \frac{v^2}{R},$$

а направлено ускорение к центру окружности перпендикулярно к вектору скорости. Поэтому такое ускорение называется **центростремительным ускорением**.

Частота вращения ν — число полных оборотов за единицу времени.

Период вращения T — время одного полного оборота.

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

$$[T] = \text{с};$$

$$[\nu] = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}.$$

Линейная скорость:	Угловая скорость:	Центростремительное ускорение:
$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \cdot \nu.$	$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$	$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2 R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$

3. ДИНАМИКА

Динамика — раздел механики, в котором изучается движение тел под действием сил.

Основные понятия динамики

Инерция. Масса

Инерционные свойства тел		
Инерция — явление сохранения скорости равномерного прямолинейного движения тела (или его состояния покоя), если на тело не действуют силы.	Инертность тела — свойство тела сохранять скорость равномерного прямолинейного движения (или оставаться в покое), если на это тело не действуют силы.	
Масса — величина, являющаяся мерой инертности тела (инертная масса).		
Гравитационная масса		
Масса определяет также гравитационное притяжение между телами (гравитационная масса). В современной физике гравитационная и инертная массы тела считаются одинаковыми.		
Масса в классической механике		
Масса тела не зависит от скорости движения этого тела.	Масса тела остается неизменной при любых процессах (<i>закон сохранения массы</i>).	Масса тела равна массе всех частей, из которых состоит тело.
Единица измерения массы — килограмм: $[m] = \text{кг}$.		

Взаимодействие тел. Сила. Законы динамики

Взаимодействие в физике — это воздействие тел или частиц друг на друга, приводящее к изменению их движения.	
Сила — физическая величина, которая является мерой взаимодействия тел и приводит к изменению скорости тел.	
Инерциальная система отсчета — система отсчета, относительно которой тело, на которое не действуют другие тела и внешние силы, движется равномерно и прямолинейно.	Неинерциальная система отсчета — система отсчета, которая движется с ускорением относительно инерциальных систем отсчета.
Единица измерения силы — Ньютон: $[F] = \text{Н} = \text{кг} \cdot (\text{м}/\text{с}^2)$.	

Законы Ньютона

I закон Ньютона	II закон Ньютона	III закон Ньютона
В инерциальных системах отсчета тела, покоящиеся или движущиеся равномерно и прямолинейно, не изменяют своего состояния, если на них не действуют силы.	Ускорение тела пропорционально вызывающей его силе и обратно пропорционально массе тела.	Два тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной прямой, равными по модулю и противоположными по направлению.
$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{const}$	$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$	$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

Границы применимости:

- 1) только для материальных точек или поступательно движущихся тел;
- 2) только для тел, скорость движения которых много меньше скорости света в вакууме;
- 3) только относительно инерционных систем отсчета.

Сложение сил

Закон сложения сил. Принцип суперпозиции	
<p>Если на тело (материальную точку) действует несколько сил, то их действие можно заменить действием одной, резльтирующей силы.</p>	
<p>Резльтирующая сила определяется как векторная сумма сил, действующих на тело.</p>	$\vec{F}_{\text{результ}} = \sum_i \vec{F}_i$
Сложение векторов	
<p>Правило треугольника</p>	
<p>Правило параллелограмма</p>	
<p>Правило многоугольника</p>	

Принцип относительности Галилея

Пространство и время в классической механике

В неподвижной системе отсчета и в системе отсчета, которая движется с постоянной скоростью, все физические явления протекают одинаково. Другими словами, *в инерциальных системах отсчета законы физики одинаковы*. В этом состоит **принцип относительности Галилея**. Из этого принципа, в частности, следует, что с помощью физического эксперимента в заданной системе отсчета невозможно определить, движется или покоится эта инерциальная система. Принцип относительности Галилея непосредственно связан со свойствами пространства и времени в классической механике. Время является **абсолютной** физической величиной и во всех системах отсчета течет одинаково. Следовательно, всем наблюдателям, движущимся с любыми скоростями (или даже с ускорениями), можно пользоваться одними часами. Пространственные координаты являются относительными величинами и зависят от системы отсчета.

Преобразования Галилея заключаются в преобразовании координат $\vec{r}(x, y, z)$ и времени t движущейся материальной точки при переходе от одной *инерциальной системы отсчета* (ИСО) к другой:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t, \quad t = t'.$$

Для координаты x это означает:

$$x = x' + vt, \quad t = t',$$

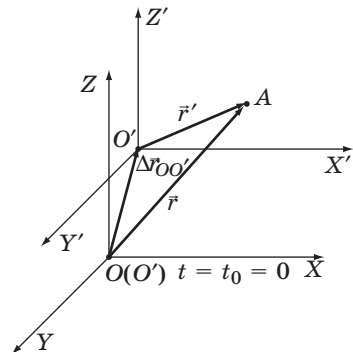
где v — относительная скорость (постоянная) движения двух ИСО, \vec{r} и \vec{r}' — радиус-векторы, а x и x' — координаты точки в этих двух ИСО.

$$\vec{r} = \vec{r}' + \Delta\vec{r}_{OO'}, \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t,$$

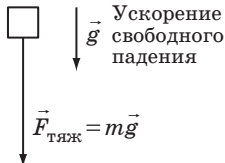
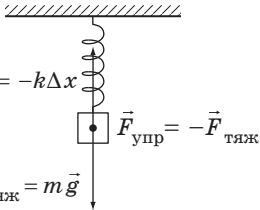
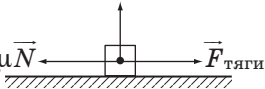
Закон сложения скоростей:

$$\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v},$$

где u и u' — скорости точки относительно систем K и K' соответственно.



Примеры сил в механике

<p>Сила тяжести вблизи поверхности Земли</p>	 <p>Ускорение свободного падения \vec{g}</p> <p>$\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$</p>
<p>Сила натяжения k — коэффициент тяжести</p>	 <p>$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta x$</p> <p>$\vec{F}_{\text{упр}} = -\vec{F}_{\text{тяж}}$</p> <p>$\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$</p>
<p>Сила трения μ — коэффициент трения</p>	<p>Сила реакции опоры \vec{N}</p>  <p>$\vec{F}_{\text{тр}} = \mu\vec{N}$</p> <p>$\vec{F}_{\text{тяги}}$</p>

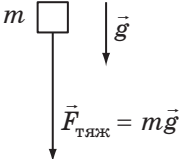
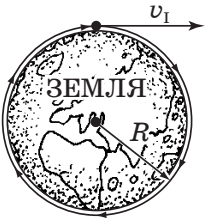
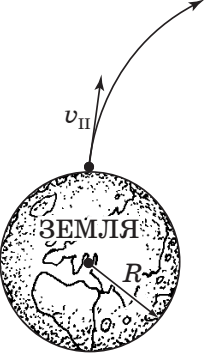
Основные силы в механике

Сила тяжести	Сила упругости	Сила трения
<p>Является проявлением сил гравитационного взаимодействия между двумя телами.</p>	<p>Является проявлением сил межмолекулярного взаимодействия между молекулами тела.</p>	<p>Является проявлением сил межмолекулярного взаимодействия между молекулами двух соприкасающихся тел.</p>
<p>Гравитационное взаимодействие является дальнодействующим, т. е. тело создает поле, а поле воздействует на другие тела.</p>	<p>Молекулы взаимодействуют между собой с помощью электромагнитного поля за счет квантовых эффектов.</p>	

Сила тяжести. Всемирное тяготение
Закон всемирного тяготения.
Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира

Закон всемирного тяготения (открыт Исааком Ньютоном в 1682 г.)		
<i>Между любыми телами возникает сила гравитационного притяжения, которая определяется массами этих тел.</i>		
Величина силы	Направление силы	Выражение для силы
Материальные точки притягиваются друг к другу с силой, величина которой прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.	Сила притяжения направлена по прямой, которая соединяет взаимодействующие точки.	$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$ где G — гравитационная постоянная, равная $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2.$
Приведенную формулу можно применять для вычисления сил притяжения между любыми сферическими симметричными телами (например, шарами). В таких случаях R — расстояние между центрами тел.		
Закон всемирного тяготения был открыт Исааком Ньютоном в результате исследования сложного движения планет по небу. Объяснение такого движения подтвердило <i>гелиоцентрическую модель системы мира</i> , согласно которой планеты вращаются вокруг Солнца, и опровергло существующую в древнем мире и в средние века <i>геоцентрическую</i> модель, согласно которой Солнце и планеты вращаются вокруг Земли.		
Действие силы тяжести на тело сложной формы можно представить как действие этой силы на материальную точку, масса которой равна массе тела. Местонахождение такой точки называется центром тяжести тела. Центр тяжести тела в равновесии должен находиться строго под точкой подвеса или над точкой опоры тела.		

Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований

Гравитационное поле планеты Земля	
<p>Вблизи поверхности</p> 	<p>Ускорение свободного падения</p> $ma = F_{\text{притяж}} = G \frac{mM}{R^2} \equiv mg \Rightarrow$ $\Rightarrow g = G \frac{M}{R^2}$
<p>Околосемные орбиты</p>  <p>Радиус орбиты равен радиусу Земли.</p>	<p>Первая космическая скорость</p> $mg = \frac{mv_I^2}{R} \Rightarrow$ $\Rightarrow v_I = \sqrt{gR}$
<p>Удаление от Земли</p>  <p>Тело покидает поле Земли.</p>	<p>Вторая космическая скорость</p> $G \frac{mM}{R} \equiv mgR = \frac{mv_{II}^2}{2} \Rightarrow$ $\Rightarrow v_{II}^2 \equiv \sqrt{2gR}$

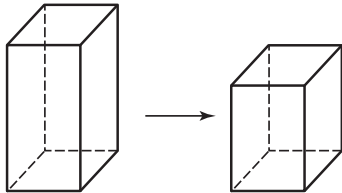
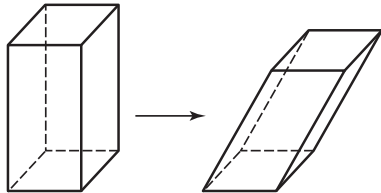
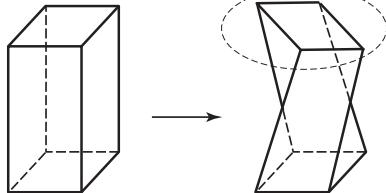
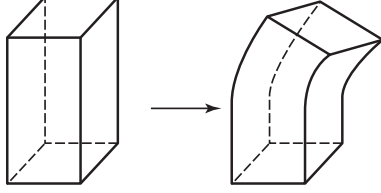
**Вес тела. Невесомость.
Свободное падение**

<p>Вес тела — сила, с которой тело действует на подвес или опору.</p>	
<p>Вес тела \vec{P} приложен не к телу, а к опоре или подвесу.</p>	
<p>Если тело находится на покоящейся опоре, то его вес равен силе тяжести:</p> $\vec{P} = m\vec{g}.$	<p>Если опора движется вверх с ускорением (случай 2), то вес тела увеличивается:</p> $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}),$ $P = m(g + a),$ $\vec{P} > m\vec{g}.$ <p>Это — перегрузка. Перегрузку испытывают космонавты при старте ракет.</p>
<p>Если опора движется вниз с ускорением (случай 1), то вес тела уменьшается:</p> $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}),$ $P = m(g - a),$ $\vec{P} < m\vec{g}.$	<p>Если тело совершает свободное падение, то оно не давит ни на какую поверхность, т. е. его вес равен нулю</p> $\vec{P} = 0.$ <p>Это — невесомость. Невесомость испытывают космонавты, на орбитальных станциях, вращающихся вокруг Земли.</p>
<p>Вес тела не следует путать с его массой. Масса тела является скалярной величиной и измеряется в килограммах, а вес тела — векторная величина и измеряется в ньютонах. Поскольку <i>вес тела пропорционален ускорению свободного падения</i>, которое в силу приплюснутости Земли (у полюсов) различно на различных широтах, то вес тела зависит от географической широты и высоты местности (на полюсах вес будет несколько больше, чем на экваторе).</p>	

Сила упругости

Сила упругости — сила, действующая со стороны деформированного тела на тело, действие которого вызывает деформацию, и направленная в сторону, противоположную перемещению частей тела при его деформации.

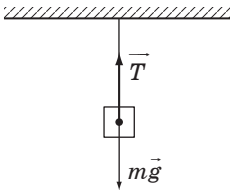
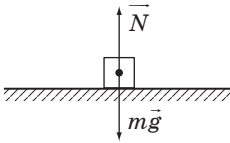
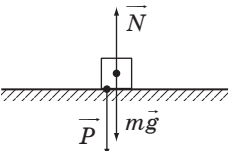
Деформация

<p>Деформация — изменение расположения частей тела относительно друг друга.</p>	<p>Упругая деформация — это деформация, которая исчезает после прекращения действия силы.</p>
	<p>Неупругая (пластическая) деформация — это деформация, которая не исчезает после прекращения действия силы.</p>
<p>При изучении деформаций телá нельзя рассматривать как материальные точки.</p>	
<h3>Типы деформаций</h3>	
<p>Растяжение (сжатие)</p> 	<p>Сдвиг</p> 
<p>Кручение</p> 	<p>Изгиб</p> 

Закон Гука

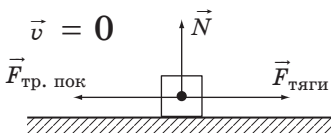
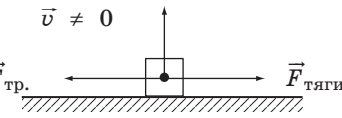
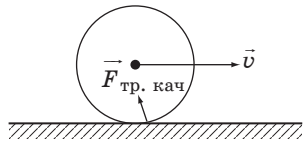
Величина силы	Направление силы	Выражение для силы
Сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела Δl .	Сила упругости направлена противоположно направлению сжатия (растяжения).	$\vec{F} = -k\Delta\vec{l}$, где k — коэффициент жесткости, $[k] = \text{Н/м}$, Δl — величина изменения длины тела.

Некоторые виды сил упругости

\vec{T} — сила натяжения.	
\vec{N} — сила реакции опоры.	
\vec{P} — сила нормального давления (вес).	

Сила трения

Между соприкасающимися телами возникают силы трения. Эти силы мешают телам:

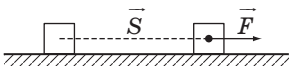
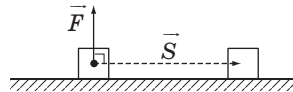
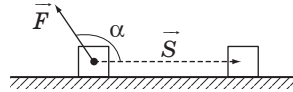
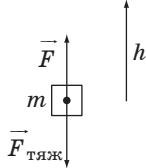
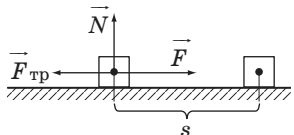
<p>1) начать движение относительно друг друга. Это — трение покоя. μ_0 — коэффициент трения покоя.</p>	 <p>$\vec{v} = 0$</p> <p>$\vec{F}_{\text{тр. покоя}} \leftarrow \quad \vec{F}_{\text{тяги}} \rightarrow$</p> <p>$\vec{v} = 0, F_{\text{тр. покоя}} = \mu_0 N,$</p> <p>$\vec{F}_{\text{тр. покоя}} \uparrow \downarrow \vec{F}_{\text{тяги}}$</p>	<p>$\mu_0 > \mu$</p>
<p>2) двигаться относительно друг друга. Это — трение скольжения. μ — коэффициент трения скольжения.</p>	 <p>$\vec{v} \neq 0$</p> <p>$\vec{F}_{\text{тр.}} \leftarrow \quad \vec{F}_{\text{тяги}} \rightarrow$</p> <p>$\vec{v} \uparrow \neq 0, F_{\text{тр}} = \mu N,$</p> <p>$\vec{F}_{\text{тр}} \uparrow \downarrow \vec{v}$</p>	<p>$\mu < 1$</p>
<p>3) катиться друг по другу. Это — трение качения.</p>	 <p>Шероховатости создают силу трения качения, момент которой мешает колесу катиться.</p>	
<p>Силы трения возникают вследствие взаимодействия между шероховатостями поверхностей соприкасающихся тел. Если соприкасаются тела с очень гладкой поверхностью, то определяющий вклад во взаимодействие тел будут вносить взаимодействия между молекулами этих тел.</p>		

**Импульс. Закон сохранения импульса.
Реактивное движение**

<p>Импульс тела — вектор, направленный вдоль скорости тела и по величине равный произведению массы тела на величину его скорости.</p>	$\vec{p} = m\vec{v}$	<p>Единица измерения импульса: $[p] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \text{Н} \cdot \text{с}.$</p>
<p>II закон Ньютона (в импульсной форме)</p>		
<p>Сила определяет изменение импульса тела в единицу времени: $m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \sum \vec{F}.$</p>	<p>И м п у л ь с силы (произведение силы на время ее действия): $\Delta \vec{p} = \sum \vec{F} \cdot \Delta t.$</p>	<p>Если внешняя сила равна нулю, то импульс тела не изменяется: $\Delta \vec{p} = 0.$</p>
<p>Закон сохранения импульса в механике: <i>полный импульс системы тел, на которую не действуют внешние силы, сохраняется.</i></p>		
<p>Реактивное движение</p>		
<p>Сохранение импульса позволило освоить принцип движения без опоры на землю, воду или воздух. Это — реактивное движение. С его помощью стало возможным освоение космоса. Подробнее о реактивном движении смотри на стр. 73.</p>		

Работа

<p>Если сила, действующая на тело, привела к перемещению тела, то говорят, что эта сила совершила работу.</p>	
<p>Величина работы определяется как произведение силы, перемещения тела и косинуса угла между ними: $A = F \cdot S \cdot \cos \alpha .$</p>	<p>Единица измерения работы (Джоуль): $[A] = \text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м}$</p>

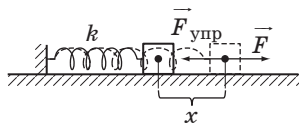
<p>Если сила направлена в сторону перемещения, то работа положительна:</p> $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = \vec{F} \cdot \vec{S} > 0.$	
<p>Если сила перпендикулярна к перемещению, то работа равна нулю:</p> $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = \vec{F} \cdot \vec{S} \cdot \cos 90^\circ = 0.$	
<p>Если сила направлена противоположно перемещению, то работа отрицательна:</p> $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = \vec{F} \cdot \vec{S} \cdot \cos \alpha < 0.$	
<p>Работа против действия сил тяжести, трения, упругости</p>	
<p><i>Работа против действия силы тяжести</i></p> <p>Если мы поднимаем тело на высоту h и прикладываем к нему силу, равную по величине силе тяжести этого тела, $F = mg$, то мы совершаем работу, равную</p> $A = Fh = mgh.$	 $ \vec{F} = \vec{F}_{\text{тяж}} = mg$
<p><i>Работа против действия силы трения</i></p> <p>Если мы сдвинули на расстояние S тело, прикладывая к нему силу, равную по величине действующей на тело силе трения:</p> $F = F_{\text{тр}} = \mu N,$ <p>то мы совершили работу, равную</p> $A = FS = F_{\text{тр}}S = \mu NS.$	

*Работа против действия
силы упругости*

Если при растягивании пружины на величину x мы прикладываем силу, равную по величине силе упругости: $F = F_{\text{упр}} = -kx$, то мы совершили работу, равную

$$A = -\frac{kx^2}{2}.$$

Следует заметить, что здесь сила **зависит** от перемещения!



Работа по ускорению тела

Если мы действуем на свободное тело массой m с постоянной силой F , то это тело движется с ускорением $a = \frac{F}{m}$.

Тогда, если тело под действием силы прошло расстояние S , сила совершила работу

$$A = FS = F \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = m \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Здесь v_0 — начальная, а v — конечная скорости.

Энергия. Закон сохранения энергии

Энергия

Энергия — это величина, определяющая работу, которую может совершить тело.

Когда при перемещении над телом совершается работа, энергия тела изменяется на величину этой работы.

$$A = E - E_0$$

Единица измерения энергии — Джоуль:

$$[E] = \text{Дж}.$$

Механическая энергия тела представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергий.

<p>Кинетическая энергия тела представляет собой энергию движения.</p>	<p>Потенциальная энергия тела представляет собой энергию тела в поле внешних сил.</p>
$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$	<p>$E_{\text{пот}} = mgh$ — потенциальная энергия в поле силы тяжести, $E_{\text{пот}} = \frac{kx^2}{2}$ — потенциальная энергия упруго деформированного тела.</p>
<p>Закон сохранения энергии</p>	
<p><i>Полная энергия замкнутой системы тел сохраняется:</i> $E = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = \text{const}$</p>	
<p>Сохраняется полная энергия тела во внешнем поле <i>потенциальных</i> сил. Например, в поле силы тяжести: $E = \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const}.$</p>	<p>При наличии <i>непотенциальных</i> сил, например силы трения, энергия тела не сохраняется, и ее изменение равно работе силы трения: $\Delta E = A_{\text{тр}}.$</p>

Мощность. КПД. Простые механизмы

<p>Мощность — величина, равная отношению совершенной работы к промежутку времени, за который она совершена:</p> $N = \frac{A}{t}.$ <p>Единица измерения — Ватт:</p> $[N] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$	<p>Коэффициент полезного действия (КПД) — отношение полезной работы ко всей затраченной работе:</p> $\text{КПД} = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}}.$ <p>КПД всегда меньше единицы: $\eta < 1$.</p>
--	---

Простые механизмы

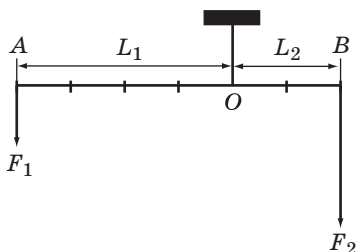
— приспособления, служащие для преобразования силы.

Рычаг — жесткий стержень, имеющий ось вращения.

Условие равновесия рычага:

$$F_1 L_1 = F_2 L_2,$$

где плечо силы L — расстояние от оси вращения до линии действия силы.



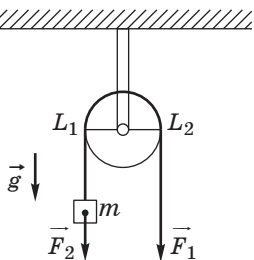
Произведение FL называется *моментом силы* M и изучается в разделе «Статика».

Блоки

Неподвижный блок изменяет направление действия силы и является рычагом с равными плечами:

$$\begin{aligned} M_1 = M_2 \text{ и } L_1 = L_2 &\Rightarrow \\ &\Rightarrow F_1 = F_2. \end{aligned}$$

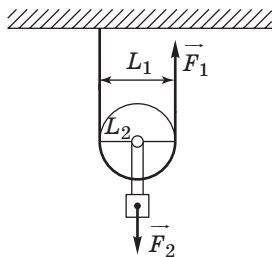
При этом нет выигрыша в силе.



Подвижный блок не изменяет направления действия силы и является рычагом с соотношением $L_1 = 2L_2$. Следовательно, такой блок дает выигрыш в силе:

$$F_1 = \frac{F_2}{2},$$

но при этом получаем проигрыш в перемещении!



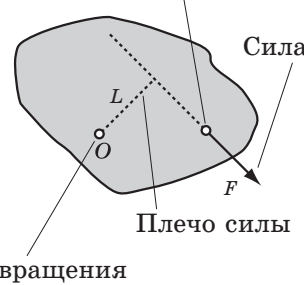
«Золотое» правило механики

Простые механизмы не дают выигрыша в работе: во сколько раз выигрываем в силе, во столько же раз проигрываем в расстоянии.

4. СТАТИКА

Статика — раздел механики, в котором изучаются условия равновесия тел, находящихся под действием внешних сил.

Равновесие тел

Условие равновесия тел при поступательном движении	
Тело остается в покое относительно инерциальной системы отсчета, если векторная сумма всех приложенных к телу сил равна нулю:	
$\sum_n \vec{F}_n = 0.$	
Момент силы	
<p>Момент силы — величина, характеризующая действие силы на тело, которое может поворачиваться вокруг заданной оси.</p>	
<p>По величине момент силы равен произведению величины силы F на плечо этой силы L:</p> $M = F \cdot L.$	<p>Момент силы $M = F \cdot L.$</p> <p>Точка приложения</p>  <p>Сила</p> <p>Плечо силы</p> <p>Ось вращения</p>
<p>Единица измерения момента:</p> $[M] = \text{Н} \cdot \text{м}.$	
<p>Плечо силы L — расстояние от линии действия силы до оси вращения.</p> <p>Момент силы, стремящийся вызвать вращение тела по часовой стрелке, принято считать положительным, против часовой стрелки — отрицательным.</p>	

Условие равновесия тел		
<p>Тело остается в состоянии равновесия относительно инерционной системы отсчета, если векторная сумма всех приложенных сил равна нулю: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0$.</p>		
<p>Тело не поворачивается относительно заданной оси, если сумма всех приложенных к телу моментов сил равна нулю:</p> $\sum_n \overline{M}_n = 0.$		
Виды равновесия		
Устойчивое	Безразличное	Неустойчивое
<p>При отклонении тела от положения равновесия возникает сила, которая возвращает тело в положение равновесия.</p>	<p>При отклонении от положения равновесия не возникает сил, действующих на тело.</p>	<p>При отклонении тела от положения равновесия возникает сила, которая отклоняет тело от положения равновесия.</p>
<p>В состоянии устойчивого равновесия энергия минимальна.</p>	<p>Вблизи состояния безразличного равновесия энергия постоянна.</p>	<p>В состоянии неустойчивого равновесия энергия максимальна.</p>
Примеры равновесия в поле тяжести Земли		

Гидростатика и аэростатика

Основные понятия. Давление. Атмосферное давление. Закон Паскаля

Плотность	Давление
<p>Плотность — величина, равная отношению массы однородного тела к его объему (масса единицы объема):</p> $\rho = \frac{m}{V}.$	<p>Давление — величина, равная отношению модуля силы, действующей перпендикулярно к поверхности, к площади этой поверхности:</p> $P = \frac{F}{S}.$
<p>Единица измерения плотности: $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$</p>	<p>Единица измерения давления (Паскаль):</p> $[P] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$
Давление жидкости и газов	
Закон Паскаля	Давление на заданной глубине в поле тяжести
<p>Давление внутри жидкости или газа:</p> <ul style="list-style-type: none"> • одинаково в каждой точке жидкости или газа (однородно); • в каждой точке одинаково во всех направлениях (изотропно). 	<p>Вычислим давление вблизи основания столба жидкости высотой h и площадью основания S. Оно равно отношению силы тяжести к площади основания:</p> $P = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh.$ <p>Это и есть <i>формула гидростатического давления.</i></p>
<p>По формуле гидростатического давления можно рассчитывать давление жидкости, налитой в сосуд любой формы, в том числе давление на стенки сосуда, а также давление в любой точке жидкости, направленное снизу вверх.</p>	

Сообщающиеся сосуды	
<p>В сообщающихся сосудах уровень жидкости одинаков независимо от формы и размера сосуда. Предполагается, что внешнее давление для всех сосудов одинаково и жидкость однородная.</p>	<p>В сообщающихся сосудах высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью:</p> $P_1 = P_2 \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$
Атмосферное давление	
<p>Атмосферное давление обусловлено весом всего столба воздуха от поверхности Земли до границы атмосферы. Нормальное атмосферное давление равно:</p> $P_A = 101 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па.}$	<p>Воздухоплавание. Подъемная сила 1 м^3 — разность между весом 1 м^3 воздуха и весом 1 м^3 газа в воздушном шаре. Подъемная сила воздушного шара равна:</p> $F_{\text{под}} = F_A - P_{\text{ш}},$ <p>где F_A — сила Архимеда, $P_{\text{ш}}$ — вес шара.</p>
<p>Прибор для измерения атмосферного давления — барометр (жидкостный — трубка Торричелли; металлический — барометр-анероид).</p>	
Уравнение Бернулли	
<p>Уравнение Бернулли описывает связь скорости течения жидкости с давлением и высотой:</p> $P + \rho g h + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const},$ <p>где P — давление, ρ — плотность жидкости, v — скорость течения жидкости, h — высота.</p>	<p>Физический смысл уравнения Бернулли: в тех частях потока, где скорость движения больше, давление меньше, а там, где скорость меньше — давление больше.</p>

**Закон Архимеда.
Условия плавания тел**

Закон Архимеда

На тело, погруженное в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (газа), вытесненной телом:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{т}},$$

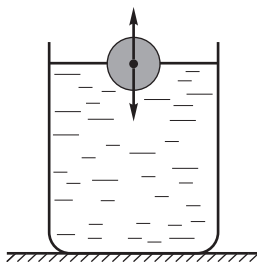
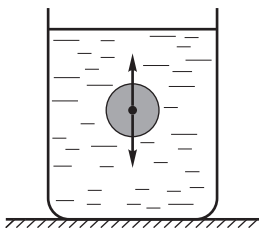
где $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, $V_{\text{т}}$ — объем части тела, погруженной в жидкость.

Тело полностью находится под водой. Объем погруженной части тела равен объему тела:

$$\vec{F}_A = \rho g V_{\text{т}}.$$

Тело не полностью находится под водой. Объем погруженной части тела меньше объема тела:

$$\vec{F}_A = \rho g V_{\text{погруж}}.$$

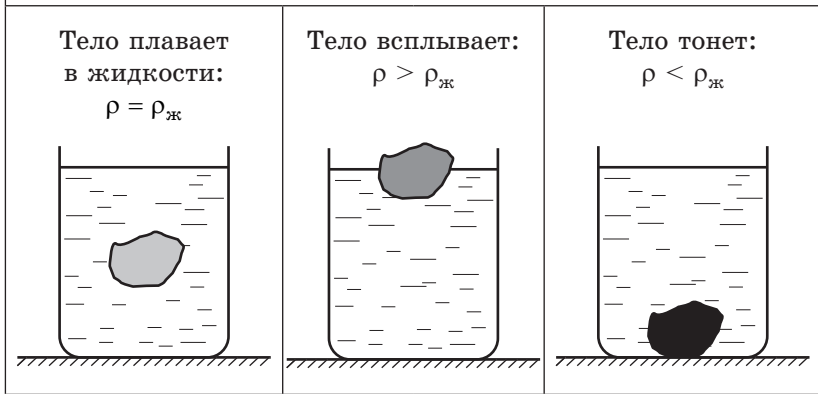


Физическая причина появления силы Архимеда

В поле тяжести Земли давление в нижней части тела больше, чем давление около его верхней части. В результате этого снизу на тело со стороны жидкости действует бóльшая сила, чем сверху. Поэтому суммарная сила, действующая со стороны жидкости на погруженное в нее тело, направлена вверх, т. е. против силы тяжести.

Отсюда, например, следует, что на тело, лежащее под водой на дне, не действует сила Архимеда, т. е. для того чтобы на тело действовала выталкивающая сила, необходимо, чтобы тело со всех сторон было окружено жидкостью.

Условия плавания тел

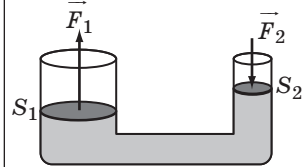


Гидравлические машины

В соответствии с законом Паскаля давление во всех точках жидкости одинаково. Поэтому, если площади сечения в сообщающихся сосудах различны, то силы, действующие в этих сосудах, будут разными:

$$P = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}.$$

На этом основан принцип действия гидравлических машин.



Гидравлическая машина дает выигрыш в силе,
но проигрыш в перемещении.

5. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Механические колебания

<p>Колебания — повторяющиеся движения тел вблизи точки устойчивого равновесия.</p>	<p>Механические колебания — колебания механических величин (скорости, координаты, ускорения и т. д.).</p>
<p>Амплитуда колебаний — модуль максимального отклонения тел от положения равновесия.</p>	
<p>Незатухающие колебания — колебания с постоянной амплитудой.</p>	<p>Затухающие колебания — колебания с уменьшающейся амплитудой.</p>
<p>Свободные колебания — колебания, существующие благодаря внутренним силам.</p>	<p>Вынужденные колебания — колебания, возникающие под действием внешних периодически изменяющихся сил.</p>
<p>Внутренние силы — силы, действующие между телами внутри рассматриваемой системы тел.</p>	<p>Внешние силы — силы, действующие на систему тел со стороны не входящих в эту систему тел.</p>
<p style="text-align: center;">Характеристики колебаний</p>	
<p>Частота колебаний ν — количество колебаний в единицу времени. Единица измерения — Герц: $[\nu] = \text{Гц} = 1/\text{с}.$</p>	<p>Период колебаний T — время одного колебания. Связь периода и частоты: $T = \frac{1}{\nu}.$</p>
<p>Циклическая частота ω — количество колебаний, совершаемых за время 2π секунд: $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T.$</p>	

Гармонические колебания

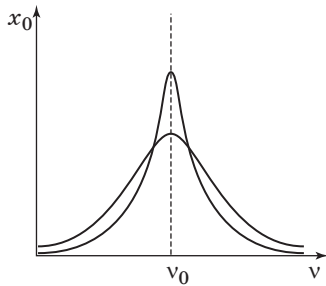
<p>Гармонические колебания — колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса.</p>		
<p>Уравнение гармонических колебаний (пример)</p>		
<p>Координата $x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$</p>	<p>Скорость $v = v_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$</p>	<p>Ускорение $a = a_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$</p>
<p>Здесь x_0 — амплитуда колебаний координаты, $v_0 = \omega x_0$ — амплитуда скорости и $a_0 = -\omega^2 x_0$ — амплитуда ускорения, $\omega t + \varphi_0$ — фаза колебаний, φ_0 — начальная фаза колебаний.</p>		
<p>График гармонических колебаний</p>		

Примеры механических колебаний

<p>Пружинный маятник (груз на пружине)</p>	<p>Математический маятник (материальная точка, подвешенная на длинной невесомой нерастяжимой нити)</p>
---	---

<p>Колебания происходят под действием силы упругости</p> $F = -kx,$ <p>где k — жесткость пружины. Период колебаний равен:</p> $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$	<p>Колебания происходят под действием силы тяжести</p> $F = mg.$ <p>Период колебаний равен:</p> $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}},$ <p>где L — длина маятника.</p>
--	---

Резонанс. Автоколебания

<p>Резонанс — резкое увеличение амплитуды колебаний при совпадении частоты ν внешней вынуждающей силы и частоты ν_0 свободных колебаний системы.</p> <p>На рисунке представлен график зависимости амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы.</p>	 <p>Разные графики соответствуют разной величине силы трения.</p>
---	--

Автоколебания. В большинстве колеблющихся систем существует трение, поэтому колебания со временем затухают. Если же система содержит в себе дополнительный источник энергии, которая постепенно передается колебаниям, то колебания будут поддерживаться до тех пор, пока не закончится запас энергии. Такие системы называются **автоколебательными**. Простейший пример автоколебательной системы — это часы с пружинным заводом или с маятником. В часах с пружиной потенциальная энергия накапливается в пружине, когда мы их заводим. В часах с маятником потенциальная энергия накапливается в гире, когда мы поднимаем ее в верхнее положение.

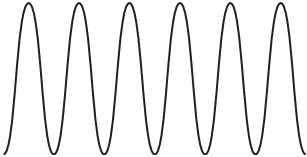

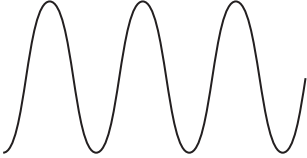
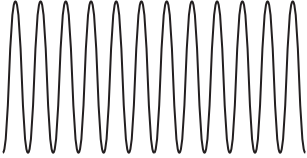
Механические волны

<p>Волна — процесс распространения колебаний в пространстве.</p>	<p>Механические волны — это распространение колебаний в упругих средах.</p>
<p>Направление колебаний и направление движения волны</p>	
<p>Продольные волны — частицы среды колеблются в направлении распространения волны.</p>	<p>Поперечные волны — частицы среды колеблются в плоскостях, перпендикулярных к направлению распространения волны.</p>
<p>Волна сжатия</p> 	<p>Волна сдвига</p> 
<p>Волновой фронт (волновая поверхность) — поверхность, на которой все точки колеблются в одинаковой фазе.</p>	
<p>Сферические волны — волны, у которых волновые поверхности имеют форму концентрических сфер, распространяющихся в однородной среде от точечного источника. Амплитуда уменьшается по мере удаления от источника.</p>	<p>Плоские волны — волны, у которых волновые поверхности имеют форму параллельных плоскостей.</p>
<p>Характеристики волн</p>	
<p>Длина волны λ — расстояние между ближайшими точками, колеблющимися в фазе.</p>	<p>Период колебаний T — время одного колебания. Частота колебаний ν — количество колебаний в единицу времени.</p>

<p>Скорость волны — скорость распространения колебаний в пространстве:</p> $v = \frac{\lambda}{T} = v\lambda.$	<p>Частота волны определяется частотой колебаний источника, а скорость волны — свойствами среды.</p>
<p align="center">Принцип суперпозиций:</p> <p>волны от нескольких источников распространяются независимо друг от друга.</p>	
<p>Интерференция волн — наложение двух или нескольких когерентных волн, при котором происходит увеличение или уменьшение амплитуды результирующей волны.</p>	<p>Дифракция волн — отклонение направления распространения волн от прямолинейного у границы препятствия.</p>

Звуковые волны

<p>Акустика — раздел физики, занимающийся изучением звуковых явлений.</p>	<p>Звуковые (акустические) волны — распространение механических колебаний в упругих средах.</p>	
<p align="center">Частотные диапазоны звука</p>		
<p>Инфразвук: $v < 20$ Гц Инфразвук излучается медленно колеблющимися системами: работающими станками, транспортом, подземными взрывами, в том числе землетрясениями.</p>	<p>Диапазон слышимости уха человека: $20 \text{ Гц} < v < 20000$ Гц.</p>	<p>Ультразвук: $v > 20000$ Гц Животные используют для эхолокации, в медицине применяется для ультразвуковой диагностики.</p>

Скорость звука в некоторых материалах	
В воздухе: при $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ $v = 343\text{ м/с}$, при $T = 0\text{ }^\circ\text{C}$ $v = 331\text{ м/с}$.	В металлах $v = 5850\text{ м/с}$. В воде $v = 1435\text{ м/с}$.
Громкость звука определяется амплитудой	
Громкий звук 	Тихий звук 
Громкость звука определяется также частотой колебаний, потому что ухо не одинаково воспринимает звуки разной частоты (амплитудно-частотная характеристика уха).	
Высота звука определяется частотой колебаний	
Низкий звук 	Высокий звук 

6. ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНАЯ СИЛА ЗАКОНОВ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Основное достоинство физики как науки — это ее **предсказательная сила**. В отличие от других отраслей знаний, в которых в основном производится анализ и объяснение явлений, законы физики позволяют *предсказывать* новые явления, *создавать* новые вещества с необычными свойствами, *разрабатывать* механизмы с заданными параметрами.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Что такое молекулярно-кинетическая теория (МКТ)

Атомы и молекулы

Физика описывает строение вещества на основе **молекулярно-кинетической теории**.

Молекулярно-кинетическая теория — теория, согласно которой все тела состоят из отдельных частиц — молекул и атомов, т. е. не являются сплошными.

Атом — мельчайшая частица вещества (химического элемента), не делящаяся при химических реакциях. Атомы могут объединяться в *молекулы*. Атомы можно рассматривать как одноатомные молекулы.

Молекула — мельчайшая устойчивая частица вещества, состоящая из атомов одного или нескольких химических элементов и сохраняющая основные химические свойства этого вещества.

Тепловое движение

Тепловое движение атомов и молекул

В соответствии с молекулярно-кинетической теорией, молекулы и атомы, из которых состоит вещество, совершают *безостановочное хаотическое движение*.

Скорость в таком движении определяется тем, насколько тело нагрето. Поэтому такое движение называется *тепловым движением*.

<p><i>Хаотическое</i>, или беспорядочное, движение — это движение, в котором нельзя предугадать величину скорости и направление движения в любой момент времени. Нехаотическое движение, в отличие от хаотического, можно описывать с помощью формул — например, скорость равномерно ускоренной точки можно найти с помощью формулы $v = v_0 + at$.</p>	<p>Атомы и молекулы, находясь в постоянном движении, обладают определенной кинетической энергией. Эта энергия связана с так называемой <i>тепловой энергией</i>, запасенной в теле. Кроме того, они постоянно взаимодействуют между собой, т. е. обладают также потенциальной энергией, которую называют <i>энергией межмолекулярного взаимодействия</i>.</p>
--	---

Основные положения и обоснования МКТ

<p>Основные положения молекулярно-кинетической теории:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Все тела состоят из атомов и молекул. 2. Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении. 3. Атомы и молекулы взаимодействуют между собой: отталкиваются на малых расстояниях и притягиваются — на больших (по сравнению с размерами молекул). 	
---	--

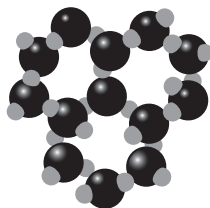
<p>Обоснования молекулярно-кинетической теории</p>	
<p>Диффузия — явление равномерного перераспределения молекул разных веществ в смеси этих веществ.</p>	<p>Если, стоя в углу комнаты, открыть флакон с духами, то через некоторое время запах будет ощущаться во всей комнате. Подобное явление можно наблюдать при заваривании чая: если его не перемешивать, то вода будет постепенно окрашиваться. Это явление называется <i>диффузией</i>.</p>

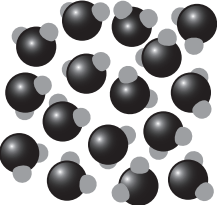
<p>Броуновское движение — хаотическое движение посторонней частички в жидкости (или газе), вызванное частыми соударениями молекул жидкости с этой частичкой.</p>	<p>Если в жидкость (или газ) поместить маленькие твердые частички, то под действием постоянных столкновений с молекулами жидкости эти частицы начнут хаотически двигаться. При этом скорости их будут много меньше скоростей молекул жидкости. Такое движение называется <i>броуновским движением</i>.</p>
<p>Диффузия и броуновское движение могут быть объяснены только на основе представления о молекулярном строении веществ и являются одними из обоснований молекулярно-кинетической теории.</p>	
<p>Закон кратных отношений Дальтона: <i>при образовании любых химических соединений массы участвующих в реакции веществ находятся в строго определенных соотношениях.</i></p>	
<p>Закон Авогадро: <i>в равных объемах при одинаковой температуре и давлении все газы содержат одинаковое число молекул.</i></p>	
<p>Давление газа на стенки сосуда объясняется ударами молекул газа о стенки.</p>	

Газы, жидкости и твердые тела в МКТ

Молекулярно-кинетическая теория строения вещества позволяет описать твердые тела, жидкости и газы.

В **твердых телах (кристаллах)** атомы или молекулы расположены упорядоченно и образуют периодически повторяющуюся структуру (кристаллическую решетку). Хаотическое движение молекул сводится в твердых телах к колебаниям молекул около состояния равновесия. Твердые тела **сохраняют свою форму и объем**.



<p>В <i>жидкостях</i> молекулы расположены в беспорядке, но при этом молекулы, находящиеся на границе жидкости, притягиваются другими молекулами. Поэтому жидкость <i>сохраняет свой объем</i>. Форму жидкость не сохраняет и приобретает форму сосуда, в который она налита. В невесомости жидкость приобретает форму шара.</p> <p>Ближайшие молекулы в жидкостях расположены почти так же упорядоченно, как и в кристаллах. Однако на больших расстояниях упорядочение исчезает.</p>	
<p>В <i>газах</i> молекулы расположены хаотически (как и в жидкостях), но при этом отдельно взятая молекула, оказавшаяся на границе газа, не притягивается остальными молекулами и покидает газ. Поэтому газ стремится <i>занять весь объем</i> сосуда, в котором он находится.</p>	

Модель идеального газа

Для приближенного рассмотрения газов используется специальная модель, которая позволяет описывать поведение газов с помощью простых формул (уравнений идеального газа).

Идеальный газ — модель, согласно которой:

1. Размеры молекул газа пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними.
2. Между молекулами отсутствуют силы взаимодействия.
3. Столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие.

Другое определение идеального газа: идеальный газ — газ, который описывается уравнением идеального газа (уравнением Менделеева – Клапейрона).

Единицы измерения физических величин в молекулярной физике

Относительная молекулярная масса m_r определяется следующим образом:

$$m_r = \frac{m_0}{\frac{m_{0C}}{12}},$$

где m_0 — масса атома вещества, а m_{0C} — масса атома углерода. Относительная молекулярная масса измеряется в атомных единицах массы (а.е.м.). Строго атомная единица массы определяется как двенадцатая часть массы атома углерода:

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{m_{0C}}{12} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Физические причины кратности масс атомов и молекул объясняются в разделе «Квантовые явления».

Количество вещества — отношение числа молекул в данном теле к числу атомов в 12 г углерода. Измеряется количество вещества в молях:

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

$$[\nu] = \text{моль.}$$

Моль — количество вещества, содержащего столько же молекул, сколько атомов содержится в углероде массой 12 г.

Число Авогадро — число молекул или атомов в 1 моле вещества:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Молярная масса — масса вещества, которое взято в количестве 1 моль:

$$M = m_0 \cdot N_A,$$

$$[M] = \text{кг/моль.}$$

Связь между относительной молекулярной массой и молярной массой:

$$M = m_r \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

Основная особенность моля: если взять одинаковое количество совершенно *разных* газов и поместить их в *одинаковые* условия, то они займут *равные* объемы! Например, при нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объем, равный 22,4 л.

Плотность вещества

Для математического описания веществ в физике используют **плотность** ρ — массу единицы объема вещества:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

В молекулярно-кинетической теории плотность вещества можно выразить через количество молекул и их массу:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_0 \cdot N}{V} = m_0 \cdot \frac{N}{V}.$$

В приведенную формулу входит отношение $\frac{N}{V}$, которое равно количеству молекул в единице объема. Эта величина обычно обозначается n и носит название **концентрации**:

$$n = \frac{N}{V},$$

$$[n] = \frac{1}{\text{м}^3}.$$

2. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ТЕЛ

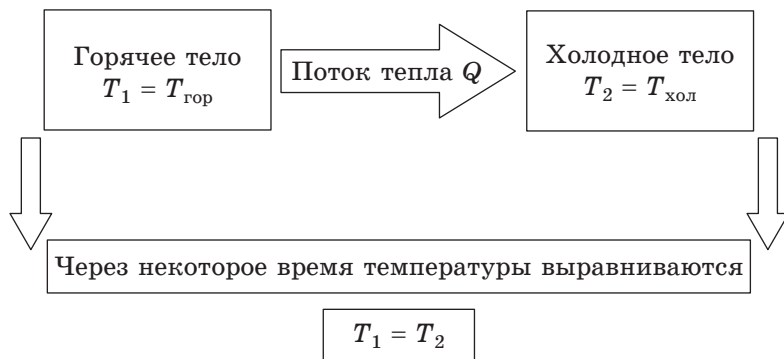
Тепловое равновесие. Температура

Из повседневного опыта известно, что тела бывают горячими и холодными, т. е. *по-разному нагретыми*. Для количественного описания такого различия, а именно для описания степени нагретости тела, в физике введено понятие **температуры**. Причем более горячему телу принято приписывать бóльшую величину температуры, а более холодному — меньшую.

При соприкосновении по-разному нагретых тел более холодное начинает нагреваться, а более горячее — охлаждаться. Такой процесс называется **теплопередачей** (обменом тепла). В этом процессе температуры тел (или частей одного тела) становятся одинаковыми.

В конце концов, наступает момент, когда все соприкасающиеся тела (или все части одного тела) имеют одинаковую температуру. Такое состояние называется **тепловым равновесием**. В этом состоянии уже не происходит изменения температуры.

$$T_{\text{гор}} > T_{\text{хол}} \Rightarrow T_1 \neq T_2$$



<p>Термодинамическое (тепловое) равновесие — это состояние, в котором не происходит никаких изменений термодинамических параметров — температуры, давления, плотности и т. д.</p>	<p>Температура — это мера средней кинетической энергии молекул (атомов) изолированной системы в условиях её термодинамического равновесия.</p>
<p>Измерение температуры</p>	
<p>Для измерения температуры используются различные <i>шкалы температур</i>.</p>	
<p>Шкала Цельсия. В качестве нуля температурной шкалы (0°C) выбрана точка плавления льда, а точке кипения воды приписано значение 100°C. В качестве единицы измерения — градус Цельсия — принята $\frac{1}{100}$ часть интервала между этими точками.</p>	
<p>Шкала Кельвина (абсолютная шкала температур). В качестве нуля принят так называемый <i>абсолютный</i> нуль температуры, т. е. температура, ниже которой невозможно ничего охладить. Единица измерения — градус Кельвина, который выбран равным градусу Цельсия. Поскольку точка таяния льда имеет температуру $273,15\text{ K}$, связь между шкалой Цельсия и шкалой Кельвина следующая:</p> $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15.$	
<p>Шкала Фаренгейта. Связь между этой шкалой, используемой в Северной Америке, и шкалой Цельсия задается следующей формулой:</p> $T(F) = 32 + \frac{5}{9} T(^{\circ}\text{C}).$	
<p><i>Абсолютный</i> нуль температуры невозможно достичь, как недостижимы и отрицательные температуры. Это утверждение представляет собой так называемое третье начало (или закон) термодинамики.</p>	

Температуру измеряют с помощью *термометров*. Чаще всего применяются термометры следующих видов:

- 1) *жидкостные*, в которых используется явление расширения тел при нагревании;
- 2) *биметаллические*, использующие деформацию биметаллической пластинки при нагреве;
- 3) *термометры сопротивления*, использующие увеличение (уменьшение) электрического сопротивления при нагреве;
- 4) *термоэлектрические* термометры состоят из двух разнородных проводников со спаянными концами. При нагреве одного из них возникает разность потенциалов.

Температура и движение молекул

В молекулярно-кинетической теории температура характеризует величину средней энергии хаотического движения молекул — молекулы более теплого тела движутся быстрее.

Средняя кинетическая энергия пропорциональна температуре:

$$\left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle = \frac{3}{2} k_B T.$$

Коэффициент k_B — **постоянная Больцмана**, равная

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Постоянная Больцмана связывает температуру Θ в энергетических единицах с температурой T в кельвинах.

Если тело состоит из N молекул, то их полная кинетическая энергия равна:

$$E_{\text{кин}} = N \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle = \frac{3}{2} N k_B T.$$

Внутренняя энергия тела. Если также учесть потенциальную энергию $E_{\text{пот}}$ взаимодействия молекул между собой, то полная энергия молекул тела будет равна $U = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}}$. Эта величина называется *внутренней* энергией тела. В идеальном газе потенциальная энергия взаимодействия молекул равна нулю, поэтому внутренняя энергия газа равна кинетической энергии молекул: $U = E_{\text{кин}}$.

Давление. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

Газы, которые находятся в сосуде, оказывают на стенки этого сосуда определенное **давление**. Молекулярно-кинетическая теория объясняет это давление как результат упругих столкновений молекул газа со стенками сосуда. Молекула соударяется со стенкой и, следовательно, передает ей некоторый импульс, т. е. действует на стенку с некоторой силой. Если сложить силы действия молекул на стенки, то получим **силу давления** газа на стенки.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории:

$$P = nk_{\text{B}}T.$$

Из уравнения $P = nk_{\text{B}}T$ можно получить уравнение состояния идеального газа. Достаточно умножить его на объем V газа и учесть, что полное число молекул равно $N = nV$:

$$PV = nVk_{\text{B}}T = Nk_{\text{B}}T.$$

Полное число молекул можно также выразить через коли-

чество вещества $\nu = \frac{m}{M}$ (в молях) и число молекул в одном моле N_{A} : $N = N_{\text{A}}\nu = N_{\text{A}} \cdot \frac{m}{M}$. Отсюда получаем:

$$PV = \frac{m}{M} N_{\text{A}} k_{\text{B}} T.$$

Уравнение состояния идеального газа

Исследования свойств газов показывают, что большинство газов можно описывать с помощью уравнения состояния идеального газа: $PV = \frac{m}{M} RT$.

Это уравнение называется **уравнением Менделеева – Клапейрона**. Величина R — это **универсальная газовая постоянная**, значение которой не зависит от природы вещества:

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}.$$

Уравнение Менделеева – Клапейрона и основное уравнение молекулярно-кинетической теории позволяют связать постоянную Больцмана с универсальной газовой постоянной:

$$R = N_A k_B$$

и тем самым связать термодинамику и молекулярно-кинетическую теорию.

3. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Основные понятия термодинамики

Термодинамика — теория тепловых явлений, в которой не учитывается атомно-молекулярное строение тел.

В основе термодинамики, в отличие от молекулярно-кинетической теории, лежит описание системы с помощью так называемых *макроскопических* параметров: температуры T , давления P , объема V , концентрации смесей и т. п. Термодинамика изучает процессы, происходящие в так называемых *термодинамических системах*.

→ **Термодинамическая система** — совокупность макроскопических тел, которые могут взаимодействовать между собой и с другими телами (внешней средой), обмениваться с ними энергией и веществом. Термодинамическая система состоит из большого числа атомов (молекул).

→ **Термодинамическое равновесие** — состояние, в котором не происходит никаких изменений термодинамических параметров: температуры, давления, плотности и т. д.

→ **Термодинамический процесс** — любое изменение, происходящее в термодинамической системе.

Главное содержание термодинамики состоит в двух ее началах (законах) — первом и втором; первое распространяет закон сохранения энергии на тепловые явления, второе же указывает направление возможных энергетических превращений в природе.

Термодинамика не учитывает молекулярное строение вещества при изучении тепловых свойств макроскопических тел и в этом смысле является макроскопической теорией.

Газ в термодинамике

Простейшее уравнение термодинамики — уравнение Менделеева – Клапейрона — описывает термодинамические свойства идеального газа. Рассмотрим с помощью этого уравнения простейшие термодинамические процессы — *изопроцессы*.

Изопроцессы — процессы, происходящие при постоянном значении одного из параметров состояния (T , P , V) при фиксированной массе газа. Если количество вещества не

изменяется ($\frac{m}{M} = \text{const}$), то

$$\frac{PV}{T} = \frac{m}{M} R = \text{const}.$$

Следовательно, в *различных* термодинамических состояниях отношение $\frac{PV}{T}$ будет *одинаковым*:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}.$$

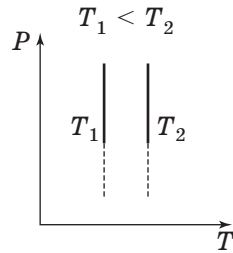
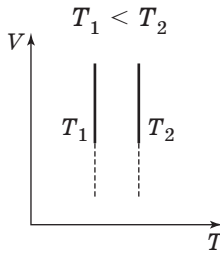
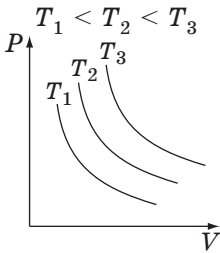
Полученное уравнение носит название **уравнение Клапейрона**.

Термодинамические процессы

Изотермический процесс — процесс, который происходит при постоянной температуре:

$$PV = \text{const} \text{ — закон Бойля – Мариотта.}$$

Изотерма — график зависимостей термодинамических величин при постоянной температуре.

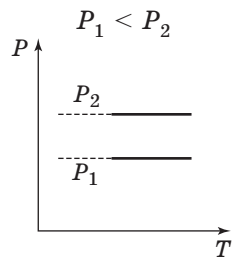
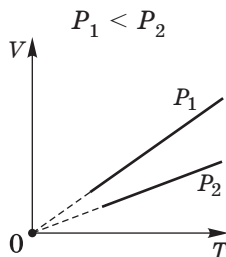
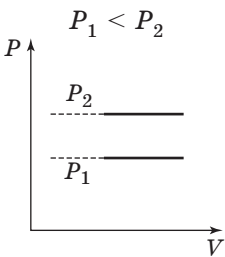


Внимание! Поскольку абсолютный нуль температуры недостижим, графики тепловых процессов не должны доходить до значения $T = 0$ К. Поэтому вблизи значений $T = 0$, $V = 0$ и $P = 0$ эти графики изображаются пунктирной линией.

Изобарический процесс — процесс, который происходит при постоянном давлении:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ — закон Гей-Люссака.}$$

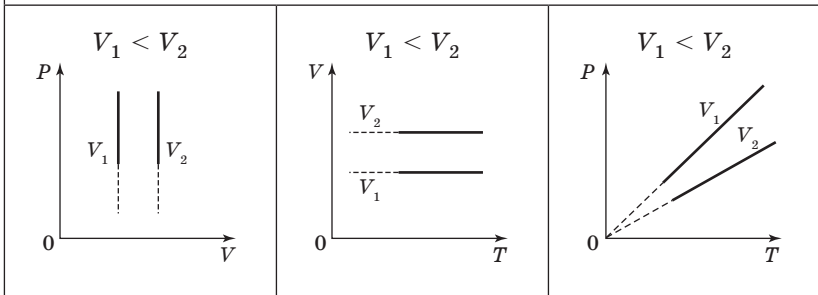
Изобара — график зависимостей термодинамических величин при постоянном давлении.



Изохорический процесс — процесс, который происходит при постоянном объеме:

$$\frac{P}{T} = \text{const} \quad \text{— закон Шарля.}$$

Изохора — график зависимостей термодинамических величин при постоянном объеме.



Внутренняя энергия. Работа

Внутренняя энергия — сумма кинетических энергий теплового хаотического движения молекул и потенциальных энергий их взаимодействия.

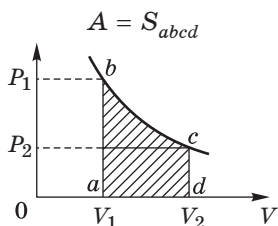
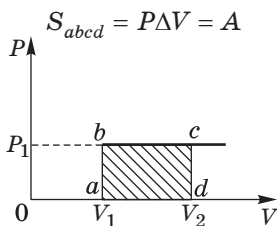
Внутреннюю энергию газа ΔU можно изменить, если совершить над газом работу A — например, сжать его:

$$\Delta U_{\text{раб}} = A.$$

Работу, которую совершает внешняя сила над газом, можно вычислить по формуле

$$A = -P\Delta V.$$

Работу, которую совершает газ, можно вычислить с помощью графика термодинамического процесса, изображенного в координатах P, V . На примере изобарического процесса (с постоянным давлением) видно, что работа равна площади прямоугольника. Это свойство справедливо для любого процесса. *Работа равна площади под кривой, которая описывает процесс в координатах P, V .*



Внутреннюю энергию можно также изменить, если нагреть (или охладить) тело, т. е. передать ему (или забрать у него) некоторое количество тепла:

$$\Delta U_{\text{теплопер}} = Q.$$

Способы теплопередачи

Теплопроводность — обмен энергией между хаотически движущимися частицами взаимодействующих тел или частей одного тела.

Конвекция — перенос энергии потоками жидкости или газа.

Излучение — перенос энергии электромагнитными волнами.

Количество теплоты. Удельная теплоемкость

Количество теплоты Q — количественная мера изменения внутренней энергии тела при теплообмене (энергия, которую тело отдает или получает в процессе теплообмена):

$$Q = cm(T_2 - T_1) = cm\Delta T,$$

где T_1 — начальная температура тела, T_2 — конечная температура тела, m — масса тела

$$[Q] = \text{Дж}.$$

Величина c — **удельная теплоемкость вещества**, т. е. количество теплоты, которое отдает или получает 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 градус.

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

<p>Закон сохранения энергии в тепловых процессах (первое начало термодинамики)</p> <p><i>Изменение внутренней энергии системы равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:</i></p> $\Delta U = A + Q.$	<p>Уравнение теплового баланса</p> $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0,$ <p>где Q_1, Q_2, \dots, Q_n — количество теплоты, полученное или отданное каждым телом.</p>
<p>Адиабатический (теплоизолированный) процесс</p>	
<p>Адиабатический процесс — процесс, происходящий без теплообмена с внешней средой:</p> $\Delta U_{\text{раб}} = A.$ <p>Как правило, адиабатические процессы — это процессы, которые происходят очень быстро, так что не успевает произойти теплообмен с окружающей средой.</p>	

4. ЖИДКОСТИ И ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

Жидкость в термодинамике

<p>Газ, жидкость и твердое тело — это различные состояния вещества. При определенных условиях тела могут переходить из одного состояния в другое.</p> <p>Переход газа в жидкость называется <i>конденсацией</i>, а обратный переход жидкости в газ — <i>испарением</i>. Для испарения жидкости ей необходимо передать некоторое количество тепла.</p>	
<p>Удельная теплота парообразования L — физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг жидкости в пар (или пара в жидкость) при постоянной температуре, равной температуре кипения:</p> $Q_{\text{парообр}} = Lm, \quad Q_{\text{конденс}} = -Lm.$	<p>При испарении, как и при конденсации, температура тела <i>не изменяется!</i> Эта температура называется температурой кипения.</p>
<p>Переход молекул из жидкости в газ и обратно происходит не только при температуре кипения. Фактически обмен молекулами между жидкостью и газом происходит при любых температурах. Это связано с тем, что при температурах ниже температуры кипения жидкость и газ могут находиться в <i>динамическом равновесии</i> друг с другом.</p>	<p>Динамическое равновесие — состояние, при котором число молекул, покидающих жидкость (парообразование) в единицу времени, равно числу молекул, возвращающихся в жидкость (конденсация) за то же время.</p>
<p>Насыщенный пар — пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью. Давление $P_{\text{нас}}$ насыщенного пара зависит только от температуры.</p> <p>Точка росы — температура, при которой водяной пар становится насыщенным.</p>	<p>Ненасыщенный пар — пар, находящийся при давлении ниже давления насыщенного пара: $P < P_{\text{нас}}$.</p>

<p>Для каждого вещества существует критическая температура $T_{кр}$, при которой исчезают различия между жидкостью и ее насыщенным паром.</p>	
<p>Парциальное давление — давление, которое создавал бы водяной пар, если бы не было других газов.</p>	<p>Относительная влажность воздуха — отношение парциального давления пара к давлению насыщенного пара при данной температуре:</p> $\varphi = \frac{P}{P_{нас}} \cdot 100 \% .$
<p>Кипение — процесс парообразования (испарения) внутри объема жидкости. Обычно испарение жидкости происходит с ее внешней поверхности. Однако при некоторых условиях испарение начинается и внутри жидкости. В этом случае образуются пузырьки пара, которые быстро растут за счет дальнейшего испарения. Это приводит к быстрому всплытию пузырьков.</p>	
<p>Образование, рост и всплытие пузырьков сопровождаются характерным шумом, по которому можно определить и начало, и эффективность процесса кипения. В процессе кипения температура жидкости не изменяется. Все подводимое тепло уходит на парообразование. Сама же температура кипения зависит от внешнего давления — чем меньше внешнее давление, тем ниже температура кипения. Так, например, высоко в горах, где атмосферное давление низкое, температура кипения ниже 100°C, поэтому возникают проблемы с приготовлением пищи.</p>	

Поверхностное натяжение жидкостей. Смачивание поверхностей

<p>Сила поверхностного натяжения $F_{нат}$ — сила, действующая вдоль поверхности перпендикулярно к линии, ограничивающей эту поверхность, и стремящаяся сократить ее до минимума. Благодаря этой силе капля жидкости в невесомости приобретает форму шара — тела с минимальной площадью поверхности при заданном объеме.</p>

Коэффициент поверхностного натяжения:

$$\sigma = \frac{F_{\text{нат}}}{l},$$

$$[\sigma] = \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

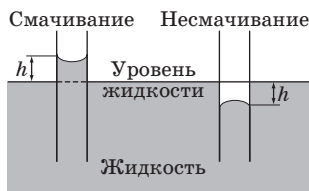
$F_{\text{нат}}$ — сила поверхностного натяжения, l — длина границы. У разных жидкостей поверхностное натяжение различно и определяется межмолекулярным взаимодействием.

Взаимодействие молекул жидкости со стенками сосуда, в котором находится жидкость, приводит к явлению **смачивания**.

Если молекулы жидкости притягиваются к молекулам, из которых состоит стенка, то жидкость пытается растечься по всей поверхности стенки. В этом случае говорят, что жидкость **смачивает** стенку.

Если молекулы жидкости отталкиваются от стенки, то говорят, что жидкость **не смачивает** стенку.

В качестве примера на рисунке приведены два сосуда, опущенных одним концом в воду. Внутренняя поверхность этих сосудов по-разному смачивается жидкостью. В первом жидкость смачивает стенку сосуда, а во втором — не смачивает.



Мы видим, что сила смачивания приводит к подъему жидкости в сосуде над уровнем жидкости. Такое явление называется *капиллярным* явлением. Благодаря этому свойству вода может подниматься из почвы и питать растения.

Капилляр — трубка с малым внутренним диаметром. Высота поднятия жидкости в капилляре равна:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R},$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения, ρ — плотность жидкости, R — радиус капиллярной трубки, g — ускорение свободного падения.

Твердое тело в термодинамике

Плавление и кристаллизация. Тепловые свойства твердых тел

Переход жидкости в твердое тело называется **кристаллизацией**, а обратный переход твердого тела в жидкость — **плавлением**. Для плавления твердому телу необходимо передать некоторое количество тепла.

Удельная теплота плавления λ — физическая величина, которая равна количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг твердого вещества в жидкость (или жидкости в твердое вещество) при постоянной температуре, равной температуре плавления:

$$Q_{\text{пл}} = \lambda m, \quad Q_{\text{кристалл}} = -\lambda m.$$

В кристаллических твердых телах температура плавления точно известна: при $T = T_{\text{пл}}$ твердое тело становится жидкостью. Температура в процессе плавления не изменяется, а все подводимое тепло тратится на плавление тела.

В аморфных телах не существует определенной температуры плавления. В процессе нагрева аморфное тело становится все больше похожим на жидкость.

Сублимация. При определенных условиях твердое тело может начать испаряться, т. е. тело из твердого состояния переходит в газообразное, минуя жидкое. Особенно красиво выглядит процесс сублимации, который можно наблюдать ранней весной при ярком солнце, когда сугробы снега «исчезают», испаряясь в воздух и не образуя привычных весенних ручейков.

Удельная теплота сгорания

Одним из источников тепла являются различные виды *топлива* — веществ, которые выделяют при сгорании большое количество тепла. Чтобы вычислять количество тепловой энергии, выделяемой при сгорании конкретного вида топлива, используют величину, которая носит название **удельная теплота сгорания**, т. е. теплота сгорания одного килограмма вещества:

$$H = \frac{Q}{m}, \quad [H] = \text{Дж/кг}.$$

Эта величина позволяет определять количество тепла Q , которое выделяется при сгорании m кг вещества: $Q = H \cdot m$.

Тепловое расширение

Тепловое расширение твердых тел. Почти все тела при нагреве расширяются, а при охлаждении сжимаются. Для описания этого явления используют коэффициенты линейного и объемного расширения тела. Эти коэффициенты показывают, во сколько раз изменяется длина или объем тела при нагреве его на один градус.

Коэффициент линейного расширения α связывает изменение *длины* с изменением температуры:

$$\frac{L}{L_0} = \alpha(T - T_0).$$

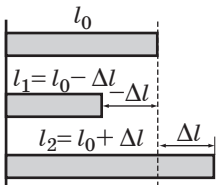
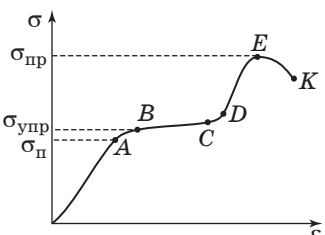
Коэффициент объемного расширения β связывает изменение *объема* с изменением температуры:

$$\frac{V}{V_0} = \beta(T - T_0).$$

Индексом «0» в этих формулах отмечены значения физических величин до нагрева.

Внимание! Не все тела расширяются при нагреве. Одно из самых важных для существования жизни на Земле веществ — **ВОДА** — при температуре ниже 4°C расширяется *при охлаждении*. По этой причине плотность льда *меньше* плотности воды в реке. Заметим, что если бы лед был тяжелее воды, то зимой он бы тонул в реках, и реки промерзали бы до самого дна. Меньшая плотность льда позволяет ему находиться на поверхности воды, поэтому зимой жизнь в реках не прекращается.

Механические свойства твердых тел

<p>Механическое напряжение — физическая величина, равная отношению модуля силы упругости к площади поперечного сечения:</p> $\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S},$ <p>единица измерения</p> $[\sigma] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$	<p>Относительное изменение длины тела при деформации</p> <p>Мера деформации — относительное удлинение:</p> $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}.$
<p>Сжатие и растяжение твердого тела</p>  <p>The diagram shows a horizontal bar of length l_0. Below it, two shorter bars represent compression: the top one is labeled $l_1 = l_0 - \Delta l$ and the bottom one is labeled $l_2 = l_0 + \Delta l$. Vertical dashed lines indicate the original length l_0 and the displacement Δl for both compression and stretching.</p>	<p>Диаграмма растяжения твердого тела</p>  <p>The diagram is a graph of stress σ versus strain ε. The curve starts at the origin and passes through points A, B, C, D, E, and K. Point A is at the end of the linear elastic region. Point B is the yield point. Point C is the end of the yield point plateau. Point D is the start of strain hardening. Point E is the ultimate tensile strength. Point K is the fracture point. The yield stress $\sigma_{\text{упр}}$ and the yield point stress $\sigma_{\text{п}}$ are indicated on the y-axis.</p>
<p>На приведенной диаграмме:</p> <p>OA — упругие деформации (закон Гука выполняется);</p> <p>AB — упругие деформации (закон Гука не выполняется);</p> <p>BC — пластические деформации; CD — область текучести;</p> <p>EK — разрушение тела.</p> <p>При малых деформациях напряжение σ прямо пропорционально относительному удлинению:</p> $\sigma = E \varepsilon , \text{ где } E \text{ — модуль Юнга.}$ <p>$\sigma_{\text{п}}$ — максимальное напряжение, при котором еще выполняется закон Гука.</p> <p>$\sigma_{\text{упр}}$ — предел упругости, т. е. максимальное значение напряжения, при котором не возникают остаточные деформации.</p> <p>$\sigma_{\text{пр}}$ — предел прочности, т. е. механическое напряжение, при котором тело начинает разрушаться.</p>	

5. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

Понятие о тепловых машинах

Одной из задач термодинамики является использование внутренней энергии тел для совершения полезной работы. Для этой цели служат так называемые *тепловые машины*.

Тепловые машины — периодически действующие устройства, совершающие работу за счет полученной извне теплоты.

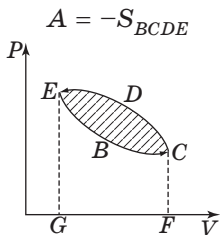
Объяснение принципа действия тепловых машин основывается на двух началах термодинамики: первом начале — законе сохранения энергии — и втором начале, которое рассмотрено ниже.

Второе начало термодинамики

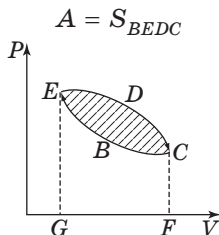
Теплота не может самопроизвольно переходить от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой.

В основе работы тепловых машин лежат замкнутые термодинамические циклы.

Круговой процесс, или цикл — процесс, при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное.



Цикл протекает против часовой стрелки ($A < 0$). Над газом совершается работа.



Цикл протекает по часовой стрелке ($A > 0$). Газ совершает работу.

Коэффициент полезного действия

Для описания свойств различных тепловых машин вводится понятие — **коэффициент полезного действия (КПД)**. Он определяется как отношение полезной работы, которую произвел газ, к полному количеству тепла, которое газ получил при совершении этой работы:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{получ}}}$$

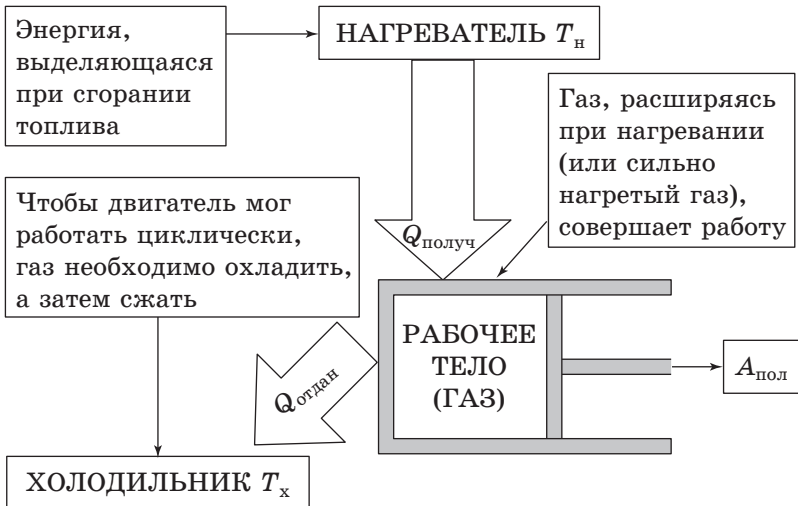
Поскольку полученное газом тепло не все тратится на совершение работы, а какая-то часть этого тепла отводится от газа в окружающую среду, то всегда $A_{\text{пол}} < Q_{\text{получ}}$, т. е. КПД всегда меньше единицы:

$$\eta < 1.$$

Например, для процесса, показанного выше на рисунке (справа), $A_{\text{пол}} = S_{BEDC}$, $Q_{\text{получ}} = S_{GEDCF}$, а тепло, отданное газом в среду при совершении работы, равно $Q_{\text{отдан}} = S_{GEBCF}$. Для этого цикла КПД равно:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{S_{BEDC}}{S_{GEDCF}} = \frac{S_{GEDCF} - S_{GEBCF}}{S_{GEDCF}} = 1 - \frac{S_{GEBCF}}{S_{GEDCF}} < 1.$$

Общий принцип действия тепловых машин



Цикл Карно

Для исследования тепловых машин была предложена так называемая *идеальная* тепловая машина, в основу работы которой положен цикл Карно. Эта тепловая машина работает, получая тепло от нагревателя с температурой T_H и отдавая тепло холодильнику, температура которого равна T_X . КПД цикла Карно равен:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{Q_{\text{получ}} - Q_{\text{отдан}}}{Q_{\text{получ}}} = 1 - \frac{Q_{\text{отдан}}}{Q_{\text{получ}}} = 1 - \frac{T_X}{T_H}.$$

КПД реальной машины всегда меньше, чем КПД идеальной машины.

КПД других идеальных машин меньше, чем КПД идеальной тепловой машины, в которой использован цикл Карно, при тех же температурах нагревателя и холодильника.

Графическое представление цикла Карно

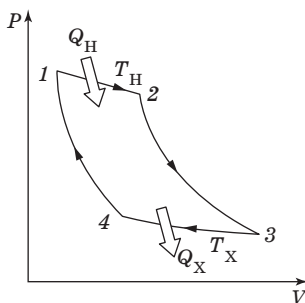
Цикл Карно состоит из двух адиабат ($2 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 1$) и двух изотерм ($1 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 4$):

$1 \rightarrow 2$ — газ (так называемое *рабочее тело двигателя*) поддерживается в тепловом контакте с нагревателем при температуре T_H и получает от него тепло Q_H ; при этом газ расширяется;

$2 \rightarrow 3$ — процесс адиабатического (т.е. теплоизолированного) расширения. В этом процессе газ охлаждается до температуры холодильника T_X ;

$3 \rightarrow 4$ — процесс изотермического сжатия, при котором температура газа равна температуре холодильника и газ отдает холодильнику тепло Q_X ;

$4 \rightarrow 1$ — процесс адиабатического сжатия газа, при котором газ нагревается до температуры нагревателя, тем самым замыкая цикл.



В настоящее время наиболее широкое применение получили тепловые машины, работающие по следующим циклам:

1. Цикл Отто — это двигатели внутреннего сгорания с искровым зажиганием.
2. Цикл Дизеля — это двигатели внутреннего сгорания с самопроизвольным зажиганием горючего. Эти два двигателя используются в автомобилях.
3. Цикл Ренкина — это паровые двигатели и турбины, которые в прошлом веке приводили в движение паровозы и пароходы, а сейчас используются на атомных электростанциях для получения электроэнергии.
4. Цикл Брайтона, который используется в газовых турбинах, и цикл реактивного движения, используемый в турбореактивных и турбовинтовых двигателях самолетов.

Цикл Отто, Дизеля, Брайтона

Цикл Отто — двигатели с зажиганием от электрической искры

$1 \rightarrow 2$ — впуск топливной смеси в цилиндр двигателя;

$2 \rightarrow 3$ — адиабатическое сжатие;

$3 \rightarrow 4$ — сжигание горючей смеси, которое приводит к резкому увеличению давления;

a — момент зажигания;

b — прекращение сгорания топлива;

$4 \rightarrow 5$ — адиабатическое расширение продуктов сгорания горючего;

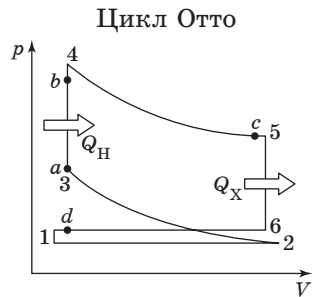
c — открытие выпускного клапана;

$5 \rightarrow 6$ — выпуск продуктов сгорания;

$6 \rightarrow 1$ — выхлоп при атмосферном давлении;

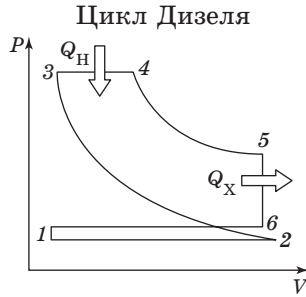
d — открытие впускного клапана.

Такие двигатели работают на *бензине*.

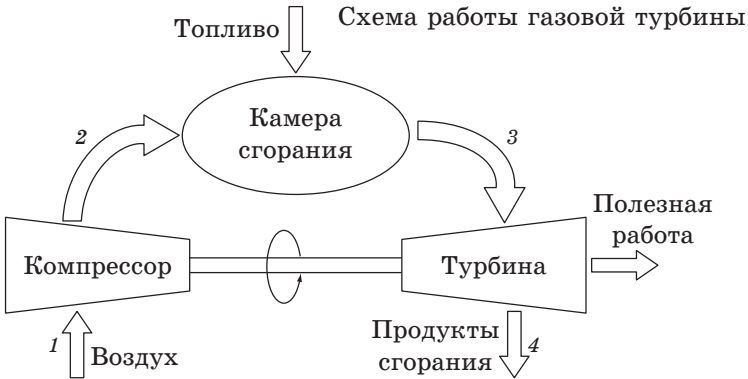


Цикл Дизеля — двигатели с самопроизвольным зажиганием сжатого топлива.

- 1 → 2 — впуск топливной смеси в цилиндр двигателя;
 - 2 → 3 — адиабатическое сжатие;
 - 3 → 4 — самопроизвольное зажигание смеси за счет нагрева при адиабатическом сжатии на участке 2 → 3;
 - 4 → 5 — адиабатическое расширение продуктов сгорания горячего;
 - 5 → 6 — выпуск продуктов сгорания;
 - 6 → 1 — выхлоп при атмосферном давлении.
- Такие двигатели работают на *дизельном топливе*.

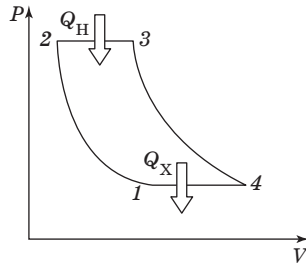


Цикл Брайтона — газовые турбины



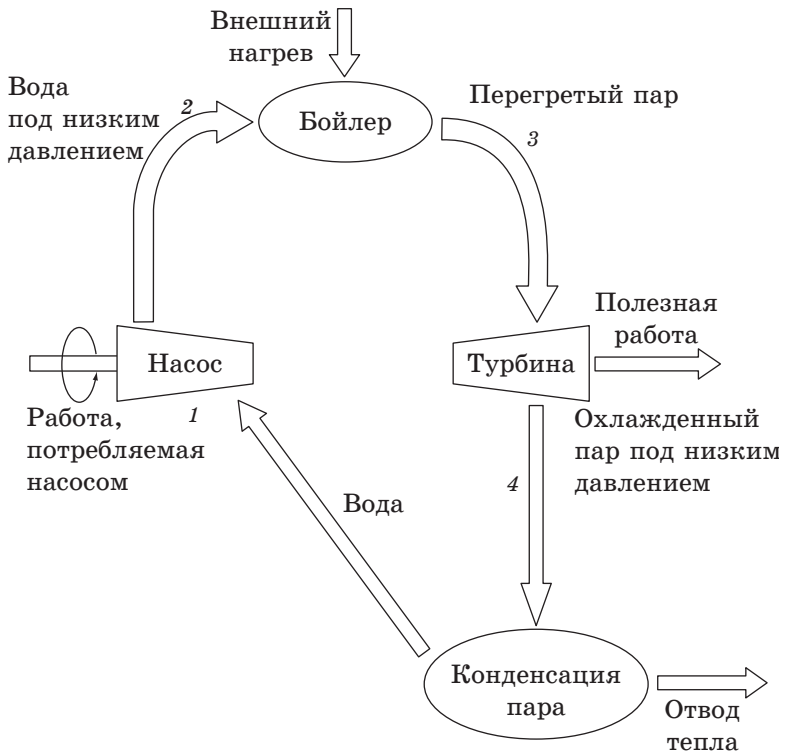
- 1 → 2 — адиабатическое сжатие в компрессоре;
- 2 → 3 — нагрев при постоянном давлении;
- 3 → 4 — адиабатическое расширение в турбине;
- 4 → 1 — теплоотдача при постоянном давлении.

Идеализированный цикл Брайтона



Паровые двигатели и турбины

В основе работы паровых машин (двигателей и турбин) лежит циклическое преобразование воды в пар и обратно. Приведем упрощенную схему работы паровой турбины, не описывая лежащий в ее основе цикл Ренкина.



- 1 → 2 — адиабатическое сжатие воды в насосе;
 2 → 3 — нагрев воды при постоянном давлении, нагрев пара до перегретого состояния;
 3 → 4 — адиабатическое расширение в турбине, совершение полезной работы;
 4 → 1 — отвод тепла при постоянном давлении, конденсация пара.

Реактивные двигатели

Реактивное движение и двигатели

Реактивное движение основано на законе сохранения импульса. Если от тела с определенной скоростью отделяется какая-то часть, то само тело начинает двигаться в сторону, противоположную направлению движения отделившейся части.

Типичным примером реактивного движения являются полеты **ракет**. В ракетах происходит сгорание жидкого или твердого топлива. Продукты сгорания с огромными скоростями вырываются через специальные *сопла*, расположенные сзади ракеты, создавая тем самым **силу тяги**, которая приводит ракету в движение.

Другим примером использования реактивного движения являются **реактивные, турбореактивные и турбовинтовые двигатели**, устанавливаемые на самолетах.

Работа турбореактивного двигателя описывается измененным циклом газовой турбины — так называемым циклом реактивного движения. В этом цикле продукты сгорания не расширяются внутри турбины, а направляются в сопло, где они ускоряются и создают силу тяги, приводящую самолет в движение.

Экологические проблемы современной энергетики

В начале XXI в. стало очевидным, что дальнейшее развитие современной энергетики и транспорта ведет человечество к крупномасштабному экологическому кризису. Бурное промышленное развитие привело к колоссальному освоению топливной и атомной энергетики, стремительному истощению запасов угля и нефти, к «парниковому эффекту» земной атмосферы. Постоянно возрастает опасность радиоактивного заражения. Особенно критическая ситуация с загрязнением воздуха складывается в крупных городах. Основным источником загрязнения атмосферы является городской автотранспорт, а точнее, использование в нем нефтяных моторных топлив.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

1. ЗАРЯДЫ И ПОЛЯ

Электродинамика — раздел физики, который описывает электромагнитные явления: поведение заряженных тел, электромагнитных полей и их взаимодействие.

Электризация — изменение *электрического заряда* тела за счет трения или облучения.

Эффектный фокус, в котором натертая ручка начинает притягивать к себе пылинки и кусочки бумаги, известен человечеству уже тысячу лет. В Древней Греции такой опыт ставили с янтарными палочками, и греческое название янтаря — «электрон» — дало название этому явлению: **электризация**.



2. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Приведенные выше определения справедливы в случае неподвижных зарядов. Взаимодействие таких зарядов изучает электростатика.

Электростатика — наука о неподвижных зарядах и связанных с ними неизменных электрических полях.

Если заряды начинают двигаться, то они могут создавать так называемое *магнитное поле*. В то же время если магнитное поле изменяется со временем, то оно создает электрическое поле в отсутствие зарядов. Исследованием таких процессов занимается *электродинамика*. Для того чтобы учесть эти особенности, необходимо дать более общее определение заряда.

Электрический заряд

Понятие электрического заряда

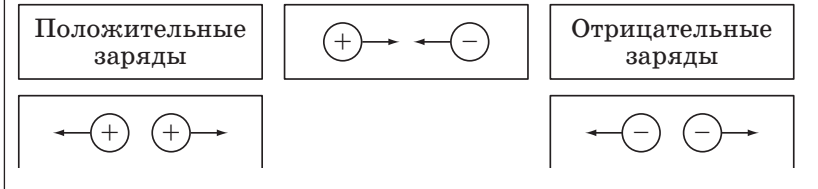
Электрический заряд q — физическое свойство тел, определяющее электромагнитное взаимодействие.

В системе СИ заряд измеряется в **Кулонах**:
 $[q] = \text{Кл.}$

Определение единицы заряда (Кулон) дается при изучении постоянного тока.

Эксперименты с электризацией показали, что тела можно зарядить двумя различными способами. При этом некоторые заряженные тела притягивались друг к другу, а некоторые отталкивались друг от друга. Это привело к возникновению понятия о **знаке** заряда и к выводу о взаимодействии между заряженными телами.

Между электрически заряженными телами возникает взаимодействие. Разноименно заряженные тела притягиваются, а одноименно заряженные — отталкиваются.



Для того чтобы объяснить явление электризации, необходимо принять во внимание, что все вещества состоят из атомов, а атомы, в свою очередь, состоят из тяжелых положительно заряженных *ядер*, около которых находятся отрицательно заряженные *электроны* (см. раздел «Квантовые явления»). В процессе трения (или облучения) электроны отрываются от ядер (процесс *ионизации*) и переходят с одного тела на другое. Таким образом, на одном из тел *накапливаются* электроны, и оно становится *отрицательно* заряженным, а другое тело *отдает* электроны и поэтому становится *положительно* заряженным.

*Избыток электронов —
тело заряжено
отрицательно.*

*Недостаток электронов —
тело заряжено
положительно.*

Элементарный заряд

Изучение электрических зарядов показало, что величина любого заряда *кратна* определенной величине e . Таким образом, заряд тела может быть равен $100e$ или $-21e$, но не может равняться, например, $\frac{e}{3}$ или $-12\frac{1}{5}e$. По этой причине величина e получила название *элементарного заряда*, и в системе СИ она равна:

Элементарный заряд $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

Заряд любого тела можно выразить через количество электронов и протонов в этом теле.

Составные части атомов — электроны — обладают отрицательным электрическим зарядом: $q_{эл} = -e$.

Составные части ядер — протоны — обладают положительным элементарным зарядом: $q_{пр} = +e$.

Заряд тела — число, кратное величине элементарного заряда:

$$q = N_{пр}q_{пр} + N_{эл}q_{эл} = e(N_{пр} - N_{эл}).$$

где $N_{эл}$ — число электронов, $N_{пр}$ — число протонов.

Закон сохранения электрического заряда

В замкнутой системе при любых взаимодействиях тел алгебраическая сумма электрических зарядов всех тел остается постоянной.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

С общезначимой точки зрения, суть закона сохранения заряда сводится к тому, что изменить полный заряд системы, замкнутой в какой-то области, можно *только* путем перемещения заряда через границу области, окружающей эту систему зарядов.

Действие электрического поля на электрические заряды

Закон Кулона

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

Величина силы электростатического взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними.

Направление силы электростатического взаимодействия. Эта сила параллельна линии, соединяющей заряды, а ее направление определяется знаками зарядов: одноименные отталкиваются, а разноименные притягиваются.

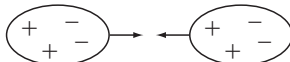
Точечный заряд — заряд, который геометрически представляет собой точку. Другими словами: это заряженная материальная точка.

Величина $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н}\cdot\text{м}^2)$ — так называемая **электрическая постоянная**.

Величина ϵ — **диэлектрическая проницаемость среды**, она показывает, во сколько раз уменьшается сила электростатического взаимодействия в данной среде. При этом среда всегда уменьшает электрическое поле по сравнению с вакуумом, т. е. $\epsilon > 1$. В случае вакуума полагаем, что $\epsilon = 1$.

Притяжение нейтральных тел

Случайным образом (например, при тепловом движении) на одном из тел перераспределяются заряды. Они поляризуют второе тело, и между индуцированными зарядами возникает сила притяжения.

Нейтральное тело  Нейтральное тело

Попробуй разобраться самостоятельно! Могут ли притягиваться тела, заряженные одноименно?

Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q},$$

Единица измерения:

$$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

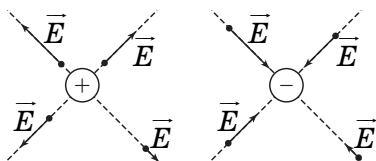
Напряженность \vec{E} — силовая характеристика электростатического поля (ЭСП) — физическая векторная величина, равная силе, которая действует со стороны электрического поля на внесенный в него *единичный положительный заряд*.

Сила взаимодействия поля с зарядом оказалась пропорциональна величине заряда, что позволило ввести величину \vec{E} , характеризующую влияние поля на единичный положительный заряд.

Модуль напряженности электрического поля точечного заряда равен:

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

Вектор \vec{E} **направлен** вдоль радиуса от заряда, если $q > 0$, и к заряду, если $q < 0$.



Принцип суперпозиции полей. Напряженность (сила) электрического поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей (сил) электрических полей, создаваемых каждым зарядом:

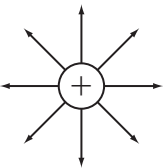
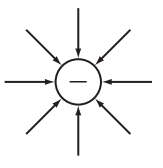
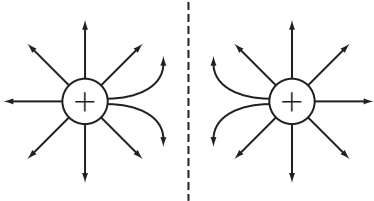
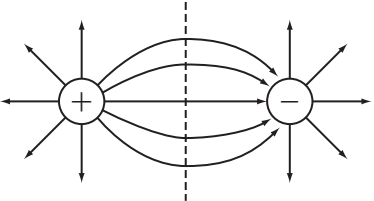
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n, \text{ или } \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_1 + \dots + \vec{F}_n.$$

Линии напряженности электрического поля (силовые линии)

Для графического представления электрического поля используют понятие *линии электрического поля*. Такие линии строятся по следующим правилам.

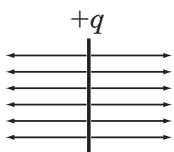
1. Линии начинаются на положительных электрических зарядах и заканчиваются на отрицательных или уходят в бесконечность (приходят из бесконечности).
2. Вектор напряженности электрического поля \vec{E} в каждой точке пространства параллелен касательной прямой, проведенной к линии поля в этой точке.
3. Линии не пересекаются.
4. Плотность линий пропорциональна величине напряженности поля.

Поля различных систем зарядов

Точечные заряды			
	<p>Силловые линии поля точечных зарядов направлены вдоль радиусов от заряда к бесконечности. У положительного заряда линии «выходят» из заряда и уходят в бесконечность. У отрицательного заряда линии «приходят» из бесконечности и заканчиваются на заряде.</p>		
Пары точечных зарядов			
	<p>Если разместить рядом два одинаковых по знаку заряда, то их силловые линии будут уходить в бесконечность, как бы «отталкиваясь» друг от друга.</p>		<p>Если разместить рядом два разных по знаку заряда, то их силловые линии будут замыкаться друг на друге. Они будут начинаться на одном заряде, а заканчиваться на другом.</p> <p>Если величина этих зарядов одинакова, то такая система зарядов называется электрическим диполем. Суммарный заряд такой системы равен нулю, поэтому на больших расстояниях поле этой системы очень мало.</p>

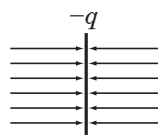
Заряженные плоскости

Поле заряженной (положительно и отрицательно) плоскости с поверхностной плотностью заряда



Поверхностная плотность заряда — это заряд единицы площади:

$$\sigma = \frac{q}{S},$$



где S — площадь поверхности.

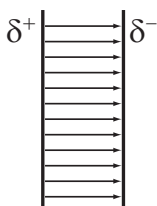
Напряженность поля по величине равна:

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

Направления поля указаны на рисунках.

Поле бесконечной заряженной плоскости не зависит от расстояния до плоскости!

Две разноименно заряженные плоскости



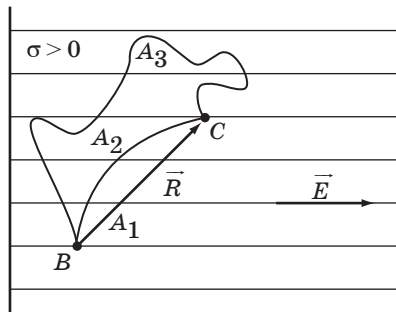
Если разместить рядом две заряженные плоскости с **одинаковой** плотностью зарядов разного знака, то поля между пластинами сложатся, и суммарное поле будет в два раза больше поля каждой из пластин. Поле во внешней области будет равно нулю, так как векторы напряженности каждой из пластин в этой области одинаковы по величине и противоположны по направлению:

$$E_{\text{внут}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon},$$

$$E_{\text{внеш}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} - \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} = 0.$$

Энергия и потенциал электрического поля. Работа сил электрического поля

Электрическое поле — потенциальное, т. е. работа кулоновских сил по перемещению заряда **не зависит от траектории**.



Работа кулоновских сил по замкнутому контуру равна нулю:

$$A_{\text{зам}} = 0.$$

Работы по перемещению зарядов по разным траекториям равны между собой:

$$A_1 = A_2 = A_3 = q\vec{E} \cdot \vec{R} = qER \cos(\angle \vec{E}\vec{R}).$$

Следовательно, работа зависит только от самих точек начал и конца траектории и не зависит от формы траектории:

$$A_1 = A_2 = A_3 = W_{qC} - W_{qB} = q(\varphi_C - \varphi_B).$$

Здесь введены новые физические понятия **энергии** заряда в электрическом поле и **потенциала** электрического поля.

**Энергия
взаимодействия
двух точечных
зарядов**

$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$$

Следует заметить, что в этой формуле стоят не абсолютные значения (модули) зарядов, а их величины с учетом знака. Значит, энергия взаимодействия разноименных зарядов отрицательна, а энергия взаимодействия одноименных зарядов — положительна.

<p>Потенциал</p> $\varphi = \frac{W}{q},$ $[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$	<p>Потенциал φ — энергетическая характеристика ЭСП — физическая величина, равная отношению потенциальной энергии заряда в данной точке поля к величине этого заряда. Потенциал в данной точке равен работе, необходимой для перемещения единичного положительного заряда в данную точку из бесконечности (при этом потенциал в бесконечности принимается равным нулю).</p>
<p>Принцип суперпозиции потенциалов:</p> $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$	<p>Потенциал электрического поля системы зарядов равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым из зарядов.</p>
<p>Разность потенциалов $\Delta\varphi$ равна работе кулоновских сил по перемещению положительного единичного заряда.</p>	<p>Работа, которую совершает электрическое поле при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2, равна:</p> $A_{12} = W_{q2} - W_{q1} = q(\varphi_2 - \varphi_1) = q\Delta\varphi.$ <p>Величина $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, которая является разностью потенциалов в двух точках, помогает вычислять работу электрического поля.</p>
<p>Эквипотенциальная поверхность</p> $\varphi = \text{const}$	<p>Эквипотенциальная поверхность — поверхность, состоящая из точек с равным потенциалом. Вектор напряженности \vec{E} перпендикулярен к эквипотенциальной поверхности в каждой точке.</p>

Проводники, диэлектрики и полупроводники

Проводники

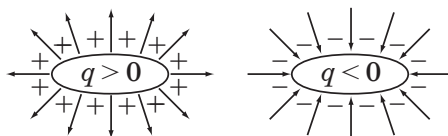
<p>Проводники — вещества, имеющие свободные заряженные частицы, т. е. проводящие электрический ток.</p>	<p>Свободные заряды — заряженные частицы, которые находятся в проводниках (в металлах — электроны, в электролитах — ионы) и способны перемещаться под действием электрического поля.</p>
<p>Наличие свободных зарядов определяет свойства проводников в постоянном электрическом поле.</p>	
<p>1. Внутри проводника электрическое (стационарное) поле равно нулю.</p>	<p>Если проводник помещен в электрическое поле, то внутри него начинается движение зарядов. Эти заряды перераспределяются до тех пор, пока поле внутри проводника не оказывается равным нулю. В противном случае не равное нулю поле всегда приводит к движению зарядов, которые распределяются так, что созданное ими поле полностью компенсирует внешнее поле.</p>
<p>2. Поверхность проводника в электрическом (стационарном) поле эквипотенциальна.</p>	<p>Если поверхность проводника оказывается не эквипотенциальной, то это приводит к движению зарядов вдоль поверхности из области с большим потенциалом в область с меньшим потенциалом (для положительных зарядов). Такое движение происходит до тех пор, пока заряды, перераспределяясь по поверхности, не скомпенсируют разность потенциалов в точках поверхности, т. е. пока поверхность проводника не окажется эквипотенциальной.</p>

3. Потенциал внутри проводника (и внутри полостей в проводнике) **одинаков** и равен потенциалу границы, так как в противном случае возникло бы движение зарядов по проводнику.

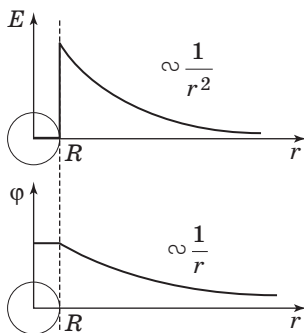
4. Линии электрического поля перпендикулярны к поверхности проводника.

Это следует из общего свойства, что линии напряженности электрического поля перпендикулярны к эквипотенциальным поверхностям, и из того, что поверхность проводника совпадает с эквипотенциальной поверхностью. На рисунках показана напряженность поля вблизи заряженного проводника.

5. Заряды в проводнике скапливаются на поверхности, потому что иначе поле внутри проводника не было бы равным нулю.



Электрическое поле положительно заряженной проводящей сферы



Поле внутри сферы $r < R$:

$$E = 0,$$

$$\varphi = \varphi(r = R) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{1}{R}.$$

Поле вне сферы $r \geq R$:

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

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r}.$$

Диэлектрики

<p>Диэлектрики — вещества, не имеющие свободных заряженных частиц, т. е. практически не проводящие электрический ток.</p>	
<p>Если поместить диэлектрик в электрическое поле, то в нем, в отличие от проводника, не начинается движение зарядов, которые могли бы полностью скомпенсировать внешнее поле.</p>	<p>В диэлектриках происходит лишь частичная компенсация внешнего поля, обусловленная <i>поляризацией</i> диэлектрика.</p>
<p>Поляризация — явление возникновения зарядов на поверхности диэлектрика, поле которых частично компенсирует внешнее электрическое поле.</p>	<p>Величину компенсации описывают с помощью <i>диэлектрической проницаемости</i> среды ϵ, которая показывает, во сколько раз эта среда уменьшает электрическое поле:</p> $\epsilon = \frac{E_{\text{вак}}}{E_{\text{диэл}}}.$

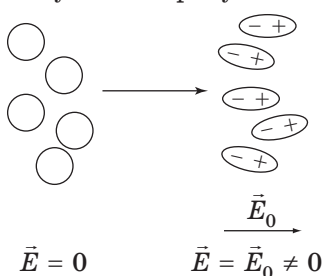
Виды диэлектриков

<p>Полярные — это диэлектрики, в молекулах которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов разделены даже в отсутствие поле, т. е. молекула является диполем.</p> <p>Поляризация: во внешнем электрическом поле молекулы ориентируются вдоль вектора напряженности внешнего поля \vec{E}_0.</p>	<p>При включении поля молекулы поворачиваются вдоль силовых линий поля.</p> <p>$\vec{E} = 0$ $\vec{E} = \vec{E}_0 \neq 0$</p>
---	--

Неполярные — диэлектрики, в молекулах которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов в отсутствие поля совпадают.

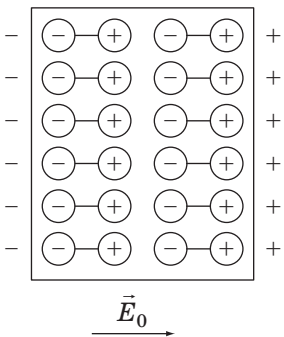
Поляризация: во внешнем электрическом поле в результате деформации молекул возникают диполи, ориентированные вдоль вектора напряженности внешнего поля \vec{E}_0 .

При включении поля молекулы поляризуются:



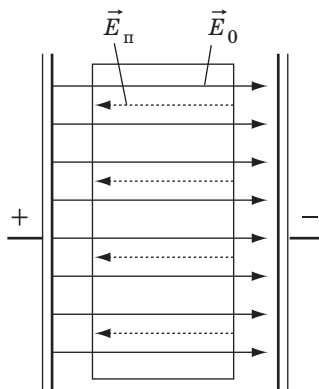
Влияние электрического поля на диэлектрик

Диэлектрик помещен в электрическое поле. Молекулы диэлектрика поляризуются. На поверхности диэлектрика появляются связанные заряды.

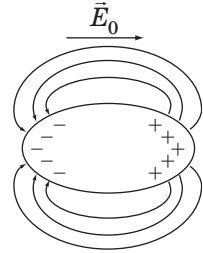


Возникает напряженность \vec{E}_Π поля связанных зарядов, которая направлена противоположно вектору напряженности \vec{E}_0 внешнего электрического поля. Напряженность поля внутри диэлектрика равна:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_\Pi \Rightarrow E = E_0 - E_\Pi.$$



Поверхностные заряды изменяют поле и *снаружи* диэлектрика!



Понятие о полупроводниках

<p>Полупроводники — вещества, в которых количество свободных зарядов зависит от температуры.</p>	<p>Полупроводник является диэлектриком при низких температурах, но уже при комнатной температуре полупроводник проводит ток.</p>
	<p>В отличие от металлов, удельное сопротивление полупроводников с повышением температуры уменьшается.</p>

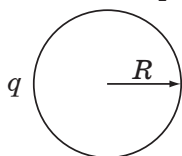
Конденсаторы

Емкость

<p>Потенциал поверхности заряженной проводящей сферы пропорционален заряду этой сферы. Это значит, что чем больший потенциал мы хотим сообщить телу, тем больший заряд мы должны на это тело поместить: $\varphi \propto q$. Коэффициент пропорциональности между этими величинами характеризует только само тело (его форму, размер и т. д.) и определяется способностью этого тела накапливать электрические заряды. Называется этот коэффициент емкостью тела.</p>	<p>Электрическая емкость — физическая величина, определяемая отношением заряда тела к его потенциалу и равная заряду, который нужно сообщить телу, чтобы изменить его потенциал на 1 В:</p> $C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U},$ $[C] = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Ф}.$
---	--

Конденсатор — система, состоящая из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников. При зарядке обкладкам конденсатора сообщают равные по модулю разноименные заряды. Одна из целей использования конденсаторов — накопление зарядов.

Емкость шара



Потенциал поверхности

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{пов}} &= \varphi(r = R) = \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{1}{R} \end{aligned}$$

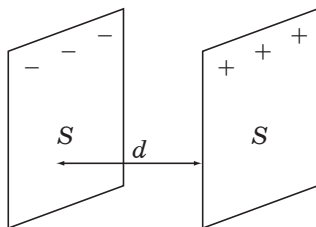
Емкость шара

$$C = \frac{q}{\varphi} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Плоский конденсатор — система, которая состоит из двух плоских параллельных пластин, заряженных равными по модулю зарядами противоположного знака и разделенных слоем диэлектрика.

Емкость плоского конденсатора

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

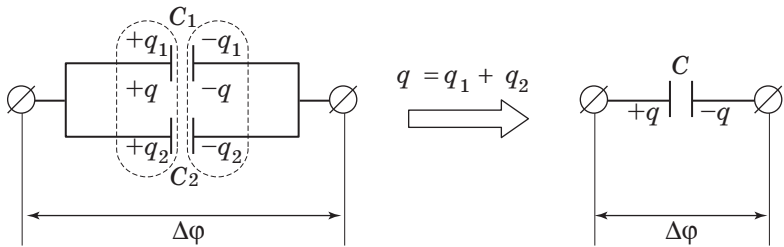


Энергия электрического поля, запасенная в конденсаторе:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}.$$

Соединение конденсаторов

Параллельное соединение



Обкладки конденсаторов соединяют попарно, т. е. в системе остается два изолированных проводника, которые и служат обкладками нового конденсатора.

У параллельно соединенных конденсаторов одинакова разность потенциалов между обкладками, так как эти обкладки замкнуты между собой: $\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2$. В этом случае конденсаторы можно представить как один конденсатор, на обкладках которого находится суммарный заряд $q = q_1 + q_2$, а разность потенциалов равна $\Delta\varphi$. Емкость такого конденсатора равна:

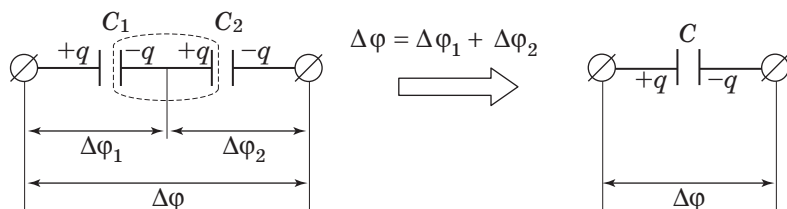
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q_1 + q_2}{\Delta\varphi} = \frac{q_1}{\Delta\varphi} + \frac{q_2}{\Delta\varphi} = \frac{q_1}{\Delta\varphi_1} + \frac{q_2}{\Delta\varphi_2} = C_1 + C_2.$$

При параллельном соединении складываются емкости:

$$C_{\text{пар}} = C_1 + C_2.$$

Результирующая емкость больше большей из исходных!

Последовательное соединение



Производят только одно соединение, а две оставшиеся обкладки служат обкладками нового конденсатора.

У последовательно соединенных конденсаторов одинаков по величине заряд на обкладках $|q_1| = |q_2| = q$. Дело в том, что внутренние (соединенные между собой) обкладки представляют собой замкнутую систему с равным нулю полным зарядом. Поэтому при любом перераспределении зарядов их сумма окажется равной нулю: $q_1 + q_2 = 0$. Разность потенциалов между внешними обкладками равна сумме падений напряжений на каждом из конденсаторов: $\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2$.

В этом случае конденсаторы можно представить как один конденсатор, на обкладках которого находится заряд $q = q_1 = q_2$, а разность потенциалов равна $\Delta\varphi$. Емкость такого конденсатора равна:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2}{q} = \frac{\Delta\varphi_1}{q} + \frac{\Delta\varphi_2}{q} = \frac{\Delta\varphi_1}{q_1} + \frac{\Delta\varphi_2}{q_2} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

При последовательном соединении складываются обратные емкости:

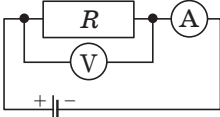
$$\frac{1}{C_{\text{пос}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Результирующая емкость *меньше меньшей* из исходных!

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Постоянный электрический ток. Сила тока. Напряжение

<p>Электрический ток — упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.</p>	<p>Условия существования электрического тока: Наличие свободных заряженных частиц. Наличие электрического поля, т. е. разности потенциалов.</p>
<p>Сила тока: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t},$ $[I] = \text{А}$</p>	<p>Сила тока — физическая величина, численно равная заряду, который переносится за единицу времени через поперечное сечение проводника.</p> <p>Определение единицы измерения тока дано в разделе о магнетизме. После определения единицы измерения тока дается определение единицы измерения заряда: Кулон — заряд, который протекает через поперечное сечение проводника за 1 с при токе в 1 А.</p>
<p>Постоянный ток</p>	<p>Если сила тока со временем не изменяется, электрический ток называют постоянным током.</p>
<p>Ток возникает в проводниках под действием приложенного внешнего электрического поля. Для описания действия этого поля на заряды в проводнике вводится понятие <i>сторонних сил</i>.</p>	

Сторонние силы	
<p>Сторонние силы — силы неэлектрического происхождения, действующие на заряды со стороны источников тока (гальванических элементов, аккумуляторов, генераторов).</p>	
<p>Электродвижущая сила (ЭДС):</p> $\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q},$ $[\varepsilon] = \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{В}.$	<p>ЭДС — физическая величина, которая характеризует источники тока и определяется работой ($A_{\text{ст}}$), совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда вдоль замкнутого контура.</p>
<p>Напряжение (U) на участке цепи:</p> $U = \frac{A}{q},$ $[U] = \text{В}$	<p>Напряжение на участке цепи — физическая величина, численно равная работе кулоновских и сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда вдоль этого участка цепи.</p> <p>Если участок цепи не включает ЭДС и поле является потенциальным, то напряжение совпадает с разностью потенциалов: $U = \Delta\phi$.</p>
 <p>The diagram shows a simple electrical circuit. On the left, there is a battery represented by a long vertical line (positive terminal) and a shorter, thicker vertical line (negative terminal). A wire connects the positive terminal to a rectangular box labeled 'R' (resistor). From the right side of the resistor, the wire goes to a circle with a 'V' inside (voltmeter). From the right side of the voltmeter, the wire goes to another circle with an 'A' inside (ammeter). Finally, the wire connects the ammeter back to the negative terminal of the battery, completing the circuit.</p>	<p>Для измерения тока используют <i>амперметр</i>, который включается в цепь последовательно. Напряжение измеряют <i>вольтметром</i>, который включается параллельно участку, на котором измеряется падение напряжения.</p>

Источники постоянного тока

В источниках постоянного тока отрицательные и положительные заряды чаще всего разделяются сторонними силами. При этом вблизи отрицательного полюса источника возникает избыток электронов, а вблизи положительного полюса — недостаток электронов. При замыкании полюсов электроны начинают двигаться *по внешней цепи* от отрицательного полюса к положительному — так возникает электрический ток. Направлением тока исторически принято считать направление от положительного полюса к отрицательному.

Для разделения зарядов в источниках постоянного тока используют различные физические явления.

В *аккумуляторах и гальванических элементах* заряды разделяются в процессе реакций взаимодействия молекул различных веществ между собой.

В *термоэлементах*, состоящих из двух спаянных проводников, используют тот факт, что электроны в этих проводниках по-разному реагируют на нагрев. В *солнечных батареях*, или *фотоэлементах*, заряды генерируются внутри полупроводников под действием солнечного света и разделяются встроенными электрическими полями.

В *топливных элементах* обычные реакции горения, например бытового газа или смеси водорода с кислородом с образованием воды, заменены химическими реакциями, в которых происходит прямое превращение химической энергии топлива в электричество. Водородные топливные элементы являются основой будущей экологически безопасной энергетики.

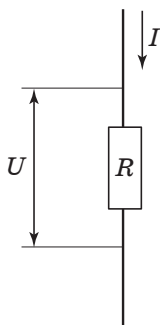
Кроме этих источников, широко используются преобразователи переменного тока в постоянный с помощью так называемых *выпрямителей*.

Законы постоянного тока

Закон Ома для участка цепи

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

где R — сопротивление участка цепи, $[R] = \text{Ом} = \text{В}/\text{А}$.

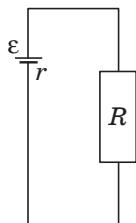


Сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению участка цепи.

Закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где r — внутреннее сопротивление источника тока.



Сила тока в электрической цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе (ЭДС) источника тока и обратно пропорциональна сумме электрических сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи.

Сопротивление однородного линейного проводника

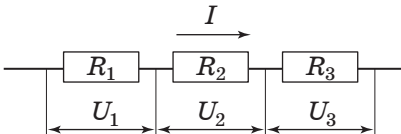
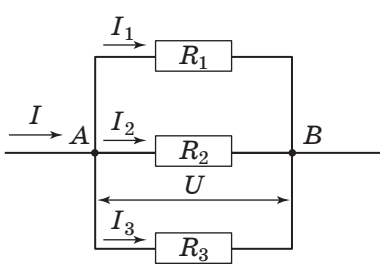
$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где S — площадь поперечного сечения проводника, l — его длина, ρ — удельное электрическое сопротивление,

$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}.$$

Удельное электрическое сопротивление численно равно сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1м^2 .

Последовательное и параллельное соединения проводников

Последовательное соединение проводников	
$R = R_1 + R_2 + R_3$	
<p>Вывод: $U_1 + U_2 + U_3 = U$ и $U = R \cdot I \Rightarrow U = I_1 U_1 + I_2 U_2 + I_3 U_3$.</p> <p>Однако $I_1 = I_2 = I_3 = I \Rightarrow IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$.</p> <p>Отсюда $R = R_1 + R_2 + R_3$.</p>	
Параллельное соединение проводников	
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	
<p>Вывод: $I_1 + I_2 + I_3 = I$ и $I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3}$.</p> <p>Однако $U_1 = U_2 = U_3 = U \Rightarrow \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$.</p> <p>Отсюда $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.</p>	

**Работа и мощность тока.
Закон Джоуля – Ленца**

<p>Работа тока:</p> $A = I \cdot U \cdot \Delta t,$ <p>где U — напряжение, A — работа электрического тока на участке цепи за время Δt, $[A] = \text{Дж}$.</p>	<p>Работа тока — работа сил электрического поля, которые создают электрический ток.</p>
<p>Мощность тока:</p> $P = \frac{A}{t} = I \cdot U,$ <p>где P — мощность электрического тока, I — сила тока, U — напряжение, $[P] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}$.</p>	<p>Мощность тока равна отношению работы тока к времени, за которое эта работа совершена.</p>
<p>В быту работу тока (или израсходованную на совершение этой работы электроэнергию) измеряют с помощью <i>электрического счетчика</i>. При прохождении тока через этот счетчик внутри его начинает вращаться легкий алюминиевый диск. Скорость его вращения прямо пропорциональна силе тока и напряжению. Поэтому по числу оборотов, сделанных им за данное время, можно судить о работе, совершенной током за это время. Работа тока при этом выражается в <i>киловатт-часах</i> (кВт · ч).</p> <p>Один киловатт-час (1 кВт · ч) — это работа, совершаемая электрическим током мощностью 1 кВт в течение 1 ч:</p> $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$	
<p align="center">Закон Джоуля – Ленца</p> <p>Если на участке цепи под действием электрического поля не совершается механическая работа и не происходят химические превращения, то работа поля приводит только к нагреванию проводника (выделяется так называемое джоулево тепло):</p> $Q = I^2 \cdot R \cdot t,$ <p>где Q — количество теплоты, выделившейся в проводнике за время t при прохождении тока, I — сила тока в проводнике, R — сопротивление проводника.</p>	

Электрический ток в различных средах

Название среды	Носители заряда
Металлы	Свободные электроны
Электролиты	Положительные и отрицательные ионы (иногда — электроны и протоны)
Газы, плазма	Электроны и ионы
Вакуум	Электроны, вылетевшие с поверхности электрода вследствие эмиссии
Полупроводники	Электроны и дырки

Электрический ток в металлах

Все металлы в твердом и жидком состояниях являются проводниками электрического тока. В отсутствие электрического поля свободные электроны перемещаются в металле хаотически, а под действием электрического поля, кроме хаотического движения, приобретают упорядоченное движение в одном направлении — в проводнике возникает электрический ток. Сопротивление металлов обусловлено дефектами кристаллической решетки и тепловыми колебаниями ионов в узлах решетки, поэтому при нагревании сопротивление увеличивается.

Сверхпроводимость

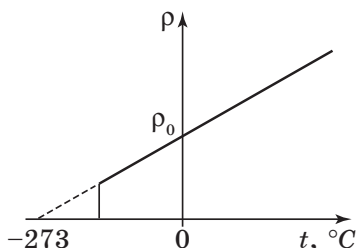
Сверхпроводимость — явление уменьшения удельного сопротивления до нуля при температуре, отличной от абсолютного нуля. Электрическое сопротивление скачком падает до нуля при охлаждении ниже **критической температуры** T_k , характерной для данного проводника, т. е. металл становится абсолютным проводником. Критическая температура для металлов составляет 1–20 К. Для некоторых керамических материалов температура $T_k \geq 100$ К — **высокотемпературная сверхпроводимость**.

Зависимость удельного сопротивления металлов и электролитов от температуры:

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

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

Практически для всех металлов $\alpha > 0$ и сопротивление при нагревании увеличивается, а для электролитов $\alpha < 0$ и сопротивление при нагревании уменьшается.



Вблизи нуля на графике показана область сверхпроводимости.

Электрический ток в электролитах

Электролиты — вещества, растворы которых проводят электрический ток. К электролитам относятся водные растворы солей, кислот и щелочей.

Электролитическая диссоциация — распад молекул электролита на положительные и отрицательные ионы в растворе.

Электролиз — изменение химического состава раствора или расплава, обусловленное потерей или присоединением электронов ионами.

Закон Фарадея (закон электролиза)

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

$$m = k \cdot q, \text{ или } m = k \cdot I \cdot t,$$

где k — электрохимический эквивалент, равный

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

Здесь M — молярная масса, n — валентность, e — элементарный заряд, N_A — постоянная Авогадро.

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.

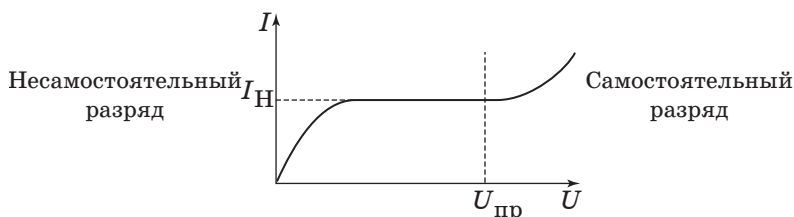
Несамостоятельный газовый разряд — явление прохождения электрического тока через газ при условии внешнего ионизирующего воздействия (ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоактивное излучения, сильный нагрев).

Самостоятельный газовый разряд — явление прохождения через газ электрического тока, не зависящего от действия внешних ионизаторов. Ионизация при самостоятельном разряде осуществляется электронным ударом. Она возможна при следующем условии:

$$\frac{m v^2}{2} \geq A_i,$$

где m — масса электрона, v — скорость электрона, A_i — работа ионизации. Самостоятельный газовый разряд возникает только при большой напряженности поля ($E = 3 \times 10^6$ В/м) или высокой температуре.

График зависимости силы тока в газе от напряжения (вольт-амперная характеристика)



Напряжение пробоя
(напряжение, при котором возникает самостоятельный газовый разряд)

Типы самостоятельных разрядов

1. **Тлеющий разряд** — возникает при низких давлениях ($P \sim 0,01-1$ мм рт.ст.), применяется в газосветных трубках и газовых лазерах.
2. **Искровой разряд** — возникает при больших напряжениях 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), после чего их развести.
4. **Коронный разряд** — возникает при высоком давлении в резко неоднородном поле вблизи электродов с большой кривизной поверхности (например, около острия).

Понятие о плазме

Плазма — четвертое состояние вещества; это газ, в котором значительная часть молекул или атомов ионизированы. В плазме концентрация положительных и отрицательных зарядов одинакова, т. е. плазма электрически нейтральна.

Газоразрядная плазма возникает при газовых разрядах.

Высокотемпературная плазма возникает при сверхвысоких температурах.

Электрический ток в вакууме

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

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

Полупроводники

Полупроводники — вещества, в которых количество свободных зарядов зависит от температуры. Полупроводник является диэлектриком при низких температурах, но уже при комнатной температуре полупроводник проводит ток. В отличие от металлов, удельное сопротивление полупроводников с повышением температуры уменьшается.

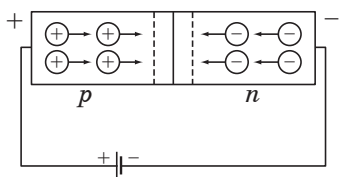
Типы полупроводников

<p>Чистые полупроводники</p>	<p>Чистые полупроводники (кремний, германий) обладают собственной проводимостью. Электроны становятся свободными в основном в результате разрыва ковалентных связей в чистом полупроводнике при повышении температуры проводника.</p>
<p>Примесные полупроводники n-типа</p>	<p>Примесные полупроводники n-типа (примесь мышьяка в кремнии) обладают электронной проводимостью. Примесные атомы обладают большей валентностью, чем основные атомы, т. е. содержат один лишний электрон. При <i>незначительном</i> повышении температуры эти лишние электроны становятся свободными.</p>
<p>Примесные полупроводники p-типа</p>	<p>Примесные полупроводники p-типа (примесь индия в кремнии) обладают дырочной проводимостью. Валентность примесных атомов меньше валентности основных атомов. Появляются «дырки», которые под действием электрического поля «движутся» как положительно заряженные частицы.</p>

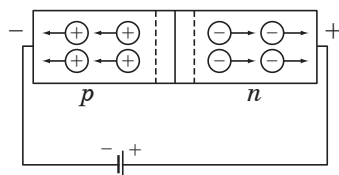
Электронно-дырочный переход ($p-n$ -переход)

Электронно-дырочный переход представляет собой контакт между полупроводниками p - и n -типа. В результате встречной диффузии электронов и дырок вблизи $p-n$ -перехода образуется запирающий электрический слой, поле которого препятствует дальнейшему переходу электронов и дырок через границу. Низкая концентрация свободных носителей заряда в запирающем слое обуславливает повышенное сопротивление. Если внешнее электрическое поле направлено от полупроводника p -типа к полупроводнику n -типа (ток идет в прямом направлении), сопротивление запирающего слоя резко уменьшается; при противоположном направлении тока сопротивление резко возрастает.

Полупроводниковый диод — элемент с односторонней проводимостью, который содержит один $p-n$ -переход. Диоды могут служить выпрямителями переменного тока.



При прямом включении напряжения через диод протекает ток.



При обратном включении напряжения диод не пропускает ток.

Транзистор — полупроводниковый прибор, содержащий два $p-n$ -перехода.

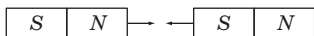
Транзистор позволяет усиливать слабые электрические сигналы.

4. МАГНЕТИЗМ

Магнитное поле. Постоянные магниты. Электричество и магнетизм

Наряду с взаимодействием электрически заряженных тел с давних пор были обнаружены металлы, которые взаимодействуют между собой без электричества. Такие тела назывались *магнитами*, или постоянными магнитами. Магнит притягивает к себе большинство металлических предметов. Между собой же магниты взаимодействуют довольно необычно. Оказалось, что каждый магнит имеет два магнитных полюса — северный (N) и южный (S). Если поднести два магнита друг к другу одноименными полюсами, то они будут притягиваться, а если разноименными, то они будут отталкиваться. Причем, если разделить один магнит на две половинки, то у каждой из половинок будет свой северный и свой южный полюс. Иными словами, у магнитов не удается разделить северный и южный полюса — так, как разделяются отрицательный и положительный электрические заряды.

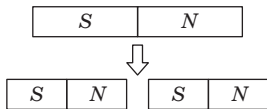
Разноименные магнитные полюса притягиваются:



Одноименные магнитные полюса отталкиваются:



При делении магнита получаются магниты с обоими полюсами:



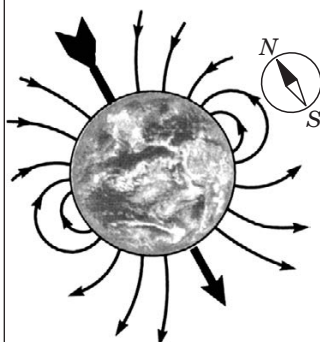
Магнитное поле — одна из форм материи (отличная от вещества), существующая в пространстве, окружающем постоянные магниты, проводники с током и движущиеся заряды. Магнитное поле вместе с электрическим полем образует единое электромагнитное поле.

Постоянный магнит — это изделие из материала, являющегося автономным (самостоятельным, изолированным) источником постоянного магнитного поля.

Магнетизм вокруг нас

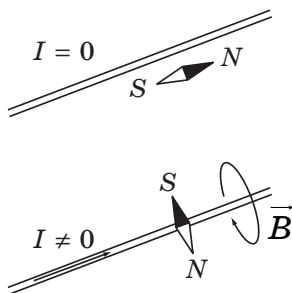
Наша планета Земля является большим магнитом. Южный магнитный полюс Земли находится вблизи Северного географического полюса Земли, а северный магнитный — вблизи Южного географического. Это позволило путешественникам использовать для ориентации магнитный прибор — **компас**, представляющий собой магнитную стрелку. Северный полюс этой стрелки притягивается к южному магнитному полюсу Земли и поэтому поворачивается в его направлении. Тем самым северный полюс стрелки указывает направление на Северный географический полюс Земли.

Магнитное поле Земли



Физическое исследование магнитного поля началось с основополагающих опытов Эрстеда, в которых магнитная стрелка поворачивалась, если по проводнику, находящемуся рядом с ней, проходил электрический ток. Из этого опыта был сделан вывод, что магнитное поле порождается движущимися электрическими зарядами. Затем в опытах Ампера было обнаружено взаимодействие между близко расположенными проводниками в случае, когда по ним пропускался ток. Стало понятно, что магнитное поле не только создается, но и воздействует на электрические токи. Эти опыты привели к возникновению понятия *магнитного поля*.

Опыты Эрстеда



Магнитное поле

Магнитное поле — поле, оказывающее силовое воздействие на токи, магниты и движущиеся заряженные частицы.

Создается:
токами;
магнитами;
движущимися
зарядами.

Описывает
магнитное взаимодействие, возникающее: между токами;
между током и движущимся зарядом;
между движущимися зарядами.

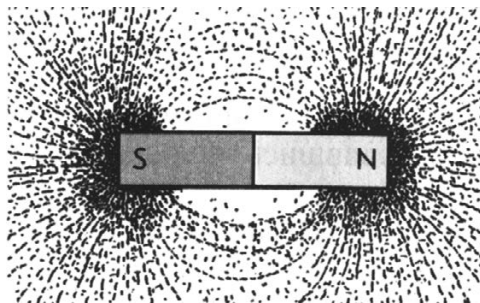
Действует
на внесенные в него: токи;
магниты; движущиеся заряды.

Вектор магнитной индукции

Вектор магнитной индукции \vec{B} — силовая характеристика магнитного поля.

Графически магнитное поле представляется с помощью *силовых линий*, которые проводятся так, что векторы индукции \vec{B} параллельны касательным к линиям, причем величина вектора \vec{B} определяется плотностью линий.

Линии магнитной индукции всегда образуют замкнутые кривые. В постоянных магнитах линии магнитного поля выходят из северного полюса и заходят в южный полюс, замыкаясь внутри магнита.

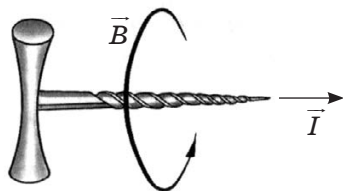


Поля, силовые линии которых замкнуты, называют *вихревыми полями*. Линии магнитной индукции являются замкнутыми, то есть магнитное поле — это вихревое поле, и это свидетельствует о том, что в природе нет магнитных зарядов. Этим оно отличается от электрического поля, создаваемого зарядами.

Общие правила для определения направления линий магнитного поля тока

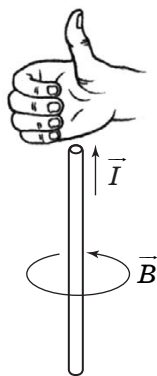
Правило буравчика (правого винта)

Направление силовых линий магнитного поля совпадает с направлением вращения буравчика (правого винта), который закручивают в направлении тока.



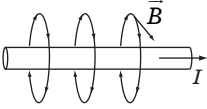
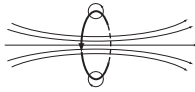
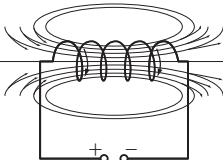
Правило правой руки

Если расположить пальцы правой руки так, как показано на рисунке, и направить большой палец по направлению тока, то остальные пальцы покажут направление линий магнитного поля.



Не следует забывать, что за направление тока в проводнике выбрано направление движения положительных зарядов, и если носителями являются отрицательно заряженные электроны, то считается, что ток направлен навстречу движению электронов.

Магнитные поля простейших систем токов

<p>Бесконечно длинный проводник с током — силовые линии представляют собой концентрические окружности.</p>		<p>Поле <i>линейного</i> проводника с током вычисляется по простой формуле:</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$ <p>где r — расстояние до проводника с током, I — величина тока, μ_0 — магнитная постоянная.</p>
<p>Виток с током — силовые линии замыкаются снаружи, проходя через плоскость витка.</p>		<p>Поле в центре витка с током:</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2R},$ <p>R — радиус витка.</p>
<p>Катушка с током (соленоид) — силовые линии замыкаются снаружи, проходя через плоскости витков; поле внутри катушки однородное. Такой соленоид создает магнитное поле, похожее на магнитное поле постоянного магнита.</p>		<p>Поле внутри соленоида:</p> $B = \frac{\mu_0 IN}{l},$ <p>где N — число витков, l — длина соленоида.</p>
<p>Соленоид — это проволочная спираль с током. Соленоид характеризуется числом витков на единицу длины n, длиной l и диаметром d. Толщина провода в соленоиде и шаг спирали (винтовой линии) малы по сравнению с его диаметром d и длиной l.</p>		

Электромагнит

Виток с током и соленоид представляют собой примеры **электромагнитов** — устройств, с помощью которых можно искусственно создавать магнитные поля. Для улучшения магнитных свойств таких электромагнитов внутрь катушек помещают специальные *сердечники*, состоящие из магнитных материалов.

Например, подковообразный постоянный магнит можно заменить подковообразным сердечником, на который намотана катушка. Такой электромагнит можно использовать в качестве «крана» для подъема металлических изделий.

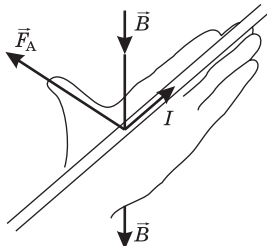
Сила Ампера

Сила Ампера — сила, действующая со стороны магнитного поля на участок проводника с током:

$$F_A = I \cdot \Delta l \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где I — сила тока, Δl — длина участка проводника, B — модуль вектора магнитной индукции, α — угол между вектором \vec{B} и направлением тока в проводнике. Вектор \vec{F}_A перпендикулярен к 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» вектор \vec{B} , а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера.



Модуль вектора магнитной индукции — отношение максимального значения модуля силы Ампера, действующей на прямолинейный проводник с током, к силе тока в проводнике и его длине (сила Ампера максимальна при $\alpha = 90^\circ$):

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

Иными словами, индукция магнитного поля равняется 1 Тл, если максимальная сила, действующая на проводник длиной 1 м, равна 1 Н.

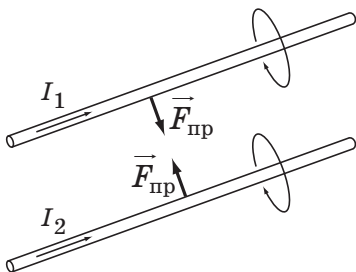
Взаимодействие двух проводников с током

Чтобы найти силу взаимодействия двух параллельных проводников с током, достаточно воспользоваться выражениями для поля линейного проводника с током и для величины силы Ампера. В результате получаем:

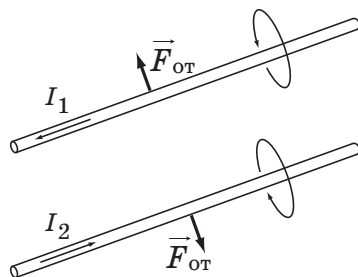
$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{r},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$ — магнитная постоянная, связывающая между собой единицы измерения силы в механике и единицы измерения тока в электричестве; r — расстояние между проводниками; l — длина проводника.

Если найти направление силы взаимодействия проводников, то окажется, что если токи в проводниках текут в одну сторону, то такие проводники **притягиваются**.



Если токи текут в противоположных направлениях, то такие проводники **отталкиваются**.



Это же явление используют для определения единицы измерения силы тока 1 Ампер:

Если по обоим бесконечно длинным проводникам, находящимся на расстоянии 1 м, течет ток величиной 1 А, то между ними действует сила величиной $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

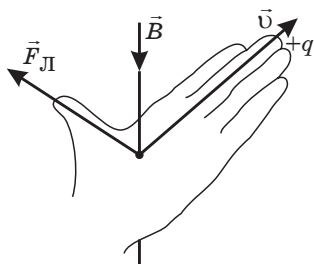
Сила Лоренца

Сила Лоренца — сила, действующая со стороны магнитного поля на движущийся заряд:

$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где v — скорость заряда, B — модуль вектора магнитной индукции, α — угол между векторами \vec{B} и \vec{v} . Вектор \vec{F}_L перпендикулярен к векторам \vec{B} и \vec{v} .

Направление \vec{F}_L определяется по **правилу левой руки**. Для положительного заряда четыре вытянутых пальца следует направить вдоль \vec{v} , для отрицательного заряда — в противоположном \vec{v} направлении.

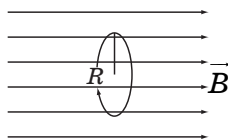


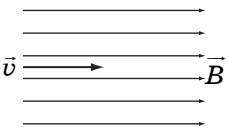
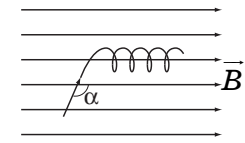
Движение заряженных частиц в магнитном поле

Заряженная частица влетает в однородное магнитное поле:

1) со скоростью \vec{v} перпендикулярно к линиям индукции магнитного поля \vec{B} : $\vec{v} \perp \vec{B}$, $\alpha = 90^\circ$, траектория движения — окружность радиусом:

$$R_L = \frac{mv}{qB} \text{ (ларморовский радиус);}$$



<p>2) со скоростью \vec{v} параллельно линиям индукции магнитного поля \vec{B}: $\vec{v} \parallel \vec{B}$, $\alpha = 0^\circ$, $\vec{F}_L = 0$, траектория движения — прямая;</p>	
<p>3) со скоростью \vec{v} под некоторым углом к линиям индукции магнитного поля \vec{B}, $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, траектория движения — винтовая линия.</p>	

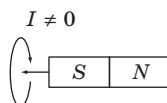
Вещество в магнитном поле

<p>Магнитная проницаемость — физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция \vec{B} магнитного поля в однородной среде отличается по модулю от индукции \vec{B}_0 магнитного поля в вакууме:</p> $\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{B}_0},$ <p>где μ — коэффициент, характеризующий магнитные свойства среды.</p>	
<p style="text-align: center;">Гипотеза Ампера</p> <p>Магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами внутри вещества. Если направления этих токов неупорядочены (токи разнонаправлены), то порождаемые этими токами магнитные поля компенсируют друг друга. Во внешнем магнитном поле происходит упорядочение этих токов — вещество намагничивается.</p>	
<p>Классификация веществ по их магнитным свойствам</p>	
<p>Слабромагнитные вещества</p>	<p>Сильномагнитные вещества</p>
<p>Диамагнетики, $\mu < 1$ (висмут $\mu = 0,999824$) Парамагнетики, $\mu < 1$ (платина $\mu = 1,00036$)</p>	<p>Ферромагнетики, $\mu \gg 1$ (железо, никель, кобальт)</p>

Электромагнитная индукция

Опыты Фарадея. Основные понятия

Магнитное поле может воздействовать на электроны в проводниках и приводить их к направленному движению, т. е. создавать электрический ток. Такое явление называется *электромагнитной индукцией*.



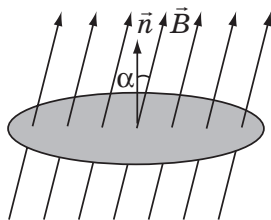
Электромагнитная индукция — явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменениях магнитного потока, пронизывающего контур.

Индукционный ток — ток, возникающий в результате электромагнитной индукции. Индукционный ток возникает, если двигать катушку или магнит так, чтобы менялось число линий магнитной индукции, пронизывающих замкнутый контур. Основная особенность этого явления: ток возникает **только при изменении** магнитного потока!

Магнитный поток (поток магнитной индукции) через площадку площадью S определяется по формуле:

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

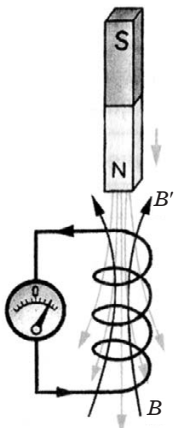
где $[\Phi] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}$, B_n — проекция вектора \vec{B} на нормаль \vec{n} к плоскости площадки, α — угол между \vec{B} и \vec{n} .



Магнитный поток пропорционален числу линий магнитной индукции, пронизывающих контур.

Правило Ленца

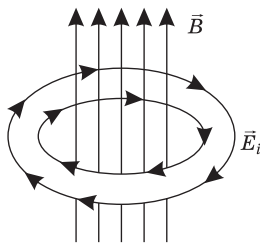
Правило Ленца: индукционный ток своим магнитным полем противодействует изменению магнитного потока, которым он вызван.

<p>При сближении магнита и контура в контуре возникает индукционный ток I_i такого направления, что контур и магнит отталкиваются друг от друга.</p>	
<p>Направление индукционного тока зависит:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) от возрастания или убывания магнитного потока, пронизывающего контур; 2) от направления вектора индукции магнитного поля относительно контура. 	

Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея)

<p>ЭДС индукции ε_i в замкнутом контуре равна модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:</p> $\varepsilon_i = \left \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right , \quad \text{с учетом правила Ленца } \varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$

Вихревое электрическое поле — электрическое поле, возникающее при изменениях магнитного поля.

<p>Вихревое электрическое поле <i>не связано</i> с электрическими зарядами, его линии напряженности представляют собой <i>замкнутые линии</i>.</p> <p>Вихревое электрическое поле <i>не потенциальное</i>, т. е. работа сил вихревого электрического поля при движении электрического заряда по замкнутому контуру может быть отлична от нуля.</p>	
--	---

Самоиндукция и индуктивность

<p>Самоиндукция — явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи в результате изменения силы тока в этой цепи.</p>	<p>В соответствии с правилом Ленца ЭДС самоиндукции препятствует возрастанию силы тока при включении (замыкании) цепи и убыванию силы тока при ее выключении (размыкании).</p>
<p>Индуктивность L — коэффициент пропорциональности между силой тока в контуре и магнитным потоком, создаваемым этим током:</p> $\Phi = L \cdot I, [L] = \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \text{Гн}.$	
<p>Величина L — характеристика контура, зависящая от его размеров и формы, а также от магнитной проницаемости среды.</p>	<p>Согласно закону электромагнитной индукции:</p> $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$
<h3>Энергия магнитного поля тока</h3>	
<p>Энергия магнитного поля катушки с током равна:</p> $W_M = \frac{LI^2}{2}, [W_M] = \text{Дж},$ <p>где L — индуктивность, I — сила тока.</p>	

Электродвигатель. Электрогенератор. Переменный ток. Трансформатор

Электромагнитные явления широко используются в современной технике при генерации и преобразовании электрического тока в измерительных приборах и в электродвигателях.

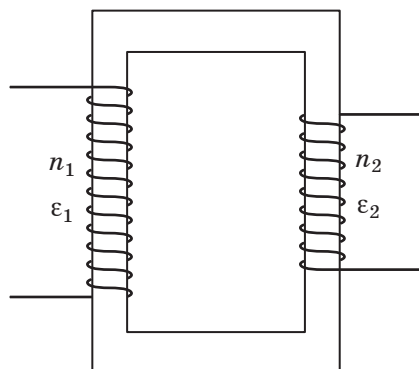
Электродвигатель	Электродгенератор
<p>В электродвигателях используется сила Ампера, действующая со стороны магнитного поля на проводник с постоянным током. Простейшей моделью электродвигателя служит рамка с током, которая помещена в магнитное поле постоянного магнита. На противоположные стороны рамки действуют силы Ампера противоположного направления, поэтому рамка начинает вращаться. Наряду с постоянными магнитами в электродвигателях используются также электромагниты. Двигатели могут также работать на переменном токе.</p>	<p>Если рамку вращать в поле магнита, то наблюдается обратный эффект: в рамке генерируется ток. Это явление — явление электромагнитной индукции — используется в <i>генераторах</i> электрического тока.</p> <p>При вращении рамки в магнитном поле магнитный поток в рамке будет постоянно меняться. Это приведет к возникновению напряжения индукции, которое будет меняться со временем. Такое напряжение называется переменным напряжением, а ток — <i>переменным током</i>.</p>
<p>Электродгенераторы устанавливаются на электростанциях, где они приводятся в действие различными силами.</p> <p>На <i>гидроэлектростанциях</i> генераторы приводятся во вращение силой падающей с высоты воды. На <i>атомных</i> электростанциях генераторы вращаются <i>паровыми турбинами</i>, использующими энергию пара, нагретого за счет энергии реакций деления ядер. На теплоэлектростанциях генераторы вращаются паровыми турбинами, использующими энергию пара, нагретого за счет сгорания ископаемых топлив (уголь, газ, мазут). На <i>приливных</i> электростанциях используется энергия морских приливов, а на <i>ветряных</i> — энергия ветра.</p>	
<p>Для дальнейшей передачи электроэнергии потребителю необходимо преобразовать полученный на генераторе электрический ток. Для этой цели служат <i>трансформаторы</i>.</p>	

Трансформатор

Трансформатор — устройство для преобразования напряжения переменного тока, состоящее из *двух катушек* (обмоток) на *общем* ферромагнитном сердечнике.

Отношение количества витков в обмотках называется **коэффициентом трансформации**:

$$k = \frac{n_1}{n_2}.$$



Сердечник концентрирует магнитное поле так, что все витки первичной и вторичной обмоток пронизываются практически одинаковым переменным магнитным потоком. Следовательно, в каждом витке наводится одинаковая ЭДС индукции:

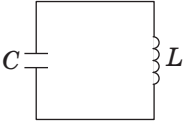
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{n_1}{n_2} = k.$$

Если $k > 1$, то трансформатор *понижающий*, если $k < 1$ — трансформатор *повышающий*.

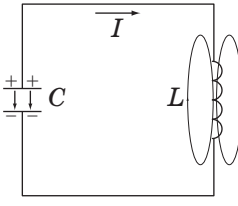
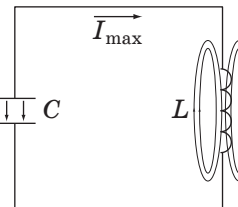
Трансформаторы используются для *повышения* напряжения при *передаче* электроэнергии по линиям электропередач и для *понижения* напряжения при *распределении* электроэнергии потребителям.

5. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Колебательный контур. Электромагнитные колебания

Механические и электромагнитные колебания подчиняются одинаковым количественным законам.	
Механические величины	Электрические величины
Координата x Скорость v Масса m Жесткость пружины k Потенциальная энергия $kx^2/2$ Кинетическая энергия $mv^2/2$	Заряд q Сила тока i Индуктивность L Величина, обратная емкости $1/C$ Энергия электрического поля $q^2/(2C)$ Энергия магнитного поля $Li^2/2$
Колебательный контур. Формула Томсона	
Колебательный контур — система, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности, образующих замкнутую электрическую цепь. 	Свободные электромагнитные колебания — периодически повторяющиеся изменения силы тока в катушке и напряжения между обкладками конденсатора без потребления энергии от внешних источников.
В колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания с периодом, определяемым согласно формуле Томсона.	
Формула Томсона: $T = 2\pi\sqrt{LC},$ где T — период свободных колебаний, L — индуктивность катушки, C — емкость конденсатора.	Частота (число колебаний за одну секунду) собственных колебаний контура равна: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$

Процессы в колебательном контуре

 <p style="text-align: center;">$I = 0$</p>	<p>В начальный момент времени конденсатор заряжен.</p>
	<p>При замыкании цепи заряженного конденсатора в катушке возникает ток. За счет самоиндукции сила тока возрастает <i>медленно</i>, вначале практически линейно.</p>
	<p>К моменту полной разрядки конденсатора сила тока достигает максимальной величины.</p>
	<p>Сила тока начинает постепенно убывать, но ток течет в ту же сторону, перезаряжая конденсатор.</p>
 <p style="text-align: center;">$I = 0$</p>	<p>Состояние системы через половину периода. Конденсатор заряжен противоположными зарядами. Ток равен нулю.</p>

Сохранение энергии в колебательном контуре

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:**

$$W = W_C + W_L = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \text{const.}$$

Из этого соотношения выводится связь для амплитуд (максимальных значений) тока и напряжения:

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

Колебания тока и напряжений в контуре

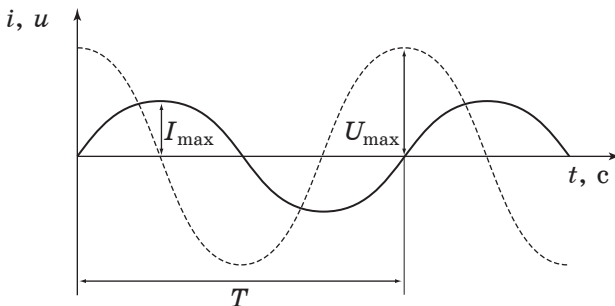
Электромагнитные колебания в колебательном контуре описывают с помощью формул, характеризующих периодические изменения электрического заряда, силы тока и напряжения:

$$q = q_{\max} \cos \omega t, \quad i = -\omega q_{\max} \sin \omega t = -I_{\max} \sin \omega t,$$

$$u = \frac{q_{\max}}{C} \cos \omega t = U_{\max} \cos \omega t.$$

Здесь $\omega = \frac{2\pi}{T}$ — круговая (циклическая) частота колебаний, а q_{\max} , I_{\max} и U_{\max} — максимальные значения (амплитуды) заряда, тока и напряжения.

Колебания тока и напряжений в контуре



Переменный электрический ток

<p>Переменный электрический ток — ток, величина и направление которого зависят от времени.</p>	
<p>Ток низкой частоты получают с помощью индукционного электрогенератора.</p>	<p>Ток высокой частоты получают с помощью генератора на транзисторе.</p>
<p>Генератор электромагнитных колебаний на основе транзистора</p>	
	<p>Незатухающие колебания являются идеализированными. На самом деле из-за излучения электромагнитных волн и потерь на нагрев проводников колебания в контуре будут <i>затухающими</i>. Для создания незатухающих колебаний используется генератор электромагнитных колебаний, работающий как автоколебательная система.</p>
<p>Транзистор играет роль устройства, которое регулирует поступление энергии от источника.</p>	<p>Обратная связь — индуктивная связь катушки колебательного контура с катушкой в цепи эмиттер — база транзистора.</p>

Электрическая цепь переменного тока

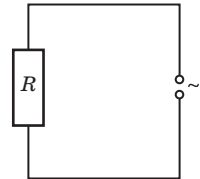
<p>Действующее значение силы тока — это сила постоянного тока, выделяющего в проводнике такое же количество теплоты, как и переменный ток за то же время. Аналогично определяется и действующее значение напряжения.</p>	<p>В случае гармонических колебаний тока связь амплитуд и действующих значений тока и напряжения имеет вид</p> $I_d = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}, \quad U_d = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}.$
---	--

Закон Ома для электрических цепей переменного тока

Закон Ома справедлив для мгновенных значений переменного тока.

Активное сопротивление

Обычное сопротивление в цепи переменного тока ведет себя так же, как и в цепи постоянного тока — на нем создается падение напряжения, и электрическая энергия переходит в джоулево тепло. Такое сопротивление называется *активным*.



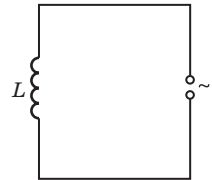
Колебания напряжения и силы тока совпадают по фазе. Если $u = U_{\max} \cos \omega t$, то $i = I_{\max} \cos \omega t$.

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

$$P = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2}.$$

Индуктивное сопротивление

В катушке индуктивности в цепи переменного тока вследствие электромагнитной индукции наводится ЭДС, препятствующая изменению тока в цепи. Поэтому индуктивность сглаживает резкие изменения тока. Таким образом, чем больше частота тока, тем бóльшим сопротивлением обладает данная катушка.



Для постоянного тока катушка не является сопротивлением. Колебания напряжения опережают по фазе колебания силы тока на четверть периода. Если $i = I_{\max} \cos \omega t$, то

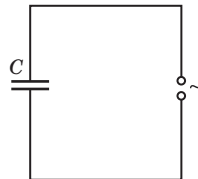
$$u = U_{\max} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = -U_{\max} \sin \omega t.$$

Связь между амплитудами: $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{X_L}$.

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

Емкостное сопротивление

Конденсатор не проводит постоянный ток. Для переменного тока конденсатор является сопротивлением, в том смысле, что он влияет на связь между амплитудами тока и напряжения в цепи. Это влияние обусловлено ЭДС, возникающей на конденсаторе при его зарядке.



Колебания напряжения отстают по фазе от колебаний силы тока на четверть периода. Если $i = I_{\max} \cos \omega t$, то

$$u = U_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = U_{\max} \sin \omega t.$$

Связь между амплитудами: $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{X_C}$.

Величина $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — емкостное сопротивление.

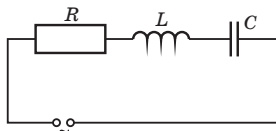
Индуктивное и емкостное сопротивления носят названия «реактивные сопротивления».

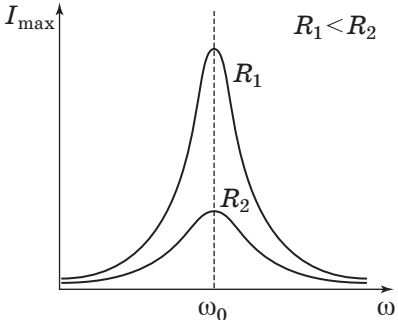
Полное сопротивление цепи переменного тока

Полное сопротивление цепи переменного тока содержит как активные, так и реактивные сопротивления и зависит от частоты:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2},$$

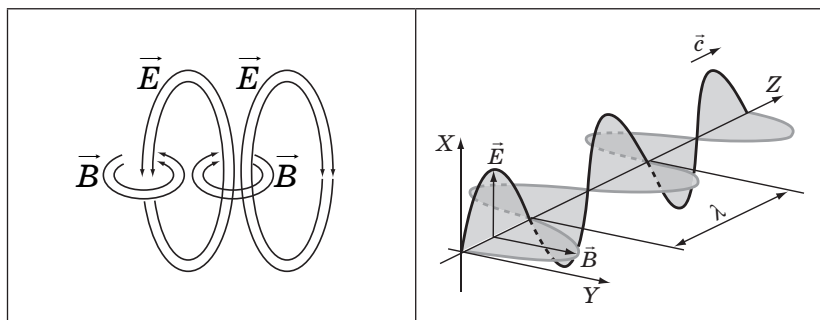
где R — активное сопротивление, $X_L = \omega L$, $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — реактивное сопротивление.



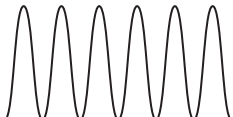
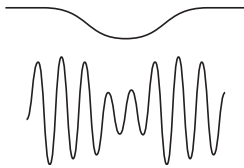
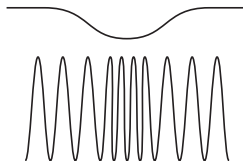
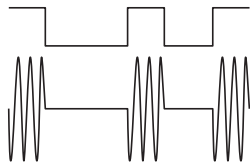
Резонанс в цепи переменного тока	
<p>Резонанс в цепи переменного тока — резкое возрастание амплитуды колебаний силы тока при совпадении частоты внешнего напряжения и частоты собственных колебаний контура.</p>	<p>Условие резонанса:</p> $f_{\text{внеш}} \approx f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$
	<p>Графики зависимости амплитуды I_{max} переменного тока от частоты f внешнего источника приведены для разных величин активного сопротивления.</p>

Электромагнитные волны

<p>Электромагнитная волна — процесс распространения переменных магнитного и электрического полей.</p>	
<p>Согласно закону об электромагнитной индукции, изменяющееся магнитное поле создает вихревое электрическое поле. Это электрическое поле тоже будет переменным и так же, как переменное поле движущихся зарядов, будет создавать магнитное поле. Такие взаимные превращения электрического и магнитного полей приводят к распространению в пространстве электромагнитного поля.</p>	<p>Свойства электромагнитных волн:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) излучаются ускоренно движущимися электрическими зарядами; 2) являются поперечными: $\vec{E} \perp \vec{v}$ и $\vec{B} \perp \vec{v}$ (\vec{v} — вектор скорости движения волны); 3) поглощаются; 4) преломляются; 5) отражаются.



Принципы радиосвязи и телевидения

<p>С помощью радиоволн можно передавать информацию. Для этого их необходимо каким-либо образом <i>модулировать</i>. Обычная синусоидальная волна не несет информации, поэтому ее изменяют в соответствии с тем сигналом, который нужно передать.</p>	<p>Сигнал не несет информации</p> 	
<p>Модуляция бывает <i>амплитудной, частотной, фазовой</i> — в зависимости от того, какой параметр волны несет информацию. С помощью высокочастотных волн возможна также передача дискретных сигналов, которые используются в компьютерных сетях.</p>		
<p>Амплитудная модуляция</p>	<p>Частотная модуляция</p>	<p>Модуляция дискретными сигналами</p>
		
<p>Модулированная волна передается радиопередатчиком и может быть принята соответствующим приемником.</p>		

Распространение радиоволн

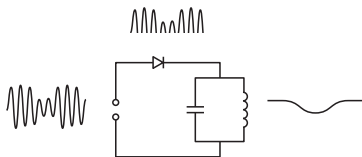
Длинные и средние волны ($\lambda > 100$ м) распространяются на большие расстояния, так как способны огибать выпуклую поверхность Земли за счет дифракции и рефракции.

Короткие волны ($10 \text{ м} < \lambda < 100 \text{ м}$) распространяются на большие расстояния благодаря способности многократно отражаться от ионосферы.

Ультракороткие волны ($\lambda < 10$ м) распространяются в пределах прямой видимости антенны передатчика.

Принятый радиосигнал нужно *демодулировать*, т. е. выделить в ней полезный сигнал. Для этой цели служат детекторы.

Детектор — устройство, преобразующее модулированные высокочастотные (ВЧ) колебания в низкочастотные (НЧ). Простейший детектор состоит из диода, который выпрямляет ток, и колебательного контура, играющего роль фильтра сигнала определенной частоты.



Диод выпрямляет ток.

Контур сглаживает сигнал.

На аналогичном принципе передачи модулированных сигналов основана передача видеобразований в телевидении. Различие лишь в том, что для передачи качественного видеосигнала необходимо передать гораздо большее количество информации, чем при передаче звука. В этой связи основные телепрограммы транслируются в диапазоне УКВ (ультракоротких волн). Однако поскольку эти волны распространяются только в пределах прямой видимости, для телевизионных передатчиков сооружают высокие антенны или используют космические спутники (спутниковое телевидение).

Телевидение [*теле* + лат. *visio*] — букв.: далековидение, представляет собой передачу на расстояние изображений с помощью электромагнитных волн.

6. ОПТИКА

Основные понятия геометрической оптики

Геометрическая оптика — раздел физики, изучающий законы распространения света на основе представления о световых лучах:

1. Прямолинейность распространения света в однородной среде.
2. Независимость распространения световых лучей.

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

Законы геометрической оптики

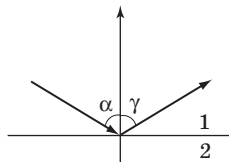
Закон прямолинейного распространения света: в вакууме или однородной среде свет распространяется прямолинейно.

Отражение света — явление, возникающее на границе двух сред. Состоит в том, что часть света, падающего на границу двух сред, не проходит во вторую среду, а возвращается в первую.

Закон отражения: луч падающий, отраженный луч и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости, угол отражения равен углу падения:

$$\alpha = \gamma.$$

Внимание! Угол падения и угол отражения отсчитываются от нормали.

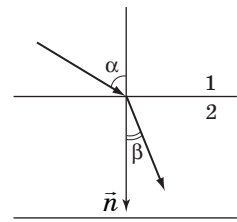


Преломление света — явление, возникающее на границе двух сред. Состоит в том, что часть света, падающего на границу двух сред, проходит во вторую среду, при этом изменяется направление движения луча.

Закон преломления: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела двух сред лежат в одной плоскости, причем отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред — относительный показатель преломления n_{21} :

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

Внимание! Углы падения, отражения и преломления отсчитываются от нормали, проведенной к границе раздела.



Относительный показатель преломления равен отношению скоростей света в данных средах:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

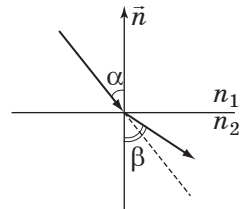
Абсолютный показатель преломления — показатель преломления относительно вакуума, определяющий, во сколько раз скорость света в данной среде меньше скорости света в вакууме:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Оптическая плотность среды

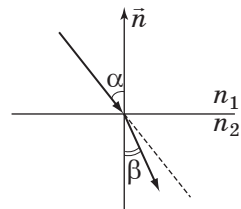
Луч из оптически более плотной среды переходит в оптически менее плотную среду, т. е.

$$n_1 > n_2, \quad \alpha < \beta.$$



Луч из оптически менее плотной среды переходит в оптически более плотную среду, т. е.

$$n_1 < n_2, \quad \alpha > \beta.$$



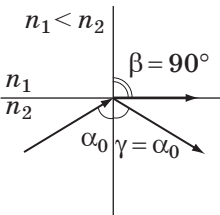
Полное отражение

Предельный угол полного отражения α_0 — угол падения, при котором наступает полное отражение света:

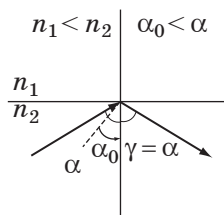
$$\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1}, \text{ где } n_1 > n_2.$$

Если луч из оптически более плотной среды переходит в оптически менее плотную среду, то при углах падения $\alpha \geq \alpha_0$ падающий свет полностью отражается внутрь более плотной среды.

Угол равен критическому углу



Угол больше критического



Строго говоря, **вдали** от границы существуют только падающий и отраженный лучи и не существует прошедшего луча.

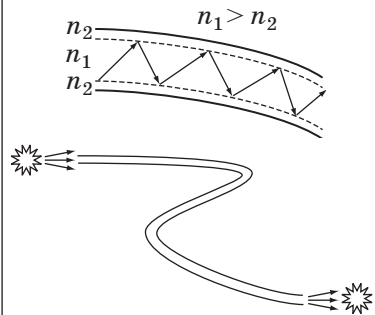
Волоконная оптика

Благодаря полному внутреннему отражению свет может распространяться в *световодах!*

Световод представляет собой прозрачное волокно, более плотное у поверхности. Вследствие этого свет, отражаясь от внутренней поверхности, все время возвращается в световод и не выходит наружу. Таким образом, свет распространяется вдоль световода, повторяя все его изгибы, и даже может вернуться назад — к источнику.

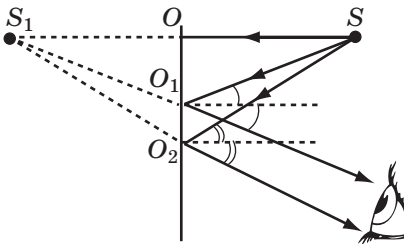
Волоконно-оптический *кабель* состоит из большого количества волокон, по каждому из которых проходит свет. Это позволяет по кабелю передавать изображения.

Использование волоконной оптики позволяет увеличить *объемы* и *скорость* передаваемой информации в десятки раз по сравнению с обычными способами, при которых используются провода или радиоволны. Поэтому основные объемы данных, например в Интернете, передаются по волоконным оптическим системам.



Построение оптических изображений

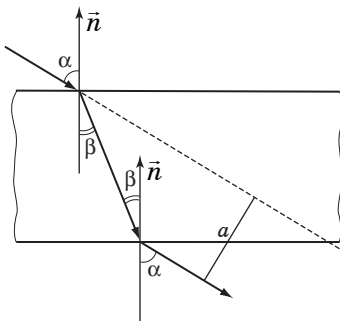
Построение изображения в плоском зеркале



Плоское зеркало — плоская отражающая поверхность.

Изображение предмета в плоском зеркале является **мнимым**. Его можно увидеть, но нельзя отобразить на экране.

Прохождение света через плоско-параллельную пластину

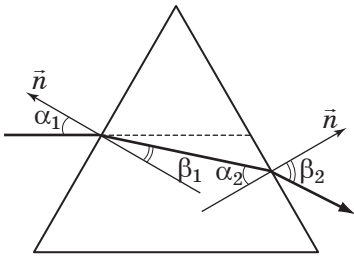


При прохождении через плоско-параллельную пластину луч света дважды преломляется. Из построения хода луча видно, что луч смещается в сторону, но направление его движения не изменяется. Величина смещения определяется углом между пластиной и направлением движения луча.

Величина a — смещение луча после прохождения плоско-параллельной пластины.

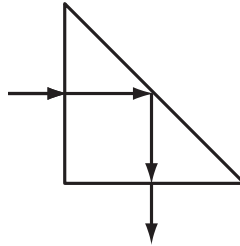
Прохождение света через треугольную призму

При прохождении через призму свет дважды преломляется на границах и может один раз отразиться от стенки призмы. Если нет полного внутреннего отражения, то луч света после выхода из призмы «поворачивает» к основанию призмы.

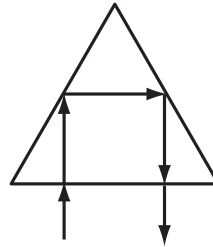


При полном отражении (или зеркальном слое на поверхности призмы) сохраняется расстояние между различными лучами светового пучка. Следовательно, призма поворачивает пучок света, не искажая изображения. Призмы применяются в различных оптических приборах.

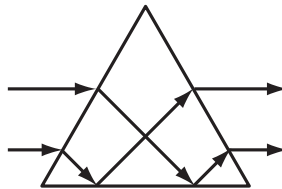
Перископы



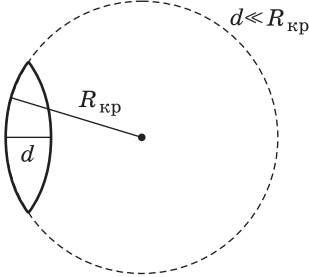
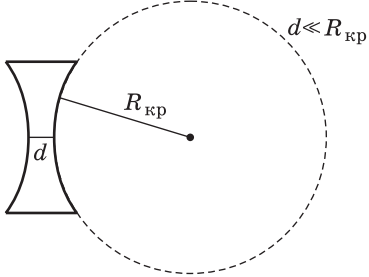
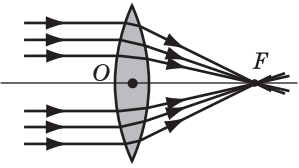
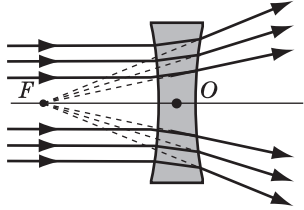


Отражатели



Бинокли



Линза

<p>Линза — прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.</p>	<p>Линза называется тонкой, если ее толщина мала по сравнению с радиусами кривизны поверхности.</p>
	
<p>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.</p>	<p>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.</p>
	
<p>Обозначение на схемах</p> 	<p>Обозначение на схемах</p> 

Основные элементы линзы	
<p>Главная оптическая ось — прямая, проходящая через центры сферических поверхностей линзы.</p>	
<p>Оптический центр — пересечение главной оптической оси с линзой.</p>	
<p>Побочная оптическая ось — любая прямая, проходящая через оптический центр.</p>	
<p>Фокус — точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.</p>	
<p>Фокусное расстояние — расстояние от линзы до ее фокуса.</p>	
<p>Оптическая сила линзы — величина, обратная фокусному расстоянию: $D = \frac{1}{F}$.</p>	
<p>Фокальная плоскость — плоскость, проведенная через фокус перпендикулярно к главной оси.</p>	

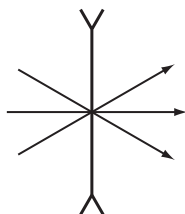
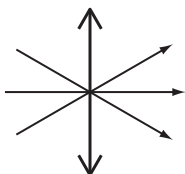
Построение изображений в линзе

Для построения изображений обычно используют лучи, ход которых после прохождения через линзу известен.

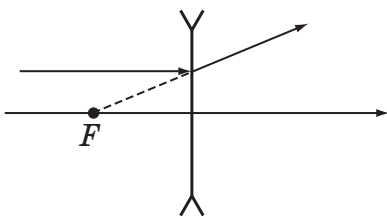
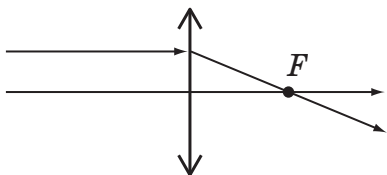
Собирающая линза

Рассеивающая линза

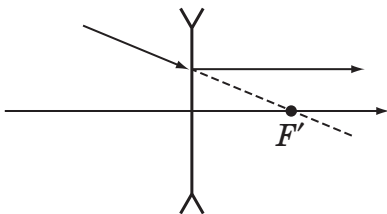
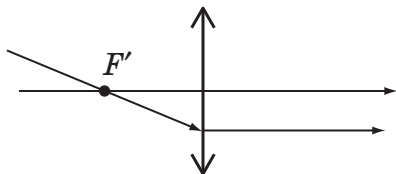
Луч, проходящий через оптический центр



Луч, параллельный главной оптической оси



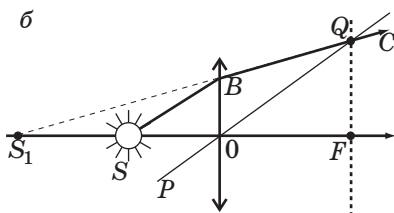
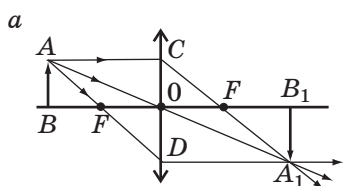
Луч, проходящий через фокус



Изображение точки, не лежащей на главной оптической оси

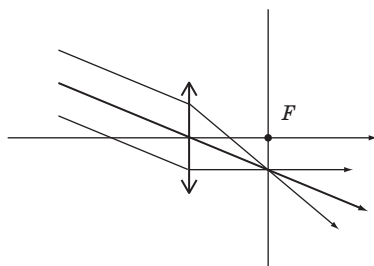
Это изображение строится с помощью двух лучей, прохождение которых через линзу известно.

Луч, параллельный главной оптической оси (а), и луч, проходящий через фокус (б):

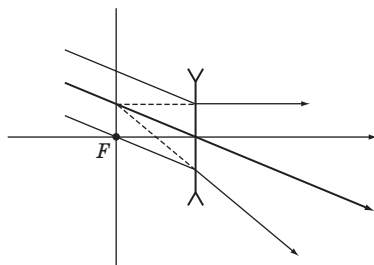


Ход пучка параллельных лучей, идущих вдоль побочной оптической оси

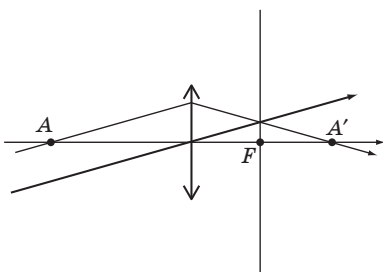
1. После прохождения через собирающую линзу лучи пересекаются в одной точке, находящейся в фокальной плоскости линзы.



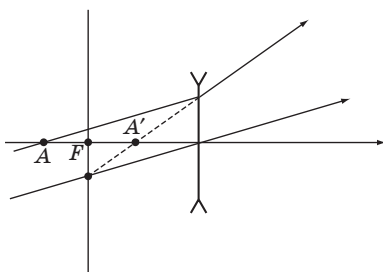
2. После прохождения через рассеивающую линзу лучи идут так, что их продолжения пересекаются в одной точке «ближней» фокальной плоскости.



Эти правила помогают строить изображения точки, лежащей на главной оптической оси.



A' — действительное изображение точки A



A' — мнимое изображение точки A

Действительное изображение — прошедшие через линзу лучи образуют **сходящийся пучок** и пересекаются в одной точке (действительное изображение может быть получено на экране).

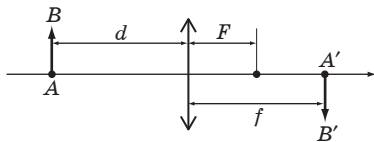
Мнимое изображение — прошедшие через линзу лучи образуют **расходящийся пучок**; оно находится в точке пересечения продолжений лучей, прошедших через линзу (мнимое изображение не может быть получено на экране).

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

Формула линзы

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

где d — расстояние от линзы до источника, f — расстояние от линзы до изображения, F — фокусное расстояние.



$F > 0$ 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;
 $d < 0$, если пучок сходящийся.

Увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{H}{h}.$$

Здесь H — линейный размер изображения, h — линейный размер предмета; также выполняется соотношение

$$\Gamma = \left| \frac{f}{d} \right|.$$

При $d > 0$ возможны следующие случаи.

<p>$\Gamma < 1$ Рассеивающая линза всегда дает мнимое и уменьшенное изображение предмета (очки для близоруких).</p>	<p>$\Gamma > 1, d < F$ Собирающая линза формирует мнимое изображение предмета, изображение получается увеличенным (лупа).</p>	<p>$d > F$ — изображение действительное: $d < 2F$ — изображение увеличенное (проекционный аппарат); $d > 2F$ — изображение уменьшенное (фотоаппарат).</p>
--	---	---

Оптические приборы. Глаз как оптическая система

Законы оптической оптики используются при создании разнообразных *оптических приборов*.

Простейшим из таких приборов является *лупа*. Лупа создает мнимое увеличенное изображение предмета, который находится от нее на расстоянии чуть ближе фокуса. Для увеличения изображений очень мелких объектов используется *микроскоп*. В качестве простейшего однолинзового микроскопа можно использовать обычную лупу.

В качестве микроскопа можно также использовать трубу Галилея (состоящую из собирающего объектива и рассеивающего окуляра). В микроскопах собирающий объектив создает увеличенное изображение, которое рассматривается уже с помощью окуляра, работающего как лупа. Современные многолинзовые микроскопы позволяют увеличивать изображение в тысячи раз.

Сама труба Галилея послужила прообразом и *подзорных труб*, и *телескопов*. Телескопы состоят из собирающих оптических систем — объектива и окуляра. Объектив в своем фокусе создает перевернутое изображение очень далекого объекта. Это изображение, как и в микроскопе, рассматривается и увеличивается окуляром.

В подзорных трубах и *биноклях* для получения прямого изображения используют различные оптические устройства — системы призм или оборачивающие линзы.

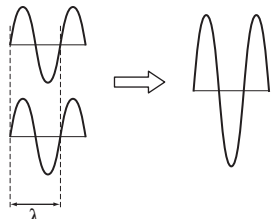
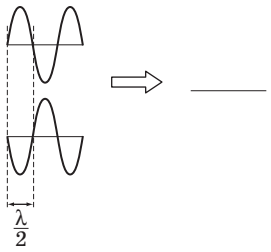
Для создания действительных изображений, которые можно зафиксировать на пленке или в цифровом виде, а также рассматривать на экранах (например, в кинотеатрах), используют другие оптические приборы. Это *фотоаппараты* и *проекционные аппараты*.

Фотоаппараты содержат собирающий объектив, создающий уменьшенное действительное изображение. Фотоаппарат можно настраивать на резкость, перемещая объектив. Проекционные аппараты с помощью собирающего объектива позволяют получать увеличенные изображения на экранах. Резкость в них также настраивается путем перемещения объектива.

Самую сложную и самую эффективную оптическую систему создала природа. Это *глаза* человека и животных. Глаз так же, как и фотоаппарат, служит для создания изображений, которые проецируются на *сетчатку* глаза. Роль объектива играет хрусталик, который для настройки на резкость изменяет форму — явление *аккомодации*. Изменение формы приводит к изменению фокусного расстояния хрусталика.

Волновая оптика

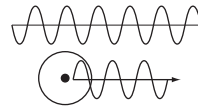
Основные понятия волновой оптики

<p>Физическая, или волновая оптика — раздел физики, изучающий законы распространения света на основе представления о волновой природе световых лучей.</p>	<p>Волновые свойства света объясняют явления интерференции, дифракции, поляризации и дисперсии.</p>
<p>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).</p>	
<p>Условие интерференционных максимумов: $\Delta l = \pm k\lambda.$</p>	<p>Условие интерференционных минимумов: $\Delta l = \pm(2k + 1)\frac{\lambda}{2}.$</p>
<p>Δ — разность хода двух волн, возбуждающих колебания в данной точке, λ — длина волны, $k = 0, 1, 2, \dots$</p>	
<p><i>Нет сдвига или сдвиг на целое число длин волн:</i></p> 	<p><i>Сдвиг на полуцелое число длин волн:</i></p> 
<p>Внимание! При интерференции волны не уничтожаются. Энергия волн переходит из мест интерференционных минимумов в места максимумов.</p>	

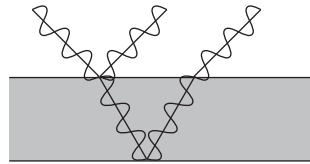
Когерентные волны — волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

Существует несколько способов создания когерентных волн.

1. Если в электромагнитной волне находится возбужденный атом, то он может излучить волну, когерентную исходной. Такое явление называется *усилением света* и используется в *лазерах* (усилителях света).

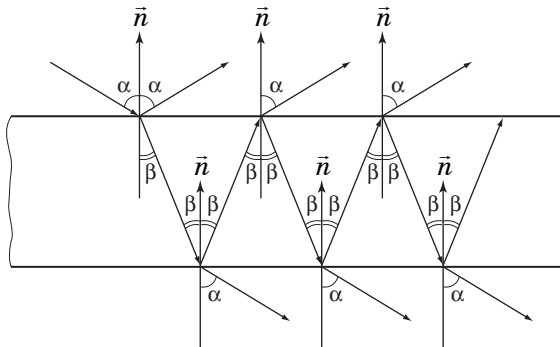


2. Когерентную волну можно получить, разделив исходную на две части, например с помощью отражения от двух поверхностей. Это приводит к *интерференции в тонких пленках* и используется, например, при просветлении оптики.



Интерференция в тонких пленках

Световые волны, отраженные двумя поверхностями тонкой пленки, проходят различные пути, т. е. возникает разность хода Δl .



Дифракция света

Дифракция света — явление отклонения света от прямолинейного распространения при прохождении 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, *интерferируют между собой*.

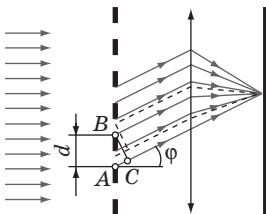
Дифракционная решетка

Решетка представляет собой прозрачную пластинку с нанесенной системой параллельных непрозрачных полос (щелей), расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга.



Постоянная (период) решетки: $d = a + b$, где b — ширина щели, a — ширина промежутка.

На решетку падает монохроматическая волна с плоским волновым фронтом; разность хода $\Delta l = d \sin \varphi$.



Интерференционный максимум наблюдается под углом φ , определяемым условием:

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad (\text{формула дифракционной решетки}),$$

где порядок максимума $k = 0, 1, 2, 3, \dots$,

$$\Delta l = AC = AB \cdot \sin \varphi = d \sin \varphi.$$

λ — длина волны света.

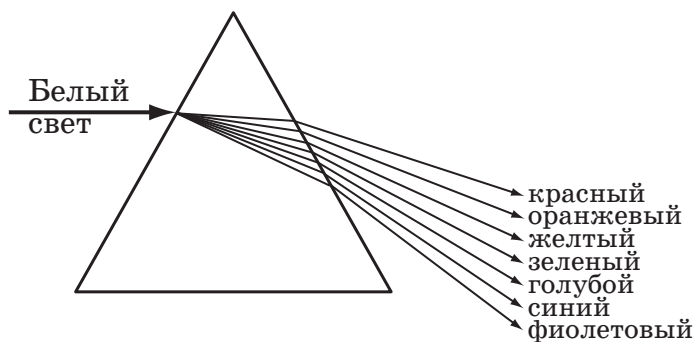
Дисперсия света

Дисперсия света — зависимость показателя преломления от длины волны.

Белый свет — совокупность электромагнитных **монокроматических** волн.

В вакууме скорость света равна: $c = 299\,792\,458$ м/с и не зависит от длины волны, а в веществе — **зависит от длины волны**.

Вследствие **дисперсии** пучок белого света при прохождении его через призму разлагается в **спектр**.



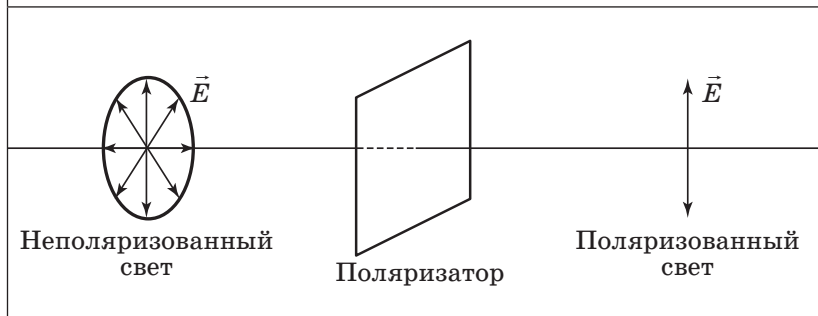
Одно из самых красивых явлений, обусловленных дисперсией — **радуга!**

Поляризация света

Неполяризованный свет — естественный свет, содержащий волны со всевозможными направлениями колебаний вектора \vec{E} , перпендикулярными к направлению распространения волны.

Поляризованный свет — свет, содержащий световые волны с колебаниями вектора \vec{E} , лежащими только в одной плоскости.

Поляризаторы — *поляроиды* — обладают способностью пропускать световые волны с колебаниями вектора \vec{E} , лежащими только в одной плоскости.



Виды излучений

Тепловое излучение — излучение, которое испускают атомы за счет энергии теплового движения (лампы накаливания).

Электролюминесценция — излучение, возникающее при прохождении электрического разряда в газе (Северное сияние).

Катодолуминесценция — свечение твердых тел вследствие бомбардировки электронными пучками (экран телевизора).

Хемилуминесценция — свечение холодных тел вследствие химических реакций (светлячки).

Фотолуминесценция — свечение тел под действием падающего на них света.

Спектры

Спектральный состав света — набор частот излучений, входящих в состав данного света.	
Спектральный анализ — метод определения химического состава вещества по виду его спектра испускания или поглощения.	Спектроскоп, спектрограф — приборы для определения спектрального состава света.
Спектры испускания	
Сплошной (непрерывный) — сплошная цветная полоса, переходящая от красного цвета к фиолетовому. Источник излучения — раскаленные твердые и жидкие тела, горячая плазма.	
Линейчатый — отдельные светлые линии различных цветов на темном фоне. Источник излучения — раскаленные одноатомные газы.	
Полосатый — отдельные светлые полосы, разделенные темными промежутками. Источник излучений — раскаленные многоатомные газы.	
Спектр поглощения	
Спектр поглощения — темные линии на фоне сплошного спектра, соответствующие тем же частотам, что и линии спектра испускания. Атомы газа наиболее интенсивно поглощают свет тех частот, которые они испускают в возбужденном состоянии.	

Влияние электромагнитных излучений на живые организмы

Рассмотрим влияние на живые организмы прежде всего волн с самой большой энергией (или с самыми короткими длинами волн).
1. <i>Кванты электромагнитного излучения</i> (γ -кванты), летящие из космоса (космические лучи). Очень вредны для здоровья людей. Практически полностью поглощаются в атмосфере. Требуется дополнительная защита космических аппаратов и самолетов от этих лучей.

2. *Гамма-излучение.* Кванты из радиоактивных и рентгеновских источников обладают сильной ионизирующей способностью. Они ионизируют биологические молекулы и тем самым нарушают их деятельность, приводя к онкологическим заболеваниям. Требуется строгое соблюдение всех правил поведения с источниками ионизирующего излучения и разумное количество рентгеновских медицинских исследований.

3. *Ультрафиолетовое излучение.* В больших дозах может вызвать болезни кожи и глаз человека. В малых дозах необходимо человеку для поддержания жизнедеятельности. Используется для дезинфекции больничных помещений.

4. *Инфракрасное излучение.* Приводит к согревающему эффекту, вплоть до возможных тепловых ударов.

5. *Радиоизлучение волн различной длины.* Некоторые радиоволны безусловно вредны для человека. Например, микроволновое излучение сильно нагревает воду, которая находится в биологических тканях. Этот эффект используется для приготовления пищи в микроволновых (СВЧ) печах. Поскольку это излучение опасно для человека, нужно аккуратно пользоваться такими печами.

О влиянии на человека волн диапазона мобильной связи до сих пор ведутся научные споры, проводятся исследования, и однозначный ответ отсутствует.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

<p>Специальная теория относительности Эйнштейна (СТО) — раздел релятивистской механики, в котором рассматривается частный (специальный) случай инерциальных систем отсчета. СТО является системой современных взглядов на пространство-время.</p>	
<p>Релятивистская механика рассматривает движения со скоростями, близкими к скорости света</p> $v \leq c.$	<p>Классическая (ньютоновская) механика рассматривает движения со скоростями, значительно меньшими скорости света:</p> $v \ll c.$
<p>Релятивистские явления — явления, описываемые СТО, но необъяснимые с точки зрения классической физики.</p>	
<p>Специальная теория относительности изучает инерциальные системы отсчета. Неинерциальные системы отсчета являются предметом общей теории относительности.</p>	

1. ПОСТУЛАТЫ СТО

<p>Принцип относительности Эйнштейна</p>	
<p>Любые физические процессы протекают одинаково в различных инерциальных системах отсчета (ИСО) при одинаковых начальных условиях.</p>	<p>Принцип одинаковости скорости света: скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО.</p>
<p>В теории относительности время не абсолютно, оно является одной из четырех равноправных координат: трех пространственных и одной временной. Иными словами, мы существуем не в трехмерном пространстве, а в четырехмерном пространстве-времени.</p>	

2. СЛЕДСТВИЯ ПОСТУЛАТОВ СТО

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

Относительность расстояний. Длина l движущегося предмета сокращается в направлении движения:

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

где l_0 — длина покоящегося предмета, v — скорость его движения в данной ИСО. Размеры предметов в направлении, перпендикулярном к направлению движения, не изменяются.

Относительность промежутков времени. Ход движущихся часов замедляется:

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

где τ_0 — интервал времени, измеренный часами, покоящимися относительно системы отсчета, где оба события произошли в одной и той же точке пространства, τ — интервал времени между двумя событиями, измеренный движущимися часами.

Относительность одновременности. Два пространственно разделенных события, одновременные в одной ИСО, могут быть не одновременными в другой ИСО.

Релятивистский закон сложения скоростей, направленных вдоль одной прямой:

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

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.

Пример. Два пучка света, летящие со скоростью c навстречу друг другу, сближаются не со скоростью $2c$, как это можно ожидать с точки зрения классической механики и здравого смысла, а со скоростью c :

$$v_2 = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = c!$$

3. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДИНАМИКА

<p>Зависимость массы от скорости:</p> $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$ <p>где m_0 — масса покоящегося тела, m — масса того же тела, движущегося со скоростью v.</p>	<p>Внимание! Современная физика не использует понятие массы движения, как это делалось на заре теории относительности. Используется только понятие массы покоя m_0.</p>
<p>Импульс движущегося тела:</p> $\vec{P} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$	<p>Уравнение движения:</p> $\frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \vec{F},$ <p>где \vec{F} — сила, действующая на тело.</p>
<p>Закон взаимосвязи массы и энергии:</p> $E = mc^2,$ <p>где E — полная энергия движущегося тела.</p>	
<p>Гипотеза Эйнштейна: любое тело, имеющее массу покоя, обладает собственной энергией покоя $E_0 = m_0 c^2$.</p>	

КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1. КВАНТОВЫЙ ХАРАКТЕР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Световые кванты

Природа света очень сложна: в одних условиях свет обнаруживает свойства электромагнитной волны, а в других — свойства корпускул (частиц).

Корпускулярно-волновой дуализм — проявление светом как волновых, так и корпускулярных свойств.

Фотоэффект	Интерференция
Фотолюминесценция	Дифракция
Фотохимические превращения	Поляризация и дисперсия
Эффект Комптона	Дисперсия

Гипотеза Планка: свет излучается и поглощается отдельными «порциями» — квантами (фотонами).

Энергия каждого кванта определяется формулой

$$E = h\nu,$$

где ν — частота света.

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

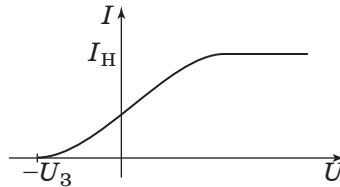
Квант энергии — минимальное количество энергии, которое может поглотить или излучить система.

Фотоэффект

Фотоэффект — явление испускания электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

Законы фотоэффекта

1. Сила тока насыщения прямо пропорциональна интенсивности светового излучения, падающего на поверхность тела.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты 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

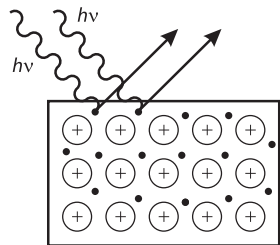
Квантовая теория: свет — поток особых частиц — фотонов с энергией $E = h\nu$, и импульсом $p = \frac{h\nu}{c}$. Фотоны поглощаются как единое целое.

Поглощая фотон, электрон увеличивает свою энергию на $h\nu$; эта энергия идет на совершение работы выхода электрона из металла $A_{\text{вых}}$ и на увеличение кинетической энергии фотоэлектрона. Уравнение Эйнштейна:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}.$$

Если $h\nu < A_{\text{вых}}$, то фотоэффект не происходит. **Красная граница фотоэффекта** равна:

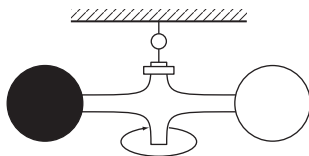
$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}.$$



Давление света

Свет — поток частиц (фотонов), которые обладают импульсом $p = \frac{E}{c}$ (c — скорость света) и передают его телу при отражении или поглощении. При отражении фотона переданный импульс в два раза больше, чем при поглощении.

Использованный в опыте **Лебедева** прибор состоял из легкого стержня, подвешенного в вакууме на тонкой нити. По краям стержня были закреплены две тонкие пластинки — одна отражающая, другая поглощающая. При освещении пластинки она поворачивалась. Измерение угла поворота позволяло вычислить световое давление.



Химическое действие света

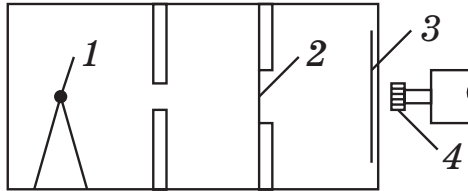
Фотография — выделение молекул серебра при падении света на кристаллы бромистого серебра.

Фотосинтез — под действием света из углекислого газа и воды в хлоропластах растений образуются кислород и органические вещества.

2. СТРОЕНИЕ АТОМА

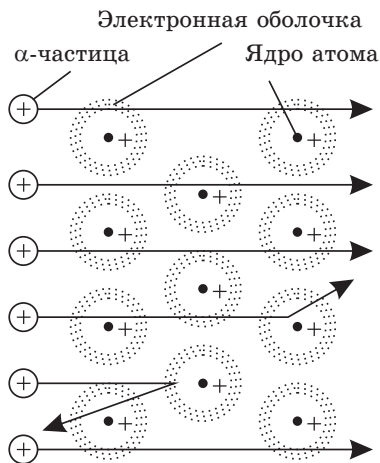
Опыты Резерфорда

Схема опыта Резерфорда



- 1 — радиоактивное вещество (испускает α -частицы, ядра изотопов ${}^4_2\text{He}$);
 2 — тонкая металлическая пластинка;
 3 — экран, покрытый слоем кристаллов сульфида цинка, способных светиться под ударами быстрых заряженных частиц;
 4 — микроскоп.

Большинство α -частиц отклоняется от прямолинейной траектории на $1-2^\circ$, но небольшая доля α -частиц испытывает отклонения на большие углы, что 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).

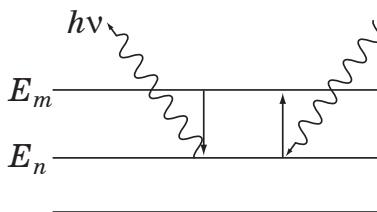
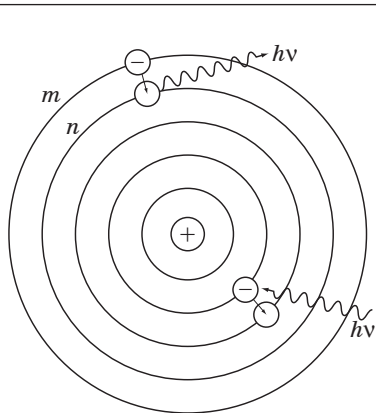


Постулаты Бора

1. Атомная система может находиться в особых квантовых **стационарных состояниях**, каждому из которых соответствует **определенная энергия** E_n .
2. При переходе атома из одного стационарного состояния в другое происходит испускание или поглощение квантов электромагнитного излучения.

Энергия фотона равна разности энергии атома в двух стационарных состояниях:

$$\Delta E = h\nu = E_m - E_n.$$



Правило квантования Бора (третий постулат Бора):

$$mvR = n \frac{h}{2\pi},$$

где m — масса электрона, v — скорость электрона, R — радиус круговой орбиты, n — номер энергетического состояния (целое число).

Все стационарные состояния атома, кроме одного, являются стационарными условно. Бесконечно долго атом может находиться в стационарном состоянии с минимальной энергией.

<p>Основное состояние атома — стационарное состояние с минимальной энергией.</p>	<p>Возбужденное состояние атома — стационарное состояние атома с любыми значениями энергии, кроме минимального.</p>
<p>Время жизни атома в возбужденном состоянии — $10^{-8} - 10^{-7}$ с.</p>	
<p>Изменения, внесенные в физику Бором:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отказ от представлений о непрерывности физических величин. 2. Идея квантования физических величин: существует дискретный ряд значений — радиуса круговой орбиты, энергии и импульса. 	

Строение ядра

Протоны и нейтроны

<p>Ядро атома состоит из протонов и нейтронов.</p>	
<p>Протон $p = +e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг.</p>	<p>Нейтрон n — заряд равен нулю, масса $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг.</p>
<p>Общее название протонов и нейтронов — нуклоны. Между нуклонами действуют короткодействующие силы притяжения — ядерные силы.</p>	
<p>Число протонов в ядре атома обозначается Z и совпадает с порядковым номером элемента в таблице Менделеева.</p>	<p>Число нейтронов в ядре атома обозначается N.</p>

Заряд ядра равен Ze	
<p>Общее число нейтронов и протонов в ядре равно массовому числу A: $A = Z + N$.</p>	<p>Обозначение ядер: A_ZX, где X — обозначение химического элемента. Например: ${}^{235}_{92}\text{U}$ — ядро урана, в котором содержится 92 протона и $235 - 92 = 143$ нейтрона.</p>

Изотопы

<p>Изотопы — атомы, имеющие одинаковый заряд ядра Z, но разную массу A, т. е. число протонов одинаково, а число нейтронов различно.</p>
<p>Все изотопы одного и того же элемента обладают одинаковыми химическими свойствами, но различными физическими свойствами (например, радиоактивностью). 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.</p>
<p><i>Применение изотопов</i></p>
<p>Метод меченых атомов — биология, физиология, медицина, промышленность, археология. Источники γ-лучей — «кобальтовая пушка» с изотопом ${}^{60}_{27}\text{Co}$. Ускорение мутаций для искусственного отбора в сельском хозяйстве.</p>

Радиоактивность

<p>Радиоактивность — испускание ядрами некоторых элементов различных частиц (α, β, γ-квантов), сопровождающееся переходом их в другое состояние и изменением параметров. Момент времени, когда данное ядро испытывает такое превращение, непредсказуем, однако каждую секунду распадается определенная доля ядер.</p>

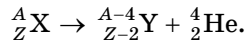
Активность — число распадов ядер в единицу времени.

Радиоактивный распад — естественное радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно.

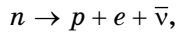
Виды радиоактивного распада

α -распад: самопроизвольный распад атомного ядра на α -частицу (ядро гелия ${}^4_2\text{He}$) и ядро-продукт. Масса ядра уменьшается на 4 единицы, а заряд — на 2 единицы (α -радиоактивны ядра тяжелых элементов $Z > 82$).

Правило смещения для α -распада:

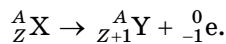


β -распад (электронный): самопроизвольное превращение атомного ядра путем испускания электрона. В основе β -распада лежит способность протонов и нейтронов к взаимному превращению:



где $\bar{\nu}$ — антинейтрино.

Правило смещения для β -распада:



γ -излучение при α -распаде: иногда часть энергии идет на возбуждение ядра-продукта, который испускает γ -кванты, после чего переходит в нормальное состояние;

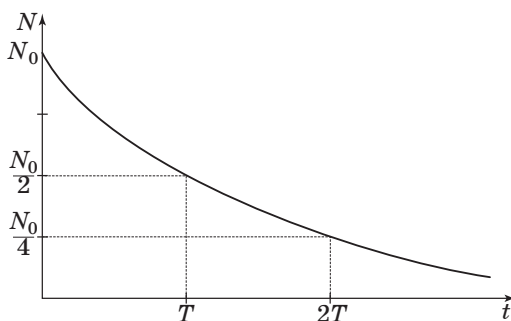
γ -излучение при β -распаде: иногда часть энергии идет на возбуждение ядра-продукта, который испускает γ -кванты; β -частицы имеют различные энергии, так как часть энергии уносит частица **нейтрино**.

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

Закон радиоактивного распада

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

где N — число нераспавшихся атомов в момент времени t , N_0 — число таких атомов в начальный момент времени, T — период полураспада — промежуток времени, в течение которого число радиоактивных атомов уменьшается вдвое (т. е. T — константа, зависящая от типа радиоактивного изотопа).



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

Экспериментальные методы регистрации заряженных частиц

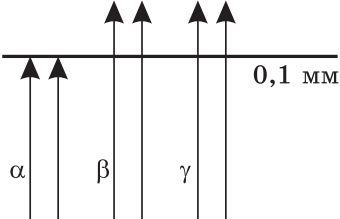
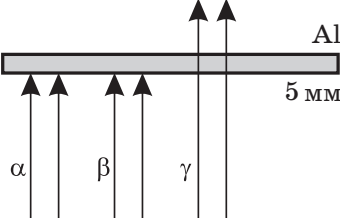
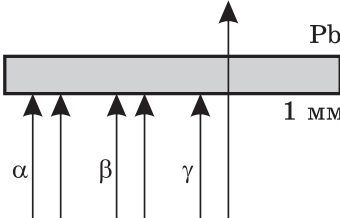
Методы основаны на использовании систем, которые находятся в долгоживущем неустойчивом состоянии. Под действием пролетающих заряженных частиц в таких системах происходит переход в устойчивое состояние.

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.

<p>Пузырьковая камера — содержит перегретую жидкость. Частицы хорошо тормозятся жидкостью, что позволяет наблюдать несколько последовательных реакций.</p>	<p>В толстослойных фотоэмульсиях пролетающие частицы образуют скрытое изображение. После проявления видны все события, происшедшие за время наблюдения.</p>
---	---

Биологическое действие радиоактивных излучений

<p>Проходя через вещество, заряженные частицы сталкиваются с атомными электронами и оставляют за собой цепочку ионов — происходит разрушение или повреждение молекул живой ткани.</p>	
<p>α-частицы — полностью поглощаются листом бумаги толщиной 0,1 мм.</p>	 <p>The diagram shows a horizontal line representing a paper sheet labeled '0,1 мм'. Below it, three pairs of vertical arrows point upwards. The first pair is labeled α and is stopped by the paper. The second pair is labeled β and passes through the paper. The third pair is labeled γ and passes through the paper.</p>
<p>β-частицы — полностью поглощаются алюминиевым экраном толщиной 4–5 мм.</p>	 <p>The diagram shows a shaded rectangular block representing an aluminum screen labeled 'Al' and '5 мм'. Below it, three pairs of vertical arrows point upwards. The first pair is labeled α and is stopped by the screen. The second pair is labeled β and is stopped by the screen. The third pair is labeled γ and passes through the screen.</p>
<p>γ-лучи — слой свинца толщиной порядка 1 см ослабляет их интенсивность в 2 раза.</p>	 <p>The diagram shows a shaded rectangular block representing a lead layer labeled 'Pb' and '1 мм'. Below it, three pairs of vertical arrows point upwards. The first pair is labeled α and is stopped by the lead. The second pair is labeled β and is stopped by the lead. The third pair is labeled γ and passes through the lead, with a single arrow above it indicating attenuation.</p>

<p>Поглощенная доза излучения:</p> $D = \frac{E}{m},$ <p>где E — поглощенная энергия излучения, m — масса облучаемого вещества,</p> $[D] = \text{Гр (грэй)} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$	<p>Естественный фон радиации соответствует годовой дозе, равной $2 \cdot 10^{-3}$ Гр.</p> <p>Предельно допустимая доза — 0,05 Гр за год. Разовая доза в 3–10 Гр смертельна.</p>
<p>На практике широко применяется внесистемная единица рентген (Р). Приближенно можно считать $1 \text{ Р} = 0,01 \text{ Гр}$.</p>	

Ядерные реакции

Энергия связи атомных ядер

<p>Энергия связи — минимальная энергия, которую необходимо затратить для разделения атомного ядра на составляющие его нуклоны, и которая расходуется на совершение работы против действия ядерных сил притяжения между нуклонами. Энергия связи</p> $\Delta E = \Delta m c^2,$ <p>где</p> $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{ядра}} \text{ —}$ <p>дефект массы ядра.</p>	<p>Удельная энергия связи — энергия связи, приходящаяся на один нуклон.</p> <p>Наибольшую удельную энергию связи (8,6 МэВ/нуклон) имеют элементы с номерами от 50 до 60, поэтому ядра этих элементов наиболее устойчивы.</p> <p>Внесистемная единица измерения энергии — электрон-вольт.</p> $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$
--	--

Ядерные реакции — это превращения атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами, в том числе с γ -квантами или друг с другом.

Ядерные реакции

Для осуществления таких реакций необходимо сближение ядер и частиц на расстояния порядка 10^{-15} м (размеры ядра). В случае реакции между ядрами требуется большая энергия для преодоления действующего между ними кулоновского отталкивания. Эту энергию можно сообщить ядрам с помощью ускорителей или путем нагрева до очень высоких температур. При бомбардировке нейтронами высокая энергия не нужна, потому что кулоновское отталкивание отсутствует.

Энергетический выход
ядерной реакции

$$\Delta E = (\Sigma M_i - \Sigma M_j)C^2$$

ΣM_i — сумма масс частиц, вступающих в реакцию,
 ΣM_j — сумма масс продуктов реакции,
 $\Delta E < 0$ — энергия поглощается,
 $\Delta E > 0$ — энергия выделяется.

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 реакции.

Реакция деления ядра — реакция, при которой тяжелое ($Z > 82$) ядро под действием нейтронов (или других частиц) делится на несколько более легких ядер, близких по массе.

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

Необходимое условие цепной реакции: $K \geq 1$,
 где K — коэффициент размножения нейтронов, т. е. отношение числа нейтронов в данном поколении к числу нейтронов в предыдущем поколении.

Критическая масса — минимальная масса урана, в которой может возникнуть цепная реакция. При делении 1 г урана выделяется такая же энергия, как при сгорании 3 т угля.

Термоядерная реакция — реакция синтеза легких атомных ядер, происходящая при сверхвысокой температуре (порядка 10^7 К).

Элементарные частицы

Элементарные частицы — частицы, которые при столкновении друг с другом не распадаются, а испытывают взаимные превращения.

Античастицы — частицы с такой же массой и с таким же по величине, но противоположным по знаку зарядом. Для каждой частицы существует античастица:
электрон — позитрон,
нейтрон — антинейтрон.

При столкновении частицы со своей античастицей происходит **аннигиляция** — превращение частиц в излучение.

Виды взаимодействия между частицами

1. Сильное.
3. Электромагнитное.

2. Слабое.
4. Гравитационное.

В настоящее время физики — ученые всего мира — прикладывают огромные усилия для создания **единой теории взаимодействия**.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Основные единицы Международной системы (СИ)

Величина	Размерность	Единица СИ			Обозначение соответствующих величин в формулах
		Наименование	Обозначение		
			международное	русское	
Длина	L	метр	m	м	L, l
Масса	M	килограмм	kg	кг	m
Время	T	секунда	s	с	t, τ
Сила электрического тока	I	ампер	A	A	I
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	К	T
Количество вещества	N	моль	mol	моль	ν
Сила света	J	кандела	cd	кд	I, i

Таблица 2. Дополнительные единицы СИ

Величина	Размерность	Единица СИ			Обозначение соответствующих величин в формулах
		Наименование	Обозначение		
			международное	русское	
Плоский угол	—	радиан	rad	рад	$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varphi$
Телесный угол	—	стерадиан	sr	ср	$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varphi$

Таблица 3. Производные единицы СИ

Величина	Обозначение в формулах соответствующих величин	Наименование	Русское обозначение	Размерность
Площадь	S	квадратный метр	m^2	m^2
Объем	V	кубический метр	m^3	m^3
Скорость	v	метр в секунду	м/с	$m \cdot c^{-1}$
Ускорение	a	метр на секунду в квадрате	м/с ²	$m \cdot c^{-2}$

Продолжение таблицы 3

Величина	Обозначение в формулах соответствующих величин	Наименование	Русское обозначение	Размерность
Частота вращения	n	секунда в минус первой степени	c^{-1}	c^{-1}
Частота периодического процесса	ν, f	герц	Гц	c^{-1}
Угловая скорость	ω	радиан в секунду	рад/с	$\text{рад} \cdot c^{-1}$
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м ³	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Сила	F	ньютон	Н	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot c^{-2}$
Работа	A	джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot c^{-2}$
Энергия	W, E	джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot c^{-2}$
Мощность	P, N	ватт	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot c^{-3}$
Момент силы	M	ньютон-метр	Н·м	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot c^{-2}$
Давление	p	паскаль	Па	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot c^{-2}$
Количество теплоты	Q	джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot c^{-2}$

Продолжение таблицы 3

Величина	Обозначение в формулах соответствующих величин	Наименование	Русское обозначение	Размерность
Удельная теплоемкость	c	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг · К)	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
Теплоемкость	C	джоуль на кельвин	Дж/К	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
Удельная теплота сгорания	q	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Электрический заряд	Q, q	кулон	Кл	А · с
Поверхностная плотность электрического заряда	σ	кулон на квадратный метр	Кл/м ²	$\text{м}^{-2} \cdot \text{с} \cdot \text{А}$
Электрическое напряжение	U	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Напряженность электрического поля	E	вольт на метр	В/м	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Потенциал электрический	φ	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электродвижущая сила	E	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$

Продолжение таблицы 3

Величина	Обозначение в формулах соответствующих величин	Наименование	Русское обозначение	Размерность
Электрическая емкость	C	фарад	Φ	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление	R, r	ом	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Удельное электрическое сопротивление	ρ	ом-метр	Ом·м	$\text{м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Магнитная индукция	B	тесла	Тл	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитный поток	Φ	вебер	Вб	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	L	генри	Гн	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Поглощенная доза излучения	G	грей	Гр	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Активность нуклида в радиоактивном источнике	J	беккерель	Бк	с^{-1}
Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения)	Q	кулон на килограмм	Кл/кг	$\text{кг}^{-1} \cdot \text{с} \cdot \text{кД}$

Таблица 4. Внесистемные единицы, допускаемые к применению в специальных областях

Величина	Наименование	Русское обозначение	Значение в единицах СИ
Длина	астрономическая единица	а.е.	$1,49598 \cdot 10^{11}$ м (среднее значение радиуса орбиты Земли)
	световой год	св. год	$9,4605 \cdot 10^{15}$ м
	парсек	пк	$3,0857 \cdot 10^{16}$ м
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Масса	тонна	т	10^3 кг
	центнер	ц	10^2 кг
Температура	градус Цельсия	°С	°С = T°K - 273,15.
Плоский угол	градус	°	$\pi/180$ рад = $1,745 \dots \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	'	$\pi/10\,800$ рад = $2,908 \dots \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	"	$\pi/648\,000$ рад = $4,848 \dots \cdot 10^{-6}$ рад
Площадь	гектар	га	$10\,000$ м ²
Объем	литр	л	$0,001$ м ³
Скорость	километр в час	км/ч	$10/36$ м/с = $0,2777$ м/с

Продолжение таблицы 4

Величина	Наименование	Русское обозначение	Значение в единицах СИ
Работа, энергия	киловатт-час электрон-вольт	кВт·ч эВ	3 600 000 Дж $1,60219 \cdot 10^{-19}$ Дж
Количество электричества	Ампер-час	А·ч	3 600 Кл

Таблица 5. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка	Кратные		Дольные		Множитель
	Русское обозначение	Множитель	Приставка	Русское обозначение	
Экса	Э	10^{18}	Атто	а	10^{-18}
Пега	П	10^{15}	Фемто	ф	10^{-15}
Тера	Т	10^{12}	Пико	п	10^{-12}
Гига	Г	10^9	Нано	н	10^{-9}
Мега	М	10^6	Микро	мк	10^{-6}
Кило	к	10^3	Мили	м	10^{-3}
Гекто	г	10^2	Санти	с	10^{-2}
Дека	да	10^1	Деци	д	10^{-1}

Таблица 6. Основные физические постоянные

Величина	Обозначение	Значение
Гравитационная постоянная	G	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$2,9979 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Скорость звука в воздухе в нормальных условиях	v_3	$331,46 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1} = 1,25666 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнетон Бора	μ_B	$9,2741 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
Магнитный момент электрона	μ_e	$9,2848 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
Магнитный момент протона	μ_p	$1,4106 \cdot 10^{-26} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Постоянная Планка	h $\hbar = h/2\pi$	$6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ $1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $5,4858 \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.}$
Масса покоя протона	m_p	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,0073 \text{ а. е. м.}$

Продолжение таблицы 6

Величина	Обозначение	Значение
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,6750 \cdot 10^{-27}$ кг 1,0087 а. е. м.
Заряд электрона (абс. значение)	e	$1,6022 \cdot 10^{-19}$ Кл
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,6606 \cdot 10^{-27}$ кг
Отношение заряда электрона к его массе	e / m_e	$1,7588 \cdot 10^{11}$ Кл·кг ⁻¹
Отношение массы протона к массе электрона	m_p / m_e	1836,1515
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Постоянная Фарадея	F	96484,56 Кл·моль ⁻¹
Универсальная газовая постоянная	R	8,3144 Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹
Постоянная Больцмана	k_B	$1,3807 \cdot 10^{-23}$ Дж·К ⁻¹
Нормальный (молярный) объем идеального газа при нормальных условиях ($t = 0$ °С, $p = 101,325$ кПа)	V_0	$2,241 \cdot 10^{-2}$ м ³ /моль

Продолжение таблицы 6

Величина	Обозначение	Значение
Нормальное атмосферное давление	$P_{\text{атм. н.}}$	101 325 Па
Ускорение свободного падения (нормальное)	g_n	9,80665 м/с ²
Энергия покоя электрона	$m_e c^2$	0,5110034 МэВ
Энергия покоя протона	$m_p c^2$	938,2796 МэВ
Энергия покоя нейтрона	$m_n c^2$	939,5731 МэВ
Масса атома водорода	${}^1\text{H}$	1,07825036 а. о. м.
Масса атома дейтерия	${}^2\text{H}$	2,014101795 а. о. м.
Масса атома гелия-4	${}^4\text{He}$	4,002603267 а. о. м.
Радиус первой боровской орбиты	a_0	$5,2917706 \cdot 10^{-11}$ м
Классический радиус электрона	r_e	$2,8179380 \cdot 10^{-15}$ м

Таблица 7. Значение некоторых фундаментальных постоянных в других единицах

Величина	Значение	Величина	Значение
Атомная единица массы	931,5016 МэВ	Масса электрона	0,5110034 МэВ
Магнетон Бора	5,788378 эВ·Тл ⁻¹	Масса протона	938,2796 МэВ
Универсальная газовая постоянная	8,20562·10 ⁻² м ² атм·кмоль ⁻¹ ·К ⁻¹	Масса нейтрона	939,5731 МэВ
Электронвольт	1,6021892·10 ⁻¹⁹ Дж		

Таблица 8. Шкала электромагнитных излучений

Частота, Гц	Длина волны, м	Название диапазона	Основные источники возбуждения
10 ³ —10 ³	3·10 ¹¹ —3·10 ⁵	Низкочастотные волны	Генераторы специальных конструкций, промышленной частоты 50–60 Гц, генераторы звуковых частот до 20 кГц
10 ³ —10 ¹²	3·10 ⁵ —3·10 ⁴	Радиоволны	Генераторы радиоволн, генераторы сверхвысоких частот (радиопередатчики, телепередатчики, мобильные телефоны)

Продолжение таблицы 8

Частота, Гц	Длина волны, м	Название диапазона	Основные источники возбуждения
10^{12} — $4 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{-4}$ — $8 \cdot 10^{-7}$	Инфракрасное излучение	Нагретые тела, излучения молекул
$4 \cdot 10^{14}$ — $8 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{-7}$ — $4 \cdot 10^{-7}$	Видимое излучение с длиной волны от 800 нм до 400 нм	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических явлениях
$3 \cdot 10^{14}$ — $3 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{-7}$ — 10^{-9}	Ультрафиолетовое излучение; рентгеновое излучение	Излучения атомов при облучении вещества электронами с энергиями до 15 кэВ
$3 \cdot 10^{17}$ — $3 \cdot 10^{20}$	10^{-9} — 10^{-12}	Рентгеновское излучение; гамма-излучение	Атомные процессы, возбуждающиеся электронами с энергиями от 20 кэВ до нескольких МэВ
$3 \cdot 10^{20}$ — 10^{23}	10^{-12} — $3 \cdot 10^{-15}$	Гамма-излучение	Ядерные процессы, радиоактивные превращения

**Таблица 9. Плотности некоторых твердых тел
(при норм. атм. давл., $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Твердое тело	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Осмий	22 600	22,6
Иридий	22 400	22,4
Платина	21 500	21,5
Золото	19 300	19,3
Свинец	11 300	11,3
Серебро	10 500	10,5
Медь	8 900	8,9
Латунь	8 500	8,5
Сталь, железо	7 800	7,8
Олово	7 300	7,3
Цинк	7 100	7,1
Чугун	7 000	7,0
Корунд	4 000	4,0
Алюминий	2 700	2,7
Мрамор	2 700	2,7
Стекло оконное	2 500	2,5
Фарфор	2 300	2,3
Бетон	2 300	2,3
Кирпич	1 800	1,8
Сахар-рафинад	1 600	1,6
Оргстекло	1 200	1,2
Капрон	1 100	1,1
Полиэтилен	920	0,92
Парафин	900	0,9
Лед	900	0,9
Дуб (сухой)	700	0,7
Сосна (сухая)	400	0,4
Пробка	240	0,24

**Таблица 10. Плотности некоторых жидкостей
(при норм. атм. давл., $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Жидкость	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Ртуть	13 600	13,60
Серная кислота	1 800	1,80
Мед	1 350	1,35
Вода морская	1 030	1,03
Молоко цельное	1 030	1,03
Вода чистая	1 000	1,00
Масло подсолнечное	930	0,93
Масло машинное	900	0,90
Керосин	800	0,80
Спирт	800	0,80
Нефть	800	0,80
Ацетон	790	0,79
Эфир	710	0,71
Бензин	710	0,71
Жидкое олово (при $t = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$)	6 800	6,80
Жидкий воздух (при $t = -194\text{ }^{\circ}\text{C}$)	860	0,86

**Таблица 11. Плотности некоторых газов
(при норм. атм. давл., $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Газ	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Хлор	3,210	0,00321
Оксид углерода(IV) (углекислый газ)	1,980	0,00198
Кислород	1,430	0,00143
Воздух (при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,290	0,00129

Продолжение таблицы 11

Газ	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Азот	1,250	0,00125
Оксид углерода(II) (угарный газ)	1,250	0,00125
Природный газ	0,800	0,00080
Водяной пар (при $t = 100$ °С)	0,590	0,00059
Гелий	0,18	0,00018
Водород	0,090	0,00009

Таблица 12. Массы (m) некоторых атомов и молекул

Атом	$m \cdot 10^{27}$, кг	Молекула	$m \cdot 10^{27}$, кг
Азот	23,20	Азот	46,50
Алюминий	44,80	Аммиак	28,30
Водород	1,67	Вода	29,90
Гелий	6,64	Водород	3,30
Железо	92,80	Гидроксид натрия	66,40
Золото	327,00	Карбонат цинка	208,00
Кислород	26,60	Кислород	53,20
Кремний	46,60	Метан	26,60
Медь	105,00	Нитрат серебра	282,00
Натрий	38,10	Озон	80,00
Ртуть	333,00	Оксид алюминия(III)	169,00
Свинец	344,00	Оксид ртути(II)	360,00
Сера	53,20	Оксид углерода(II)	46,50
Серебро	179,00	Оксид углерода(IV)	73,00
Углерод	19,90	Оксид урана(IV)	448,00
Уран	395,00	Сульфат меди	265,00
Фтор	31,50	Сульфат свинца	503,00
Хлор	58,90	Хлорид натрия	97,00
Цинк	109,00		

**Таблица 13. Частоты колебаний
в звуках различных музыкальных
инструментов (Гц)**

Скрипка	260–15 000
Рояль	90–9 000
Барабан	90–14 000
Орган	22–16 000
Саксофон (бас)	80–8 000

**Таблица 14. Диапазоны частот,
соответствующие голосам певцов и певиц (Гц)**

Женские голоса	
Контральто	170–780
Меццо-сопрано	200–900
Сопрано	250–1 000
Колоратурное сопрано	260–1 400
Мужские голоса	
Бас	80–350
Баритон	100–400
Тенор	130–500

**Таблица 15. Скорость звука
в различных средах, м/с (при $t = 20^{\circ}\text{C}$)**

Вода	1483	Дерево (ель)	5000
Гранит	3850	Сталь	5000–6100
Медь	4700	Стекло	5500

Таблица 16. Температурный коэффициент линейного расширения ($\alpha \cdot 10^6$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$) металлов и сплавов

Металл (или сплав)	Температура, $^{\circ}\text{C}$		
	20	0—100	0—600
Алюминий	22,4	23,8	29
Висмут	13,4	13,4	—
Вольфрам	4,5	4,5	4,7
Железо	11,7	12,2	14,5
Золото	14,2	14,3	15,5
Калий		83 (0—50 $^{\circ}\text{C}$)	
Кобальт	12,3	12,5	
Латунь	17,0—21,2		
Литий	56,0	60,0	
Магний	25,4	26,0	31,7
Манганин	16,0	17,5	
Марганец	22,3		
Медь	16,2	17,1	18,9
Молибден	5,2	5,2	5,7
Никель	12,6	13,6	15,6
Ниобий	7,1		
Нихром	13,0		
Олово	21,4	26,2	
Платина	8,9	9,1	9,6
Платиноиридиевый сплав	8,7	9,0	
Свинец	27,6	29,2	
Серебро	19,5	19,6	21,0

Продолжение таблицы 16

Металл (или сплав)	Температура, °С		
	20	0—100	0—600
Сталь (0,05 % С)	11	12,0	14,2
Сурьма	9,8	10,8	
Тантал	6,3	6,5	
Титан	8,4		10,0
Хром	6,2	6,6	9,2
Цинк	28,4	32	
Цирконий		5,5 (20—200 °С)	6,9 (20—400°С)
Чугун		10,0	

Таблица 17. Температурный коэффициент линейного расширения (α) некоторых твердых веществ

Вещество	Температура, °С	$\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹
Алмаз	1—100	1,2
Бетон	20	10—14
Бумага	0—50	10
Гранит	20	6—9
Графит	0—1000	3,5—8,0
Дерево		
дуб параллельно волокнам	2—34	4,9
дуб перпендикулярно волокнам	2—34	54,4
сосна параллельно волокнам	2—34	5,4

Продолжение таблицы 17

Вещество	Температура, °С	$\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹
сосна перпендикулярно волокнам	2—34	34
типичные значения параллельно волокнам	20—100	3—5
то же перпендикулярно волокнам	20—100	35—60
Изумруд	0—85	1,0—1,4
Каменная соль	40	40,4
Кирпич	20	3—9
Лед	-20—0	51
Мрамор	20	3—15
Парафин	0—38	130
Плексиглас	20	71—77
Полистирол	20	60—80
Полиэтилен	0—50	100—200
Стекло кварцевое	20—200	0,56
Стекло оконное	20—200	9,5
Фарфор	20—700	3,4—4,1
Фторопласт	20	100
Целлулоид	20—40	74
Шифер	20	6—12
Эбонит	20	70
Янтарь	0—75	57

Таблица 18. Температурный коэффициент объемного расширения (β) некоторых жидкостей

Жидкость	$\beta \cdot 10^6, \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Ацетон	1487
Бензин авиационный (Б-70)	1100
Бензол	1237
Бром	1113
Вода	208
Глицерин	505
Керосин (0—100 °С)	900
Мазут (0—100°С)	600
Нефть (0—100 °С)	700—1000
Раствор хлорида натрия в воде (26 % -ный)	436
Ртуть	181
Ртуть (0-100 °С)	182
Серная кислота (100% -ная)	570
Серовуглерод	1210
Скипидар	973
Спирт метиловый	1220
Спирт этиловый	1100
Толуол	1099
Топливо для реактивных двигателей пассажирских самолетов	
Т-1	940
ТС-1	980
Трансформаторное масло	600
Хлороформ	1273
Эфир этиловый	1650

Таблица 19. Удельная теплоемкость (c) газов при температуре 20 °С и нормальном давлении

Газ	c_p , кДж/(кг · К)	c_v , кДж/(кг · К)	c_p/c_v
Азот	1,051	0,745	1,40
Аммиак	2,244	1,675	1,31
Аргон	0,523	0,322	1,67
Ацетилен	1,683	1,352	1,25
Водород	14,269	10,132	1,41
Воздух	1,009	0,720	1,40
Гелий	5,296	3,182	1,66
Кислород	0,913	0,653	1,40
Криптон	0,251	0,151	1,67
Ксенон	0,159	0,096	1,70
Метан	2,483	1,700	1,31
Неон	1,038	0,620	1,68
Оксид азота(I)	0,913	0,715	1,27
Оксид азота(II)	0,976	0,695	1,40
Оксид серы(IV)	0,645	0,502	1,29
Оксид углерода(II)	1,047	0,754	1,40
Оксид углерода(IV)	0,837	0,653	1,30
Пропан	1,863	1,650	1,13
Сероводород	1,026	0,804	1,34
Хлор	0,520	0,356	1,36
Этан	1,729	1,444	1,20
Этилен	1,528	1,222	1,25

Таблица 20. Удельная теплоемкость (с) некоторых жидкостей

Жидкость	Температура, °С	с, кДж/(кг·К)
Азотная кислота (100 %-ная)	20	1,72
Анилин	0	2,018
Анилин	20	2,641
Анилин	50	2,144
Ацетон	0	2,114
Ацетон	20	2,160
Бензин	10	1,42
Бензин	50	2,09
Вода	20	4,182
Вода морская	17	3,936
Вода тяжелая	20	4,208
Гидроксид аммония	20	4,61
Глицерин	20	2,43
Керосин	20—100	2,085
Масло		
касторовое	20	2,219
кукурузное	20	1,733
подсолнечное рафинированное	20	1,775
трансформаторное	0—100	1,88
хлопковое рафинированное	20	1,737
Мед	20	2,428
Молоко		
сгущенное с сахаром	15	2,261
снятое	20	3,977
цельное	20	3,936

Таблица 21. Удельная теплоемкость (с) некоторых химических элементов

Элемент	Температура, °С	с, кДж/(кг·К)
Алюминий	20	0,896
Бериллий	20	1,750
Ванадий	20	0,502
Висмут	20	0,123
Вольфрам	20	0,134
Железо	20	0,452
Золото	20	0,129
Кремний	0	0,678
Магний	0	1,001
Медь	20	0,383
Натрий	0	1,189
Никель	0	0,442
Ниобий	0	0,268
Олово	0	0,225
Платина	0	0,133
Свинец	0	0,128
Сера	0	0,699
Серебро	0	0,233
Тантал	0	0,137
Титан	20	0,611
Углерод (алмаз)	20	0,502
Углерод (графит)	0	0,641
Уран	25	0,134
Хром	0	0,427
Цезий	20	0,230
Цинк	20	0,385
Цирконий	20	0,289

Таблица 22. Удельная теплоемкость (c) некоторых твердых веществ при температуре 20 °С

Вещество	c , кДж/(кг·К)
Асфальт	0,92
Бетон	0,88
Бронза алюминиевая	0,42
Бронза оловянистая	0,38
Бумага	1,51
Воск	2,93
Гипс	0,84—0,92
Глина	0,84—1,05
Гранит (0—100 °С)	0,8
Дерево (0—100 °С)	
дуб	2,39
ель, сосна	2,72
Железобетон	0,8
Камень	0,8
Кирпич красный	0,88
Кирпич силикатный	0,84
Константан	0,41
Латунь	0,39—0,41
Лед (–20 °С)	1,58
Лед (–10 °С)	2,22
Лед (0°С)	2,122
Лед (–40—0 °С)	2,09
Лед (из тяжелой воды)	2,22
Манганин	0,42

Продолжение таблицы 22

Вещество	c , кДж/(кг·К)
Мел	0,88
Мрамор (0 °С)	0,92
Нафталин	1,30
Нихром	0,448
Парафин	2,89
Песок (20—100 °С)	0,79
Полистирол	1,34
Полиэтилен	2,30
Пробка	2,05
Резина	2,09
Слюда	0,88
Сталь (20—200 °С)	0,46
Сталь (20—400 °С)	0,50
Стекло зеркальное (0—100 °С)	0,79
Стекло оконное (0—100 °С)	0,67
Стекло лабораторное (0-100 °С)	0,84
Текстолит	1,47
Торф	1,88
Уголь древесный (0—100 °С)	0,96
Уголь каменный (0—100 °С)	1,00
Фосфор (20—400 °С)	0,84—1,05
Шифер	0,75
Чугун (0—200 °С)	0,54
Эбонит (20—100° С)	1,38

Таблица 23. Температура плавления некоторых веществ, °С (при нормальном атмосферном давлении)

Водород	-259	Цинк	420
Кислород	-219	Алюминий	660
Азот	-210	Серебро	962
Спирт	-114	Золото	1064
Ртуть	-39	Медь	1085
Лед	0	Чугун	1200
Цезий	29	Сталь	1500
Калий	63	Железо	1539
Натрий	98	Платина	1772
Олово	232	Осмий	3045
Свинец	327	Вольфрам	3400
Янтарь	360		

Таблица 24. Температура кипения ($T_{\text{кип}}$) различных веществ при нормальном давлении

Вещество	$T_{\text{кип}}$, К
Азотная кислота безводная	359
Аммиак	239,8
Анилин	457,6
Ацетон	329,7
Бензол	546,3
Вода тяжелая	374,58
Вода	273,15
Воздух	81—78
Глицерин	563,2
Метан	111,66
Молоко цельное	373,4

Продолжение таблицы 24

Вещество	$T_{\text{кип}}, \text{K}$
Молоко сгущенное	376,4
Нафталин	491,1
Озон	161
Оксид углерода(IV)	194,67
Парафин	623—723
Сероводород	212,8
Серная кислота безводная	552,8
Серовуглерод	319,5
Скипидар	434
Спирт метиловый	337,7
Спирт этиловый	351,5
Стеарин	643
Толуол	383,8
Фреон-12	243,4
Хлорид натрия	1740
Хлористый этил	285,32
Хлороформ	334,5
Эфир этиловый	307,8

Таблица 25. Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива, Дж/кг

Порох	$0,38 \cdot 10^7$	Древесный уголь	$3,4 \cdot 10^7$
Дрова сухие	$1,0 \cdot 10^7$	Природный газ	$4,4 \cdot 10^7$
Торф	$1,4 \cdot 10^7$	Нефть	$4,4 \cdot 10^7$
Каменный уголь	$2,7 \cdot 10^7$	Бензин	$4,6 \cdot 10^7$
Спирт	$2,7 \cdot 10^7$	Керосин	$4,6 \cdot 10^7$
Антрацит	$3,0 \cdot 10^7$	Водород	$12 \cdot 10^7$

Таблица 26. Сила звука для основных значений шкалы децибел

Примеры звука указанной силы	Шкала децибел	Сила звука, мкВт/м
Предел чувствительности человеческого уха	0	10^{-6}
Шепот на расстоянии 1 м	10	10^{-5}
Шорох листьев в саду; падение капель воды на расстоянии 1 м	20	10^{-4}
Средний уровень шума в зрительном зале; негромкий разговор; звук часов	30	10^{-3}
Негромкая музыка; шум в жилом помещении	40	10^{-2}
Шум в учреждении с открытыми окнами	50	10^{-1}
Средний уровень разговорной речи на расстоянии 1 м	60	1
Шум мотора грузового автомобиля	70	10
Шум в машбюро; симфонический оркестр	80	10^2
Автомобильный гудок	90	10^3
Клепальная машина; мотоцикл; поезд; метро	100	10^4
Пневмомолот	110	10^5
Сильные удары грома; мотор самолета	120	10^6
Болевой предел. Звук уже не слышен	130	10^7
Реактивный самолет	150	10^9
Смертельный уровень звука	180	10^{12}

Таблица 27. Удельное сопротивление (ρ) веществ при температуре 0°C

Вещество	$\rho \cdot 10^8, \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Алюминий	2,5
Висмут	110
Вода (химически чистая)	10^{14}
Германий	$47 \cdot 10^8$
Графит	3000
Железо	10
Золото	2,2
Калий	6,7
Каменная соль (10% -ный раствор)	$8,25 \cdot 10^5$
Кварц	10^{26}
Кремний	$2,3 \cdot 10^{13}$
Латунь (60 % Cu — 34 % Zn)	63
Манганин (85 % Cu — 3 % Ni — 12 % Mn)	40
Марганец	258
Медь	1,8
Мышьяк	350
Платина	11
Ртуть	9,4
Свинец	20
Серебро	1,6
Серое олово	$2 \cdot 10^4$
Стекло	1017
Теллур	$1,6 \cdot 10^5$
Фарфор	10^{21}

Таблица 28. Условные обозначения элементов электрической цепи

	Гальванический элемент или аккумулятор
	Батарея элементов или аккумуляторов
	Соединение проводов
	Пересечение проводов
	Зажимы для подключения прибора
	Ключ
	Лампа накаливания
	Электрический звонок
	Резистор
	Конденсатор
	Катушка
	Нагревательный элемент
	Плавкий предохранитель
	Реостат
	Штепсельное соединение
	Кнопка
	Вольтметр
	Амперметр

Таблица 29. Показатель преломления (n) жидкостей

Жидкость	n
Анилин	1,586
Ацетон	1,359
Бензины	1,38—1,41
Бензол	1,501
Вода	1,333
Глицерин	1,474
Жидкий азот (–195 °С)	1,205
Жидкий кислород (–181 °С)	1,221
Касторовое масло	1,48
Льняное масло	1,47
Нафталин (100 °С)	1,582
Подсолнечное масло	1,47
Раствор сахара в воде (20% -ный)	1,364
Раствор сахара в воде (80% -ный)	1,490
Серная кислота	1,43
Скипидар	1,460—1,478
Соляная кислота	1,254
Спирт метиловый	1,329
Спирт этиловый	1,361
Толуол	1,497
Трансформаторное масло	1,476—1,488
Хлороформ	1,446
Эфир	1,354

Таблица 30. Относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ) веществ

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Вакуум	1	Поваренная соль	5,9
Вода	81	Сегнетова соль	10 000
Воздух (при нормальных условиях)	1,0006	Сера	4
Воск	7,8	Слюда	6—7
Германий	16	Спирт	27
Кварц	4,5	Стекло	5—10
Керосин	2,0	Фарфор	5,7—6,3
Кремний	12	Эбонит	2,6
Парафин	2,1		

Таблица 31. Показатель преломления (n) воды для различных длин волн (λ) светового излучения при температуре 20 °С

λ , нм	n	λ , нм	n
303,4	1,3581	546,1	1,3345
361,1	1,3474	589,3	1,3330
404,7	1,3428	643,8	1,3314
480,0	1,3374	656,3	1,3311
486,1	1,3371	768,2	1,3289
508,6	1,3360	1256,0	1,3210

Таблица 32. Показатель преломления (n) твердых тел при температуре 20 °С для желтой линии натрия ($\lambda = 589,3$ нм)

Вещество	n	Вещество	n
Алмаз	2,417	Рубин	1,76
Гранат	1,74—1,89	Сахар	1,56
Желатин	1,525	Слюда	1,56—1,60
Каменная соль	1,544	Стекло	
Кварц	1,544	кварцевое	1,458
Корунд	1,769	обычное	1,48—1,53
Лед (0—4°С)	1,310	оптическое	1,47—2,04
Органическое стекло	1,485—1,500	Топаз	1,63
Полистирол	1,592	Янтарь	1,532

Таблица 33. Номера нижних энергетических уровней, при переходе на которые (с верхних уровней) излучаются соответствующие серии

Номер нижнего уровня	Название серии (по фамилии ученого) и год ее открытия	Область спектра излучения
1	Лаймана, 1916	Ультрафиолетовая
2	Бальмера, 1885	Видимая
3	Пашена, 1908	Инфракрасная
4	Брэкета, 1922	Инфракрасная
5	Пфунда, 1924	Инфракрасная

Таблица 34. Характеристики наиболее долгоживущих радиоактивных изотопов

Элемент	A	Период полураспада
Водород	3	12,262 года
Литий	8	0,84 сут
Бериллий	7	53,6 сут
Углерод	10	$2,5 \cdot 10^6$ лет
	11	20,34 мин
	14	5730 лет
Азот	13	9,96 мин
Кислород	15	123 с
Фтор	18	109,7 мин
Неон	24	3,38 мин
Натрий	22	2,62 года
	24	15 ч
Магний	28	21,2 ч
Алюминий	26	$7,4 \cdot 10^5$ лет
	29	6,6 мин
	32	650 лет
Кремний	31	2,62 ч
	33	24,4 сут
	32	14,28 сут
Сера	35	87,9 сут
Хлор	36	$3,08 \cdot 10^5$ лет
	38	37,3 мин
	39	269 лет
Аргон	37	34,5 сут
	41	110 мин
	40	$1,26 \cdot 10^9$ лет
Калий	42	12,5 ч
	41	$8 \cdot 10^4$ лет
Кальций	41	$8 \cdot 10^4$ лет
	45	165 сут

Продолжение таблицы 34

Элемент	А	Период полураспада
Скандий	46	83,9 сут
Титан	44	48 лет
	45	3,1 ч
Ванадий	50	$6 \cdot 10^{15}$ лет
	48	16,2 сут
Хром	51	27,8 сут
Марганец	53	$1,9 \cdot 10^6$ лет
	54	303 сут
	57	1,7 мин
Железо	55	2,6 года
	59	45 сут
Кобальт	57	270 сут
	60	5,3 года
Никель	59	$8 \cdot 10^4$ лет
	63	92 года
Медь	64	12,8 ч
Цинк	65	245 сут
Германий	71	11 сут
Селен	79	$6,5 \cdot 10^4$ лет
	75	120,4 сут
Бром	82	36 ч
Криптон	81	$2,1 \cdot 10^5$ лет
	79	34,9 ч
Рубидий	87	$4,8 \cdot 10^{10}$ лет
	86	18,7 сут
Стронций	90	27,7 лет
Молибден	99	67 ч
Палладий	107	$7 \cdot 10^6$ лет
	103	17 сут
Серебро	110	24 с
Кадмий	115	2,3 сут

Продолжение таблицы 34

Элемент	А	Период полураспада
Индий	114	72 с
Олово	126	10^5 лет
	113	115 сут
Сурьма	125	2,71 года
Иод	129	$1,7 \cdot 10^7$ лет
	131	8,04 сут
Ксенон	133	5,27 сут
Цезий	135	$3 \cdot 10^6$ лет
	137	30 лет
Барий	133	7,2 года
Тантал	182	115 сут
Вольфрам	185	73 сут
Рений	187	$4,3 \cdot 10^{10}$ лет
	186	3,7 сут
Осмий	193	31 ч
Иридий	192	74,4 сут
Платина	197	20 ч
Золото	198	2,7 сут
Ртуть	203	47 сут
Свинец	205	$3 \cdot 10^7$ лет
	209	3,3 ч
Висмут	208	$3,7 \cdot 10^5$ лет

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

МЕХАНИКА

1. Механическое движение	5
Система отсчета и относительность движения.	
Границы применимости классической механики	5
2. Кинематика.	7
Понятие кинематики. Материальная точка.	
Путь, перемещение.	7
Виды механического движения	8
Прямолинейное движение	8
Равномерное прямолинейное движение. Скорость.	9
Неравномерное прямолинейное движение	10
Равноускоренное прямолинейное движение. Ускорение	11
Свободное падение тел.	13
Движение вертикально брошенного тела	13
Непрямолинейное движение	13
Движение тела, брошенного под углом к горизонту	14
Равномерное движение тела по окружности.	15
Центростремительное ускорение.	16
3. Динамика	17
Основные понятия динамики.	17
Инерция. Масса	17
Взаимодействие тел. Сила. Законы динамики	18
Законы Ньютона.	18
Сложение сил.	19
Принцип относительности Галилея.	20
Примеры сил в механике	21

Сила тяжести. Всемирное тяготение	22
Закон всемирного тяготения. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира	22
Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований	23
Вес тела. Невесомость. Свободное падение	24
Сила упругости	25
Деформация	25
Закон Гука	26
Сила трения	27
Импульс. Закон сохранения импульса.	
Реактивное движение	28
Работа	28
Энергия. Закон сохранения энергии	30
Мощность. КПД. Простые механизмы	31
4. Статика	33
Равновесие тел	33
Гидростатика и аэростатика	35
Основные понятия. Давление. Атмосферное давление. Закон Паскаля	35
Закон Архимеда. Условия плавания тел	37
Гидравлические машины	38
5. Колебания и волны	39
Механические колебания	39
Гармонические колебания	40
Примеры механических колебаний	40
Резонанс. Автоколебания	41
Механические волны	42
Звуковые волны	43
6. Предсказательная сила законов классической механики	44

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1. Молекулярно-кинетическая теория	45
Что такое молекулярно-кинетическая теория (МКТ)	45
Атомы и молекулы	45
Тепловое движение	45
Основные положения и обоснования МКТ	46
Газы, жидкости и твердые тела в МКТ	47
Модель идеального газа	48
Единицы измерения физических величин в молекулярной физике	49

2. Тепловые свойства тел	51
Тепловое равновесие. Температура	51
Температура и движение молекул	53
Давление. Основное уравнение молекулярно- кинетической теории	54
Уравнение состояния идеального газа.	55
3. Основы термодинамики	55
Основные понятия термодинамики.	55
Газ в термодинамике	56
Термодинамические процессы	57
Внутренняя энергия. Работа	58
Количество теплоты. Удельная теплоемкость.	59
4. Жидкости и твердые тела	61
Жидкость в термодинамике.	61
Поверхностное натяжение жидкостей. Смачивание поверхностей	62
Твердое тело в термодинамике.	64
Плавление и кристаллизация. Тепловые свойства твердых тел	64
Тепловое расширение	65
Механические свойства твердых тел.	66
5. Тепловые машины	67
Понятие о тепловых машинах	67
Второе начало термодинамики	67
Кoeffициент полезного действия.	68
Общий принцип действия тепловых машин.	68
Цикл Карно	69
Цикл Отто, Дизеля, Брайтона	70
Паровые двигатели и турбины	72
Реактивные двигатели.	73
Экологические проблемы современной энергетики	73

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

1. Заряды и поля.	74
2. Электростатика	75
Электрический заряд	75
Понятие электрического заряда	75
Элементарный заряд.	76
Закон сохранения электрического заряда	77
Действие электрического поля на электрические заряды	77
Закон Кулона.	77
Напряженность электрического поля	78

Линии напряженности электрического поля (силовые линии)	79
Поля различных систем зарядов	80
Энергия и потенциал электрического поля. Работа сил электрического поля	82
Проводники, диэлектрики и полупроводники	84
Проводники	84
Диэлектрики	86
Виды диэлектриков	86
Влияние электрического поля на диэлектрик	87
Понятие о полупроводниках	88
Конденсаторы	88
Емкость	88
Соединение конденсаторов	90
3. Электрический ток	92
Постоянный электрический ток. Сила тока. Напряжение	92
Источники постоянного тока	94
Законы постоянного тока	95
Последовательное и параллельное соединения проводников	96
Работа и мощность тока. Закон Джоуля – Ленца	97
Электрический ток в различных средах	98
Электрический ток в металлах	98
Электрический ток в электролитах	99
Электрический ток в газах	100
Полупроводники	102
Типы полупроводников	102
Электронно-дырочный переход ($p-n$ -переход)	103
4. Магнетизм	104
Магнитное поле. Постоянные магниты.	
Электричество и магнетизм	104
Магнетизм вокруг нас	105
Магнитное поле	106
Вектор магнитной индукции	106
Магнитные поля простейших систем токов	108
Сила Ампера	109
Взаимодействие двух проводников с током	110
Сила Лоренца	111
Вещество в магнитном поле	112
Электромагнитная индукция	113
Опыты Фарадея. Основные понятия	113
Правило Ленца	113
Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея)	114
Самоиндукция и индуктивность	115
Электродвигатель. Электрогенератор. Переменный ток. Трансформатор	115

5. Колебания и волны	118
Колебательный контур. Электромагнитные колебания	118
Процессы в колебательном контуре	119
Сохранение энергии в колебательном контуре	120
Колебания тока и напряжений в контуре	120
Переменный электрический ток.	121
Электрическая цепь переменного тока	121
Электромагнитные волны	124
Принципы радиосвязи и телевидения	125
6. Оптика	127
Основные понятия геометрической оптики	127
Законы геометрической оптики	127
Оптическая плотность среды	128
Полное отражение	129
Волоконная оптика.	129
Построение оптических изображений	130
Линза	132
Построение изображений в линзе	134
Оптические приборы. Глаз как оптическая система	137
Волновая оптика	139
Основные понятия волновой оптики	139
Дифракция света	141
Дисперсия света	142
Поляризация света	142
Спектры	144
Влияние электромагнитных излучений на живые организмы	144

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

1. Постулаты СТО	146
2. Следствия постулатов СТО	147
3. Релятивистская динамика.	148

КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1. Квантовый характер электромагнитных волн	149
Световые кванты	149
Фотозффект.	150
Законы фотозффекта.	150
Уравнение Эйнштейна для фотозффекта	150
Давление света.	151
Химическое действие света	151

2. Строение атома	152
Опыты Резерфорда	152
Постулаты Бора	153
Строение ядра	154
Протоны и нейтроны.	154
Изотопы	155
Радиоактивность	155
Закон радиоактивного распада.	157
Экспериментальные методы регистрации заряженных частиц	157
Биологическое действие радиоактивных излучений	158
Ядерные реакции	159
Энергия связи атомных ядер	159
Элементарные частицы	161

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Основные единицы Международной системы (СИ)	162
Таблица 2. Дополнительные единицы СИ	163
Таблица 3. Производные единицы СИ	163
Таблица 4. Внесистемные единицы, допускаемые к применению в специальных областях	167
Таблица 5. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц	168
Таблица 6. Основные физические постоянные	169
Таблица 7. Значение некоторых фундаментальных постоянных в других единицах	172
Таблица 8. Шкала электромагнитных излучений	172
Таблица 9. Плотности некоторых твердых тел (при норм. атм. давл., $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	174
Таблица 10. Плотности некоторых жидкостей (при норм. атм. давл., $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	175
Таблица 11. Плотности некоторых газов (при норм. атм. давл., $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	175
Таблица 12. Массы (m) некоторых атомов и молекул	176
Таблица 13. Частоты колебаний в звуках различных музыкальных инструментов (Гц)	177
Таблица 14. Диапазоны частот, соответствующие голосам певцов и певиц (Гц)	177
Таблица 15. Скорость звука в различных средах, м/с (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	177
Таблица 16. Температурный коэффициент линейного расширения ($\alpha \cdot 10^6, \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) металлов и сплавов	178
Таблица 17. Температурный коэффициент линейного расширения (α) некоторых твердых веществ	179

Таблица 18. Температурный коэффициент объемного расширения (β) некоторых жидкостей	181
Таблица 19. Удельная теплоемкость (c) газов при температуре 20 °С и нормальном давлении	182
Таблица 20. Удельная теплоемкость (c) некоторых жидкостей	183
Таблица 21. Удельная теплоемкость (c) некоторых химических элементов	184
Таблица 22. Удельная теплоемкость (c) некоторых твердых веществ при температуре 20 °С	185
Таблица 23. Температура плавления некоторых веществ, °С (при нормальном атмосферном давлении)	187
Таблица 24. Температура кипения ($T_{\text{кип}}$) различных веществ при нормальном давлении.	187
Таблица 25. Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива, Дж/кг.	188
Таблица 26. Сила звука для основных значений шкалы децибел.	189
Таблица 27. Удельное сопротивление (ρ) веществ при температуре 0°С.	190
Таблица 28. Условные обозначения элементов электрической цепи	191
Таблица 29. Показатель преломления (n) жидкостей	192
Таблица 30. Относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ) веществ.	193
Таблица 31. Показатель преломления (n) воды для различных длин волн (λ) светового излучения при температуре 20 °С	193
Таблица 32. Показатель преломления (n) твердых тел при температуре 20 °С для желтой линии натрия ($\lambda = 589,3$ нм)	194
Таблица 33. Номера нижних энергетических уровней, при переходе на которые (с верхних уровней) излучаются соответствующие серии	194
Таблица 34. Характеристики наиболее долгоживущих радиоактивных изотопов.	195

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Справочное издание
анықтамалық баспа

Для старшего школьного возраста
мектеп жасындағы ересек балаларға арналған

НАГЛЯДНО И ДОСТУПНО

Немченко Константин Эдуардович
ФИЗИКА В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ
(орыс тілінде)

Ответственный редактор А. Жилинская
Художественный редактор А. Кашлев

ООО «Издательство «Эксмо»
123308, Москва, ул. Зорге, д. 1. Тел. 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Өндіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы, 123308, Мәскеу, Ресей, Зорге көшесі, 1 үй.
Тел. 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.

Тауар белгісі: «Эксмо»

Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша
арыз-талаптарды қабылдаушының

өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қ., Домбровский көш., 3-а», литер Б, офис 1.
Тел.: 8(727) 2 51 59 89,90,91,92, факс: 8 (727) 251 58 12 вн. 107; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Сертификация туралы ақпарат: сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ
о техническом регулировании можно получить по адресу: <http://eksmo.ru/certification/>

Өндірген мемлекет: Ресей
Сертификация қарастырылған

Формат 60x90^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,0.
Тираж экз. Заказ



ISBN 978-5-699-92784-5



9 785699 927845 >

Оптовая торговля книгами «Эксмо»:
ООО «ТД «Эксмо». 142700, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное,
Белокаменное ш., д. 1, многоканальный тел. 411-50-74.
E-mail: reception@eksmo-sale.ru

По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми
покупателями *обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»*
E-mail: international@eksmo-sale.ru

*International Sales: International wholesale customers should contact
Foreign Sales Department of Trading House «Eksmo» for their orders.*
international@eksmo-sale.ru

По вопросам заказа книг корпоративным клиентам, в том числе в специальном
оформлении, *обращаться по тел. +7 (495) 411-68-59, доб. 2261.*
E-mail: ivanova.ey@eksmo.ru

Оптовая торговля бумажно-беловыми
и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:
Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел./факс +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: kanc@eksmo-sale.ru, сайт: www.kanc-eksmo.ru

В Санкт-Петербурге: в магазине «Парк Культуры и Чтения БУКВОЕД», Невский пр-т, д.46.
Тел.: +7(812)601-0-601, www.bookvoed.ru

Полный ассортимент книг издательства «Эксмо» для оптовых покупателей:

В Санкт-Петербурге: ООО СЗКО, пр-т Обуховской Обороны, д. 84Е. Тел. (812) 365-46-03/04.

В Нижнем Новгороде: Филиал ООО ТД «Эксмо» в г. Н. Новгороде, 603094, г. Нижний Новгород, ул.
Карпинского, д. 29, бизнес-парк «Грин Плаза». Тел. (831) 216-15-91 (92, 93, 94).

В Ростове-на-Дону: Филиал ООО «Издательство «Эксмо»,
344023, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, 44 А. Тел.: (863) 303-62-10. E-mail: info@rnd.eksmo.ru

В Самаре: ООО «РДЦ-Самара», пр-т Кирова, д. 75/1, литера «Е». Тел. (846) 207-55-56.

В Екатеринбурге: Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Екатеринбурге,
ул. Прибалтийская, д. 24а. Тел. +7 (343) 272-72-01/02/03/04/05/06/07/08.

В Новосибирске: ООО «РДЦ-Новосибирск», Комбинатский пер., д. 3.

Тел. +7 (383) 289-91-42. E-mail: eksmo-nsk@yandex.ru

В Киеве: ООО «Форс Украина», 04073, Московский пр-т, д.9. Тел.: +38 (044) 290-99-44.

E-mail: sales@forsukraine.com

В Казахстане: ТОО «РДЦ-Алматы», ул. Домбровского, д. 3а.

Тел./факс (727) 251-59-90/91. rdc-almaty@mail.ru

Полный ассортимент продукции издательства «Эксмо»

можно приобрести в магазинах «Новый книжный» и «Читай-город».

Телефон единой справочной: 8 (800) 444-8-444. Звонок по России бесплатный.

Интернет-магазин ООО «Издательство «Эксмо»

www.fiction.eksmo.ru

Розничная продажа книг с доставкой по всему миру.

Тел.: +7 (495) 745-89-14. E-mail: imarket@eksmo-sale.ru



ISBN 978-5-699-92784-5



9 785699 927845 >



www.facebook.com/eksmodetstvo

ЭФФЕКТИВНАЯ ПОДГОТОВКА

к уроку
к экзамену

Курс физики в схемах и таблицах подготовлен в полном соответствии с современными требованиями школьной программы и представляет собой учебное пособие, в котором в сжатой, концентрированной форме даются основные сведения по физике.

- ✓ Необходимый объем информации по физике
- ✓ Структура текстов, удобная для запоминания
- ✓ Ключевые термины и понятия, законы
- ✓ Иллюстративные материалы, таблицы, схемы

Эта книга поможет:

- эффективно подготовиться к единому государственному экзамену;
- быстро повторить школьный курс физики;
- сэкономить свое время и силы.

в схемах и таблицах

ФИЗИКА