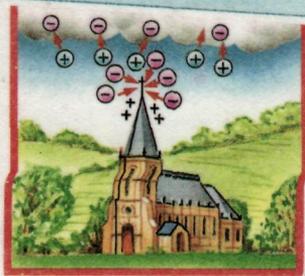
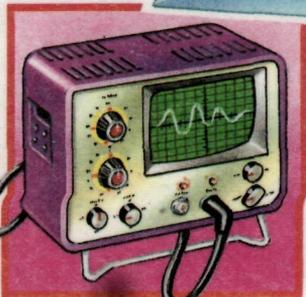
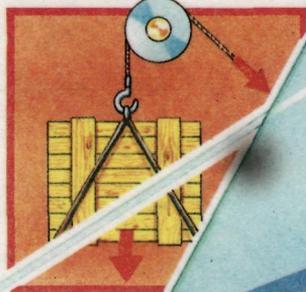
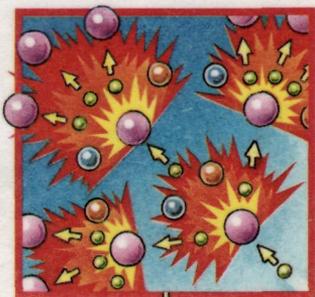


ФИЗИКА

ШКОЛЬНЫЙ ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ
СПРАВОЧНИК



«РОСМЭН»

Содержание

Механика и общая физика	68	Гальванические элементы и батареи
4 Атомы и молекулы	70	Магниты
6 Силы	72	Магнитные поля
8 Энергия	74	Электромагнетизм
10 Движение	77	Электроизмерительные приборы
12 Динамика	78	Электромагнитная индукция
14 Вращающие силы	80	Электронные пучки
16 Периодическое движение		Атомная и ядерная физика
18 Гравитация	82	Строение атома
20 Механизмы	84	Атомная и ядерная энергия
22 Молекулярные свойства	86	Радиоактивность
24 Плотность	88	Обнаружение и измерение радиоактивности
Теплота	91	Применение радиоактивности
26 Температура	92	Деление и синтез ядер
28 Теплопередача	94	Ядерная энергетика
30 Теплопередача и фазовые переходы		Общие сведения
32 Расширение тел при нагревании	96	Величины и единицы измерения
33 Поведение газов	98	Уравнения, символы и графики
Волны	100	Измерения
34 Волны	102	Точность и погрешности
36 Отражение, преломление и дифракция	104	Поля и силы
38 Интерференция волн	108	Векторы и скаляры
40 Звуковые волны	109	Запись чисел
42 Восприятие звука	110	Обозначения на электрических схемах
44 Электромагнитные волны	112	Химические элементы. Константы
46 Свет. Отражение света	114	Физические свойства веществ
50 Преломление света	115	Словарь
54 Оптические приборы	116	Алфавитный указатель
Электричество и магнетизм		
56 Статическое электричество		
58 Потенциал и емкость		
60 Электрический ток		
62 Управление током		
65 Полупроводники		
66 Электролиз		

First published in 1988 by Usborne Publishing Ltd. Usborne House
83-85 Saffron Hill, London EC1N 8RT,
England

© Copyright 1988 Usborne Publishing Ltd.

Все права на книгу на русском языке принадлежат издательству «РОСМЭН». Ничто из нее не может быть перепечатано, заложено в компьютерную память или скопировано в любой форме — электронной, механической, фотокопии, магнитофонной записи или какой-то другой — без письменного разрешения владельца.

Об этой книге

Физика — наука, изучающая свойства материи, различные виды энергии и то, как они влияют на окружающий нас мир. Книга делится на шесть основных разделов, отмеченных цветами:

Синий

Механика и общая физика — силы, энергия и свойства веществ.

Желтый

Тепловая энергия, ее действие; как она измеряется и передается.

Красный

Волновое движение, свойства волн и их энергия, конкретные виды волн.

Зеленый

Статическое электричество и электрический ток, магниты и магнетизм.

Розовый

Строение атомов и атомных ядер, их свойства и энергия. Радиоактивность, деление и синтез ядер.

Черно-белый

Чертежи и таблицы, относящиеся к затронутым в книге темам. Сведения об обработке экспериментальных результатов.

Как пользоваться этой книгой

Эту книгу можно использовать как словарь или справочник. Определения расположены тематически: все слова, связанные с какой-либо темой, группируются вместе, обычно на развороте. Темы перечислены в содержании на с. 2. Указатель на с. 116—128 образует справочный раздел. Это алфавитный перечень всех определений в книге; в нем указаны номера страниц как для главных, так и для дополнительных понятий. Подробнее о пользовании указателем см. с. 116.

Пояснения

1. Перед каждым основным определением стоит черный кружок, а определяемое слово набрано жирным шрифтом, напр.:

• **Упругость.**

2. Все синонимы следуют сразу за основным термином, напр.:

• **Экранирование, или защита** (только один синоним).

• **Относительная атомная масса.** Другие названия — **атомная масса и атомный вес** (несколько синонимов).

3. Многие другие слова также напечатаны жирным шрифтом. Они

определяются сразу или в другом месте того же раздела.

4. Если слово набрано жирным шрифтом и отмечено звездочкой (*), то его определение имеется в другом месте книги, а само слово отмечено в сноске (внизу на той же странице).

5. Типичный пример сноски:

Инclinатор, 73 (Наклонение); Ядро, 82; Диполь, Индуцированный магнетизм, 71.

а) Определение **инclinатора** можно найти в тексте темы **Наклонение** на с. 73.

б) Определение понятия **Ядро** можно найти на с. 82.

АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ

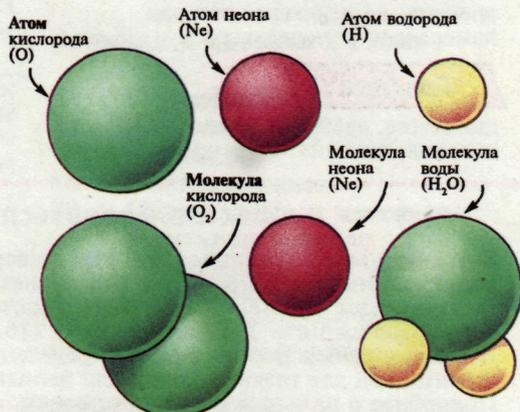
Еще древние греки полагали, что материя состоит из мельчайших частиц, которые они называли атомами. Впоследствии эта идея получила развитие, и были разработаны теории — в частности **кинетическая теория**, — с помощью которых можно гораздо подробнее объяснить физическую природу и поведение веществ. Вещество может существовать в трех различных **агрегатных** (как иногда говорят, **фазовых**) состояниях. Состояние вещества зависит от его природы, а также от температуры и давления, при которых оно находится. Переходы между состояниями вызываются изменением давления или температуры (подробности см. на с. 30, **Изменения агрегатного состояния**).

- **Атом.** Мельчайшая частица элемента, являющаяся носителем его химических свойств. Внутреннее строение атома объясняется на с. 82—83. Атомы чрезвычайно малы, их радиус порядка 10^{-10} м, а масса — порядка 10^{-25} кг. Они могут образовывать **ионы*** (электрически заряженные частицы), теряя или приобретая **электроны*** (см. **Ионизация**, с. 88).

- **Молекула.** Мельчайшая частица вещества. Молекулы могут состоять из любого числа атомов, от одного (напр., неон) до многих тысяч (напр., белки), которые удерживаются вместе **электромагнитными силами***. Все молекулы чистого вещества одинаковы, т. е. содержат одни и те же комбинации атомов.

- **Элемент.** Вещество, образованное атомами с одним и тем же числом **протонов*** в ядре*. Все атомы данного элемента имеют одинаковое число протонов (см. **Атомный номер**, с. 82).

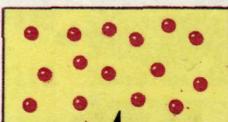
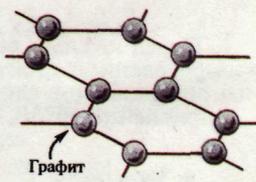
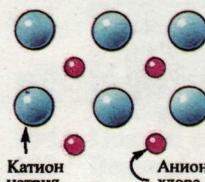
- **Соединение.** Вещество, которое можно разложить на более простые вещества. **Молекулы** соединения содержат **атомы** двух и более элементов, химически связанных друг с другом. В смеси нет химической связи; следовательно, это не соединение.



Заметьте, что многие вещества состоят не из молекул:

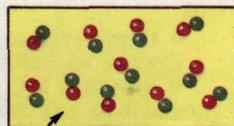
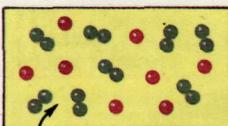
Ионное соединение анионов* и катионов* ▼

Атомная решетка атомов, связанных друг с другом ▼



Элемент 1

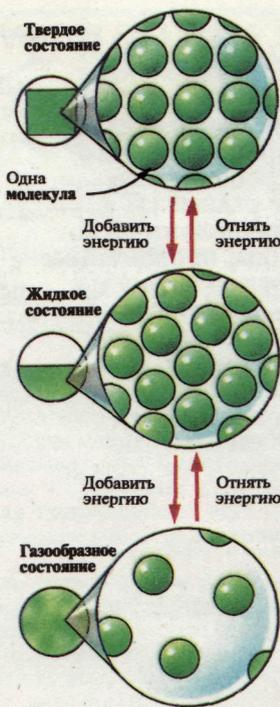
Элемент 2



Смесь элементов 1 и 2 — нет химической связи

Соединение элементов 1 и 2 — элементы связаны друг с другом

- **Твердое состояние. Агрегатное состояние**, в котором вещество имеет определенный объем и форму и сопротивляется силам, старающимся их изменить.
- **Жидкое состояние. Агрегатное состояние**, в котором вещество течет и принимает форму содержащего его сосуда. Промежуточное состояние между твердым и газообразным.
- **Газообразное состояние. Агрегатное состояние**, в котором вещество занимает весь предоставленный ему объем. У веществ в этом состоянии сравнительно низкая плотность.
- **Критическая температура.** Температура, выше которой вещество не существует в жидком состоянии.
- **Пар.** Вещество в газообразном состоянии при температуре ниже критической.



Молекулы колеблются около среднего положения, обладая молекулярной потенциальной энергией* и колебательной кинетической энергией*.

Средняя внутренняя энергия* молекулы недостаточна, чтобы оторвать ее от остальных.

Добавленная энергия разрушает правильную структуру — молекулы могут двигаться и, таким образом, имеют также кинетическую энергию поступательного и вращательного движения*.

Средняя внутренняя энергия* молекулы как раз достаточна, чтобы оторваться от соседних и быть захваченной следующей.

Расстояния между молекулами очень велики, они движутся фактически независимо друг от друга — можно пренебречь межмолекулярными силами*.

Средняя внутренняя энергия молекулы значительно больше той, которая ей нужна, чтобы оторваться от остальных.

Кинетическая теория

Кинетическая теория — модель, объясняющая свойства материи на основе представлений о движении молекул и связанной с этим движением энергии (см. Внутренняя энергия, с. 9). Броуновское движение и диффузия иллюстрируют движение молекул (см. ниже).

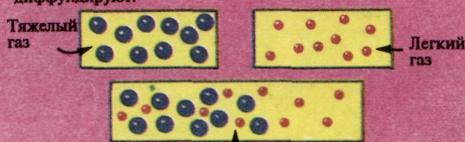
- **Броуновское движение.** Наблюдаемое хаотическое движение малых частиц, например цветочной пыльцы, в воде или в воздухе. Происходит вследствие невидимого воздействия молекул воды или воздуха на более крупные частицы.



Броуновское движение частицы дыма под ударами молекул воздуха.

- **Средний свободный пробег.** Среднее расстояние, проходимое частицей вещества в газообразном состоянии между двумя последовательными столкновениями.

- **Диффузия.** Смешение двух веществ в газообразном или жидком состоянии вследствие случайного движения их молекул. Легкие молекулы движутся быстрее, чем тяжелые, и поэтому диффундируют быстрее. С течением времени молекулы двух газов взаимно диффундируют.



Легкий газ диффундирует быстрее, чем тяжелый

- **Закон диффузии Грэма.** Утверждает, что при постоянной температуре и давлении скорость диффузии газа обратно пропорциональна квадратному корню из плотности.

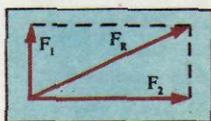
$$\text{Скорость диффузии} \propto \frac{1}{\sqrt{\text{плотность газа}}}$$

* Внутренняя энергия, 9; Кинетическая энергия вращательного, колебательного и поступательного движения, 9 (Кинетическая энергия); Межмолекулярная сила, 7; Потенциальная энергия молекул, 8.

Силы

Сила влияет на форму и движение тела. Если к телу приложена всего одна сила, то она изменяет его скорость (т. е. сообщает телу **ускорение***). Две равные по модулю и противоположные по направлению силы, приложенные к телу, изменяют его форму и размеры. Сила — **векторная величина***: она имеет модуль и направление; измеряется сила в **ньютонах**. Основные типы сил — **гравитационные, магнитные, электрические и ядерные**. На с.104—105 сравниваются первые три типа сил.

Силы изображаются направленными отрезками (длина показывает величину, стрелка — направление).



F_1 и F_2 действуют так же, как F_R (резльтирующая сила). F_1 и F_2 — составляющие (компоненты) F_R .

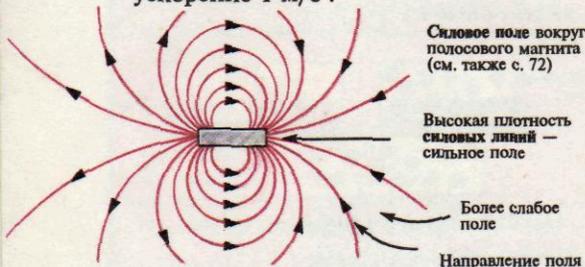
Составляющая, параллельная склону



Сила P разложена на две составляющие (компоненты)

Составляющая, перпендикулярная склону

- **Ньютон (Н)**. Единица СИ* силы. Один ньютон — сила, необходимая, чтобы сообщить массе в 1 кг ускорение 1 м/с^2 .



Силовое поле вокруг полосового магнита (см. также с. 72)

Высокая плотность силовых линий — сильное поле

Более слабое поле

Направление поля

- **Силовое поле**. Область, в которой действует сила. Максимальное расстояние, на котором действует сила, называют **дальностью действия** силы. Силовые поля изображают линиями со стрелками, чтобы показать величину силы и ее направление (см. также с. 58 и 72).



Гравитационная сила притяжения между ракетой и Землей велика

Гравитационная сила притяжения между ракетами очень мала

- **Гравитационная сила, или сила тяготения**. Сила притяжения между двумя объектами, имеющими массу (см. также с. 18—19). Она очень мала, за исключением случаев, когда хотя бы одно из тел имеет очень большую массу.



Электрическая сила отталкивания

Электрическая сила притяжения

- **Электрическая, или электростатическая, сила**. Сила, действующая между двумя электрически заряженными частицами (см. также с. 56). Это сила отталкивания для одноименных зарядов и сила притяжения для разноименных.

- **Электромагнитная сила**. Комбинация тесно связанных **электрических и магнитных сил**, которые трудно разделить.

- **Магнитная сила**. Сила, действующая между двумя движущимися зарядами, которые могут быть **электрическими токами** (см. также с. 70) либо **электронами***, движущимися на своих **электронных оболочках***.



Параллельные проводники с током*

Ток идет в одинаковых направлениях

Магнитная сила притяжения

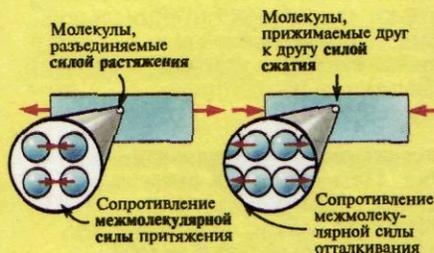
Ток идет в противоположных направлениях

Магнитная сила отталкивания

- **Межмолекулярная сила.** Электромагнитная сила, действующая между двумя молекулами. Ее величина и направление зависят от расстояния между молекулами (см. рисунок справа).



- **Сила растяжения.** Равные по величине и противоположные по направлению силы, которые, будучи приложены к концам тела, увеличивают его длину. Им сопротивляются межмолекулярные силы.



- **Сила сжатия.** Равные по величине и противоположные по направлению силы, которые, если их приложить к концам тела, уменьшают его длину. Им противостоят межмолекулярные силы.



- **Контактная сила.** Межмолекулярная сила отталкивания, возникающая между молекулами двух тел при соприкосновении.

- **Ядерные силы.** Силы притяжения между всеми частицами ядра атома (протонами* и нейтронами*). Не позволяют электрическим силам отталкивания между протонами разрушить ядро (см. также с. 84).

- **Сила трения, или трение.** Сила, препятствующая движению двух соприкасающихся поверхностей относительно друг друга. Вызвана межмолекулярными силами, действующими между молекулами двух поверхностей. Сила трения бывает двух типов — динамическая и сила трения покоя.

- **Сила трения покоя.** Максимальное значение силы трения между двумя поверхностями. Действует непосредственно перед началом скольжения.

- **Динамическая сила трения, или сила трения скольжения.** Значение силы трения при скольжении одной поверхности по другой при постоянной скорости. Она немного меньше, чем сила трения покоя.

Сила трения, действующая на неподвижный предмет, уравнивает приложенную силу.

Когда предмет на грани начала движения, действует сила трения покоя.

Когда предмет движется с постоянной скоростью, сопротивление оказывает динамическая сила трения.



Соприкосновение в выступающих точках (высота всего в несколько атомов). Сцепление атомов поверхности создает микроспайки.

$$\mu = \frac{\text{сила трения (F)}}{\text{прижимающая сила (R)}}$$

- **Коэффициент трения (μ).** Отношение силы трения между двумя поверхностями к силе, прижимающей их друг к другу. Различают коэффициенты статического и динамического трения.

Энергия

Когда тело движется под действием силы, совершается **работа**. **Энергия** — способность совершать работу. Когда телом или над телом совершается работа, оно теряет или, соответственно, приобретает энергию. Энергия существует во многих различных формах и может переходить из одной в другую (**превращение энергии**), но не может быть ни создана, ни уничтожена (**закон сохранения энергии**). Единица СИ* энергии — джоуль (Дж).



Составляющая веса P в направлении движения — F

Составляющая, перпендикулярная движению

Совершенная работа $= F \times d$,
где F — сила;
 d — путь.

Над автомобилем совершается работа — энергия увеличивается.

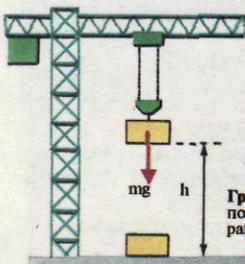
Работу совершает человек — его энергия уменьшается.



• Потенциальная энергия (П.Э.).

Энергия, которой тело обладает в силу своего положения в **силовом поле***, так как для того, чтобы оно оказалось в этом положении, была совершена работа. Таким образом,

энергия была «запасена», «накоплена». Различают три формы потенциальной энергии — **гравитационную, электромагнитную и ядерную** (в зависимости от природы действующей силы).



Увеличение гравитационной П.Э. = совершенная работа $= mgh$,
где m — масса;
 g — ускорение силы тяжести*; h — высота (разность уровней) подъема.

Гравитационная П.Э. на поверхности Земли принята равной нулю.

• Гравитационная потенциальная энергия.

Потенциальная энергия, связанная с положением тела относительно массы, действующей на него с **гравитационной силой***. Если тело удаляют от этой массы (напр., поднимают над Землей), то над телом совершается работа, и его гравитационная потенциальная энергия увеличивается.

• **Электромагнитная потенциальная энергия.** Потенциальная энергия как следствие положения тела в

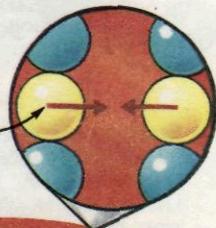
силовом поле*, созданном электромагнитной силой*.

• **Упругая энергия.** Пример молекулярной потенциальной энергии, накопленной в результате растяжения или сжатия тела. Это — работа, совершенная против межмолекулярной силы*.

Накопление упругой энергии при изгибе стержня.

Сила растяжения* сверху

Притяжение частиц (см. Межмолекулярная сила, с. 7). Накапливается молекулярная потенциальная энергия.



• **Молекулярная потенциальная энергия.** Электромагнитная потенциальная энергия взаимного расположения молекул. Она возрастает, когда совершается работа против межмолекулярной силы*.



Взаимное отталкивание частиц (см. Межмолекулярная сила, с. 7). Создается запас молекулярной потенциальной энергии.

• **Химическая энергия.** Энергия, запасенная в веществах, таких, как горючее, пища или химические компоненты электрических батарей. Она освобождается при химических реакциях, например в виде тепла при

сгорании топлива, когда изменяется электромагнитная потенциальная энергия атомов и молекул.

- **Ядерная потенциальная энергия.** Потенциальная энергия, запасенная в атомном ядре*. Высвобождается при радиоактивном распаде*.

Механическая энергия маятника постоянна (если пренебречь силами сопротивления).

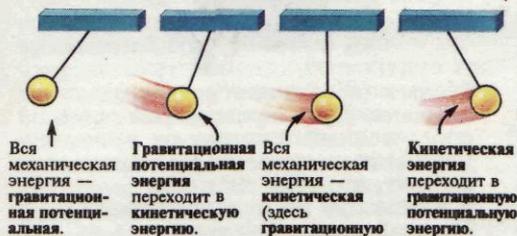
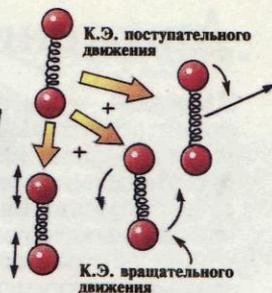
- **Кинетическая энергия (К.Э.).** Энергия, связанная с движением. Существует в форме энергии поступательного, вращательного и колебательного движения.

▶ Кинетическая энергия двух тел, соединенных пружиной

$$K. \text{Э.} = \frac{1}{2} m v^2,$$

где m — масса;
 v — скорость.

К.Э. колебательного движения

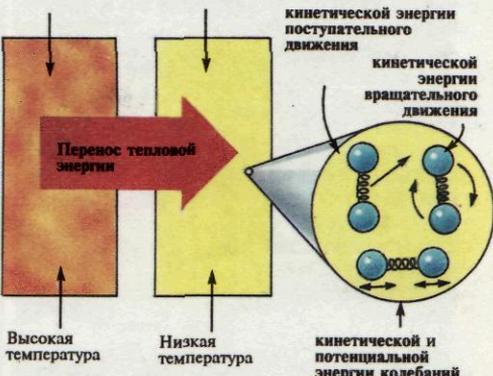


Вся механическая энергия — гравитационная потенциальная. Гравитационная потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию. Вся механическая энергия — кинетическая (здесь гравитационную потенциальную энергию приняли нулевой). Кинетическая энергия переходит в гравитационную потенциальную энергию.

- **Механическая энергия.** Сумма кинетической энергии и гравитационной потенциальной энергии тела.

- **Внутренняя энергия.** Сумма кинетической и молекулярной потенциальной энергии всех молекул тела. Если температура тела возрастает, возрастает и его внутренняя энергия.

Внутренняя энергия убывает Внутренняя энергия возрастает Внутренняя энергия состоит из молекулярной:



Внутренняя энергия убывает Внутренняя энергия возрастает Внутренняя энергия состоит из молекулярной: кинетической энергии поступательного движения, кинетической энергии вращательного движения, кинетической и потенциальной энергии колебаний

- **Тепловая энергия, или теплота.** Энергия, переносимая в пространстве вследствие разности температур (см. с. 28—33). Когда тепловая энергия поглощается телом, возрастает его внутренняя энергия.

- **Волновая энергия.** Энергия, переносимая волнами. Например, энергия волны на воде состоит из гравитационной потенциальной энергии и кинетической энергии молекул воды.

- **Электрическая и магнитная энергия.** Типы энергии, связанные с электрическим зарядом, в том числе движущимся (электрическим током). Собирательное название — электромагнитная энергия.

- **Излучение.** Энергия электромагнитных волн* или потоков частиц. См. также с. 28 и 86—87.

- **Мощность.** Скорость совершения работы или скорость изменения энергии. Единица СИ* мощности — ватт (Вт), равный 1 джоулю в секунду.



* Единицы СИ, 96; Радиоактивный распад, 87; Электромагнитные волны, 44; Ядро, 82.

Движение

Движение — изменение положения и ориентации тела. Движение **твёрдого тела** (тела неизменной формы) состоит из **поступательного движения**, или трансляции, т. е. перемещения его центра масс, и **вращательного движения**, т. е. движения вокруг центра масс. Изучением движения занимается **кинематика**.



Прямолинейное движение

Прямолинейное движение — движение по прямой линии; это простейшая разновидность **поступательного движения** (см. введение). Прямолинейное движение описывается как движение **центра масс** твёрдого тела.

- **Центр масс.** Точка, движение которой таково, как если бы в ней была сосредоточена вся масса тела. Центр масс **твёрдого тела** (см. Введение) совпадает с его **центром тяжести** (точкой, через которую на тело действует земная сила тяжести).

Центр масс однородного диска — в его геометрическом центре



Центр масс всегда расположен под точкой подвеса

Центр масс не всегда находится в самом теле

- **Перемещение.** Расстояние до объекта и направление на него от фиксированной точки отсчета. Это — **векторная величина***. Положение тела можно описать перемещением относительно отмеченной точки.



- **Модуль (абсолютная величина) скорости.** Путь, проходимый телом за определенный промежуток времени. Если модуль скорости постоянен, то говорят, что тело движется с **постоянной по модулю скоростью**. **Средний модуль скорости** тела за интервал времени — пройденный путь, деленный на величину интервала. **Модуль мгновенной скорости** — модуль скорости в определенный момент.

Поезд идет от А до С два часа (от А до С — 100 км) с остановкой в В.



- **Скорость.** Модуль скорости и направление движения тела (т. е. его перемещение за заданное время). Это **векторная величина***. **Постоянная скорость, средняя скорость и мгновенная скорость** определяются аналогично соответствующим понятиям для модуля скорости.

График перемещения в зависимости от времени



- **Относительная скорость.** Скорость тела с точки зрения наблюдателя (возможно, движущегося). Это — скорость тела по отношению к наблюдателю или относительно наблюдателя.



Относительная скорость А (с точки зрения В) = 70 м/с вправо.

Относительная скорость В (с точки зрения А) = 70 м/с влево.

- **Ускорение.** Изменение скорости тела за определенное время. Это **векторная величина***. Тело испытывает ускорение (ускоряется), если изменяется модуль его скорости (типично для **прямолинейного движения**) или направление движения (характерно для **движения по окружности***). **Замедление (торможение)** в данном направлении — ускорение в направлении, противоположном направлению движения (отрицательное ускорение). Тело, скорость которого одинаково изменяется за равные промежутки времени, движется **равноускоренно**.

Графики скорости в зависимости от времени



Путь, проходимый за одно и то же время, возрастает

Путь возрастает, остается постоянным, затем убывает



Вращательное движение

Вращательное движение — движение тела вокруг его **центра масс**. При **вращательном движении** каждая часть тела движется по своей траектории, а при расчетах тело нельзя рассматривать как единое целое. Его нужно мысленно разбить на малые части и отдельно рассматривать **движение по окружности*** для каждой из них. Таким образом можно описать движение всего тела.



Тело разбито на малые «частицы» для изучения вращательного движения

Траектория

Траектория

- **Уравнения равноускоренного движения.** Уравнения, используемые при расчете **прямолинейного движения при постоянном ускорении**. Следует использовать **соглашение о знаках**. В уравнениях фигурирует **перемещение**, а не **путь**: нужно учитывать изменения направления.

Соглашение о знаках Направление вправо считается положительным



Отрицательное перемещение

Положительное перемещение

Тело, движущееся влево, имеет отрицательную скорость

Тело, движущееся вправо, имеет положительную скорость

Скорость увеличивается в положительном направлении — положительное ускорение

Скорость увеличивается в отрицательном направлении — отрицательное ускорение (замедление)

- **Соглашение о знаках (правило знаков).** Способ различать движение в противоположных направлениях: одно направление выбирается положительным, другое — отрицательным. Это соглашение следует использовать при работе с уравнениями движения (см. выше).

* Векторная величина, 108; Движение по окружности, 17.

Динамика

Динамика изучает связь между движением тела и силами, действующими на него. Сила, действующая на тело, вызывает изменение модуля скорости и/или направления движения (т. е. **ускоряет*** его). Если действуют две силы или более и их результирующая равна нулю, то тело не ускоряется, но изменяется его форма.

Две равные по модулю, но противоположные по направлению силы. Результирующая равна нулю — нет ускорения, но веревка растягивается.



Силы не равны по модулю. Веревка по-прежнему растягивается, но и ускоряется влево из-за результирующей.

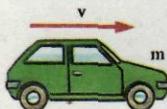


- **Масса.** Мера инерции тела. Сила, необходимая для сообщения телу ускорения, зависит от массы: для большей массы нужна большая сила.
- **Инерция.** Стремление тела сопротивляться изменению скорости (т. е. сопротивляться силе, старающейся ускорить его). Измеряется **массой**.



Инерция (следовательно, и масса) корабля намного больше, чем лодки, — для сообщения ему ускорения нужна намного большая сила.

- **Количество движения, или импульс тела, или импульс.** Скорость тела, умноженная на его массу. Поскольку скорость — векторная величина*, то импульс — тоже вектор. См. также **Закон сохранения количества движения.**



Количество движения = mv ,
где m — масса;
 v — скорость.

- **Законы движения Ньютона.** Три закона, сформулированные Ньютоном в конце XVII века. Они связывают силу и движение.



- **Первый закон Ньютона:** если тело покоится или его скорость и направление движения постоянны, то результирующая действующих на него сил равна нулю.

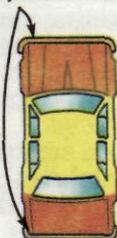
- **Импульс силы.** Сила, действующая на тело, умноженная на время ее действия. Из **второго закона Ньютона** следует, что импульс силы равен изменению **импульса тела (количества движения)**. Длительное действие малой силы и кратковременное — большой дают одинаковое изменение импульса тела.

Импульс силы = Ft ,
где F — сила; t — время.

Так как сила — это скорость изменения количества движения (см. Второй закон Ньютона), то:

импульс силы = изменению количества движения (импульса тела).

«Зона амортизации» увеличивает время столкновения — сила уменьшается.



- **Столкновение.** Событие, в результате которого два или более тела действуют друг на друга с некоторыми силами. Это не столкновение в обычном смысле слова, поскольку тела не обязательно соприкасаются.

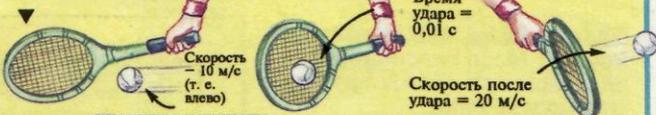
- Второй закон Ньютона:** если изменяется количество движения тела, т. е. если оно испытывает ускорение, то должна существовать результирующая сила, действующая на него. Обычно масса тела постоянна, и тогда сила пропорциональна ускорению тела. Направление ускорения совпадает с направлением силы.

$$\text{Сила} = \frac{\text{изменение количества движения}}{\text{время}}$$

Если масса остается постоянной (как здесь), то

$$\text{Сила} \approx \text{масса} \times \text{ускорение.}$$

Пример: теннисный мяч (масса 0,05 кг) после удара испытывает изменение количества движения. Найдем результирующую:



$$\begin{aligned} \text{Сила} &= \frac{\text{изменение количества движения}}{\text{время}} = \frac{(0,05 \times 20) - [0,05 \times (-10)]}{0,01} = 150 \text{ Н} \\ \text{Или:} & \\ \text{Сила} &= \text{масса} \times \text{ускорение} = \frac{\text{масса} \times \text{изменение скорости}}{\text{время}} = \frac{0,05 \times 30}{0,01} = 150 \text{ Н} \end{aligned}$$

Ракетка действует на мяч с некоторой силой, ускоряя его в противоположном направлении.

Мяч действует на ракетку с равной и противоположной силой (ощущается резкое замедление ракетки).



- Третий закон Ньютона:** силы всегда появляются в парах, равных по величине и противоположных по направлению сил, называемых **действием и противодействием**. Итак, если тело А действует на тело В с некоторой силой, то тело В действует на А с равной, но противоположной силой. Эти силы взаимно не компенсируются, так как действуют на разные тела.

- Закон сохранения количества движения:** когда два или более тела действуют друг на друга с некоторыми силами (происходит их столкновение), их суммарное количество движения остается неизменным, если нет действия внешних сил. Если время столкновения очень мало и системы рассматриваются непосредственно до и после него, то такими силами, как трение, можно пренебречь.



Масса возрастает — скорость убывает, и количество движения сохраняется.

Ракетный двигатель



- Ракетный двигатель.** Двигатель, выбрасывающий через сопла струю газа высокой скорости, полученную сжиганием топлива, находящегося на борту. Масса газа мала, но его высокая скорость означает, что велико его количество движения. Ракета получает то же количество движения в противоположном направлении (см. Закон сохранения количества движения). Ракетные двигатели используются в космосе, поскольку для других двигателей нужен воздух.

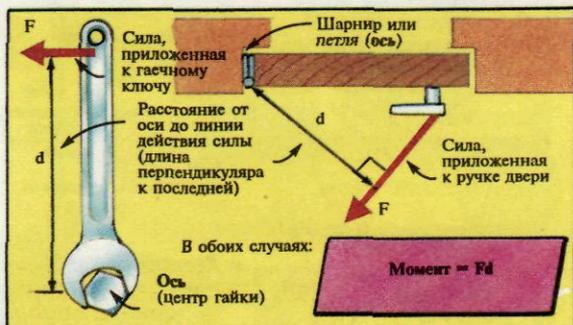
- Реактивный двигатель самолета.** Двигатель, в котором воздух для сгорания топлива поступает спереди; образуется поток газа высокой скорости. Принцип действия —

тот же, что и у ракетного двигателя, но сгорание происходит по-разному: самолетный двигатель не может быть использован в космосе, поскольку ему нужен воздух.

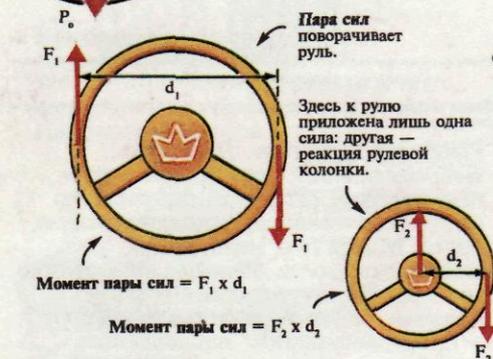
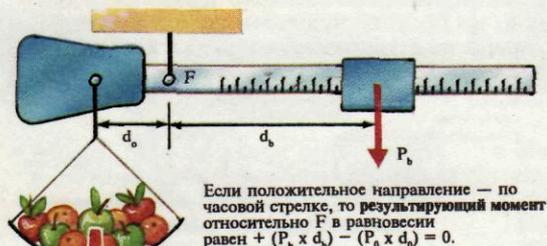
Вращающие силы

Сила вызывает **ускорение*** (см. Динамика, с. 100). В **прямолинейном движении*** это — **линейное ускорение**. Во **вращательном движении*** **момент силы**, приложенной на некотором расстоянии от **оси вращения (точки опоры)**, вызывает **угловое ускорение*** (вращение ускоряется и замедляется).

- **Момент силы, или вращающий момент.** Мера способности силы вращать тело вокруг **оси**. Это модуль силы, умноженный на длину перпендикуляра, опущенного от оси на линию действия силы (см. схему справа). **Единица СИ*** момента силы — **ньютон-метр (Н·м)**.



Уравновешенные весы — во вращательном равновесии



При рассмотрении моментов следует определить **оси**, относительно которых они рассчитываются, и ввести **соглашение о знаках***, чтобы различать моменты по и против часовой стрелки. **Результирующий момент силы** по своему действию эквивалентен совокупности всех приложенных моментов, вместе взятых.

- **Пара сил.** Две параллельные силы, равные по модулю и противоположные по направлению, но действующие не вдоль одной прямой. Их действие — вращающее, они не вызывают **поступательного движения*** (движения центра масс*). **Результирующий момент пары сил** — сумма моментов сил, то есть расстояние между прямыми, вдоль которых действуют силы, умноженное на модуль сил.

Равновесие

Когда тело не ускоряется, результирующая всех сил, действующих на него, равна нулю: говорят, что тело находится в **равновесии**. Это может быть **линейное равновесие (центр масс*** не ускоряется) и/или

вращательное равновесие (нет ускорения относительно центра масс). Кроме того, в обоих случаях равновесие может быть как **статическим** (в состоянии покоя), так и **динамическим** (в движении).

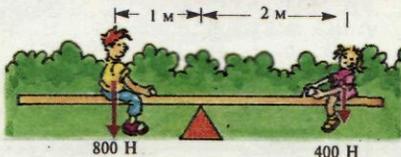
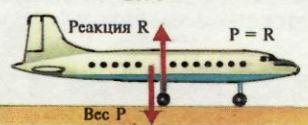
● **Линейное равновесие.** Состояние тела, в котором нет ускорения его центра масс*, т. е. скорость (по модулю) и направление движения не изменяются. Результирующая сил, действующих на тело, должна быть нулевой (см. также Третий закон Ньютона, с. 13).

● **Вращательное равновесие.** Состояние тела, при котором нет углового ускорения*, т. е. тело вращается с постоянной угловой скоростью*. Во вращательном равновесии результирующий момент силы относительно любой оси равен нулю (правило моментов).

Самолет в полете в динамическом линейном равновесии и статическом вращательном равновесии — постоянная скорость по прямой.



Самолет на земле в положении статического равновесия (линейного и вращательного).



Доска в статическом вращательном равновесии, т. к. $800 \times 1 = 400 \times 2$.



Опрокидывание — теперь пара сил переворачивает машину дальше.

Низкий центр масс* и широкое основание делают гоночный автомобиль очень устойчивым.



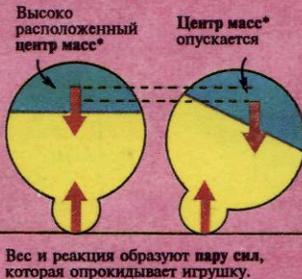
● **Опрокидывание.**

Состояние, если вертикальная прямая, проходящая через центр масс* тела, не проходит через основание тела; тогда пара сил веса и реакции опоры опрокидывает тело (см. рисунок слева).

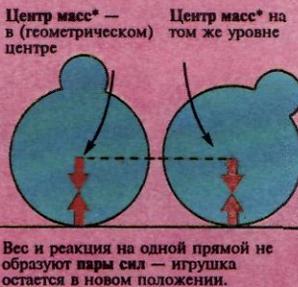
● **Устойчивое равновесие.** Такое положение тела, при котором оно, будучи выведено из равновесия, снова возвращается в него. Это происходит, если центр масс* при отклонении поднимается.



● **Неустойчивое равновесие.** Такое положение тела, при котором даже небольшое смещение от положения равновесия приводит к дальнейшему удалению от него. Это происходит, когда центр масс* при отклонении опускается.



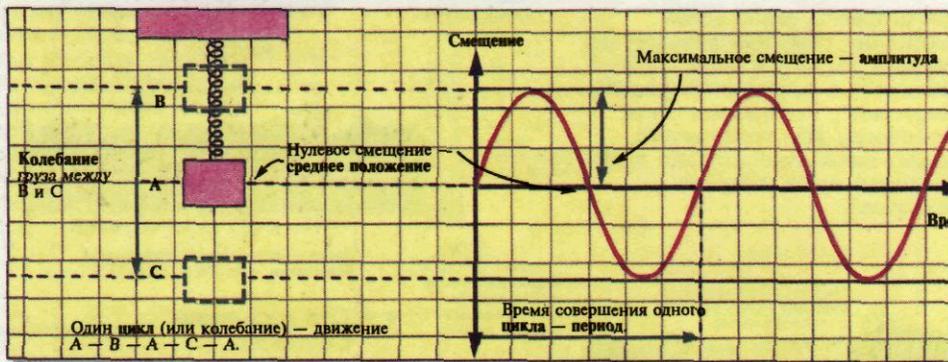
● **Безразличное равновесие.** Состояние, при котором тело, немного смещенное из положения равновесия, остается в новом положении. Это происходит, когда центр масс* остается на той же высоте.



* Сопротивление среды (Установившаяся скорость), 19; Угловая скорость, Угловое ускорение, 17; Центр масс, 10.

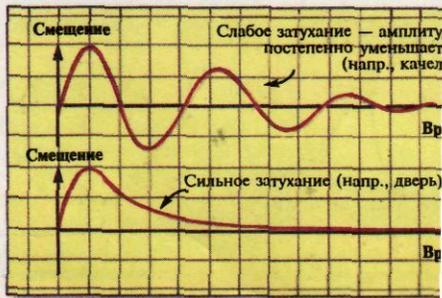
Периодическое движение

Периодическое движение — любое движение, повторяющееся через правильные промежутки времени. Примеры периодического движения — движение по окружности, колебания маятника и вибрация молекул. **Волновое движение*** состоит из периодического движения частиц или полей.



- **Цикл.** Процесс движения от некоторой точки до той же точки при повторении движения. Например, один поворот вращающегося тела.
- **Колебание.** Периодическое движение между двумя крайними положениями; например, движение груза, подвешенного на пружине. В колебательной системе постоянно происходит взаимное превращение **кинетической энергии*** и **потенциальной энергии*** друг в друга. Общая энергия системы (сумма ее кинетической и потенциальной энергии) остается неизменной, если нет затухания.
- **Период (T).** Время совершения одного цикла движения — например, период вращения Земли вокруг своей оси — 24 часа.
- **Частота (ν).** Число циклов данного вида движения в секунду. **Единица СИ*** частоты — герц (Гц), равный одному циклу в секунду.
- **Среднее положение.** Положение, около которого тело колеблется и в которое возвращается после прекращения колебаний: например, среднее положение маятника — вертикальное. За среднее положение колеблющейся частицы обычно принимают положение нулевого смещения.
- **Амплитуда.** Максимальное смещение колеблющейся частицы от среднего положения.
- **Затухание.** Процесс затухания колебаний вследствие потери энергии. Например, амортизаторы в автомобилях сводят на нет колебания при преодолении неровностей.

Затухание в колебательной системе



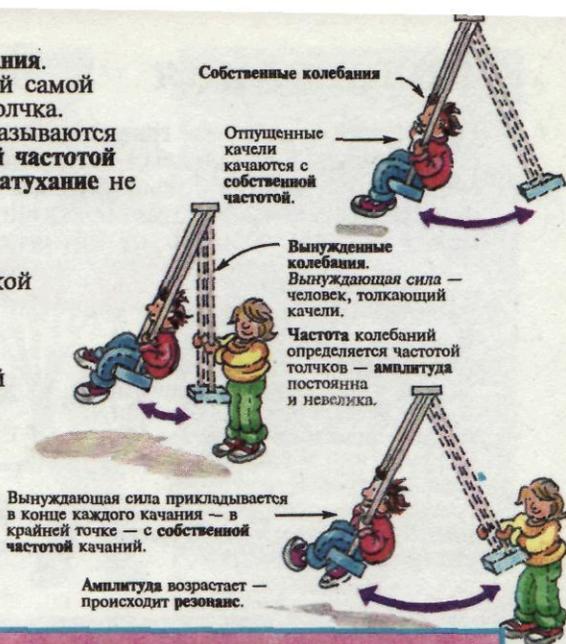
$$\nu = \frac{1}{T}$$

где ν — частота;
T — период.

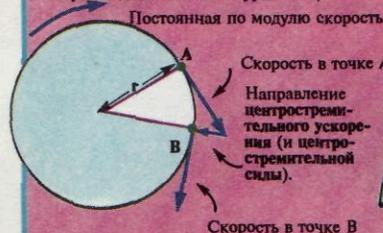
- **Собственные, или свободные, колебания.** Колебания системы, предоставленной самой себе после сообщения начального толчка. Период и частота таких колебаний называются **собственным периодом и собственной частотой** (они остаются неизменными, пока затухание не слишком велико).

- **Вынужденные колебания.** Колебания системы под действием периодической вынуждающей силы (силы, приложенной к системе). Таким образом, система вынужденно колеблется с **частотой вынуждающей силы, независимо от ее собственной частоты.**

- **Резонанс.** Эффект, наблюдаемый в системе, когда **частота вынуждающей силы** примерно равна **собственной частоте системы**; в этом случае **амплитуда колебаний велика.**



Угловое ускорение связано с изменением угловой скорости (изменяется модуль скорости движения по окружности).



$$a = \frac{v^2}{r}$$

где a — центростремительное ускорение; v — модуль скорости движения по окружности; r — радиус.

Движение по окружности

Равномерное движение по окружности.

Движение тела по окружности с постоянной по модулю скоростью. Поскольку направление (и, следовательно, скорость) движения постоянно изменяется, тело постоянно ускоряется к центру (**центростремительное ускорение**) — следовательно, на тело действует сила, направленная к центру. Движение по окружности описывают с помощью **угловой скорости**.

- **Центростремительное ускорение (а).** Ускорение тела при движении по окружности, направленное к ее центру.

- **Центростремительная сила.** Сила, действующая на тело, направленная к центру окружности, вызывающая центростремительное ускорение и поддерживающая движение тела по окружности.

- **Центробежная сила.** Реакция (равная и противоположная, см. Третий закон Ньютона, с. 13) на **центростремительную силу**. Заметим, что она не действует на движущееся по окружности тело и поэтому не учитывается.



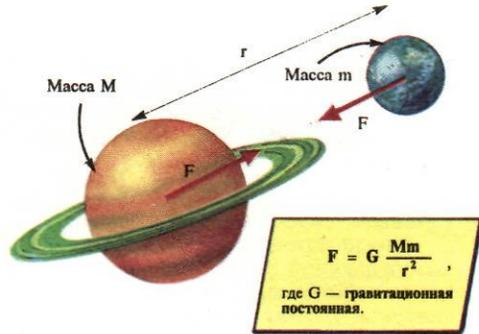
Реакция на центростремительную силу (центробежная сила)



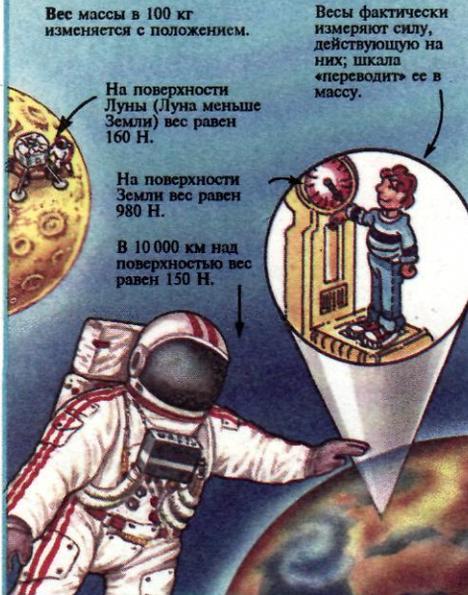
Гравитация

Гравитация — действие **гравитационной силы*** притяжения (см. также с. 104) между всеми телами Вселенной. Гравитация особенно существенна для тел большой массы — таких, как планеты, которые она удерживает на орбитах. Гравитационная сила взаимодействия между телом и планетой, притягивающей тело вниз, называется **весом** тела.

- **Закон всемирного тяготения Ньютона:** между любыми двумя телами действует гравитационная сила притяжения, зависящая от их масс и расстояния между ними. **Гравитационная постоянная (G)** равна $6,7 \times 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$, и ее малость означает, что гравитационными силами можно пренебречь, если только массы тел не слишком велики.

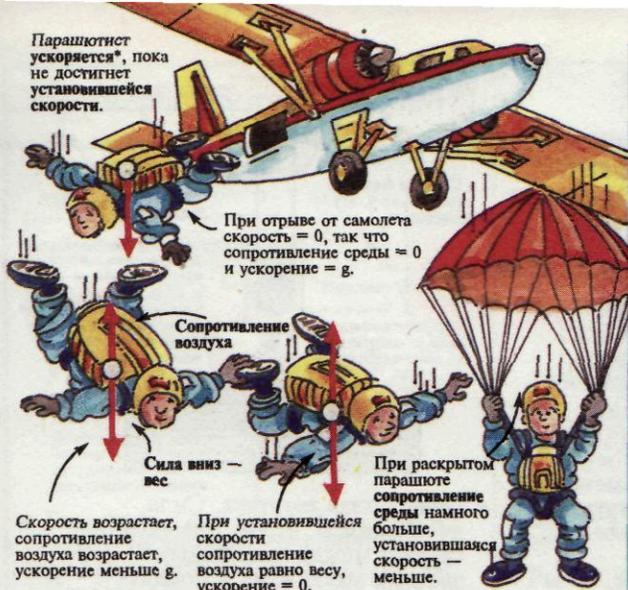


- **Вес.** Сила гравитационного притяжения одного тела к другому (планете). Вес тела не постоянен: он зависит от расстояния до планеты и от ее массы. Следовательно, хотя масса не зависит от положения тела, о весе этого сказать нельзя.



- **Ускорение силы тяжести (g), или ускорение свободного падения.** **Ускорение***, вызываемое гравитационной силой притяжения. Его значение одинаково для любой массы в данном месте и на поверхности Земли составляет примерно $9,8 \text{ м/с}^2$, уменьшаясь при подъеме над поверхностью в соответствии с **законом всемирного тяготения Ньютона**. Значение $9,8 \text{ м/с}^2$ используется как единица ускорения.





Парашютист ускоряется*, пока не достигнет установившейся скорости.

При отрыве от самолета скорость = 0, так что сопротивление среды = 0 и ускорение = g.

Сопротивление воздуха

Сила вниз — вес

Скорость возрастает, сопротивление воздуха возрастает, ускорение меньше g.

При установившейся скорости сопротивление воздуха равно весу, ускорение = 0.

При раскрытом парашюте сопротивление среды намного больше, установившаяся скорость — меньше.

● **Установившаяся скорость.**

Максимальная, постоянная скорость, приобретаемая падающим в жидкости или газе телом. По мере

увеличения скорости увеличивается сопротивление среды. В конце концов сопротивление среды становится равным весу тела.

- **Вторая космическая скорость.** Минимальная скорость, которой должно обладать тело, чтобы преодолеть притяжение планеты без дальнейшего применения тяги. На Земле она составляет примерно 40 000 км/ч.



1
Космический аппарат свободно падает вследствие земного притяжения.

Плоская поверхность — аппарат врежется в землю.

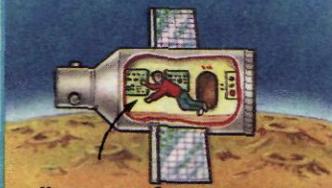
2
В действительности поверхность искривлена.

Опускание поверхности планеты происходит по такой же кривой, как свободное падение корабля.

Корабль не приближается к планете и, следовательно, обращается вокруг нее по орбите.

- **Свободное падение.** Движение тела, на которое действует лишь гравитационная сила (т. е. нет сопротивления среды — напр., воздуха — или иных сил).

- **Невесомость.** Состояние, в котором тело не давит на окружающие тела с какой-либо силой.
- **Истинная невесомость.** Невесомость вследствие нахождения тела в области, свободной от гравитации.



Космонавт свободно падает — так же, как и космический корабль, и, следовательно, находится внутри него в состоянии кажущейся невесомости.

- **Кажущаяся невесомость.** Состояние тела, при котором действие гравитационных сил не проявляется. Это происходит, если два тела независимо и одинаково ускоряются*.

- **Геостационарная орбита.** Траектория спутника, обращающегося вокруг Земли в направлении ее вращения, так что он все время остается над одной и той же точкой поверхности. **Период*** обращения такого спутника равен 24 часам.

Спутник на геостационарной орбите над пунктом P.

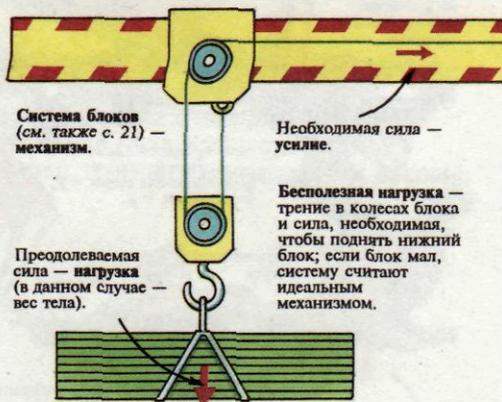


Связь между пунктами этой области осуществляется с помощью сигналов, отраженных от спутника.

* Период, 16; Ускорение, 11.

Механизмы

Механизм — приспособление, используемое для преодоления силы, называемой **нагрузкой**. Эта сила приложена в некоторой точке; механизм работает посредством приложения в другой точке другой силы — **усилия**. Например, малое усилие, приложенное к концу троса, преодолевает вес тела, поднимаемого блоком.



- **Идеальный механизм.** Теоретически мыслимый механизм с нулевой бесполезной нагрузкой. Механизмы, в которых доля бесполезной нагрузки пренебрежимо мала, могут рассматриваться как идеальные.

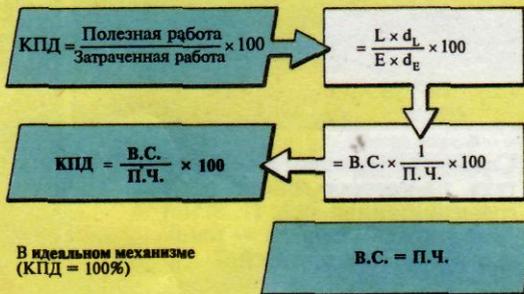
- **Бесполезная нагрузка.** Сила, необходимая, чтобы преодолеть трение* между подвижными частями механизма и поднять любую ее подвижную часть.

- **Выигрыш в силе (В.С.).** Нагрузка, деленная на усилие. Если выигрыш в силе больше единицы, это означает, что преодолеваемая нагрузка больше, чем усилие. В идеальном механизме выигрыш в силе не зависит от нагрузки; в любом реальном механизме выигрыш в силе слегка возрастает с возрастанием нагрузки, поскольку по мере ее увеличения **бесполезная нагрузка** становится пренебрежимо малой.



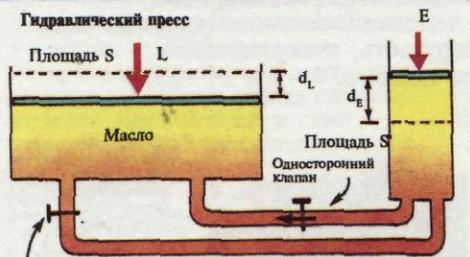
- **Передаточное число (П.Ч.).** Отношение расстояния, пройденного усилием, к расстоянию, пройденному нагрузкой. Это безразмерная величина. Если передаточное число больше единицы, это означает, что усилие проходит большее расстояние, чем нагрузка.

- **Коэффициент полезного действия (КПД), или эффективность.** Выраженное в процентах отношение полезной работы (силы, умноженной на расстояние, — см. с. 8), совершенной над нагрузкой, к затраченной работе, совершенной усилием. КПД всех реальных механизмов меньше 100% из-за **бесполезной нагрузки**. Эффективность **идеальных (совершенных) механизмов** — 100%.



Примеры простых механизмов

Гидравлический пресс

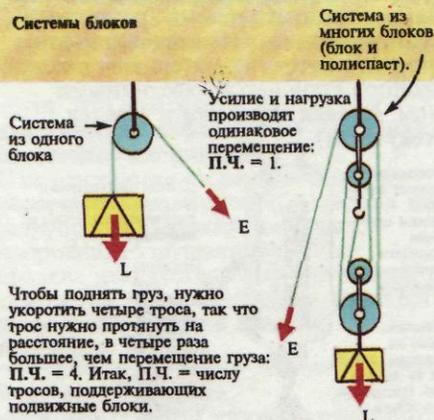


Клапан в рабочем состоянии закрыт — открывается для снижения давления.

Объем перемещаемой жидкости = $S' \times d_E = S \times d_L$, так что П.Ч. = $d_E / d_L = S' / S$.

- **Гидравлический пресс.** Большой и малый цилиндры, соединенные трубой и наполненные жидкостью. Используется для создания больших сил.

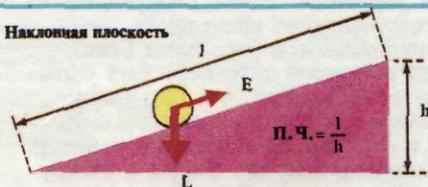
Системы блоков



Чтобы поднять груз, нужно укоротить четыре троса, так что трос нужно протянуть на расстояние, в четыре раза большее, чем перемещение груза: П.Ч. = 4. Итого, П.Ч. = числу тросов, поддерживающих подвижные блоки.

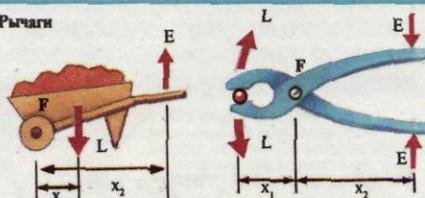
- **Система блоков.** Колесо (или комбинация колес) и трос, шкив или цепь, передающие движение.

Наклонная плоскость



- **Наклонная плоскость.** Плоская поверхность под углом к горизонту. Легче поднять тело по наклонной плоскости, чем вертикально вверх.

Рычаги



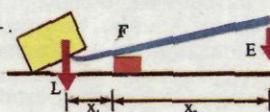
Для равновесия*:

$$L \times x_1 = E \times x_2,$$

так что В.С. = $\frac{L}{E} = \frac{x_2}{x_1}$.

Таким образом, П.Ч. = $\frac{x_2}{x_1}$

Для вычисления передаточного числа рассматривают моменты сил*, полагая В.С. = П.Ч. (см. Эффективность).

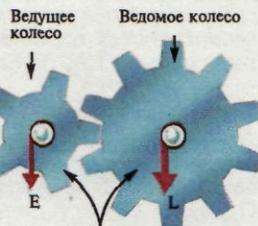


- **Рычаг.** Любое твердое тело, способное вращаться вокруг оси, называемой **точкой опоры (F)**. Нагрузка и усилие могут прикладываться с разных сторон или с одной стороны.

Зубчатая передача

Если на ведомой шестерне в два раза больше зубцов, то ведущая должна совершать в два раза больше оборотов.

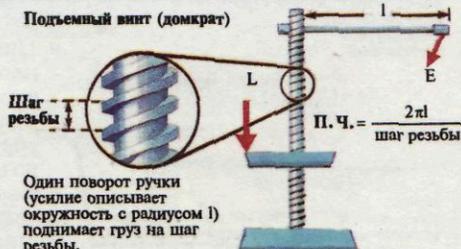
Итого, П.Ч. = число зубцов ведомой шестерни / число зубцов ведущей шестерни.



Валы одинаковых диаметров

- **Зубчатая передача.** Сочетание зубчатых колес, используемое для передачи движения между вращающимися валами (осями).

Подъемный винт (домкрат)



Один поворот ручки (усилие описывает окружность с радиусом l) поднимает груз на шаг резьбы.

- **Подъемный винт.** Система, в которой для подъема груза вращают винт с резьбой (нарезкой). **Шаг резьбы** — расстояние между ее соседними витками.

Молекулярные свойства

Многие свойства материи можно объяснить, рассматривая поведение молекул, подверженных действию **межмолекулярных сил***. К числу таких свойств относятся **упругость, поверхностное натяжение и вязкость** — см. ниже, а также с. 4—5 и 24—25.

- **Упругость.** Способность материала принимать первоначальную форму и размер после прекращения действия деформирующих сил, т. е. **сил растяжения или сжатия***. Материалы, обладающие такой способностью, **упруги**, а не обладающие — **пластичны**. Упругость — результат действия **межмолекулярных сил***: если тело растягивают или сжимают, его молекулы соответственно удаляются или сближаются. В результате возникает сила притяжения (в первом случае) или сила отталкивания (во втором), и после того, как деформирующая сила устранена, молекулы возвращаются на обычные средние расстояния. Так происходит, пока



Воздушный шарик обладает упругостью (приобретает первоначальную форму после растяжения).

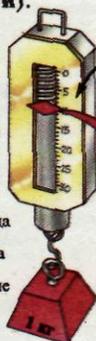


Холодный воск пластичен (печать оставляет постоянный оттиск).

- **Закон Гука:** при действии деформирующей силы **деформация пропорциональна напряжению** (см. рис. ниже). Однако с возрастанием силы наступает **предел пропорциональности**, после чего закон Гука уже не выполняется (см. график на с. 23).

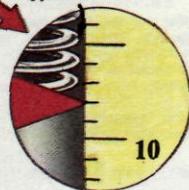
величина силы не превышает некий определенный уровень (различный для различных материалов); за этим пределом упругие материалы в конце концов становятся **пластичными** (см. **Предел упругости** и **Предел текучести**).

- ▶ **Пружинные весы** используют закон Гука для измерения силы. Пружина растягивается пропорционально приложенной силе.



Шкала градуирована* так, что длина пружины дает величину силы в **ньютонгах***.

Пружина



Напряжение, деленное на деформацию, всегда одно и то же для данного материала (**модуль Юнга** — см. с. 114), пока не достигнут предела пропорциональности.



Отрезок проволоки, подвергаемой растяжению

Деформация — это изменение длины, отнесенное к единице длины.

$$\text{Деформация} = \frac{e}{l}$$

где e — изменение длины; l — первоначальная длина.

$$\text{Напряжение} = \frac{F}{S}$$

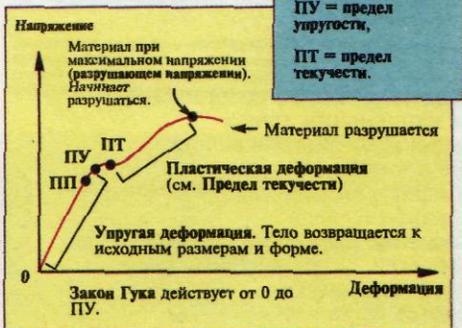
где F — приложенная сила; S — площадь сечения.

Напряжение — это сила, действующая на единицу площади.

- **Предел упругости.** Точка, следующая непосредственно за **пределом пропорциональности** (см. **Закон Гука**), начиная с которой тело перестает быть **упругим** в том смысле, что оно уже не возвращается к своим первоначальной форме и размеру. Тело остается навсегда деформированным, его форма и размер становятся другими. Однако после нового применения сил оно вернется к этой новой форме, т. е. останется в этом смысле упругим. **Предельное напряжение** материала — значение **напряжения** при пределе упругости. См. график на с. 23.

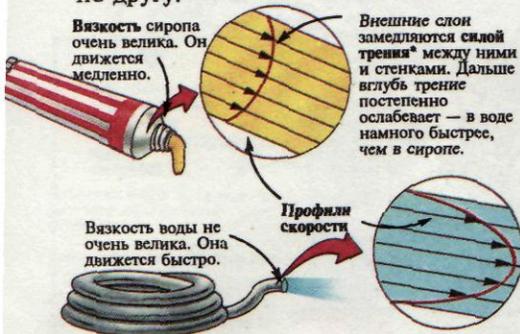
- **Предел текучести.** Точка, следующая непосредственно за **пределом упругости**, начиная с которой деформирующая сила вызывает значительное изменение в материале. В **пластичных** материалах изменяется внутренняя структура — связи между слоями молекул разрываются, и слои перемещаются относительно друг

График напряжение — растяжение для пластичного материала (см. Предел текучести)



друга. Это изменение называется **пластической деформацией** (материал становится **пластичным**). С возрастанием силы деформация нарастает, пока наконец материал не разрушится. **Хрупкий** материал, напротив, разрушается в точке предела текучести. Количественной характеристикой материала является **напряжение в точке предела текучести**.

- **Вязкость.** Величина, характеризующая легкость течения жидкости. Она зависит от **силы трения*** между различными слоями молекул при их скольжении друг по другу.



- **Поверхностное натяжение.** Свойство жидкости образовывать оболочки на ее поверхности; вызвано **межмолекулярными силами***, заставляющими поверхность сократиться до наименьшей возможной площади.



- **Адгезия, или прилипание.** **Межмолекулярная сила*** притяжения между молекулами различных веществ.

Капиллярные явления, или капиллярность, — следствие адгезии или когезии.



- **Когезия, или сцепление.** **Межмолекулярная сила*** притяжения между молекулами одного вещества.

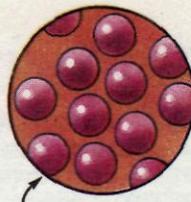


* Межмолекулярная сила, 7; Мениск, 115; Сила трения, 7.

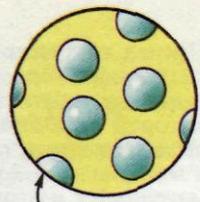
Плотность

Плотность (ρ) тела зависит как от массы составляющих его молекул, так и от его объема (см. формулу справа).

Например, если плотность одного вещества больше плотности другого, то равные объемы имеют разную массу (у первого больше, чем у второго). Аналогично равные массы имеют разный объем.



Тело А. Тяжелые молекулы; упакованы плотно. Высокая плотность.



Тело В. Легкие молекулы; большое пространство между ними. Низкая плотность.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

где ρ — плотность,
 m — масса,
 v — объем.

Следовательно, $m = \rho \times v$;

но v одинаково у А и В, поэтому масса А больше.

Единица СИ* плотности — кг/м³

- **Относительная плотность, или удельный вес.** Плотность вещества по отношению к плотности воды (равной 1000 кг/м³). Показывает, во сколько раз плотность вещества отличается от плотности воды, и поэтому безразмерна — например, 1,5 (в полтора раза плотнее воды). Находится делением массы любого объема жидкости на массу того же объема воды.

- **Пикнометр.** Сосуд, содержащий при наполнении точно измеренный объем жидкости (при постоянной температуре). Используется для измерения плотности жидкостей (измеряется масса сосуда и жидкости, вычитается масса сосуда и делится на объем жидкости).

Пикнометр

Тонкая капиллярная трубка, высверленная в стеклянной пробке. Наполнив бутылку, вставляют пробку; избыток жидкости поднимается по трубке и вытекает — это обеспечивает каждый раз один и тот же объем.



- **Архимедова колба.** Колба для измерения объема твердого тела неправильной формы, чтобы затем найти его плотность. Объем вытесняемой воды равен объему тела. Плотность тела — его масса, деленная на объем.



Давление

Давление — сила, с которой твердое тело, жидкость или газ действуют на единицу площади вещества (твердого тела, жидкости или газа) перпендикулярно его поверхности.

Чем больше сила, действующая на данную площадь, тем больше давление.

Снегоступы (как и лыжи) увеличивают площадь при том же весе (силе), и давление уменьшается (ноги не проваливаются в снег).

$$\text{Давление} = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}}$$

Единица СИ* давления — паскаль (Па).

Чем больше площадь, на которую действует данная сила, тем меньше давление.

Вес молекул воздуха над Землей (сила) создает атмосферное давление. Чем меньше молекул (т. е. чем больше высота), тем ниже давление.

Аналогично чем больше молекул над данной точкой, тем больше давление.



Тела в жидкостях и газах

На тело, погруженное в жидкость (или газ), действует направленная вверх **выталкивающая сила**. Согласно **закону Архимеда**, она равна весу вытесненной телом жидкости или газа. Далее, **принцип плавания** утверждает, что вес плавающего тела равен весу вытесненной жидкости или газа (выталкивающей силе) (плавание здесь означает равновесие в любой точке среды). Будет ли тело тонуть, всплывать или плавать в жидкости или газе, зависит исключительно от плотности (см. ниже).

Подводные лодки иллюстрируют действие этих двух принципов (справа вверху). Изменение соотношения воздух-вода в балластных смкостях меняет плотность (плотность тела, состоящего из более чем одного материала, определяется как их средняя плотность).

Закон Архимеда

Выталкивающая сила = весу вытесненной жидкости

Принцип плавания

Для плавающего тела

$$F_v = P,$$

где F_v — выталкивающая сила, P — вес тела.

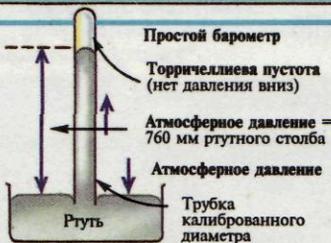
Вес = массе (m) x ускорение свободного падения (g).

Масса = плотности (ρ) x объем (v).

Итак, вес тела или вытесненной жидкости = $\rho v g$



• **Барометр.** Инструмент для измерения **атмосферного давления** (см. рис. справа). Есть несколько традиционных видов барометра.



• **Гидрометр, или ареометр.** Инструмент для измерения плотности жидкости по уровню его погружения при плавании в этой жидкости. Если жидкость очень плотна, гидрометр плавает у поверхности, поскольку, чтобы уравновесить гидрометр, нужно вытеснить лишь малое количество жидкости.



Температура

Температура тела — это мера того, насколько оно горячо. Температура измеряется **термометрами**, которые могут быть **градуированы** по разным шкалам. Международно принятые шкалы — это **абсолютная температурная шкала** и **шкала Цельсия**.

- **Термометр.** Инструмент для измерения температуры. Существует множество разных типов термометров; их действие всегда основано на изменении какого-либо параметра, изменяющегося при изменении температуры, — **термометрического свойства**. **Жидкостные термометры**, например, измеряют объем жидкости (они **градуированы*** таким образом, что увеличение объема отмечает рост температуры).
- **Жидкостный термометр.** Термометр обычного типа, который измеряет температуру по расширению жидкости в тонкой стеклянной трубочке (**капилляре**). В стеклянной колбочке налита жидкость, обычно это ртуть или подкрашенный спирт. Эти жидкости очень чувствительны к изменению температуры; ртуть используется для более высоких температур, спирт — для более низких.

Медицинский термометр (пример жидкостного термометра). Используется для измерения температуры тела, поэтому у него сравнительно небольшой диапазон с дробными делениями для более точного измерения.

Шкала обычно показывает десятые доли градуса и заканчивается на 43 градусах по Цельсию.

Тонкий столбик ртути легко разглядеть, потому что он непрозрачен и оптически увеличивается стекляннм капилляром треугольного сечения.

Перетяжка в стеклянной трубке. Нагретая ртуть расширяется и выталкивается излишек.

Капилляр обеспечивает высокую чувствительность: при каждом изменении температуры ртуть проходит достаточно, заметное для глаза расстояние.

Когда ртуть остывает и сжимается, она не может пройти назад, пока термометр не встряхнут (давая время для считывания показаний).

У стеклянной колбочки тонкие стенки, поэтому ртуть быстро нагревается.



Использование реперных точек для градуировки* шкалы Цельсия на термометре.

Верхняя реперная точка

Гигсотермометр (медный сосуд с двойными стенками).

Выход пара

Постоянно кипящая вода

Нижняя реперная точка

Положение ртутного столбика отмечено как 0°C.

Воронка

Чистый тающий лед

Лабораторный стакан

Положение ртутного столбика отмечено как 100°C.

Манометр* — измеряет давление пара (должно быть атмосферным*).

Колба с ртутью в паре

Термометр

Верхняя реперная точка

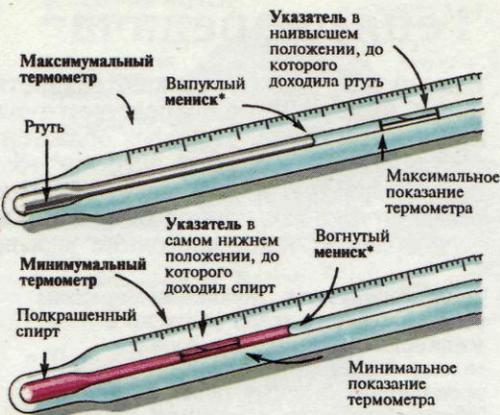
Основной интервал

Нижняя реперная точка

- **Реперная точка.** Температура, при которой (в определенных условиях) всегда происходят некоторые четко различимые изменения и которую поэтому можно принять за точку отсчета при измерении любой другой температуры. Примерами могут служить **точка замерзания воды** (температура, при которой плавится чистый лед) и **точка кипения воды** (температура пара над водой, кипящей при нормальном атмосферном давлении*). Эти две реперные точки используются для **градуировки*** термометров в качестве **нижней и верхней реперных точек**. Расстояние между этими двумя точками называют **основным интервалом**.

* Атмосферное давление, 24; Градуировка, 115; Манометр, 25.

- **Максимальные и минимальные термометры.** Специальные жидкостные термометры, которые отмечают максимум и минимум температур за некоторый определенный период времени. Они содержат металлический или стеклянный указатели (см. рисунок), которые соответственно выталкиваются вверх или втягиваются вниз мениском* жидкости. Указатель фиксирует максимальную или минимальную температуру, достигнутую за все время измерения. Он возвращается в исходное положение при помощи магнита.



Другие типы термометров



- **Термометр сопротивления.** Измеряет температуру по вызываемому ей изменению электрического сопротивления* в катушке.

Аналогичное устройство, например под крылом самолета, использует изменение сопротивления в термисторах*.

- **Термопара.** Для измерения разности температур используют ЭДС*, возникающую при контакте различных металлов.

- **Абсолютная, или термодинамическая шкала температур.** Стандартная температурная шкала: в качестве единицы принят кельвин (К). Нулевое значение присвоено самому низкому теоретически достижимому уровню, называемому абсолютным нулем. Невозможно достичь более низкой температуры, так как это означало бы существование отрицательного объема (см. график), чего быть не может.



- **Шкала Цельсия (°C).** Стандартная температурная шкала, градуированная так же, как и абсолютная температурная шкала, но со значениями 0° и 100° соответственно в точках замерзания и кипения воды (см. Реперные точки).

- **Шкала Фаренгейта (°F).** Устаревшая шкала со значениями 32°F и 212°F в точках замерзания и кипения воды соответственно (см. Реперные точки). В научных работах используется редко.



* Градуировка, 115; Идеальный газ, 33; Мениск, 115; Термистор, 65; Электрическое сопротивление, 62; Электродвижущая сила (ЭДС), 60.

Теплопередача

Всякий раз, когда возникает разность температур, **тепловая энергия** (см. с. 9) передается посредством **теплопроводности, конвекции или излучения** из более нагретых областей в более холодные. Это увеличивает **внутреннюю энергию*** «более холодных» атомов, повышая их температуру, и уменьшает энергию «более горячих», уменьшая их температуру. Так продолжается, пока температура не выровняется во всей области; такое состояние называется **тепловым равновесием**.

- **Теплопроводность.** Механизм передачи тепла в твердых телах (а также в жидкостях и газах, но в гораздо меньшей степени). В хороших **проводниках** энергия передается быстро благодаря движению свободных **электронов*** (электронов, способных перемещаться по всему телу), а также вследствие колебаний атомов — см. **Изоляторы** (плохие проводники).
- **Изоляторы.** Материалы — например дерево и большинство жидкостей и газов, — в которых процесс **теплопроводности** очень затруднен (они плохие **проводники**). Поскольку

«Нагретые» электроны* приобретают кинетическую энергию. Они быстро двигаются во всех направлениях. Электроны сталкиваются с атомами, передавая им тепловую энергию.

Тепловая энергия передается вверх по металлической ложке (хороший проводник).



«Горячие» атомы колеблются, но сталкиваются только с соседними.

у них нет свободных электронов, тепловая энергия передается только благодаря колебаниям и столкновениям атомов.



$$\text{Температурный градиент} = \frac{t_2 - t_1}{x}$$

где t_1, t_2 — температуры в точках 1 и 2; x — расстояние.

$$\text{Скорость переноса тепловой энергии на единицу площади} = k \frac{t_2 - t_1}{x}$$

где k — удельная теплопроводность металла.

Деревянная ручка — низкая удельная теплопроводность (плохой проводник)

Металлическая ложка — высокая удельная теплопроводность (хороший проводник)



- **Удельная теплопроводность.** Показатель того, насколько хорошо материал проводит тепло (см. также с. 114). Скорость переноса энергии через объект зависит от теплопроводности материала и **температурного градиента**. Это изменение температуры с расстоянием внутри материала. Чем выше удельная теплопроводность и больше градиент, тем быстрее осуществляется перенос энергии.

- **Конвекция.** Основной вид переноса тепла в жидкостях и газах. При нагревании жидкость и газ расширяются, становятся менее плотными и поднимаются. Более холодные, более плотные жидкость и газ, опускаясь, занимают их место. Так устанавливается **конвективное течение**.

Прибрежные бризы, вызванные конвективным течением



- **Излучение.** Передача энергии из более теплой в менее теплую область без участия **среды***. Может происходить через вакуум в отличие от **теплопроводности и конвекции**. Термин «излучение» также часто применяется и к самой тепловой энергии, иначе называемой **лучистой тепловой энергией**. В этом случае излучение представляет собой **электромагнитные волны*** (главным образом, в виде **инфракрасного излучения***). Когда эти волны падают на тело, часть их энергии поглощается, увеличивая **внутреннюю энергию*** и, следовательно, температуру тела. См. также **Куб Лесли** (ниже).

Использование излучения для нагревания воды

Стеклоплавильный верх (на рис. часть вырезана) улавливает излучение.

Медное покрытие, покрашенное черным (на рис. часть вырезана), поглощает тепло.

Тепло передается воде в медных трубах.

К резервуару с горячей водой

Излучение

Солнечная батарея

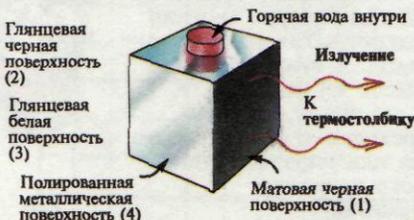


- **Термостолбик.** Прибор для измерения уровня излучения. Состоит из двух или более **термопар*** (обычно более 50) с соединенными концами. Излучение нагревает металлические контакты на одной стороне термостолбика, и возникающая разность температур с холодными контактами на другой его стороне приводит к появлению **ЭДС***, величина которой показывает количество поглощенного излучения.

- **Куб Лесли.** Тонкостенный полый куб (хороший **проводник**) с различными внешними поверхностями. Вспользуется для того, чтобы показать, что поверхности отличаются по способности **излучать** или поглощать тепловую энергию. Их способность сравнивается с идеализированным объектом, называемым **абсолютно черным телом**, поглощающим все падающее излучение; это также наилучший излучатель.



Куб Лесли для сравнения мощностей излучения: числами обозначены излучательные способности поверхностей — от 1 (лучшая) до 4 (худшая).



- **Парниковый эффект.** Эффект нагревания, наблюдаемый, когда **излучение** улавливается в замкнутой области, например в парнике. Тела, находящиеся внутри парника, поглощают солнечное излучение и испускают излучение более низкой энергии, которое не может пройти обратно через стекло. В атмосфере подобный барьер образует двуокись углерода; в последние годы ее концентрация увеличивается, поэтому воздух постепенно нагревается.

- **Вакуумная колба (термос; сосуд Дьюара).** Колба, сохраняющая содержимое при постоянной температуре. Состоит из двух стеклянных сосудов, один внутри другого, между которыми — вакуум (предотвращающий перенос тепловой энергии **теплопроводностью и конвекцией**). Блестящие поверхности сосудов уменьшают перенос тепла **излучением**.

Вакуумная колба

Пробка (изолятор)

Вакуум

Блестящие внутренние поверхности

Температура жидкости сохраняется (тепловая энергия не может попасть внутрь или покинуть колбу).



* Внутренняя энергия, 9; Гальванометр, 77; Градуировка, 115; Инфракрасное излучение, 45; Среда, 115; Термопара, 27; Электродвижущая сила (ЭДС), 60; Электромагнитные волны, 44.

Теплопередача и фазовые переходы

Когда тело поглощает или теряет **тепловую энергию** (см. с. 28—29), его **внутренняя энергия*** увеличивается или уменьшается. Это приводит либо к изменению температуры (величина которого зависит от **теплоемкости** тела), либо к **изменению агрегатного состояния** (фазовому переходу).

- **Теплоемкость (С).** Тепловая энергия, поглощаемая или отдаваемая телом при изменении его температуры на 1 К. Это свойство тела зависит как от массы тела так, и от материала, из которого оно сделано; следовательно, значение теплоемкости различно для разных тел и должно находиться в каждом случае отдельно.

$$Q = C(t_2 - t_1),$$

где Q — отданная или полученная тепловая энергия; C — теплоемкость; t_1 и t_2 — начальная и конечная температуры.

Единица СИ* теплоемкости — джоуль на кельвин (Дж/К).

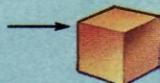
- **Удельная теплоемкость (с).** Тепловая энергия, поглощаемая или отдаваемая при изменении температуры 1 кг вещества на 1 К. Это свойство только самого вещества, т. е. для каждого вещества существует свое значение c . Оно изменяется при **изменении агрегатного состояния** вещества. См. также с. 114.

$$Q = mc(t_2 - t_1),$$

где m — масса; c — удельная теплоемкость; Q , t_2 , t_1 — как и выше.

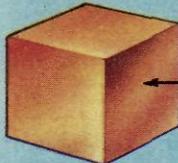
Единица СИ* удельной теплоемкости — джоуль на кг на кельвин (Дж/кг·К).

Масса (m) 2 кг латуни (удельная теплоемкость 380 Дж/кг·К) нагревается определенное время. Температура поднимается с 303 К (t_1) до 307 К (t_2).



$$Q \text{ (полученное тепло)} = 2 \times 380 \times (307 - 303) \text{ Дж.}$$

Итак, $Q = 3040$ Дж.



То же количество энергии, поглощенное 16 кг латуни, подняло бы ее температуру на 0,5 К.

То же количество теплоты, переданное 2 кг меди, вызовет увеличение температуры на 3,8 К.



Итак, удельная теплоемкость меди равна 400 Дж/кг·К.

Изменения агрегатного состояния (фазовые переходы)

Изменения агрегатного состояния — переход из одного агрегатного состояния (твердого, жидкого или газообразного) в другое (об агрегатном состоянии см. с. 4). Во время изменения агрегатного состояния температура не меняется. Вместо этого вся получаемая или отдаваемая энергия расходуется на создание или разрушение молекулярных связей. Эта энергия называется **скрытой теплотой (L)** — см. графики на с. 31. **Удельная скрытая теплота (l)** — количество теплоты, поглощаемое или выделяемое при изменении агрегатного состояния 1 кг данного вещества.

- **Парообразование.** Переход из жидкого состояния в газообразное состояние при температуре кипения жидкости (говорят, что она **кипит**). В более общем смысле термин применяется к любым переходам с образованием газа или пара, включая также **испарение** и **возгонку**.



- **Затвердевание.** Переход из жидкого состояния в твердое при температуре **затвердевания** жидкости (то же, что и ее температура плавления).



- **Плавление.** Переход из твердого в жидкое состояние при температуре, называемой **температурой плавления** твердого тела.



- **Конденсация.** Превращение газа или пара в жидкость.



- **Испарение.** Превращение жидкости в пар вследствие отрыва молекул с поверхности. Происходит при любой температуре; скорость испарения увеличивают следующие факторы (или их сочетание): возрастание температуры, увеличение площади поверхности, уменьшение давления. Скорость испарения увеличивается также, если пар немедленно удаляют потоком воздуха над жидкостью. **Скрытая теплота** (см. Изменение

агрегатного состояния), необходимая для испарения, берется из самой жидкости, которая охлаждается и охлаждает окружающие ее тела.



Сухой лед (твердая двуокись углерода) возгоняется.

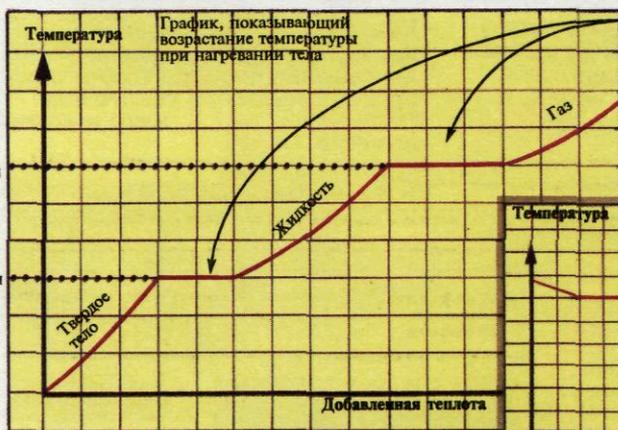


- **Возгонка (сублимация).** Вещество превращается из твердого состояния сразу в газ или наоборот, минуя жидкое состояние.

Изменение агрегатного состояния. Температура остается постоянной (см. график ниже).

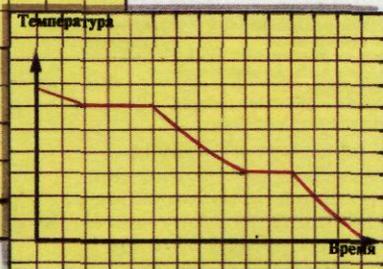
Изменения вследствие охлаждения. Температура не меняется, поскольку охлаждение компенсируется выделением теплоты, происходящим при образовании связей между молекулами; это и есть **скрытая теплота**.

Изменения вследствие нагревания. Получаемая тепловая энергия, которая могла бы повысить температуру, идет на разрыв связей между молекулами; это и есть **скрытая теплота**.



Температура постоянна во время изменения агрегатного состояния. Тепло (скрытая теплота) идет на разрушение связей между молекулами.

Кривая охлаждения показывает понижение температуры горячего тела в процессе его остывания.



- **Удельная скрытая теплота парообразования.** Количество теплоты, поглощаемое при превращении 1 кг вещества из жидкости в газ при температуре кипения. Оно равно теплу, выделяющемуся при обратном процессе.

- **Удельная скрытая теплота плавления.** Количество теплоты, поглощаемое при превращении 1 кг вещества из твердого тела в жидкость при температуре плавления. Оно равно теплу, выделяющемуся при обратном процессе. См. также с. 114.

$$Q = ml,$$

где Q — тепловая энергия, отданная или приобретенная телом; m — масса; l — удельная скрытая теплота.

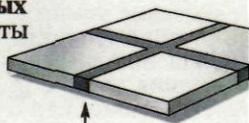
Единица СИ* удельной скрытой теплоты — джоуль на килограмм (Дж/кг).

* Единицы СИ, 96.

Расширение тел при нагревании

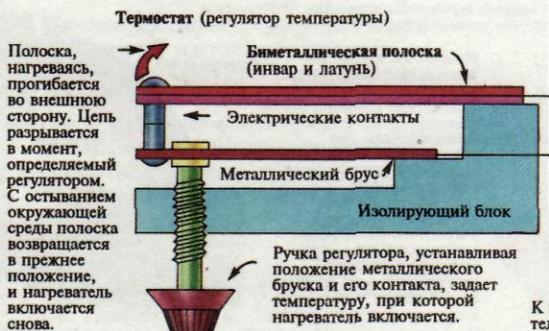
Большинство веществ расширяется при нагревании — их молекулы двигаются быстрее и на больших расстояниях друг от друга. Степень расширения (коэффициент расширения) зависит от межмолекулярных сил*. При одинаковом количестве подведенной теплоты (и постоянном давлении) меньше всего расширяются твердые тела, поскольку их молекулы ближе всего расположены друг к другу и, следовательно, между ними действуют наибольшие силы. Сильнее расширяются жидкости, больше всех — газы.

Расширение твердых тел при нагревании следует принимать во внимание в строительстве



Между плитами мостовой прорезиненный состав.

- Биметаллическая полоска.** Устройство, наглядно показывающее расширение твердых тел при нагревании. Состоит из двух различных металлических полос, соединенных по всей их длине. При нагревании и охлаждении оба металла расширяются или сжимаются (соответственно), но в разной степени, и полоска прогибается. Такие полоски используют в термостатах.



- Коэффициент линейного расширения (α).** Отношение приращения длины твердого тела, происходящего при увеличении температуры на 1 К, к его исходной длине.

- Коэффициент поверхностного расширения (β).** Отношение приращения площади твердого тела, происходящего при увеличении температуры на 1 К, к его исходной площади.

Для твердых тел и жидкостей:

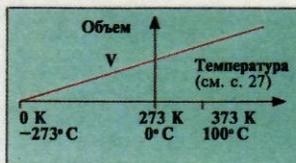
Заметьте, что для жидкостей имеет смысл лишь коэффициент объемного расширения. Он может быть истинным или наблюдаемым (см. с. 33) — таково же и изменение объема в формуле.

$$\text{Коэффициент расширения (линейного, поверхностного или объемного)} = \frac{\text{изменение (длины, площади или объема)}}{\text{исходные длина, площадь или объем} \times \text{увеличение температуры}}$$

Для газов:

$$\text{Коэффициент объемного расширения} = \frac{\text{изменение объема при постоянном давлении}}{\text{объем при } 0^\circ\text{C (273 K)} \times \text{увеличение температуры}}$$

- Коэффициент объемного расширения (γ).** Отношение приращения объема вещества, происходящего при увеличении температуры на 1 К, к его исходному объему. Эта величина одинакова для всех газов (при постоянном давлении), в той мере, в которой их допустимо считать идеальными газами. Поскольку для газов очень сильно зависит от температуры, начальный объем всегда берется при 0°C , чтобы можно было провести точные сравнения (для твердых тел и жидкостей в этом нет необходимости из-за слабой зависимости γ от температуры).



Изменение объема идеального газа при изменении температуры (давление постоянно). При построении использован закон Шарля (объем возрастает пропорционально температуре).

Начиная с нулевого объема до объема при 0°C (V) — 273 деления (градуса) на оси температуры.

Объем растет пропорционально температуре, так что для каждого деления (увеличения температуры на один кельвин) объем газа увеличивается на $1/273$ объема V .

Итак, для идеального газа:

$$\text{Коэффициент объемного расширения} = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

- **Истинный, или абсолютный, коэффициент объемного расширения.** Точно измеренная доля объема, на которую расширяется жидкость при увеличении температуры на 1 К.
- **Наблюдаемый коэффициент объемного расширения.** Видимая доля объема, на которую жидкость расширяется при увеличении температуры на 1 К в каком-либо

сосуде. На самом деле нагревание вызывает также очень малое расширение сосуда, так что измерение объема с его помощью уже не абсолютно точное.

- **Аномальное расширение.** Явление сжатия, а не расширения некоторых жидкостей при увеличении температуры в определенных пределах (напр., вода между 0°C и 4°C).

Поведение газов

Поведение всех газов сходно и описывается несколькими **газовыми законами** (см. ниже). **Идеальный газ** — воображаемый газ, который, по определению, при всех температурах и давлениях точно подчиняется **закону Бойля**; в действительности он также подчиняется и двум другим законам. При нормальных условиях (температура и давление) реальные газы ведут себя приблизительно идеально (чем выше температура и ниже давление, тем лучше приближение), и в общем можно применять эти законы.

Обозначения:

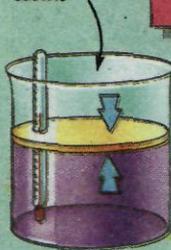
P — давление

V — объем

T — температура по абсолютной шкале*

R — газовая постоянная*

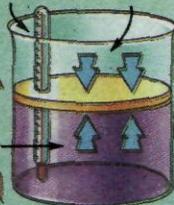
Газ при постоянной температуре, давлении и объеме



Закон давления

Температуру увеличивают

Давление увеличивается



Объем сохраняют прежним

$P \propto T$ или

$$\frac{P}{T} = \text{постоянная}$$

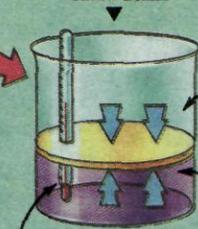
Закон давления: давление данной массы газа при постоянном объеме пропорционально температуре по абсолютной шкале*. Например, если температура увеличивается, но объем постоянен, то давление газа увеличивается пропорционально температуре — молекулы движутся быстрее и чаще ударяются о стенки. Заметьте, что давление, оказываемое на газ для поддержания постоянного объема, увеличивается точно так же, как и давление газа.

$$V \propto \frac{1}{P} \text{ или}$$

$$PV = \text{постоянная}$$

Закон Бойля: объем данной массы газа при постоянной температуре обратно пропорционален давлению. Например, если увеличивается давление на газ, объем пропорционально уменьшается — молекулы сближаются. Заметим, что увеличение давления газа равно увеличению давления на газ (молекулы чаще ударяются о стенки сосуда).

Закон Бойля



Давление увеличивают

Объем уменьшается

Температура поддерживается прежней

Закон Шарля



Температуру увеличивают

Увеличивается объем

Поддерживается постоянное давление

Закон Шарля: объем данной массы газа при постоянном давлении пропорционален температуре газа по абсолютной шкале*. Например, если температура возрастает, а давление поддерживается постоянным, объем возрастает пропорционально температуре (считается, что объем сосуда может увеличиваться) — молекулы движутся быстрее и на больших расстояниях друг от друга. Отметим, что давление газа остается постоянным, как и давление на него (молекулы так же часто ударяются о стенки — у них больше пространства, но и энергия больше).

$V \propto T$ или

$$\frac{V}{T} = \text{постоянная}$$

Уравнение состояния идеального газа связывает все остальные газовые законы.

Для одного моля* газа:

$$\frac{PV}{T} = R \text{ или } PV = RT$$

* Абсолютная шкала температуры, 27; Моль, 96.

Волны

Все волны переносят энергию без переноса вещества **среды***, в которой они распространяются. Их также называют **бегущими волнами**, поскольку энергия распространяется от источника к окружающим точкам (см. также **Стоячая волна**, с. 43).

Есть два основных вида волн: **механические волны** — например, звуковые — и **электромагнитные волны** (см. с. 44). Во всех случаях **волновое движение** — регулярное и повторяющееся (т. е. **периодическое движение** — см. с. 16) в форме **колебаний** —



▼ График «смещение—время» для колебания одной частицы.



регулярных переходов между крайними положениями. В механических волнах колеблются частицы, в электромагнитных — электрические и магнитные поля.



Эти волны — **поперечные**: колебания перпендикулярны направлению распространения волны.

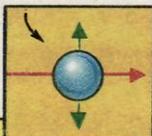


График «смещение—расстояние» для частиц некоторого участка веревки в фиксированный момент.



- **Поперечные волны.** Волны, в которых колебания происходят под прямым углом к направлению распространения энергии (волн), например, волны на воде (колебание частиц) и все **электромагнитные волны*** (колебания полей — см. введение).

- **Гребни, или пики.** Точки, где волна вызывает максимальное положительное смещение **среды***. Гребни некоторых волн, например на воде, можно видеть во время распространения.

- **Впадины.** Точки, где волны вызывают максимальное отрицательное смещение **среды***. Можно видеть движение впадин некоторых волн, например на воде.

- **Волновой фронт.** Любая кривая или поверхность, проведенные через распространяющуюся волну и соединяющие соседние точки, которые находятся в одинаковом положении в процессе колебаний. Волновые фронты расположены под прямыми углами к направлению распространения волн и могут иметь любую форму — например, **круговые** и **прямолинейные волновые фронты**.



Этот волновой фронт — гребень, но волновые фронты могут быть впадинами или любыми промежуточными линиями.

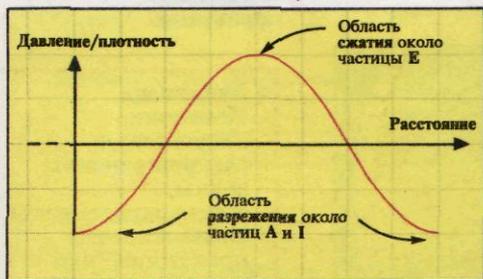
- **Продольные волны.** Волны, в которых колебания происходят вдоль направления распространения волн — например, звуковые волны. Все это — **механические волны** (см. введение), т. е. колеблются в них частицы.



График для показанных сверху частиц в фиксированный момент времени. В такой ситуации это уже не «фотография» волны (см. второй график на с. 34).



График давления или плотности в зависимости от расстояния для продольных волн показывает области сжатия и разрежения.



- **Области сжатия.** Области вдоль продольной волны, где давление и плотность молекул выше, чем в отсутствие волны.
- **Области разрежения.** Области вдоль продольной волны, где давление и плотность молекул ниже, чем в отсутствие волны.

- **Скорость волны.** Расстояние, проходимое волной за секунду. Зависит от **среды*** распространения.

$$\text{Скорость волны} = \frac{\text{расстояние, проходимое волной}}{\text{время}}$$

$$= \frac{(\text{количество волн, проходящих через точку}) \times (\text{длина волны})}{\text{время}}$$

$$= \text{частота} \times \text{длина волны}$$

Следовательно,

$$v = \nu \lambda,$$

где v — скорость волны; ν — частота; λ — длина волны.

- **Частота (ν).** Число колебаний в секунду при прохождении волн через данную точку (см. также с. 16). Равна числу периодов в секунду (см. с. 34, второй график).

- **Ослабление.** Постепенное уменьшение амплитуды волны из-за потери энергии при прохождении через вещество. Амплитуда колебаний уменьшается с удалением от источника. Это выглядит, как общее **затухание*** колебаний, хотя последний термин относится скорее к постепенному уменьшению амплитуды колебаний отдельной частицы.

График, показывающий затухающую волну



- **Интенсивность волн.** Мера энергии, которую несет волна. Рассчитывается как энергия, переносимая волной через единицу площади в секунду. Зависит от **частоты** и **амплитуды** волны.

* Затухание, 16; Среда, 115.

Отражение, преломление и дифракция

Различные препятствия и изменения среды приводят к **отражению, преломлению или дифракции волн**. Все это — разновидности изменений в направлении распространения волн; они также часто приводят к изменению формы **волнового фронта***. Более подробно об отражении и преломлении световых волн см. с. 46—53.



Капля воды создает круговые волновые фронты (прямые фронты создаются движением лопатки с прямой плоской поверхностью).

Отражение из губчатого материала поглощает энергию волн; предотвращает их отражение от края ванны.

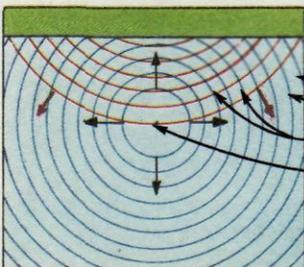
В ванну помещают барьеры и другие приспособления для изменения направления волн.

- **Волновая ванна.** Ванна с водой, используемая для демонстрации свойств волн на воде.

- **Отражение.** Изменение направления распространения волны вследствие отражения от границы двух сред*. Волна, претерпевшая отражение, называется **отраженной волной**.

Форма ее волновых фронтов зависит от формы **волновых фронтов** падающей волны и формы границы. Подробнее об отражении световых волн см. с. 46—49.

Примеры форм отраженных волн



Круговые волновые фронты, отражаясь от плоской границы, создают круговые фронты.

Круговые волновые фронты (падающие волны)

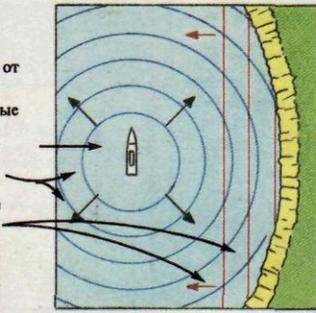
Круговые волновые фронты (отраженные волны)

Источник (напр., капля воды)

Круговые волновые фронты, отражаясь от вогнутой границы, создают в этом конкретном случае (если кораблик находится на данном расстоянии) **прямые волновые фронты**.

Гудок корабля создает звуковые волны. Круговые волновые фронты (падающие волны)

Прямые волновые фронты (отраженные волны)



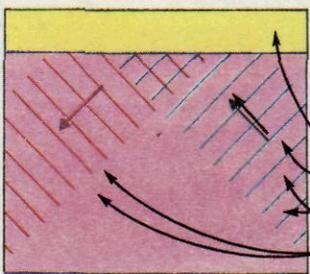
Прямые волновые фронты, отраженные от плоской границы, образуют прямые волновые фронты.

Зеркало заднего вида автомобиля

Световые волны от фар машин сзади

Прямые волновые фронты (падающие волны)

Прямые волновые фронты (отраженные волны)



- **Падающая волна.** Волна, движущаяся к границе двух сред*. Ее волновые фронты называются **падающими (набегающими) волновыми фронтами**.

- **Дифракция.** Изменение направления распространения волны, возникающее, когда волна встречает препятствие или проходит через отверстие. Степень «изгибания» волны зависит от размера препятствия или отверстия по сравнению с **длиной волны***. Чем меньше препятствие или щель, тем сильнее «изгибается» волна.

* Волновой фронт, Длина волны, 34; Среда, 115.

- **Преломление.** Изменение направления распространения волны при переходе в новую среду*, в которой изменяется скорость ее распространения. Волна, претерпевшая преломление, называется **преломленной волной**. Длина волны возрастает или убывает с изменением скорости, но **частота*** не изменяется. Подробнее о преломлении световых волн см. с. 50—53.

Волны, приходящие из среды* А, замедляются в среде В: например, волны на воде, движущиеся с глубиной на мель.

Падающие волновые фронты
Участок волнового фронта X в новой среде движется медленнее, чем участок, все еще находящийся в первой среде.

Если бы не было изменения среды, фронт был бы здесь.

Волновые фронты преломленных волн

Длина волны* меньше

Волны, идущие из среды В, ускоряются в среде А.

Волновые фронты преломленных волн

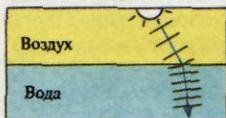
Длина волны* больше

Участок волнового фронта X в новой среде движется быстрее, чем участок, все еще находящийся в первой

Если бы среда не изменилась, этот участок был бы здесь.

Падающие волновые фронты

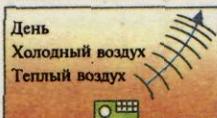
Другие примеры:



Волны замедляются, входя в более плотную среду.



Они ускоряются, входя в менее плотную среду.



Волны замедляются, входя в более холодную среду



(более холодная — более плотная). Они ускоряются, входя в более нагретую среду.

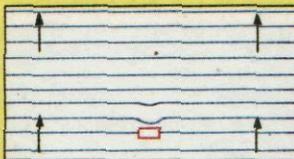
- **Показатель преломления (n).** Число, характеризующее преломляющую способность в данной среде* по сравнению с предыдущей. Находится делением скорости падающей волны на скорость преломленной волны в данной среде (используются нижние индексы, см. формулу). **Абсолютный показатель преломления** среды — отношение скорости света в ней к скорости света в вакууме (или, как правило, в воздухе). Подробнее о преломлении света и показателе преломления см. с. 50.

Это показатель преломления среды* 2 по отношению к среде* 1.

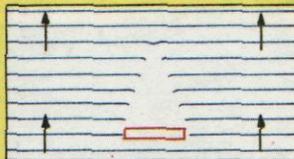
$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

где v_1, v_2 — скорости в первой и второй средах*.

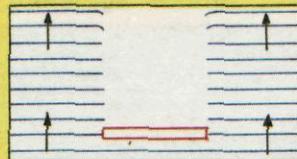
Дифракция звуковых волн на препятствии



Препятствие мало по сравнению с длиной волны* (длина звуковой волны примерно 2 м) — сильная дифракция, так что «тени» не образуется.



Размер препятствия сравним с длиной волны — некоторая дифракция происходит, так что образуется небольшая «тень», т. е. область, через которую волна не проходит.

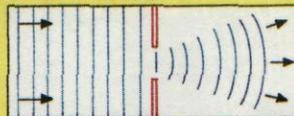


Препятствие велико по сравнению с длиной волны — почти нет дифракции, образуется большая «тень».

Дифракция волн на воде при их прохождении сквозь щель.



Отверстие широко по сравнению с длиной волны* — слабая дифракция.



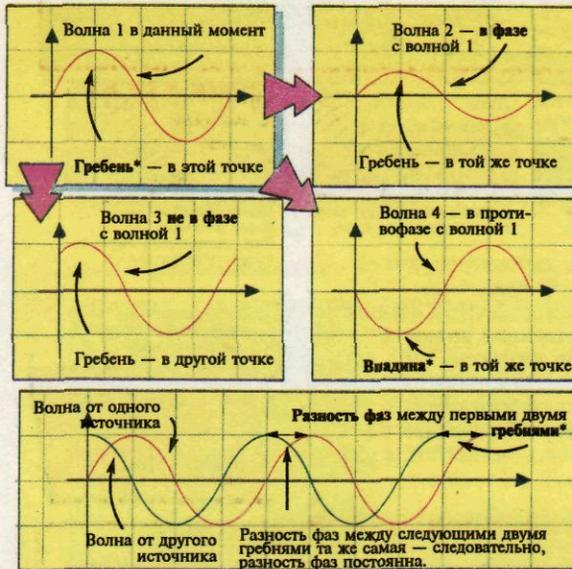
Щель примерно того же размера, что длина волны, — умеренная дифракция.



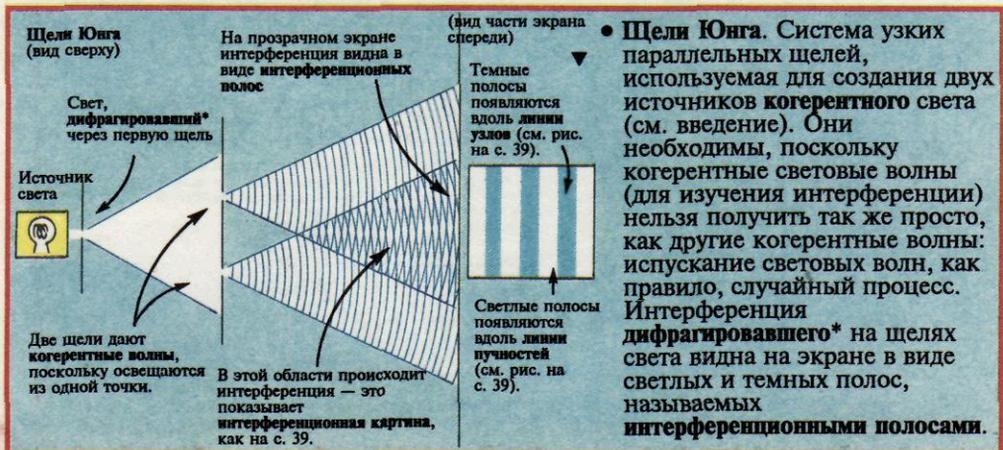
Щель узка по сравнению с длиной волны — очень сильная дифракция.

Интерференция волн

Когда две волны (или более) распространяются в одинаковом или разных направлениях в некоторой области пространства, в местах их встречи возникают вариации величины результирующего возмущения (см. **Принцип суперпозиции**, с. 39). Это явление называется **интерференцией**. При демонстрации интерференции, например в **волновой ванне***, всегда используют источники **когерентных волн**, т. е. волн одинаковой частоты и длины, которые либо **совпадают по фазе**, либо имеют **постоянную разность фаз** (см. **Фаза**). Это обеспечивает получение регулярной, воспроизводимой **интерференционной картины** возмущений (см. рис. на с. 39). Использование некогерентных волн приводит лишь к постоянно изменяющемуся смещению волн.



● **Фаза.** Две волны находятся в **фазе** (совпадают по фазе), если их частота одинакова и в процессе колебаний соответствующие точки находятся в одинаковом положении (например, обе на **гребне***) в один и тот же момент. Если этого не происходит, волны находятся **не в фазе** (не совпадают по фазе). Волны находятся в **противофазе**, если их смещения в точности противоположны (например, гребень и **впадина***). **Разность фаз** между двумя волнами — величина (измеряемая как угол), показывающая, насколько какая-либо точка одной волны опережает соответствующую точку другой либо отстает от нее. Для волн в противофазе разность фаз равна 180° ; для совпадающих по фазе — 0° .



● **Щели Юнга.** Система узких параллельных щелей, используемая для создания двух источников **когерентного света** (см. введение). Они **необходимы**, поскольку когерентные световые волны (для изучения интерференции) нельзя получить так же просто, как другие когерентные волны: испускание световых волн, как правило, случайный процесс. **Интерференция дифрагировавшего*** на щелях света видна на экране в виде светлых и темных полос, называемых **интерференционными полосами**.

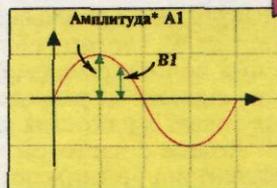
- **Принцип суперпозиции.** Утверждает, что при **суперпозиции (наложении)** двух или более волн в некоторой точке результирующее смещение равно сумме смещений (положительных или отрицательных) отдельных волн.

- **Конструктивная интерференция.** Увеличение (усиление) возмущения, происходящее вследствие **суперпозиции** двух **совпадающих по фазе** волн (см. Фаза).

- **Деструктивная интерференция.** Уменьшение возмущения в результате **суперпозиции** двух волн, находящихся в **противофазе**.

Конструктивная интерференция

Первая волна Накладывается на



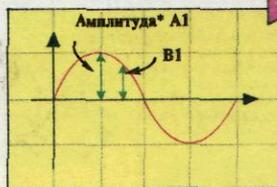
Если две волны амплитуды $A1$ совпадают по фазе, результирующая амплитуда вдвое больше первоначальной.

В соответствии с принципом суперпозиции $A1 + A2 = A3$.

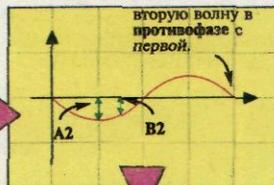
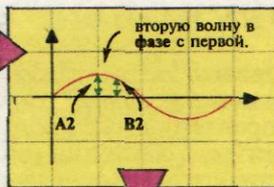
Это верно и для смещения в любой другой точке, напр., $B1 + B2 = B3$.

Деструктивная интерференция

Первая волна Накладывается на



Если две волны амплитуды $A1$ совмещаются в противофазе, результирующая амплитуда равна нулю.



- **Узлы, или узловые точки.** Точки, в которых непрерывно происходит **деструктивная интерференция** и которые, следовательно, все время остаются точками минимального возмущения, т. е. точками, где **гребень*** встречается со **впадиной*** или область **сжатия*** — с областью **разрежения***. Линия узлов — линия, состоящая целиком из узловых точек.

- **Пучности, или точки пучности.** Точки, в которых непрерывно происходит **конструктивная интерференция** и которые все время остаются точками максимального возмущения, т. е. точками, где встречаются два **гребня***, две **впадины***, две области **сжатия*** или **разрежения***. **Линия пучностей** — линия, целиком состоящая из точек пучности.

Интерференционная картина в фиксированный момент времени (показаны не все линии пучностей и узлов)

Два источника ($S1$ и $S2$) создают когерентные волны, в данном случае совпадающие по фазе.

Гребень* или область сжатия*

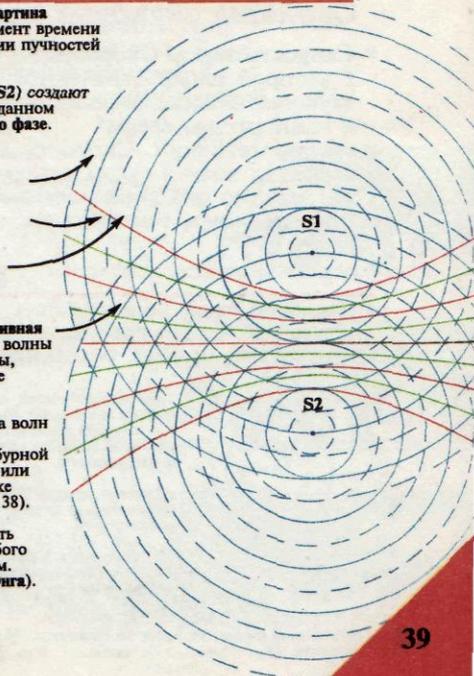
Впадина* или область разрежения*

Линия пучностей (конструктивная интерференция)

Линия узлов (деструктивная интерференция). Если волны одинаковой амплитуды, возмущение во всех ее точках равно нулю.

В зависимости от вида волн линии пучностей показывают области бурной воды, громкого звука или яркого света (см. также схему щелей Юнга, с. 38).

Линии узлов — область спокойной воды, слабого звука или темноты (см. также схему щелей Юнга).



Звуковые волны

Звуковые волны, также называемые **акустическими волнами**, — это **продольные волны***: они состоят из частиц, колеблющихся вдоль направления распространения волны, создавая области высокого и низкого давления (области **сжатия*** и **разрежения***). Они могут распространяться в твердых телах, жидкостях и газах и имеют широкий диапазон **частот***. Волны с частотой примерно от 20 до 20 000 **герц*** (**звуковой диапазон**) воспринимаются органами слуха человека и обычно называются звуком (подробнее о восприятии звука см. с. 42—43). Волны большей и меньшей частоты известны как **ультразвук** и **инфразвук**. Изучением звуковых волн занимается **акустика**.

- **Ультразвук.** Звук, образованный ультразвуковыми волнами, частоты* которых выше диапазона слуха человека, т. е. больше 20 000 Гц*. Эти волны имеют ряд применений.



Изображение ребенка в утробе матери

Ультразвук используется для ультразвукового обследования (сканирования) человеческого тела (используется эхо, см. с. 41).

Кости, жир и мышцы по-разному отражают ультразвуковые волны. Отраженные волны (эхо), преобразованные в электрические импульсы, образуют изображение на экране.



- **Инфразвук.** Звук, образованный инфразвуковыми волнами, — их частоты* ниже границ диапазона восприятия уха человека,

т. е. ниже 20 Гц*. Сейчас они мало применяются, поскольку болезненно переносятся людьми.

Свойства звуковых волн

- **Скорость звука.** Скорость, с которой распространяются звуковые волны. Зависит от вида и температуры **среды*** распространения. Скорость звуковых волн в сухом воздухе — 331 м/с, но она увеличивается с увеличением температуры.

- **Дозвуковая скорость.** Скорость ниже скорости звука в данной среде* при данных условиях.
- **Сверхзвуковая скорость.** Скорость выше скорости звука в данной среде* при данных условиях.

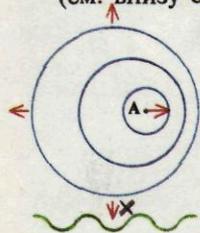


Обычные пассажирские самолеты летают с дозвуковой скоростью.



«Конкорд» может лететь со сверхзвуковой скоростью.

- **Звуковой удар.** Громкий звук, слышимый, когда ударная волна (см. внизу справа), созданная

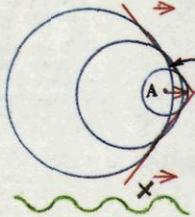


Продвигаясь вперед, самолет (А) создает продольные волны*, т. е. области высокого и низкого давления (области сжатия* и разрежения*).

Волновые фронты* могут «уйти» от самолета и начать рассеиваться.

Наблюдатель в Х слышит волны как звук (свист воздуха и шум двигателей).

самолетом, движущимся со сверхзвуковой скоростью, достигает наблюдателя.



Сверхзвуковой самолет (А) перегоняет свои волновые фронты, создавая новые, и они перекрываются.

В результате перед самолетом создается область значительно повышенного давления (ударная волна), она не может «уйти» от самолета, если он движется быстрее создаваемых им волн (аналогичный эффект происходит с носовой волной корабля).

Наблюдатель в Х услышит волну как внезапный громкий звуковой удар.

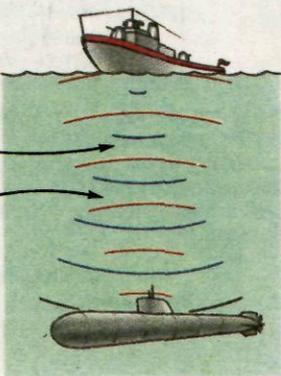
- **Эхо.** Звуковая волна, отраженная от поверхности и слышимая после первоначального звука. Эхо (обычно от **ультразвуковых волн**) часто используют для определения местонахождения объектов (измеряя время возвращения эхо). Этот метод имеет несколько названий, в зависимости от области применения, но различия между ними не очень существенны.

Сонар (от *sound navigation and ranging* — звуковая навигация и измерение дальности)

Ультразвуковые волны, испускаемые прибором под кораблем

Волны, отраженные подводной лодкой (эхо)

Эхо фиксируется чувствительными приборами на корабле и преобразуется в электрические импульсы, образующие изображение подводной лодки на экране прибора.



Ультразвуковое сканирование (см. с. 40) — это один из примеров. Другие — эхолот и **сонар**, оба связанные с навигацией (эхолот обычно применяется для измерения глубины под кораблем, **сонар** — для обнаружения объектов под водой). **Эхолокация** означает использование эхо животными в поисках добычи или при огибании препятствий в темноте.

Эхолокацию применяют летучие мыши.

Испускаются ультразвуковые волны.

Волны, отраженные от мотылька (эхо).



Летучая мышь принимает отраженные волны (в отличие от людей, летучие мыши слышат ультразвук).

- **Реверберация.** Эффект, при котором звук воспринимается дольше, чем он издавался на самом деле. Это происходит, когда время возвращения эхо так мало, что нельзя отличить исходную и отраженную волну. Если волна отражается от многих поверхностей, звук может нарастать.



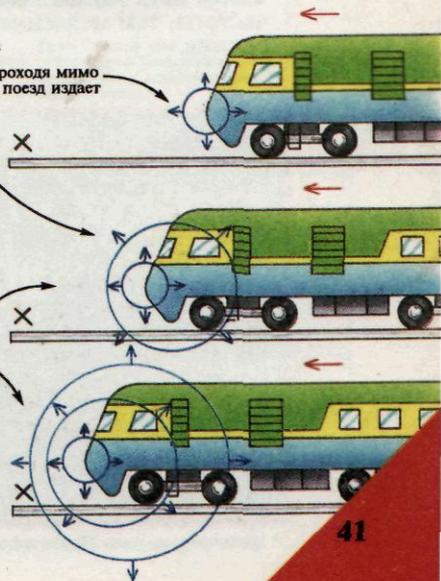
- **Эффект Доплера.** Изменение частоты* слышимого звука, когда наблюдатель или источник движутся относительно друг друга. Если расстояние между ними уменьшается, слышен звук более высокой частоты, чем издается на самом деле. Если расстояние увеличивается, слышен более низкочастотный звук.

Эффект Доплера

Приближаясь и проходя мимо наблюдателя в X, поезд издает гудок.

Волновые фронты* расходятся со скоростью звука (относительно поезда).

Здесь волновые фронты сближены, поскольку поезд движется, создавая звуковые волны; они воспринимаются в X как звуки более высокой частоты*. Звук менее низкой частоты будет слышен, когда поезд пройдет.



* Волновой фронт, 34; Частота, 35.

Восприятие звука

Звуки, воспринимаемые слухом, могут быть приятными и неприятными. Когда форма звуковой волны (см. с. 40—41) периодична, звук обычно считают приятным. Если же она не повторяется и нерегулярна, звук считают шумом. У каждого звука есть определенная громкость и высота, и многие, в том числе музыкальные, звуки создаются стоячими волнами.

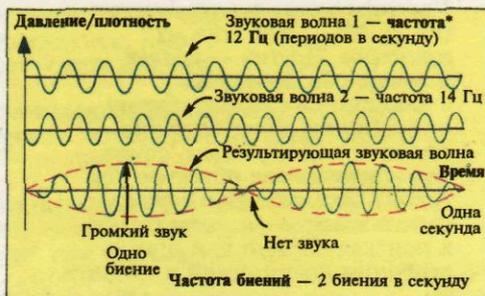


- **Громкость.** Сила ощущения звуковых волн органами слуха. Она субъективна, зависит от чувствительности органа слуха, но непосредственно связана с **интенсивностью воли***. Чаще всего ее измеряют в **децибелах (дБ)**, но также, более точно, в **фонах** (которые учитывают различную чувствительность слуха к звукам разной частоты*).

- **Высота тона.** Определяется частотой* звуковой волны. Высокий тон соответствует

высокой частоте звука, низкий тон — низкой частоте.

- **Биения.** Регулярное изменение громкости со временем, слышимое при одновременном восприятии двух звуков с несколько различными частотами*. Это результат **интерференции*** двух волн. Частота биений равна разности частот двух звуков. Чем ближе частоты, тем медленнее биение.



Музыкальные звуки

Вся музыка основана на некотором музыкальном строе. Это ряд нот (звуков с определенной высотой тона, расположенных по возрастанию высоты тона с регулярными интервалами (музыкальный интервал — это частотный*, а не временной промежуток). Ноты упорядочены так, что можно извлечь наибольшее число приятных звуков. Понятие о благозвучии зависит от традиции: восточная музыка основана на ином строе, чем западная.

Западный музыкальный строй основан на диатонической гамме — она состоит из 8 нот (белые клавиши фортепиано) от нижнего «до» до верхнего «до».

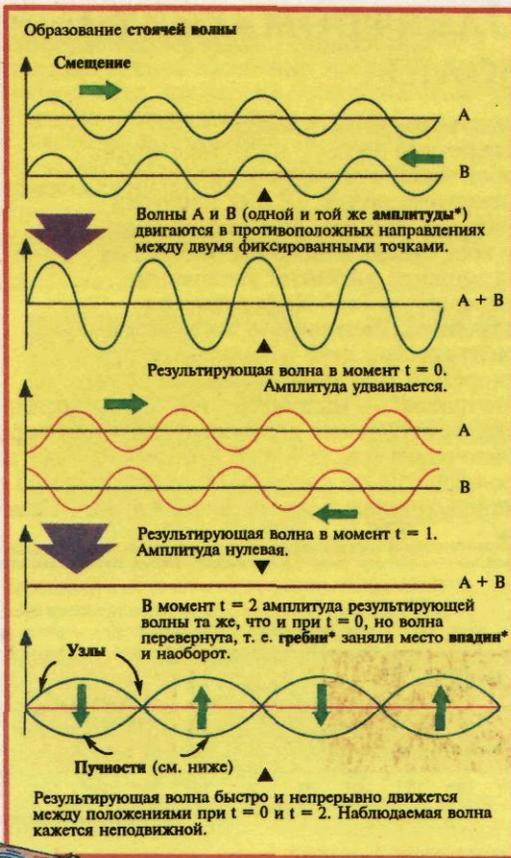
Нижняя нота диатонической гаммы Верхняя нота диатонической гаммы



Нижнее «до» Нота Верхнее «до»

Частоты* нот черных клавиш — между частотами нот диатонической гаммы. Вместе они образуют хроматическую гамму.

• **Стоячая, или стационарная, волна.** Волна, которая кажется неподвижной. На самом деле это не настоящая волна: ее составляют две волны одинаковой скорости и частоты*, непрерывно движущиеся в противоположных направлениях между двумя фиксированными точками. В определенных точках (узлах) она всегда нулевая. Амплитуда и частота стационарной волны в струне или проволоке определяют те же характеристики звуковых волн, образуемых в воздухе, — длину и натяжение струны определяют диапазон частот и, следовательно, высоту издаваемого звука.



Сонометр (монохорд). Аппарат для демонстрации стоячих волн. От щипка струна вибрирует, и резонатор усиливает звук, вызванный колебаниями.



• **Колебательные моды.** Одна и та же нота на разных инструментах хотя и опознается как одна нота, но различается по «окраске» звука (тембру), характерному для каждого инструмента. Дело в том, что, кроме главного, **сильнейшего колебания**, которое одинаково для данной ноты на любом инструменте (его **частота*** является **основной**), одновременно совершаются колебания других частот (**обертоны**). Совокупность характерных для инструмента колебаний называется колебательными модами.

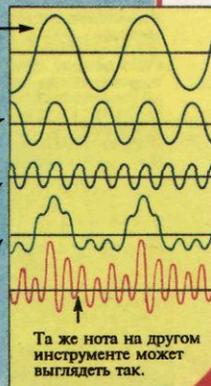
Самый низкочастотный тип колебаний (основная частота) ноты на данном инструменте

Частоты обертонов, кратные основной частоте, также называются гармониками.

1-й обертон (2-я гармоника, то есть удвоенная частота; заметим, что основная частота это 1-я гармоника)

2-й обертон (заметим, что это 4-я гармоника, то есть в этом случае отсутствует 3-я гармоника)

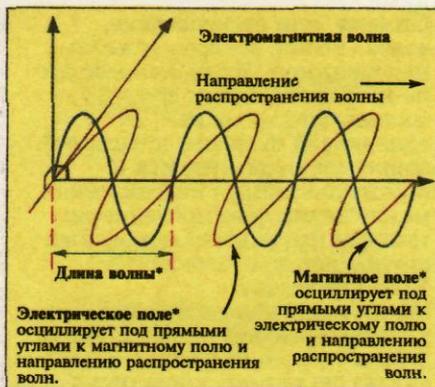
Сочетание колебательных мод (все три — вместе). Характерная форма волны для данного инструмента



* Амплитуда, 34; Впадины, 34; В фазе, 38 (Фаза); Гребни, 34; Интерференция, Не в фазе, 38 (Фаза); Частота, 35.

Электромагнитные волны

Электромагнитные волны — это **поперечные волны***, представляющие собой колебания **электрического и магнитного полей***. У них широкий диапазон **частот***, они распространяются во всех **средах***, включая вакуум; их поглощение вызывает увеличение температуры (см. **Инфракрасное излучение**). **Радиоволны** и некоторые **рентгеновские лучи** испускаются при ускорении или замедлении свободных **электронов*** — например, при столкновениях. Все остальные виды электромагнитных волн возникают при переходах электронов между оболочками (см. с. 85). Во многих случаях **электромагнитные волны** проявляются не как непрерывный поток, а скорее как последовательность импульсов, называемых **фотонами** (см. **Квантовая теория**, с. 85).



Электромагнитный спектр (шкала электромагнитных волн). Пять основных отрезков — диапазоны волн, то есть определенные области **частот*** и **длины волн***, внутри которых все волны имеют общие характерные свойства.



• Гамма-лучи (γ-лучи).

Электромагнитные волны, излучаемые **радиоактивными*** веществами (см. также с. 86). Они близки по свойствам к **рентгеновским лучам**, но имеют большую энергию.

Рентгенография позволяет получать снимки внутренних органов (**рентгенограммы**). Рентгеновские лучи проходят сквозь ткани, но поглощаются более плотными костями, поэтому кости выглядят на снимке менее засвеченными.

Локоть человека



• **Рентгеновские лучи.** Электромагнитные волны, **ионизирующие*** газы, через которые они проходят, вызывают **флуоресценцию** и приводят к химическим изменениям на фотопластинках. Источником этих широко используемых лучей являются **рентгеновские трубки***.

• Ультрафиолетовое излучение (УФ-излучение).

Электромагнитные волны, создаваемые, например, при прохождении электрического тока через **ионизированный*** газ между двумя **электродами***. Они также испускаются Солнцем, но лишь малая их доля достигает поверхности Земли (большая часть теряет энергию, ионизируя атомы атмосферы). Эти малые количества необходимы для жизни; большие же — опасны. Ультрафиолетовое излучение вызывает **флуоресценцию**, например во **флуоресцентных трубках***, а также ряд химических реакций, например загар на коже.

- **Фосфоресценция.** Явление, наблюдаемое в некоторых веществах — **люминофорах**, которые поглощают **гамма- или рентгеновские лучи** и испускают **видимый свет**, то есть волны большей длины. Эмиссия света может продолжаться после прекращения действия гамма- или рентгеновских лучей. Если она проявляется лишь короткое время в виде быстрой вспышки, ее называют **сцинтилляцией** (см. также **Сцинтилляционный счетчик**, с. 90).

- **Флуоресценция.** Явление, наблюдаемое в некоторых веществах, которые поглощают **ультрафиолетовое излучение** и испускают **видимый свет**, то есть излучение с **большей длиной волны***. Эмиссия прекращается с прекращением действия ультрафиолетового излучения.

- **Инфракрасное излучение (ИК-излучение).** Электромагнитные волны, создаваемые нагретыми телами. Особенно эффективны для нагревания тел, поскольку поглощаются легче, чем другие электромагнитные волны (см. введение и **Излучение**, с. 29). Их используют для создания **теплового изображения** на специальной ИК-чувствительной пленке, подвергающейся при экспонировании действию тепла, а не света.



Тепловое изображение озерной воды, используемой как охладитель на атомной электростанции* (снято из космоса).

Самая теплая вода — коричневая, самая холодная — синяя. Каждый цвет соответствует интервалу температур примерно в один градус.

- **Видимый свет.** Электромагнитные волны, воспринимаемые органами зрения. Они излучаются Солнцем, в **разрядных трубках***, а также любым веществом, нагретым до свечения (излучение света при нагревании называется **тепловым свечением**). Видимый свет вызывает химические изменения, например, на фотопленке, а различные **длины волн*** светового диапазона видны как различные цвета (см. с. 55).

- **Микроволновое излучение.** Очень короткие радиоволны, используемые в **радиолокаторах**, или **радарх** (обнаружение и измерение расстояний с помощью радиоволн, от англ. **radio detection and ranging**), для определения положения тела по времени возвращения отраженной волны к источнику (см. также **Сонар**, с. 45). **Микроволновая печь** использует микроволны для быстрого приготовления пищи.

Магнетрон, подсоединенный к обычному источнику электроэнергии, создает микроволновое излучение.



Микроволновая печь

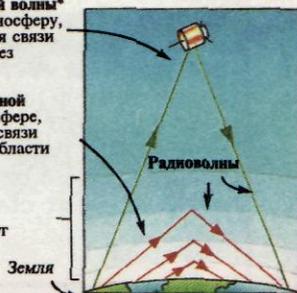
Микроволновое излучение свободно проходит сквозь специальную посуду (но не через металлическое покрытие печи). Они проникают в пищевые продукты, возбуждая там колебания молекул воды, жира или сахара. Выделяется тепло, достаточное для приготовления пищи. Волны отражаются от стенок печи, и пища нагревается равномерно.

- **Радиоволны.** Электромагнитные волны, испускаемые, когда **электрическое поле*** вынуждает колебаться (т. е. испытывать ускорение) свободные **электроны*** в радиоантеннах. То, что частота и фаза колебаний определяется полем, означает, что волны излучаются **когерентно**, а не случайно. Они используются для связи на больших расстояниях.

Радиоволны с малой длиной волны* могут проникать сквозь ионосферу, и поэтому используются для связи на большие расстояния через спутники.

Радиоволны с большой длиной волны* отражаются в ионосфере, поэтому используются для связи внутри какой-либо области земной поверхности.

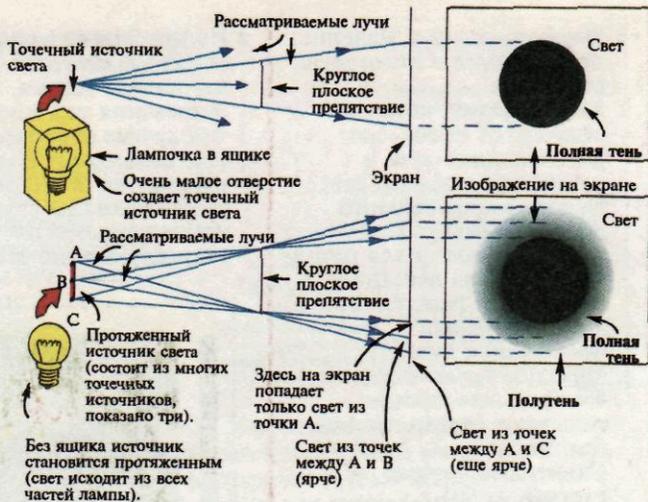
Ионосфера (область ионизированного* газа вокруг Земли)



* Атомная электростанция, 94; Длина волны, 34; Ионизация, 88; Разрядная трубка, 80; Электрическое поле, 58; Электроны, 83.

Свет

Свет — это электромагнитные волны* определенных частот* и длин волн* (см. с. 44—45), но обычно его представляют и изображают схематически в виде лучей. Световой луч — это направленная прямая, обозначающая путь световых волн, то есть направление переноса энергии.



- **Тень.** Область, недоступная для световых лучей из-за препятствия на их пути. Если лучи исходят из точки, препятствие создает **полную тень**. Если они исходят из протяженного источника, вокруг полной тени создается **полутень**.

Отражение света

Отражение — изменение направления волны, когда она «отталкивается» от границы сред (см. с. 36). Обычное отражение света демонстрируется зеркалами (см. справа, а также с. 48—49). Следует отметить, что при построении схем с зеркалами (и линзами*) обычно считают, что изображаемый объект сам излучает свет. В действительности свет падает от источника, например Солнца, и уже однажды отражен — от объекта.

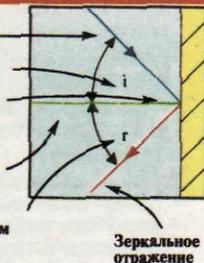
Падающий луч. Луч света перед отражением (или преломлением*).

Угол падения (i). Угол между падающим лучом и нормалью в точке падения.

Точка падения. Точка, в которой падающий луч встречает границу и становится отраженным (или преломленным*).

Нормаль. Прямая, проходящая через выбранную точку (напр., точку падения) перпендикулярно границе.

Угол отражения (r). Угол между отраженным лучом и нормалью в точке падения.



Законы отражения света

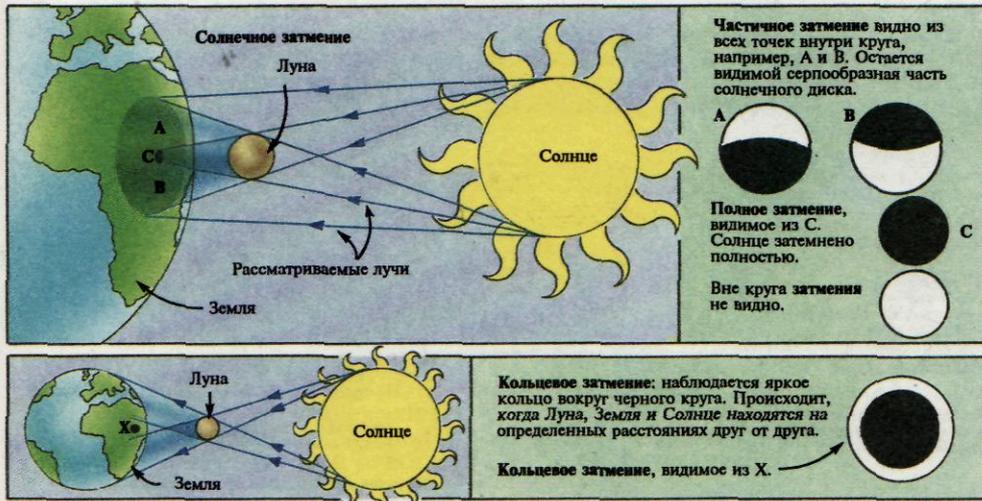
1. **Отраженный луч** лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью в точке падения.
2. **Угол падения (i)** равен углу отражения (r).

- **Зеркальное отражение.** Отражение параллельных падающих лучей (см. выше) от плоской поверхности, при котором все **отраженные лучи** также параллельны. Оно происходит на очень гладких поверхностях, например тщательно отполированных — таких, как зеркала.



- **Затмение.** Полное или частичное перекрытие светового потока от источника. Происходит, когда тело создает **тень**, проходя между источником и наблюдателем.

Солнечное затмение наблюдается на Земле, когда Луна проходит между Землей и Солнцем, **лунное затмение** — когда Земля оказывается между Солнцем и Луной.



- **Диффузное отражение.** Отражение параллельных падающих лучей (см. слева) от шероховатой (неровной) поверхности, при котором **отраженные лучи** расходятся в разных направлениях и свет рассеивается. Это наиболее распространенный тип отражения, поскольку в масштабах **длины волны*** света большинство поверхностей шероховаты (см. с. 44).



- **Плоское зеркало.** Зеркало с плоской поверхностью (см. **Искривленные зеркала**, с. 48—49). Изображение в нем — тех же размеров, что и объект; оно находится на том же расстоянии от зеркала, что и расстояние от зеркала до объекта; изображение **зеркально перевернуто** (левая и правая сторона меняются местами).



- **Параллакс.** Кажущееся движение двух тел относительно друг друга, видимое движущимся наблюдателем. Например, при взгляде из окна поезда кажется, что два тела, находящиеся на разном расстоянии от наблюдателя, взаимно перемещаются — представляется, что дальнее тело движется быстрее, проходя большее расстояние.

* Длина волны, 34; Мнимое изображение, 49 (Изображение).

Отражение света (продолжение)

Лучи света отражаются от искривленных поверхностей, как и от плоских, по законам отражения света (см. с. 46). Особенно легко можно наблюдать изображения при отражении от **искривленных зеркал**. Есть два типа искривленных зеркал — **вогнутые** и **выпуклые**. На всех чертежах, показывающих отражение света, объект предполагается источником света (см. **Отражение света**, с. 46); при построении изображения обычно используют лучи, проходящие через некоторые особые точки, поскольку пути таких лучей построить проще всего.

Точки, применяемые при построении изображений (см. также с. 52).

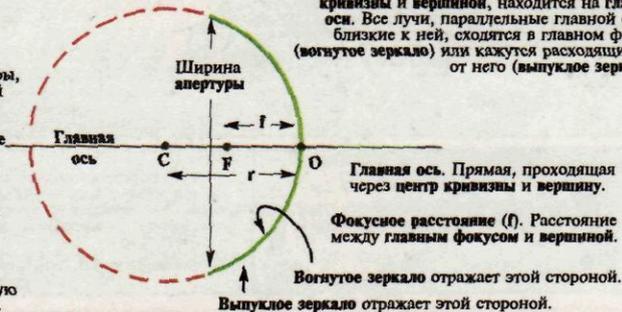
Вершина (O). Центр искривленного зеркала.

Центр кривизны (C). Центр сферы, часть которой — зеркало. Любой луч, проходящий через него (вогнутое зеркало) или направленный на него (выпуклое зеркало), отражается на себя.

Радиус кривизны (r). Расстояние между центром кривизны и вершиной.

Апертура. Площадь, через которую проходит свет на пути к зеркалу.

Главный фокус, или фокальная точка (F). Особая точка на отрезке между центром кривизны и вершиной, находится на главной оси. Все лучи, параллельные главной оси и близкие к ней, сходятся в главном фокусе (вогнутое зеркало) или кажутся расходящимися от него (выпуклое зеркало).

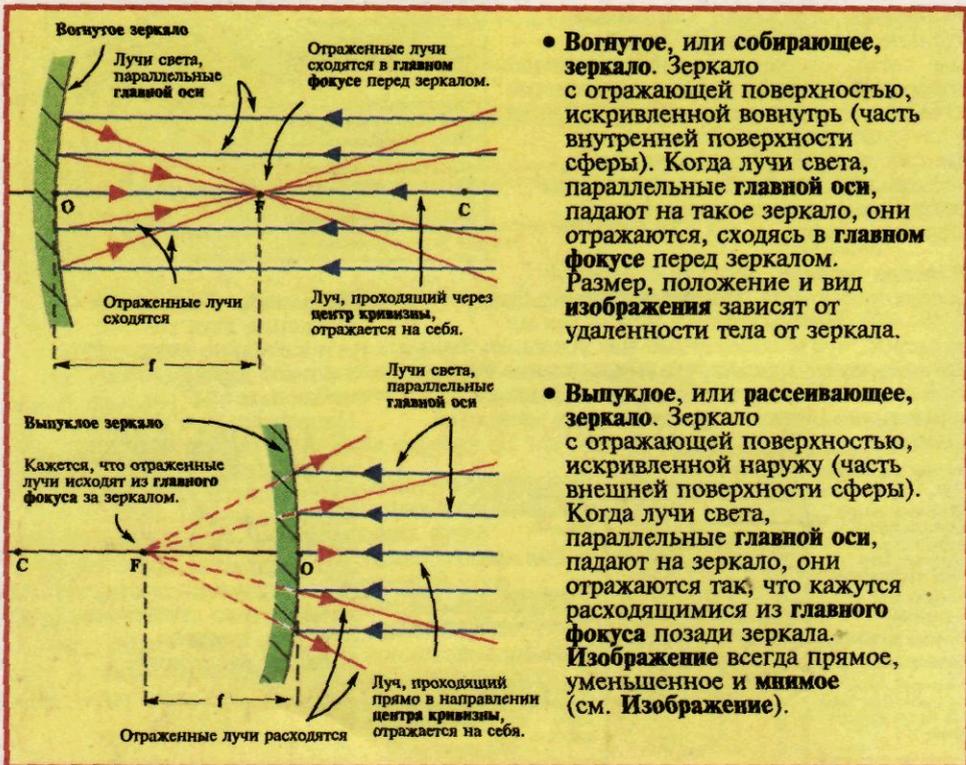


Главная ось. Прямая, проходящая через центр кривизны и вершину.

Фокусное расстояние (f). Расстояние между главным фокусом и вершиной.

Вогнутое зеркало отражает этой стороной.

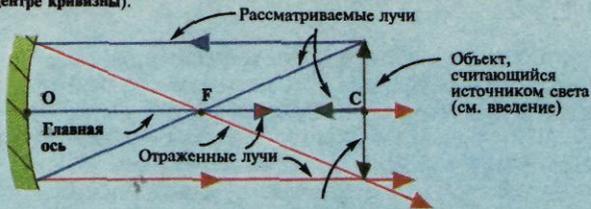
Выпуклое зеркало отражает этой стороной.



- **Вогнутое, или собирающее, зеркало.** Зеркало с отражающей поверхностью, искривленной вовнутрь (часть внутренней поверхности сферы). Когда лучи света, параллельные главной оси, падают на такое зеркало, они отражаются, сходясь в главном фокусе перед зеркалом. Размер, положение и вид изображения зависят от удаленности тела от зеркала.

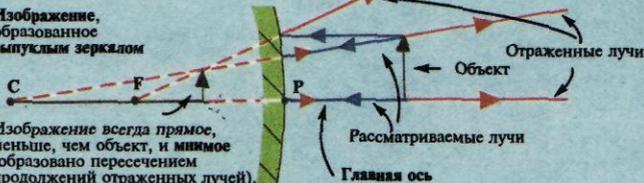
- **Выпуклое, или рассеивающее, зеркало.** Зеркало с отражающей поверхностью, искривленной наружу (часть внешней поверхности сферы). Когда лучи света, параллельные главной оси, падают на зеркало, они отражаются так, что кажутся расходящимися из главного фокуса позади зеркала. Изображение всегда прямое, уменьшенное и мнимое (см. **Изображение**).

Пример изображения, создаваемого **вогнутым зеркалом** (объект — в центре кривизны).



В этом случае изображение видно здесь; оно перевернутое, того же размера, что и объект, и действительное (образовано реальным пересечением отраженных лучей).

Изображение, образованное **выпуклым зеркалом**



Изображение всегда прямое, меньше, чем объект, и **мнимое** (образовано пересечением продолжений отраженных лучей).

- **Изображение.** Зрительный образ объекта, находящийся не там, где объект находится в действительности. Объект виден благодаря идущим от него лучам света (см. **Отражение света**, с. 46), точно так же изображение видно там, откуда расходятся (**действительное изображение**) или кажутся расходящимися (**мнимое изображение**) отраженные лучи, первоначально вышедшие от объекта.

- **Формула зеркала или линзы.** Дает связь между расстоянием от объекта до центра искривленного зеркала или **линзы***, расстоянием от изображения до этой точки и

фокусным расстоянием зеркала или линзы. Изображение может быть по любую сторону зеркала или линзы — его положение указывается с помощью **соглашения о знаках***.

Формула зеркала:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s'} + \frac{1}{s}$$

где f — фокусное расстояние;
 s' — расстояние до изображения (от вершины);
 s — расстояние до объекта (от вершины).

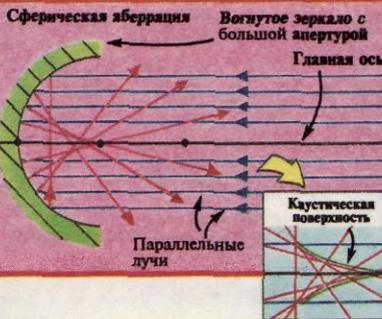
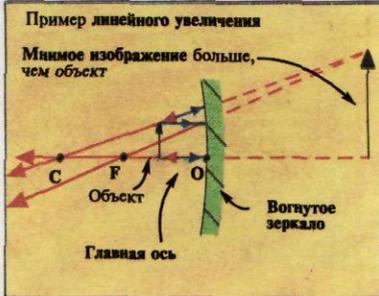
Правило знаков: «Действительное — положительно»

1. Все расстояния измеряются от вершины как начала отсчета.
2. Расстояния, связанные с объектами и действительными изображениями, положительны.
3. Расстояния, связанные с мнимыми изображениями, отрицательны.

- **Линейное увеличение.** Отношение высоты создаваемого зеркалом или **линзой***, к высоте объекта.

$$\text{Линейное увеличение} = \frac{\text{высота изображения}}{\text{высота тела}}$$

- **Принцип обратимости света.** Если луч света движется вследствие отражения, **преломления*** или **дифракции*** по данному пути, то луч света, идущий в противоположном направлении при тех же условиях, пройдет по тому же пути. Например, лучи, параллельные **главной оси**, отражаются **вогнутым зеркалом** и встречаются в **главном фокусе**. Если **точечный источник** помещен в **главный фокус**, лучи отражаются параллельно **оси**.



- **Сферическая aberrация.** Явление, наблюдаемое, когда лучи, параллельные **главной оси** (на разном расстоянии от нее), попадают на **искривленное зеркало** и отражаются, пересекаясь в разных точках вдоль **оси**, образуя **каустическую поверхность**. Чем больше **апертура**, тем это явление заметнее. Наблюдается также в **линзах*** с большой **апертурой**.

* Дифракция, 36; Линза, 52; Преломление, 37; Соглашение о знаках, 11.

Преломление света

Преломление — изменение направления распространения любой волны в результате изменения ее скорости при переходе из одной **среды*** в другую (см. также с. 37). Когда лучи света (см. с. 46) переходят в новую среду, они преломляются по **законам преломления света**. Направление преломления зависит от того, переходят ли они в более или менее плотную среду и, следовательно, замедляются или ускоряются (см. схему внизу).

Преломление на границе двух сред*

Падающий луч. Луч света до преломления (или отражения*)

Угол преломления (γ). Угол между преломленным лучом и нормалью в точке преломления.

Если вторая среда плотнее, луч преломляется ближе к **нормали**, как здесь. Если она менее плотна, чем первая, то она преломляется, удаляясь от нормали.



Угол падения (i). Угол между падающим лучом и нормалью в точке падения.

Точка падения. Точка, в которой падающий луч встречает границу и становится преломленным (или отраженным*) лучом.

Нормаль. Прямая, проходящая через выбранную точку (напр., точку падения) под прямым углом к границе сред.

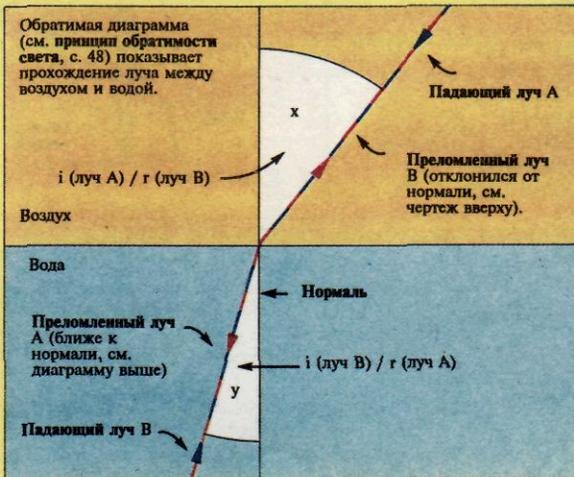
Преломленный луч

Законы преломления света

1. Преломленный луч, падающий луч и нормаль в точке падения лежат в одной плоскости.

2. Закон Снелла: отношение **синуса*** угла падения к синусу угла отражения постоянно для двух данных сред*. Эта постоянная —

показатель преломления (n — см. с. 37). В применении к свету он также известен как **оптическая плотность** и, как и показатель преломления в других случаях, может вычисляться делением скорости света в первой среде на скорость во второй. (См. также рисунок «Кажущаяся глубина».)



Обратимая диаграмма (см. принцип обратимости света, с. 48) показывает прохождение луча между воздухом и водой.

i (луч A) / r (луч B)

Воздух

Вода

Преломленный луч A (ближе к нормали, см. диаграмму выше)

Падающий луч B

Падающий луч A

Преломленный луч B (отклонился от нормали, см. чертёж сверху).

Нормаль

i (луч B) / r (луч A)

Для обоих направлений **показатель преломления*** второй среды* относительно первой записывается как n_{21} .

Согласно закону Снелла:

$$n_{21} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

Среда может также указываться буквами внизу — $n_{\text{возд/вод}}$ означает показатель преломлений воды относительно воздуха, а $n_{\text{вод/возд}}$ — воздуха относительно воды.

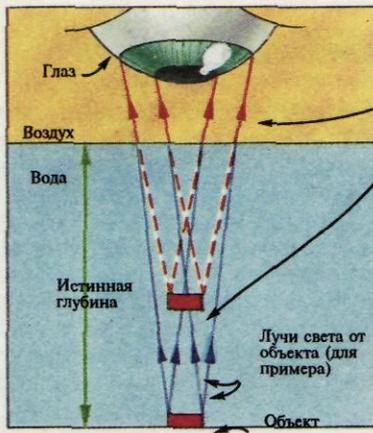
$$n_{\text{возд/возд}} = \frac{\sin i(\text{луч A})}{\sin r(\text{луч A})} = \frac{\sin x}{\sin y}$$

$$n_{\text{вод/вод}} = \frac{\sin i(\text{луч B})}{\sin r(\text{луч B})} = \frac{\sin y}{\sin x}$$

Таким образом, $n_{\text{возд/вод}} = \frac{1}{n_{\text{вод/вод}}}$

Если нижних индексов нет, имеется в виду **абсолютный показатель преломления***.

- **Кажущаяся глубина.** Кажущееся положение объекта в одной среде* при наблюдении из другой. Мозг считает, что лучи света идут по прямой, хотя на самом деле они изменили направление в результате преломления. Следовательно, объект на самом деле находится не там, где кажется.



Кажущаяся глубина

Лучи, выходя из воды, преломляются

Мозг полагает, что лучи света идут прямолинейно (пунктирные линии), так что объект виден здесь.

Истинная глубина и кажущаяся глубина могут также использоваться для вычисления показателя преломления*:

$$n_{\text{возд/воз}} = \frac{\text{Истинная глубина}}{\text{Видимая глубина}}$$

$$\left(n_{\text{возд/воз}} = \frac{1}{n_{\text{возд/воз}}} \right)$$

- **Предельный угол (с).** Такой угол падения луча на менее плотную среду*, который приводит к его преломлению под углом 90°

к нормали. Это означает, что преломленный луч (**предельный луч**) проходит по границе сред и не входит во вторую среду.



Предельный угол можно использовать для вычисления показателя преломления*:

$$n_{\text{возд/стек}} = \frac{1}{\sin c}$$

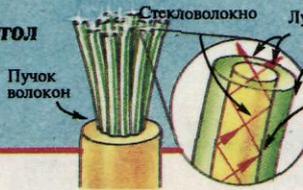
$$\left(n_{\text{стек/воз}} = \frac{1}{n_{\text{возд/стек}}} \right)$$

(Заметьте: синус 90° равен 1)

- **Полное внутреннее отражение.** Когда свет, идущий в менее плотную среду* из более плотной, попадает на их границу, преломлению всегда сопутствует некоторая степень отражения (**внутреннее отражение**). Когда угол

падения больше предельного угла, наступает полное внутреннее отражение, т. е. весь свет отражается вовнутрь.

Оптические волокна проводят свет посредством полного внутреннего отражения. Пучки таких волокон находят ряд применений, напр., в связи и медицине (в эндоскопах, используемых врачами для внутреннего обследования и др.).



Внешний слой менее плотного стекла

Угол падения больше предельного; происходит полное внутреннее отражение.

- **Призма.** Прозрачное твердое тело с двумя преломляющимися поверхностями под углом друг к другу. Призмы используют для получения дисперсии* и изменения пути света из-за преломления или полного внутреннего отражения.

Призма, преломляющая луч света

Угол отклонения, т. е. угол между входящим и выходящим лучами

Путь света, если бы он не прошел сквозь призму

Призма, вызывающая полное внутреннее отражение

Угол падения больше предельного

Угол отклонения = 90°

* Дисперсия, 84 (Цвет); Показатель преломления, 37; Среда, 115.

Преломление света (продолжение)

На искривленных поверхностях, например линзах, лучи света преломляются, как и на плоских, по **законам преломления света** (см. с. 50), но в отличие от случая плоских поверхностей при этом образуется изображение. Есть два основных вида линз — **выпуклые** и **вогнутые**, которые могут действовать как **собирающие** или **рассеивающие** в зависимости от **показателя преломления*** относительно окружающей **среды***. На всех чертежах, показывающих получение изображения при преломлении, объект считается источником света (см. **Отражение света**, с 46); для построения изображения, так же как и для зеркал, используют лучи, проходящие через особые точки. Положение тел и изображений можно определить с помощью **формулы зеркала (линзы*)**.

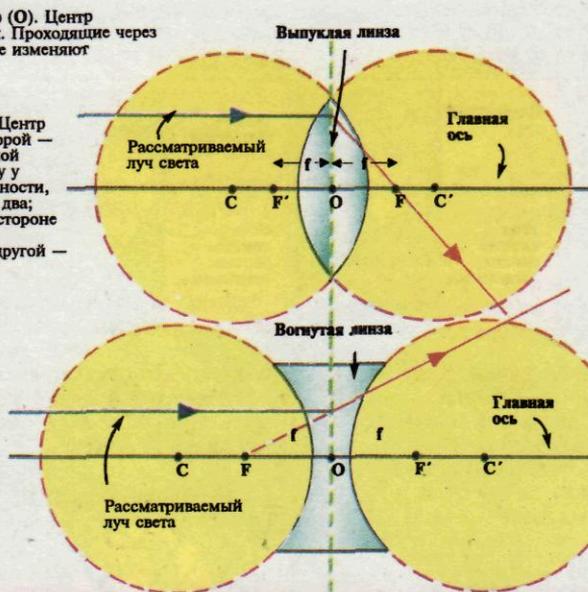
Точки, используемые для построения изображений (см. также с. 48). Все показанные линзы считаются тонкими (т. е. их толщина мала по сравнению с **фокусным расстоянием**). Хотя лучи отклоняются и на входе в линзу, и на выходе, их изображают отклоняющимися однажды, на вертикальной линии, проходящей через **оптический центр**.

Оптический центр (O). Центр симметрии линзы. Проходящие через него лучи света не изменяют направления.

Центр кривизны. Центр сферы, часть которой — поверхность данной линзы. Поскольку у линзы две поверхности, центра кривизны два; находящийся на стороне падающего луча обозначается **C** (другой — **C'**).

Главная ось. Прямая, проходящая через **оптический центр** и **центр кривизны**.

Апертура. Площадь, через которую проходит свет, чтобы попасть на линзу.



Главный фокус, или фокальная точка. Особая точка на **главной оси**. Все параллельные лучи, идущие близко к оси, преломляясь, сходятся в **главном фокусе (собирающая линза)** или кажутся расходящимися из него (**рассеивающая линза**). Поскольку свет может входить в линзу с любой из сторон, **главных фокусов два**; **F** — обозначение того, в котором сходятся или из которого, как кажется, расходятся лучи (**другой фокус F'**).

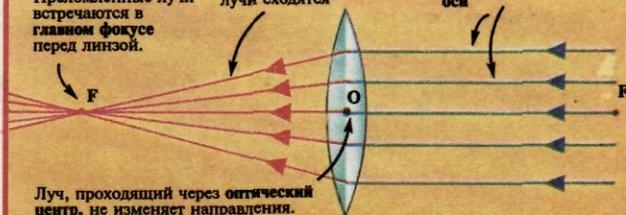
Фокусное расстояние (f). Расстояние между **любым из главных фокусов** и **оптическим центром**.

Стекла́нная **выпуклая линза** в воздухе действует как **собирающая**.

Преломленные лучи встречаются в **главном фокусе** перед линзой.

Преломленные лучи сходятся

Лучи света, параллельные **главной оси**



Луч, проходящий через **оптический центр**, не изменяет направления.

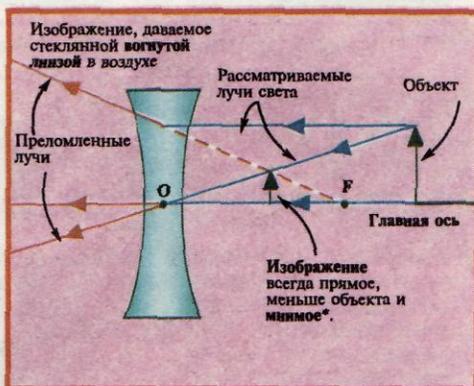
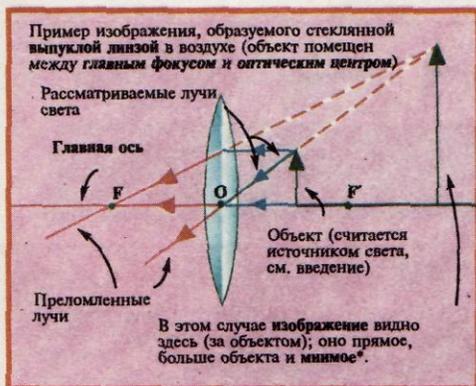
Стекла́нная **выпуклая линза** в **среде***, более плотной, чем **стекло**, действует как **рассеивающая**.

● **Собирающая линза**. Линза, заставляющая падающие на нее параллельные лучи сходитьсь в **главном фокусе** по другую сторону от нее. Как **вогнутые**, так и **выпуклые линзы** могут быть собирающими в зависимости от **показателя преломления*** линзы относительно **окружающей среды***.

- **Выпуклая линза.** Линза, у которой хотя бы одна поверхность искривлена наружу. Линза, у которой одна поверхность искривлена внутрь (вогнута), а другая — наружу, является выпуклой, если ее середина толще краев (это — **выпуклый мениск**). Стекла́нная выпуклая линза в воздухе действует как **собирающая**. Размер, положение и вид (действительное* или мнимое*) изображения зависят от удаленности объекта.



- **Вогнутая линза.** Линза, у которой хотя бы одна поверхность искривлена вовнутрь. Линза, у которой одна поверхность искривлена вовнутрь, а другая наружу, вогнута, если в середине она тоньше, чем по краям (это — **вогнутый мениск**). Стекла́нная вогнутая линза в воздухе действует как **рассеивающая**. Положение тела относительно линзы может варьироваться, но изображение — всегда одного типа.

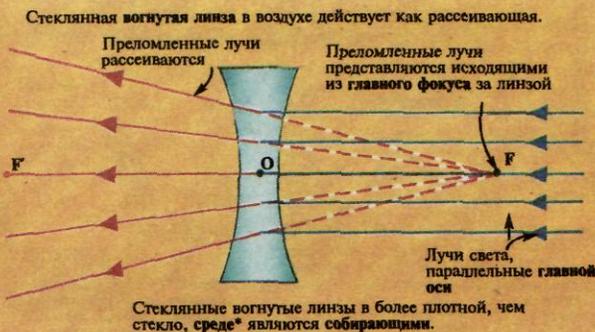


- **Оптическая сила (Ф).** Мера способности линзы собирать или рассеивать лучи света, выражается в **диоптриях**

(когда **фокусное расстояние** измеряется в метрах). Чем меньше фокусное расстояние, тем сильнее линза.

$$\Phi = \frac{1}{f},$$

где Φ — оптическая сила линзы; f — фокусное расстояние.



- **Рассеивающая линза.** Линза, заставляющая падающие на нее параллельные лучи расходиться так, что они представляются выходящими из **главного фокуса** со стороны их падения. Как вогнутые, так и выпуклые линзы могут быть рассеивающими в зависимости от показателя преломления* линзы относительно окружающей среды*.

* Действительное изображение, Мнимое изображение, 49; Показатель преломления, 37; Среда, 115.

Оптические приборы

Оптический прибор — это устройство, преобразующее свет с помощью линз* или искривленных зеркал* для получения требуемого изображения. Ниже перечислены некоторые из самых распространенных оптических приборов.

- **Фотоаппарат, кинокамера.** Оптические приборы, используемые для получения и фиксации изображения объектов на пленке. Изображение перевернутое и действительное*.

Как и раньше (см. с. 52), преломление линзами показано лишь как однократное изменение направления, на этот раз на прямой, проходящей через оптический центр всей системы линз.

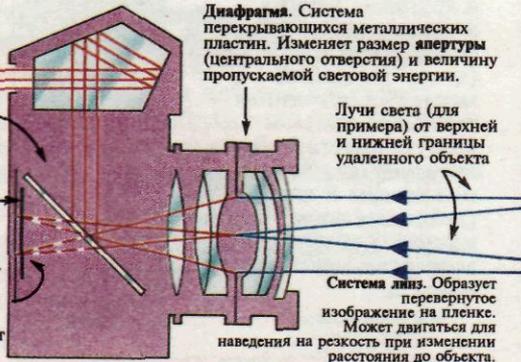
Фотоаппарат (зеркальный)

Призма направляет свет в глаз.

Зеркало направляет свет на призму и в глаз, так что можно видеть объект. Во время съемки кадра убирается вверх.

Пленка. В областях пленки, на которые падает свет, происходит химическая реакция. Непрерывное изображение создается с помощью движущейся пленки.

Затвор. Отодвигается при съемке, пропуская свет на пленку.



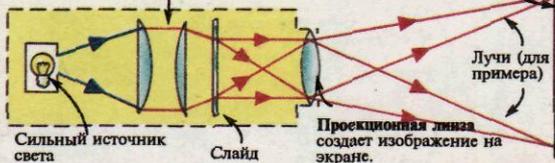
Диафрагма. Система перекрывающихся металлических пластин. Изменяет размер **апертуры** (центрального отверстия) и величину пропускаемой световой энергии.

Лучи света (для примера) от верхней и нижней границы удаленного объекта

Система линз. Образуется перевернутое изображение на пленке. Может двигаться для наведения на резкость при изменении расстояния до объекта.

Проектор

Линзы собирают свет на слайде



Сильный источник света

Слайд

Проекционная линза создаст изображение на экране.

Экран

Лучи (для примера)

Перевернутое увеличенное изображение (слайд вставляют вверх ногами, и ориентация восстанавливается)

- **Проектор.** Оптический прибор, создающий увеличенное изображение слайда.

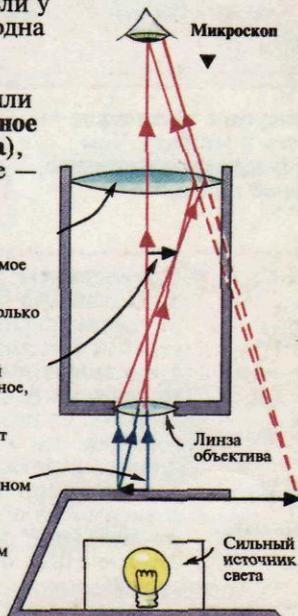
- **Микроскоп.** Оптический прибор, увеличивающий очень малые объекты. Если у него лишь одна линза*, это **простой микроскоп** или **увеличительное стекло (лупа)**, если больше — **составной**.

Окуляр. Создает окончательное, видимое глазом изображение (см. ниже). Простой микроскоп состоит только из этой линзы.

Изображение, образованное линзой объектива (увеличенное, перевернутое и действительное*). Выступает как объект для окуляра.

Препарат на прозрачном предметном стекле

Изображение, создаваемое окуляром (увеличенное, перевернутое и мнимое*).



Линза объектива

Сильный источник света

Цвет

Глаз видит **белый свет***, когда в него одновременно попадают лучи видимого света со всеми возможными длинами волн* (см. с. 45). Однако белый свет может претерпевать дисперсию и разлагаться в **спектр видимого света** (волны различной длины попадают в разные места); ее могут осуществлять специально, например в **спектрометре**, но она может происходить и сама по себе (см. **Хроматическая aberrация**).

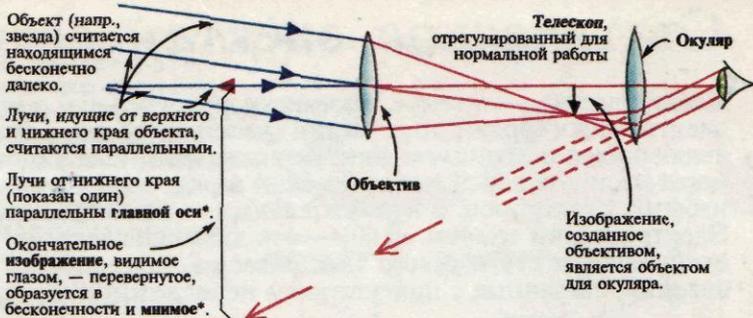


Свет, падающий на пластину с щелью

Призма* Свет с разными длинами волн* преломляется в разной степени, вызывая дисперсию белого света.

* Действительное изображение, 49 (Изображение); Длина волны, 34; Искривленные зеркала, 48; Линзы, 52; Мнимое изображение, 49 (Изображение); Призма, 54.

- **Телескоп.** Оптический прибор, используемый, чтобы «приблизить», сделать большими очень отдаленные и, следовательно, кажущиеся очень малыми объекты.



- **Угол зрения.** Угол, образуемый у глаза лучами, исходящими от крайних верхней и нижней точек объекта или его изображения. Чем больше угол зрения, тем большим кажется объект. Увеличительные оптические приборы, например микроскопы, создают изображение, для которого угол зрения больше, чем для объекта, видимого невооруженным глазом; степень увеличения угла зрения выражается **угловым увеличением**.

$$\text{Угловое увеличение} = \frac{\text{угол зрения для изображения}}{\text{угол зрения для объекта}}$$

- **Хроматическая аберрация, или хроматизм.** Цветной ореол (спектр видимого света, см. внизу слева), иногда возникающий вокруг изображений, наблюдаемых с помощью линз. Происходит из-за дисперсии (см. Цвет). Во избежание этого явления в высококачественных оптических приборах применяются **ахроматические линзы**, каждая из которых состоит из двух линз в таком сочетании, что дисперсия на одной линзе компенсируется другой.

- **Спектр видимого света.** Набор цветов, образующих белый свет. Полоса каждого цвета соответствует очень малому интервалу длин волн* (см. Видимый свет, с. 45).



Основные цвета

Δ — вторичные цвета (комбинации основных)

Дополнительные цвета — любые два, дающие при смешении белый, напр. красный и сине-зеленый



- **Основные цвета.** Красный, синий и зеленый цвета нельзя получить комбинацией света других цветов. Смешанные поровну, они дают белый свет. Смешивая их в разных соотношениях, можно получить любой цвет спектра видимого света. Заметим, что это действительно чистые основные цвета; те, которые так называются в живописи (красный, синий и желтый), только приблизительно могут называться основными, так как краски обычно имеют примеси и оттенки.

- **Фильтрация и смешение цветов.** Если окрашенный в какой-либо чистый цвет светофильтр освещается белым светом, через него проходит только свет того же цвета (другие цвета, т. е. свет с другими длинами волн*, поглощаются). Это — **фильтрация**, «вычитание» цветов. Если свет двух разных цветов, отфильтрованный таким образом, освещает белую поверхность, глаз видит третий цвет (смесь этих двух цветов). Это — **смешение**, сложение цветов.

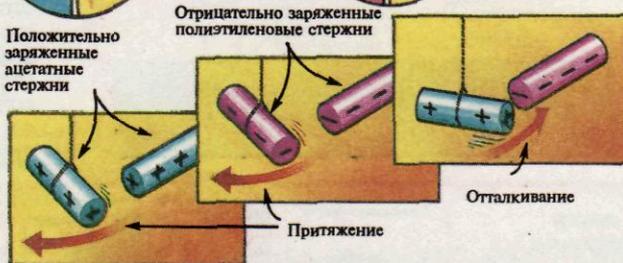
* Главная ось, 52; Длина волны, 34 Мнимое изображение, 49 (Изображение).

Статическое электричество

Электричество — явление, вызванное присутствием или движением электрически заряженных частиц (**электронов*** или **ионов***), являющихся источником **электрических сил***. Говорят, что материал несет отрицательный электрический заряд, если в нем имеется избыток электронов, и положительный — при недостатке электронов. **Электрический ток** (см. с. 60) — это движение зарядов; тем он и отличается от **статического электричества**, под которым понимают явления, связанные с присутствием неподвижных зарядов.



- **Первый закон электростатики:** одноименные заряды отталкиваются, разноименные — притягиваются. Заряженная частица всегда притягивает незаряженную посредством **индукции**.



- **Проводник.** Материал, содержащий большое количество зарядов, способных свободно двигаться (см. также **Проводимость**, с. 62). Следовательно, он может **проводить** электричество (**электрический ток**, см. с. 62). Хорошие проводники — это металлы — например, медь, алюминий и золото.

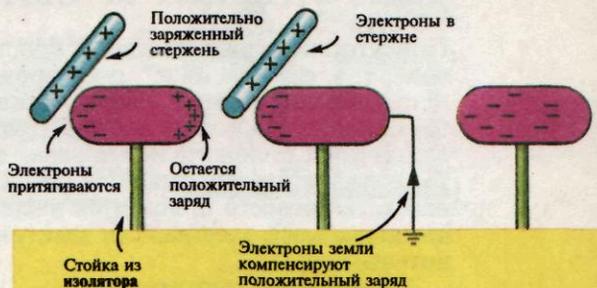
- **Изолятор.** Вещество, почти или вовсе не содержащее свободных зарядов (т. е. плохой **проводник**). Некоторые изоляторы электрически заряжаются при трении, поскольку электроны атомов поверхности передаются от одного вещества к другому, но заряд остается связан на поверхности.

- **Электроскоп.** Прибор для обнаружения малых электрических зарядов. Наиболее распространен **электроскоп с золотым листочком**. Когда листочек и стержень заряжаются, они отталкиваются друг друга, и листочек отклоняется от стержня. Чем больше заряд, тем больше отклонение листочка. В **интегрирующем электроскопе** между насадкой и корпусом есть **конденсатор***, увеличивающий чувствительность.



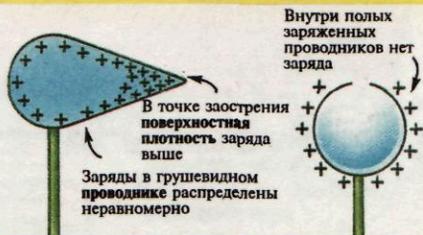
- **Индукция, или электростатическая индукция.** Процесс, при котором проводник заряжается под действием другого заряда, но без соприкосновения. Как правило, заряды индуцируются в разных частях проводника из-за отталкивания и притяжения. Если удалить заряд одного знака, проводник становится постоянно заряженным.

Проводник заряжается индукцией



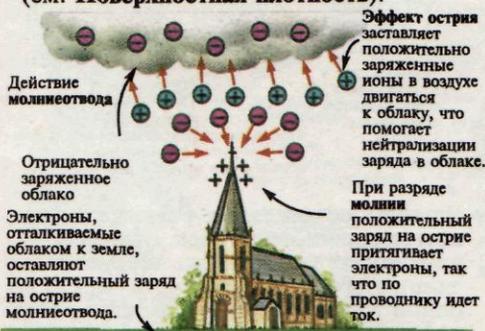
- **Электрофорный диск.** Небольшой диск из проводника с ручкой из изолятора. Используется для передачи зарядов между телами.

- **Поверхностная плотность заряда.** Величина заряда на единицу площади поверхности. Чем сильнее искривлена поверхность, тем больше поверхностная плотность заряда. Из-за этого заряд концентрируется у заостренных частей (см. **Эффект острия**). Лишь у сферы поверхностная плотность заряда постоянна.



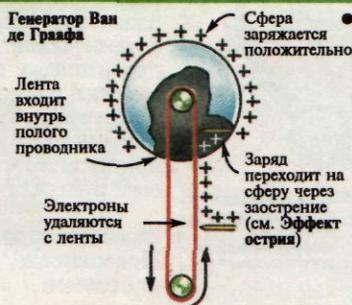
- **Эффект острия.** То, что происходит вокруг точки заострения поверхности положительно заряженного тела. Положительные ионы в воздухе отталкиваются зарядом острия (см. **Поверхностная плотность**).

Они сталкиваются с молекулами воздуха и выбивают электроны, создавая новые положительные ионы, которые также отталкиваются от острия. Результат этого — своеобразный «электрический ветер» молекул воздуха.



- **Молния.** Внезапный разряд электричества из облака, зарядившегося из-за трения молекул воды и воздуха. Чтобы снять заряд на облаке с помощью **эффекта острия** и направить поток электричества в землю, используют **молниеотвод** (громоотвод). Удар молнии сходен с явлением, происходящим в **разрядной трубке***.

- **Генератор Ван де Граафа.** Машина для создания большого электрического заряда за счет использования **механической энергии***. Движущаяся лента заряжается либо благодаря трению, либо от другого источника и передает заряд изолированному проводнику.

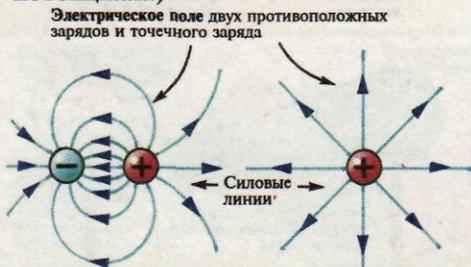


- **Электрофор.** Инструмент, состоящий из отрицательно заряженного изолятора и латунной пластины на **изолирующей ручке**. Используется для создания нескольких положительных зарядов от одного отрицательного.

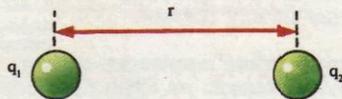
* Механическая энергия, 9; Разрядная трубка, 80.

Потенциал и емкость

Присутствие заряда создает в пространстве вокруг него **электрическое поле**, т. е. **силовое поле***, в котором другие заряженные частицы испытывают действие **электрической силы***. Напряженность электрического поля в данной точке — это сила, действующая на единичный положительный заряд в этой точке, а направление поля — то, куда направлена эта сила (см. также с. 104—107). Заряженные тела вследствие своего положения в электрическом поле обладают **потенциальной энергией*** (в электричестве есть еще сходное понятие **потенциала**).



Электрическая сила*

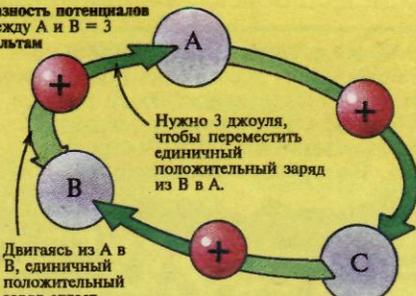


$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

где F — электрическая сила*; q_1, q_2 — величины зарядов; r — расстояние между ними.

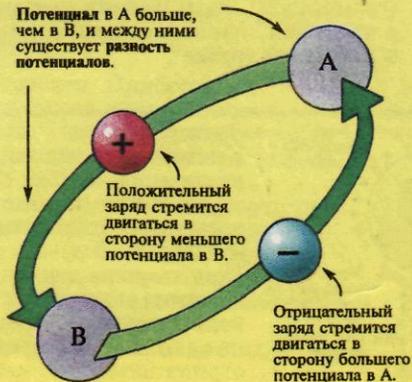
- **Потенциал.** Энергия, которой обладает единичный положительный заряд в некоторой точке вследствие действующей на него электрической силы (подобно **потенциальной энергии*** тела при действии **силы гравитации***). Сама же энергия заряда есть произведение величины заряда и потенциала в точке его нахождения. Положительный заряд стремится двигаться в направлении уменьшения потенциала, т. е. против **градиента потенциала**. Невозможно измерить сам потенциал, но можно — **разность потенциалов** между двумя точками.

Разность потенциалов между А и В = 3 вольтам



Если разность потенциалов между В и С = 2 вольтам, то разность потенциалов между А и С = 5 вольт.

Потенциал в А больше, чем в В, и между ними существует разность потенциалов.



- **Разность потенциалов.** Разница между потенциалами двух точек, равная изменению энергии при перемещении единичного положительного заряда из одной точки в другую в электрическом поле. Единица разности потенциалов — **вольт** (разность потенциалов иногда называют **напряжением**). Если заряд в один **кулон*** проходит разность потенциалов в один вольт, изменение энергии равно одному джоулю. Некоторому произвольному значению потенциала (обычно потенциалу Земли), приписывается нулевое значение — это выбор начала отсчета.
- **Эквипотенциальная поверхность.** Поверхность, на которой потенциал постоянен.

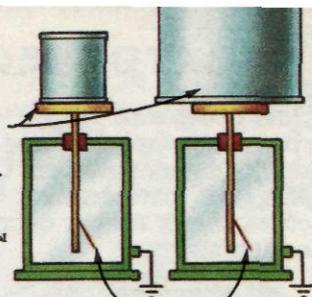
Емкость

Когда проводнику* сообщается заряд, меняется и его потенциал.

Емкость — это отношение полученного телом заряда к возрастанию его потенциала. Чтобы изменить потенциал тела большей емкости, нужен больший заряд, чем для такого же изменения потенциала тела меньшей емкости.

Емкость двух различных металлических цилиндров различна.

Большему цилиндру нужно передать больший заряд, чтобы сообщить ему тот же потенциал (V) — его емкость больше.



Одинаковое отклонение листочка указывает на одинаковый потенциал.

$$C = \frac{Q}{V},$$

где C — емкость; Q — заряд; V — потенциал.

- **Фарад. Единица электроемкости:** емкость тела, чей потенциал увеличивается на один вольт при сообщении заряда в один кулон*.

- **Конденсатор.** Устройство для накопления электрического заряда, состоящее из двух параллельных металлических пластин, разделенных изолирующим материалом — диэлектриком. Емкость конденсатора зависит от используемого диэлектрика — его выбирают так, чтобы обеспечить нужные емкость и размер.

Конденсатор

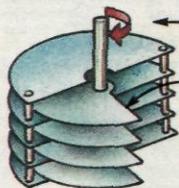
Металлические пластины. Емкость увеличивается с их размером

Диэлектрик. Емкость зависит от используемого материала.



Расстояние между пластинами. Емкость увеличивается с уменьшением просвета.

- **Диэлектрическая проницаемость.** Отношение емкости конденсатора с данным диэлектриком к емкости того же конденсатора с вакуумом между пластинами. Она показывает, во сколько раз увеличивается емкость при использовании данного диэлектрика вместо вакуума.



Переменный конденсатор

Пластины поворачиваются, изменяя площадь перекрытия.

Переменные конденсаторы используются для настройки контуров в радиоприемниках.

- **Бумажный конденсатор.** Конденсатор, сделанный из двух длинных пластин фольги, разделенных диэлектриком — тонкой вошеной бумагой. Часто бумагу заменяют тонким слоем полимера.

- **Переменный конденсатор.** Конденсатор, состоящий из двух наборов перекрывающихся пластин, обычно с воздухом как диэлектриком. Площадь области перекрытия изменяется, чтобы регулировать емкость.



Бумажный конденсатор

Фольга

Бумага

- **Электролитический конденсатор.** Конденсатор с диэлектриком в виде пасты или желе, что дает очень большую емкость при малом объеме. Особенностью такого конденсатора является необходимость правильно подключать его к источнику электричества.

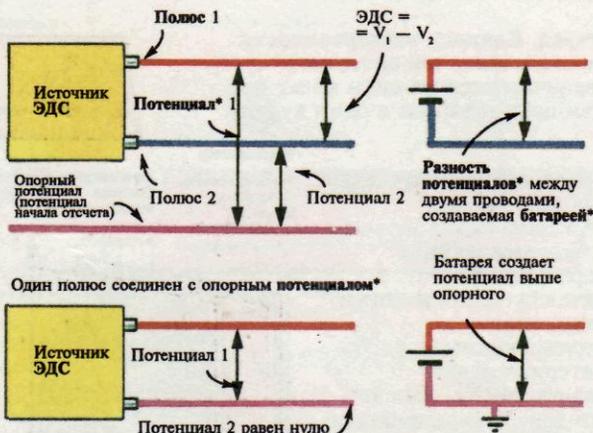
- **Лейденская банка.** Конденсатор, состоящий из стеклянного сосуда с покрытием из фольги изнутри и снаружи. Один из первых изобретенных конденсаторов.

* Кулон, 60; Проводник, 56.

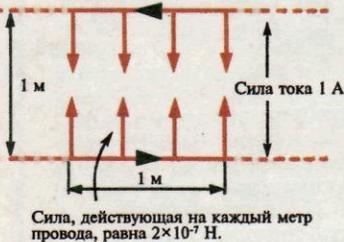
Электрический ток

Электрический ток (I) — это поток зарядов. Заряды могут двигаться только в **электрическом поле***, создающем разность **потенциалов*** между двумя точками. Следовательно, для получения тока нужна **разность потенциалов***. **Электрическая цепь** — замкнутый контур, **обтекаемый током**; состоит из источника тока и одного или более **компонентов**.

- **Электродвижущая сила (ЭДС).** Разность потенциалов*, создаваемая **гальваническим элементом***, **батареей*** или **генератором***, вызывающими ток в цепи. Источник имеет два **полюса** (куда подсоединены провода), между которыми он поддерживает разность потенциалов. **Противо-ЭДС** есть ЭДС, создаваемая компонентом цепи, противодействующим основной ЭДС.



- **Ампер (А). Единица СИ*** силы тока. Один ампер — сила тока, который, проходя по двум прямолинейным параллельным бесконечным проводникам, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга, вызывает на каждом участке длиной 1 м силу взаимодействия 2×10^{-7} Н (см. также с. 96). Сила тока точно измеряется **токовыми весами**, измеряющими силу взаимодействия между двумя катушками с током (существует формула для силы взаимодействия таких катушек). С помощью **токовых весов градуируются*** **амперметры***.



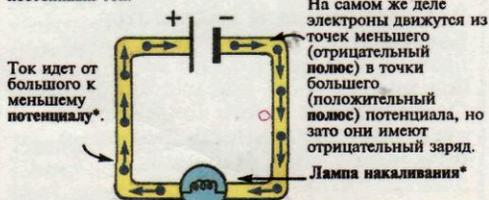
- **Кулон. Единица СИ*** электрического заряда. Равен заряду, проходящему через сечение проводника за одну секунду при токе в нем в один ампер.

$$Q = I \times t,$$

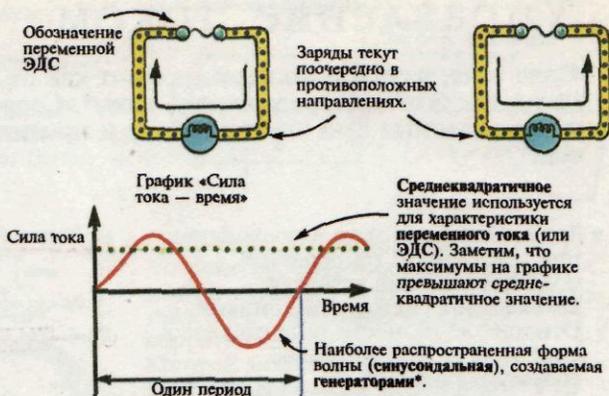
где Q — заряд, проходящий через сечение, в кулонах;
I — ток; t — время.

- **Постоянный ток (d.c.).** Ток, идущий только в одном направлении.

Элемент* или батарея* создает ЭДС и вызывает постоянный ток.

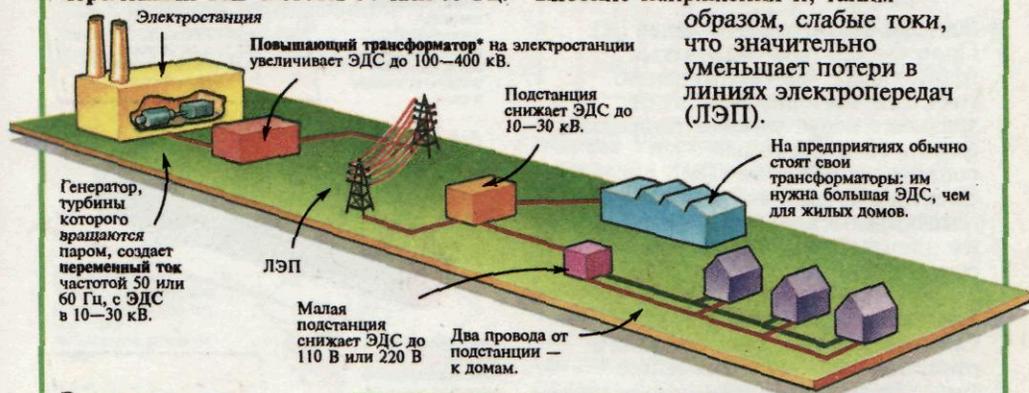


- **Переменный ток (а.с.).** Ток, направление которого в цепи периодически изменяется. Вызывается переменной ЭДС. График «Сила тока—время» дает форму волны тока. Обычно силу переменного тока и переменную ЭДС выражают через их **среднеквадратичные значения** (см. график справа).



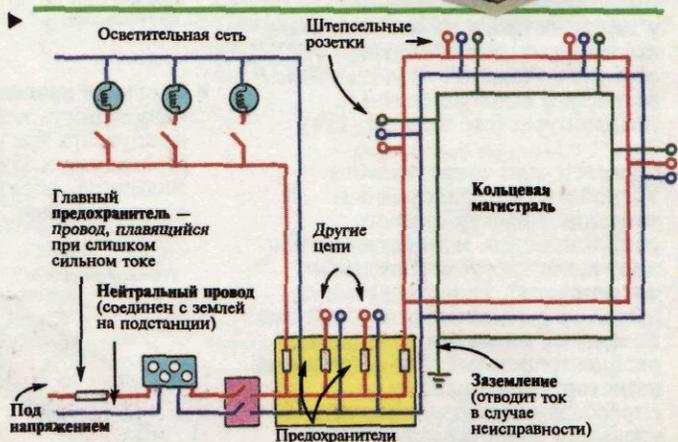
Электроснабжение

Электричество для бытовых и промышленных нужд производится на электростанциях с помощью больших генераторов*. Они создают переменный ток частоты 50 или 60 Гц.



Переменный ток, в отличие от постоянного, легко преобразуется (см. Трансформатор, с. 79) для получения больших или меньших напряжений*. Это означает, что для передачи тока можно использовать высокие напряжения и, таким образом, слабые токи, что значительно уменьшает потери в линиях электропередач (ЛЭП).

Электричество к домам подводится от подстанции с помощью по крайней мере двух проводов с переменным током. Иногда один провод на подстанции соединяют с землей, так что только на одном проводе потенциал* выше потенциала земли. В некоторых странах для безопасности используют дополнительный заземленный провод.



* Генератор, 78; Повышающий трансформатор, 79; Потенциал, Разность потенциалов, 58.

Управление током.

Сила тока, идущего по цепи, зависит как от природы компонентов цепи, так и от **электродвижущей силы***. **Сопротивление** компонентов и порожденные ими электрические и магнитные поля влияют на ток.

- **Закон Ома:** сила тока в проводнике при постоянной температуре пропорциональна **разности потенциалов*** между его концами. Отношение разности потенциалов к силе тока — **электрическое сопротивление** тела.

Для применения закона необходимо обеспечить постоянную температуру тела; его сопротивление изменится из-за нагрева током (см. также **Лампа накаливания**, с. 64). Закон Ома не применим к некоторым материалам, например к **полупроводникам***.

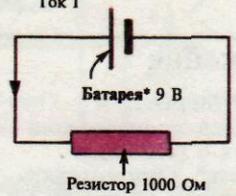


Закон Ома утверждает:

$$U = I \times R$$

Пример:

$$\text{Ток } I \text{ через резистор } R = U/I = 0,009 \text{ A} = 9 \text{ mA.}$$



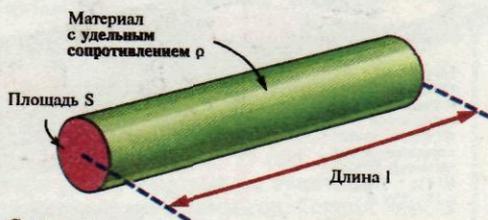
Электрическая энергия*, рассеянная на сопротивлении, превращается в тепло и иногда в свет.

$$\text{Мощность*} = IU = I^2R,$$

где I — сила тока; U — разность потенциалов*; R — сопротивление.

- **Электрическое сопротивление (R).** Способность тела оказывать противодействие прохождению тока. Его значение зависит от **удельного сопротивления** вещества и формы тела. Единица сопротивления — **ом (Ом)**.

Электроны, двигаясь в теле, наталкиваются на атомы, отдавая им энергию, тело нагревается за счет энергии источника ЭДС.



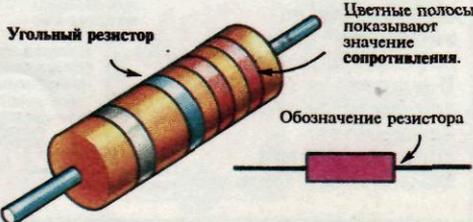
Сопротивление обратно пропорционально площади и прямо пропорционально длине

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

- **Удельное сопротивление (ρ).** Способность вещества оказывать противодействие прохождению тока. Удельное сопротивление мало у хороших **проводников***, велико у **изоляторов***. Это величина, обратная удельной **проводимости**; возрастает с повышением температуры (см. также с. 114).

- **Резистор, или сопротивление.** Устройство с определенным значением электрического сопротивления, используемое для получения требуемой **разности потенциалов***. Резисторы могут иметь сопротивление от долей **ома** до многих миллионов **ом**. Самый распространенный тип — **угольный резистор**, сделанный из спрессованного угля с известным **удельным сопротивлением**.

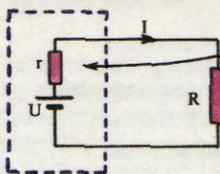
- **Удельная проводимость.** Способность вещества пропускать ток (см. также **Проводник и Изолятор**, с. 56). Величина, обратная **удельному сопротивлению**.



* Батарея, 68; Изолятор, 56; Мощность, 9; Полупроводники, 65; Разность потенциалов, 58; Электрическая энергия, 9; Электродвижущая сила, 60.

- **Внутреннее сопротивление (r).** ► **Сопротивление гальванического элемента* или батареи*** вызываемому ими току. Причины — сопротивление соединений в элементе и некоторые химические явления (например, **поляризация***). Из-за этого ток в цепи может быть меньше ожидаемого.

Внутреннее сопротивление — часть сопротивления цепи



Внутреннее сопротивление обозначено символом сопротивления в гальваническом элементе*.

Из закона Ома:

$$U = I(R + r)$$

Виды переменных сопротивлений

Реостат



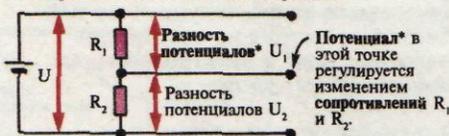
Подвижный контакт изменяет длину включенного в цепь провода и, таким образом, сопротивление.

Контакт, двигаясь вокруг оси по угольной дорожке, изменяет длину цепи и, следовательно, сопротивление.

Потенциометр

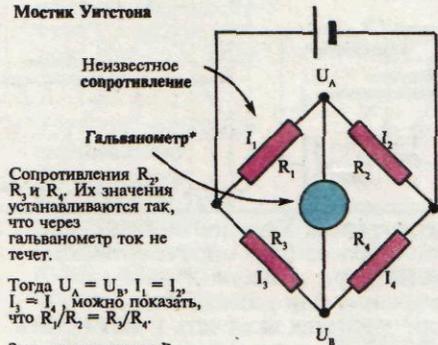
- **Переменное сопротивление (реостат).** Устройство, сопротивление которого можно изменять. Это либо катушка из провода с известным удельным сопротивлением на цилиндре, по которой может двигаться контакт, либо угольная дорожка с подвижным контактом. Переменное сопротивление можно использовать как **делитель напряжения**, если добавить дополнительный контакт.

Электрическая схема делителя напряжения



- **Делитель напряжения.** Устройство для получения определенной **разности потенциалов*** от другой, большей разности потенциалов.

Мостик Уитстона



Неизвестное сопротивление

Гальванометр*

Сопротивления R_2 , R_3 и R_4 . Их значения устанавливаются так, что через гальванометр ток не течет.

Тогда $U_A = U_B$, $I_1 = I_2$, $I_3 = I_4$, можно показать, что $R_1/R_2 = R_3/R_4$.

Затем вычисляется R_1 .

- **Мостик Уитстона.** Цепь для измерения **неизвестного сопротивления** (см. схему). Когда **гальванометр** показывает отсутствие тока, сопротивление **резистора** можно вычислить по известным остальным сопротивлениям. **Мост с метровым реохордом** — разновидность мостика Уитстона, где два резистора заменены метром провода с высоким сопротивлением. Положение контакта гальванометра на проводе указывает **отношение R_3/R_4** в изображенной цепи.

- **Правила Кирхгофа.** Два правила, ► суммирующие условия протекания тока в любой момент времени. Первое: в точке разветвления сумма вытекающих токов равна сумме вытекающих. Второе: сумма произведений **сопротивления** каждого компонента цепи и силы тока в нем равна **ЭДС***, приложенной к цепи.

Первое правило Кирхгофа:



Второе правило Кирхгофа:



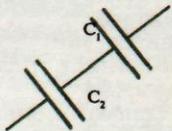
* Батарея, Гальванический элемент, 68; Электродвижущая сила (ЭДС), 60; Гальванометр, 77; Поляризация, 68; Потенциал, разность потенциалов, 58.

Управление током (продолжение)

- **Последовательное соединение.** Соединение компонентов, при котором весь ток последовательно проходит их один за другим.

Последовательное соединение резисторов*

Общее сопротивление* $R_T = R_1 + R_2$



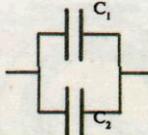
Последовательное соединение конденсаторов*

Общая емкость* $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

- **Параллельное соединение.** Соединение компонентов, при котором ток разделяется, проходя через все компоненты сразу.

Параллельное соединение резисторов*

Общее сопротивление* $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$



Параллельное соединение конденсаторов*

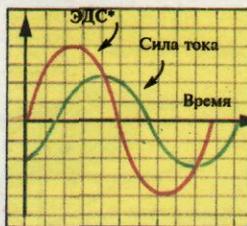
Общая емкость* $C_T = C_1 + C_2$

- **Импеданс, или полное сопротивление.** Отношение амплитуды разности потенциалов*, приложенной к цепи, к амплитуде переменного тока*, текущего по ней. Импеданс состоит из омического сопротивления* и реактивного сопротивления* цепи.

- **Реактивное сопротивление, или реактанс.** «Активная» часть полного сопротивления переменному току*. Обусловлено емкостью* и индуктивностью в цепи, которые изменяют электродвижущую силу* при изменении тока.

- **Индуктивность.** Часть импеданса, обусловленная изменением тока под действием переменных магнитных полей (см. также Электромагнитная индукция, с. 78). Это происходит в устройстве, называемом катушкой индуктивности. ЭДС*

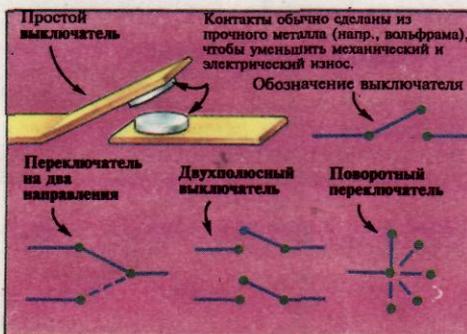
Переменная разность потенциалов*



- **Лампа накаливания.** Лампа, состоящая из вольфрамовой проволоки (нити накала) в стеклянной колбе, содержащей газы аргон или азот при низком давлении. При прохождении тока нить накала быстро нагревается и излучает свет. Вольфрам используют, поскольку у него очень высокая температура плавления; колба наполнена газом, чтобы уменьшить испарение вольфрама.



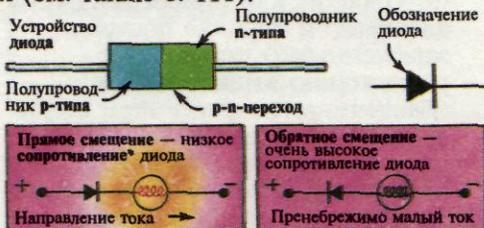
- **Выключатель.** Устройство — обычно механическое (см., впрочем, также Транзистор), — используемое для замыкания или размыкания цепи. Если требуется включать и выключать большой ток с помощью малого, используется реле*.



Полупроводники

Полупроводники — вещества, промежуточные по удельному сопротивлению* между проводниками и изоляторами (см. с. 56). Их удельное сопротивление убывает с возрастанием температуры или увеличением концентрации примесей (см. **Легирование**). Они широко применяются в электронных схемах (см. также с. 111).

- **Легирование.** Введение в полупроводник небольшого количества примеси. В зависимости от использованной примеси получается полупроводник **p-типа** или **n-типа**. Сочетания двух типов используются в диодах и транзисторах.



- **Диод.** Устройство, состоящее из полупроводника **p-типа** и полупроводника **n-типа**, соединенных вместе. Его **сопротивление*** при

одном направлении текущего тока очень низкое (**прямое смещение**) и очень велико в обратном направлении (**обратное смещение**).

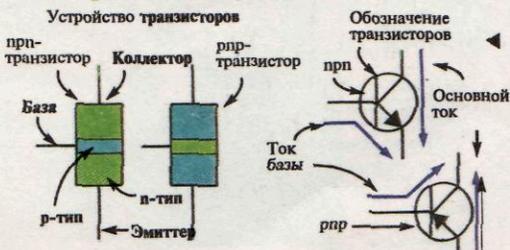
- **Однополупериодное выпрямление.** Использование диода для записи тока одного из направлений в случае **переменного тока***, в результате ток идет только в одну сторону.



- **Двухполупериодное выпрямление.** Превращение **переменного тока*** в **постоянный***. Применяется, когда нужно получить постоянный ток от сетевого электропитания.



- **Термистор.** Полупроводниковое устройство, **сопротивление*** которого меняется с температурой. Применяется для электронного измерения температуры.



- **Светодиод.** Диод, **сопротивление*** которого больше обычного, а вместо тепла излучается свет.



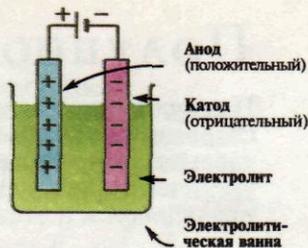
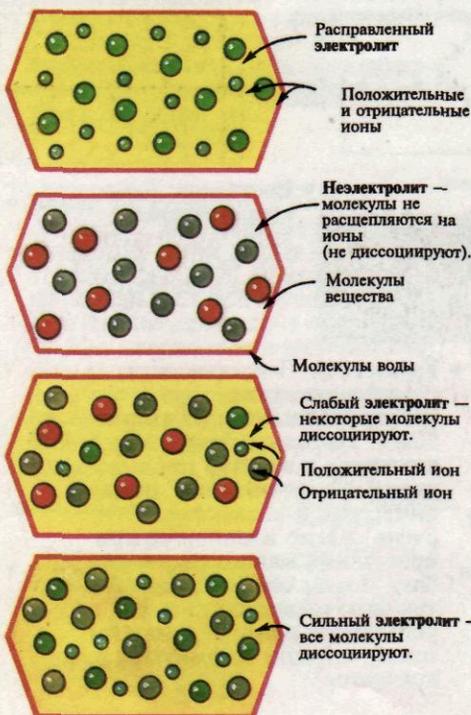
- **Транзистор.** Полупроводник, обычно сочетание полупроводников двух типов. Имеет три входа: **базу**, **коллектор** и **эмиттер** (см. схему). **Сопротивление*** между эмиттером и коллектором очень сильно изменяется при протекании малого тока через базу. Таким образом, малый ток базы может служить для управления намного большим током, идущим из эмиттера в коллектор.

* Переменный ток, 61; Постоянный ток, 60; Резистор, Сопротивление, Удельное сопротивление, 62.

Электролиз

Электролиз — процесс, при котором электрический ток, проходя через жидкость, содержащую **ионы*** (атомы, потерявшие или присоединившие **электрон*** и ставшие поэтому заряженными), приводит к разложению жидкости. Ток обеспечивается движением ионов в жидкости, а продукты разложения выделяются у **электродов**. Электролиз имеет ряд промышленных применений.

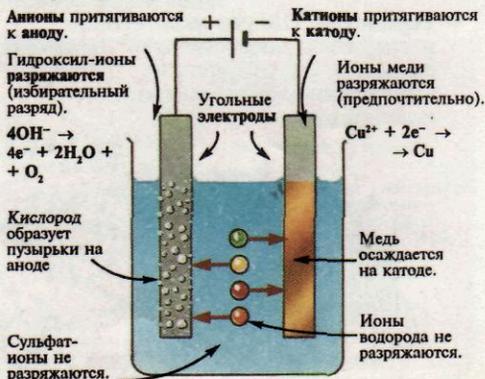
- **Электролит.** Соединение, которое проводит электричество в расплаве или в растворе. Все ионные соединения, состоящие из ионов либо распадающиеся на ионы при растворении, — электролиты. Концентрация ионов в электролите определяет, насколько хорошо он проводит электричество.



- **Электрод.** Помещаемый в электролиты металлический или угольный стержень, который служит местом входа или выхода тока при электролизе. Необходимы два электрода: **анод** (положительный) и **катод** (отрицательный). Химические изменения происходят с **активными электродами**, но не с инертными.
- **Электролитическая ванна.** Сосуд, в котором происходит электролиз. Содержит электролит и электроды.

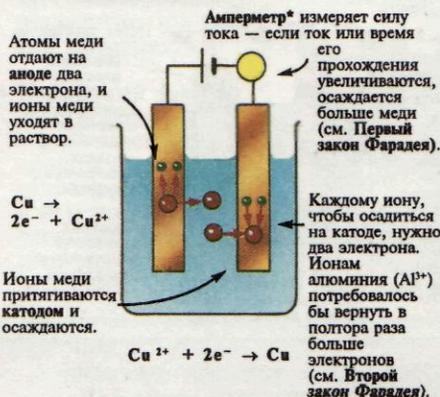
- **Ионная теория электролиза.** Объясняет процессы, происходящие в электролите и на электродах при электролизе. Утверждает, что **катионы** (положительно заряженные ионы) притягиваются к **катоде**, а **анионы** (отрицательно заряженные ионы) — к **аноду**. Там они приобретают или, соответственно, теряют электроны, образуя атомы (**разряжаются**). Если различных анионов (или катионов) два или больше, один из них разряжается в первую очередь (**избирательная разрядка**).

Электролиз раствора сульфата меди

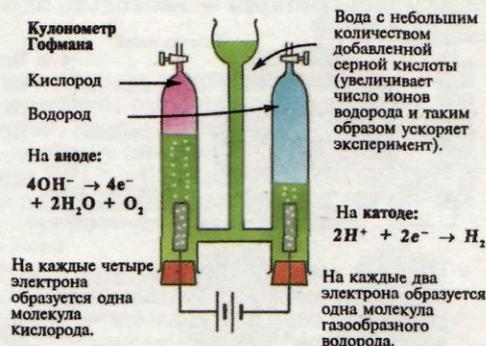


- **Законы электролиза Фарадея.** Два закона, связывающих количество электричества, проходящего через электролит, с количеством образовавшегося вещества. **Первый закон Фарадея:** количество выделяющегося вещества пропорционально количеству электричества (электрохимический эквивалент вещества — масса, выделяющаяся при прохождении тока силой в один ампер за одну секунду). **Второй закон Фарадея:** количество выделяющегося вещества обратно пропорционально заряду его ионов.

Электролиз раствора сульфата меди с медными электродами (медный кулонометр).



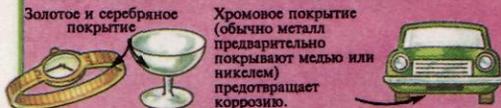
- **Кулонометр.** Электролитическая ванна, используемая для измерения количества образующегося на электродах вещества при прохождении через ванну тока данной силы. Например, **медный кулонометр** (см. внизу слева) содержит сульфат меди и медные электроды.



- **Кулонометр Гофмана.** Тип кулонометра, используемый для собирания выделяющихся при электролизе газов и измерения их объема (и, таким образом, массы). Например, электролиз подкисленной воды дает водород и кислород в отношении два к одному (заметим, что это указывает также на химический состав воды, т. е. H_2O).

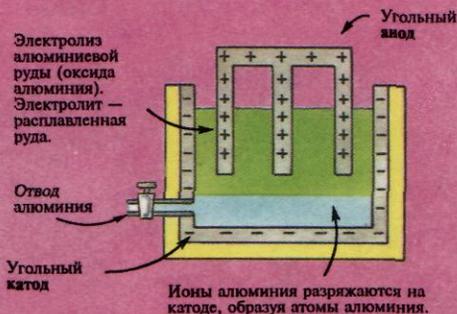
Применения электролиза

- **Гальваностегия, или электролитическое осаждение.** Покрытие металлического тела тонким слоем другого металла посредством электролиза. Тело образует **катод**, а ионы металла покрытия находятся в электролите.



- **Электролитическая очистка.** Метод очищения металлов электролизом. Из металла с примесями изготавливают **анод**, с которого ионы металла переходят в электролит, а затем на **катод**, где и осаждаются чистый металл. Примеси осаждаются на дно ванны.

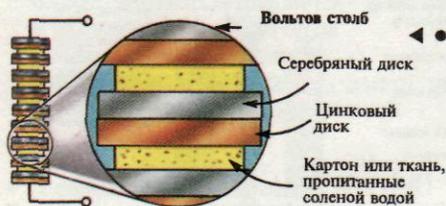
- **Электролиз как способ получения металлов из их расплавленных солей или окислов.** Так получают химически активные металлы, например натрий и алюминий.



* Амперметр, 77.

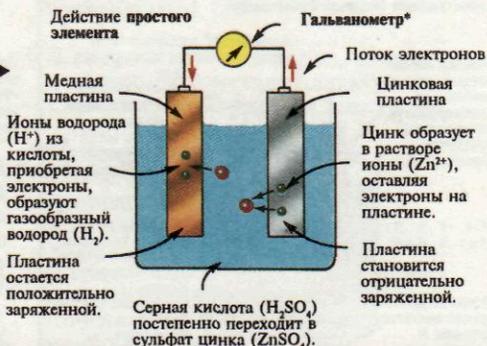
Гальванические элементы и батареи

Итальянский ученый Вольта впервые обнаружил, что между двумя разными металлами, помещенными в определенную жидкость (**электролит***), существует **разность потенциалов**, и, следовательно, с помощью химической энергии можно получать **постоянный ток***. Такое устройство называется **гальваническим элементом**. Разность потенциалов (вызванная химическими процессами в элементе) называется **электродвижущей силой***, а ее величина зависит от используемых металлов. **Батарея** — несколько элементов, соединенных вместе.



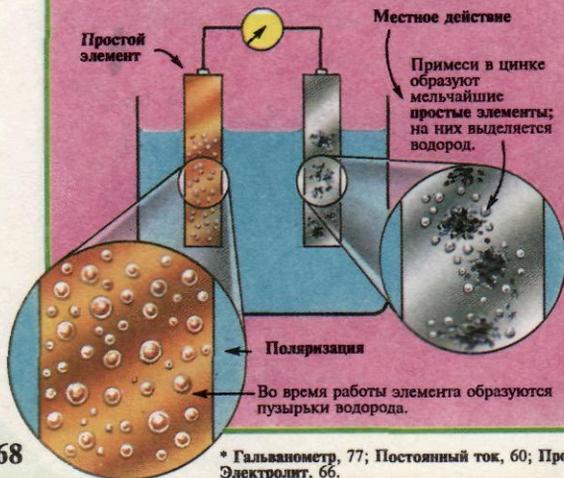
◀ • **Вольтов столб.** Первая батарея, состоявшая из столба серебряных и цинковых дисков, разделенных картоном или тканью, пропитанными соленой водой. Это устройство — то же самое, что и соединение нескольких простых элементов.

• **Простой элемент.** Две пластины из разных металлов, разделенные раствором соли или кислоты — **электролитом*** (обычно медные и цинковые пластины и разбавленная серная кислота). Простой элемент создает **электродвижущую силу*** недолго, пока не скажут **поляризация** и **саморазряд**.



• **Поляризация.** Образование пузырьков водорода на медной пластине в простом элементе. Это уменьшает электродвижущую силу* элемента: во-первых, пузырьки изолируют пластину,

и, во-вторых, возникает **противо-ЭДС***. Поляризацию можно устранить, добавив **деполяризатор**, который реагирует с водородом с образованием воды.

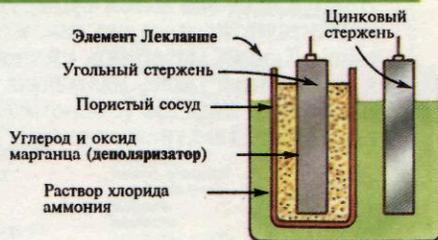


• **Саморазряд.** Образование водорода на цинковой пластине в простом элементе. Из-за присутствия в цинковой пластине примесей (следов других металлов) в ней образуются мельчайшие простые элементы, выделяющие водород из-за **поляризации**. Водород также образуется по мере растворения цинка в кислоте (даже если элемент не работает). Саморазряд можно предотвратить, покрыв пластину **амальмой** (ртутным сплавом).

• **Емкость.** Способность гальванического элемента давать ток в течение определенного времени; измеряется

в **ампер-часах.** Например, элемент емкостью 10 ампер-часов должен давать ток в 1 ампер в течение 10 часов.

• **Элемент Лекланше.** Элемент, в котором **поляризация** предотвращается оксидом марганца (**деполяризатором**). Водород удаляется медленнее, чем образуется, но его избыток удаляется и тогда, когда элемент не используется. Элемент создает **электродвижущую силу*** в 1,5 В.



• **Нормальный, или стандартный, элемент.** Элемент, дающий точно известную и постоянную ЭДС*. Используется для экспериментов в лабораториях.

• **Сухой элемент.** Разновидность элемента Лекланше, в котором раствор хлорида аммония заменен пастой, содержащей хлорид аммония, — элемент становится переносным. Обеспечивает ЭДС* в 1,5 В. Сухие элементы постепенно портятся из-за саморазряда, но все же срок их службы — многие месяцы.



• **Первичный элемент.** Любой элемент с ограниченным сроком жизни: активные вещества в нем постепенно расходуются и не могут быть заменены.

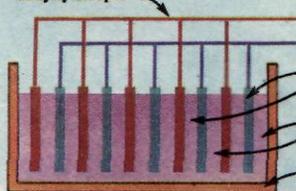
• **Вторичный элемент, или аккумулятор.** Элемент, который можно перезарядить, подключив к другому источнику электричества. Основные разновидности — **кислотный свинцовый** и **щелочной кадмиевый**.

• **Щелочной аккумулятор.** Вторичный элемент с электролитом* — раствором едкого кали. Пластины обычно делаются из никеля и соединений кадмия (тогда его называют **никель-кадмиевым**).

• **Кислотный свинцовый аккумулятор.** Вторичный элемент, содержащий разбавленную серную кислоту в качестве электролита* и пластины из свинца и его соединений. Он

может давать очень большой ток благодаря низкому **внутреннему сопротивлению*** и поэтому применяется в автомобилях для запуска и освещения.

Батарея кислотных свинцовых аккумуляторов



Для увеличения тока увеличивают площадь пластин

ЭДС* около 2 В

Пластины из двуокиси свинца (превращаются в сульфат свинца при разрядке)

Свинцовые пластины (при разрядке превращаются в сульфат свинца)

Серная кислота (концентрация по мере разрядки уменьшается)



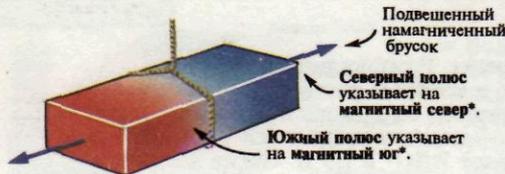
Батарея 12 В (напр., автомобильная) состоит из шести последовательно соединенных кислотных свинцовых аккумуляторов.



* Внутреннее сопротивление, 63; Последовательное соединение, 64; Электродвижущая сила, 60 (ЭДС); Электролит, 66.

Магниты

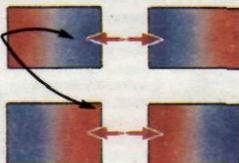
Вокруг всех магнитов существует магнитное поле*, и между двумя магнитами вследствие взаимодействия их полей действует магнитная сила. Любой материал, способный намагнититься (стать магнитом) в магнитном поле, называют магнетиком (см. Ферромагнетик). Движение зарядов (обычно электронов*) также создает магнитное поле (см. Электромагнетизм, с. 74—76).



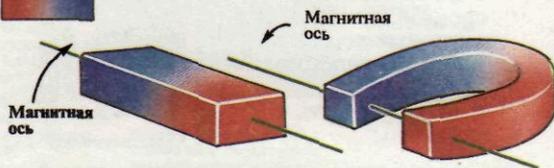
Первый закон магнетизма
Разноименные полюса притягиваются



Одноименные полюса отталкиваются



- **Магнитная ось.** Прямая, соединяющая северный и южный полюса магнита, относительно которой магнитное поле* симметрично.



- **Полюс.** Точка магнита, в которой, как представляется, сосредоточена его магнитная сила*. У каждого магнита есть два полюса — северный и южный (определяются, когда магнит свободно ориентируется вдоль магнитного поля* Земли). Первый закон магнетизма гласит, что разноименные полюса притягиваются, а одноименные отталкиваются.

- **Ферромагнетик.** Материал, который легко и сильно намагничивается. Железо, никель, кобальт и их сплавы — ферромагнетики, которые бывают магнитно-жесткими либо магнитно-мягкими. Очень магнитно-жесткие или мягкие материалы получают спеканием порошков различных смесей ферромагнитных металлов под давлением (металлокерамика).

- **Магнитно-жесткий.** Ферромагнетик, который после намагничивания сохраняет свой магнетизм: например, сталь. Сделанные из таких материалов магниты называют постоянными.

- **Магнитно-мягкий.** Ферромагнитный материал, плохо сохраняющий магнетизм после намагничивания: например, железо. Магниты, сделанные из таких материалов, называют временными. Остаточный магнетизм — небольшая намагниченность, которая может оставаться у магнитно-мягких материалов.

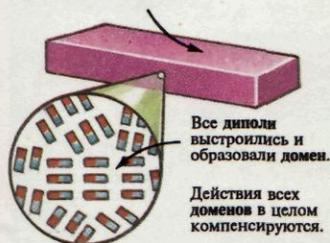
Жесткие ферромагнетики используют как постоянные магниты — напр., для стрелки компаса.



Мягкие ферромагнетики используют как сердечники* в электромагнитах*.

- **Магнитная восприимчивость.** Мера способности вещества намагничиваться. У **ферромагнетиков** магнитная восприимчивость высока.

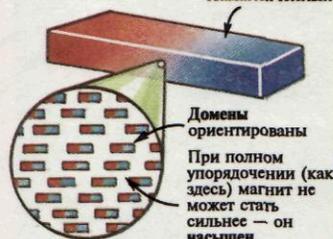
Ненамагниченный магнитный материал



Все диполи выстроились и образовали домены.

Действия всех доменов в целом компенсируются.

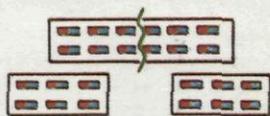
Намагниченный



Домены ориентированы

При полном упорядочении (как здесь) магнит не может стать сильнее — он насыщен.

Теория доменов объясняет, почему магниты, будучи сломаны, сохраняют свои полюса.



Образовались два магнита, каждый со своим северным и южным полюсами.

- **Теория доменов.** Утверждает, что ферромагнитные материалы состоят из диполей, или молекулярных магнитов, взаимодействующих друг с другом. В областях, называемых доменами, все они упорядочены — указывают в одном направлении. Когда домены становятся упорядоченными (т. е. ориентируются параллельно друг другу), ферромагнетик намагничивается.

Намагничивание

Когда тело намагничено, все диполи ориентированы параллельно друг другу (см. Теория доменов). Это происходит под действием магнитного поля и называется индуцированным (наведенным) магнетизмом.



Северный полюс диполей притягивается южным полюсом магнита — тело намагничивается.

Магнитная сила* всегда притягивает.

- **Простое касание.** Метод намагничивания тела: по нему несколько раз проводят полюсом постоянного магнита (см. Магнитно-жесткий). Магнетизм наводится магнитным полем* магнита.

Методы намагничивания (все они используют индуцированный магнетизм).



Простое касание

Раздельное касание



Если при раздельном касании использовать одинаковые полюса, образуется магнит с двумя парами полюсов.

- **Раздельное касание.** Метод намагничивания тела: от центра тела к краям несколько раз проводят противоположными полюсами двух постоянных магнитов (см. Магнитно-жесткий). Магнетизм индуцируется в теле магнитным полем* магнитов.

- **Размагничивание.** Уничтожение намагниченности тела. Этого можно достигнуть, помещая тело в переменное магнитное поле* — например, в поле, созданное катушкой с переменным током*. Другой способ: заставить диполи (см. Теория доменов) разориентироваться в случайных направлениях, ударяя объект молотком или нагревая его выше 700°C.

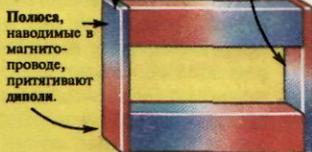
- **Саморазмагничивание.** Потеря телом магнитных свойств из-за притяжения диполей (см. Теория доменов) противоположными полюсами магнита. Уменьшается при использовании магнитопровода из мягкого железа расположенного так, что полюса образуют замкнутый контур.

Саморазмагничивание намагниченного бруска



Диполи стремятся повернуться.

Магнитопроводы для двух магнитов



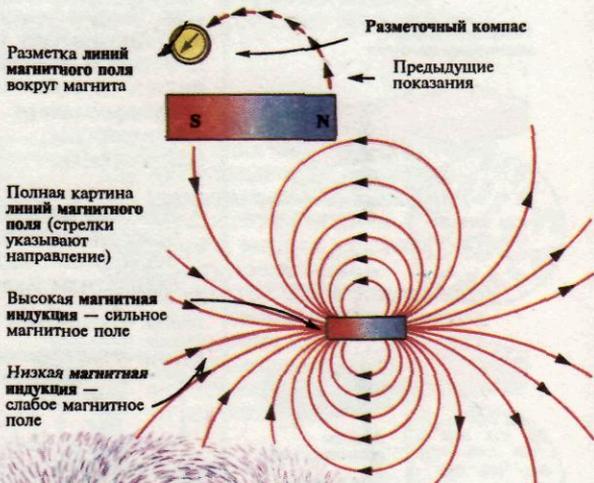
Полюса, наводимые в магнитопроводе, притягивают диполи.

* Магнитная сила, 6; Магнитное поле, 72; Переменный ток, 61.

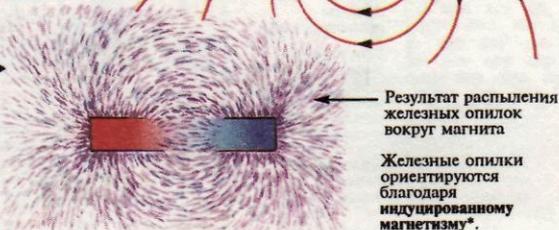
Магнитные поля

Магнитное поле — область вокруг **магнита** (см. с. 70), где на тело действует **магнитная сила***. Сила и направление магнитного поля изображаются **линиями магнитного поля**.

- **Линии магнитного поля, или линии магнитной индукции.** Линии, указывающие направление магнитного поля вокруг магнита. Они также показывают силу поля (см. **Магнитная индукция**). Поле направлено в ту же сторону, куда поворачивается под его действием **северный полюс*** магнита. Линии магнитного поля размечают распылением вокруг магнита железных опилок или записью показаний направления **разметочного компаса** (небольшого компаса без отметок направлений) в различных точках.

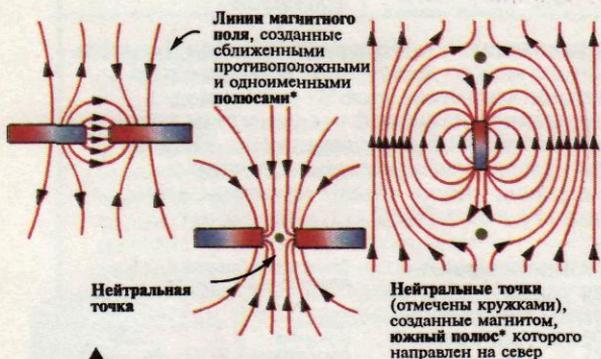


- **Магнитная индукция (плотность магнитного потока).** Мера силы магнитного поля в точке. Она изображается густотой **линий магнитного поля**. Магнитная индукция обычно выше всего у **полюсов***.



- **Диамагнетизм.** Магнетизм, обнаруживаемый некоторыми веществами в сильном магнитном поле. Тело из диамагнитного материала стремится вытолкнуться из себя **линии магнитного поля** и располагается длинной стороной перпендикулярно им. Объясняется возмущением движения **электронов***.

- **Парамагнетизм.** Магнитные свойства, обнаруживаемые некоторыми веществами в сильном магнитном поле. Образец из парамагнитного материала стремится втянуть в себя **линии магнитного поля** и поворачивается длинной стороной параллельно им. Объясняется небольшой ориентацией **диполей***.

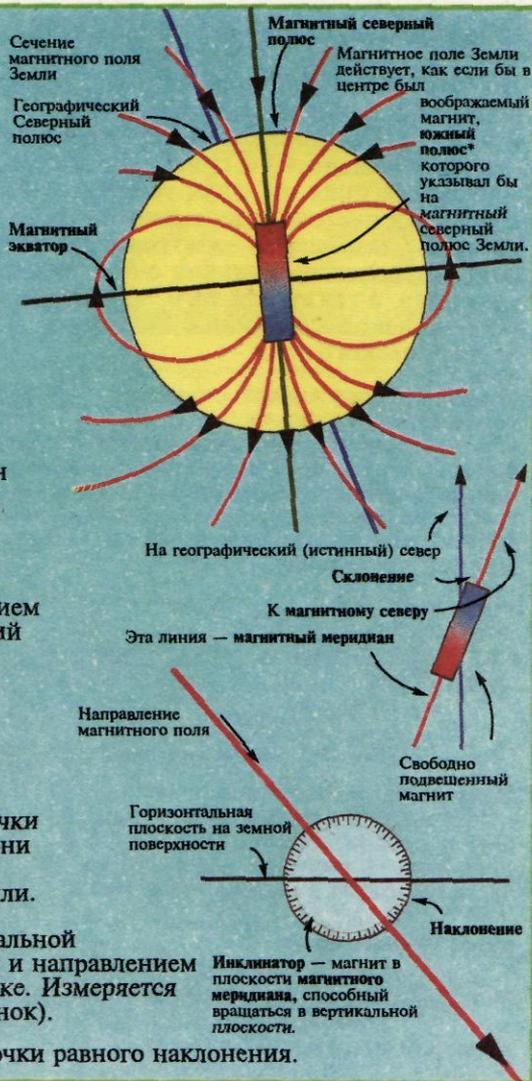


- **Нейтральная точка.** Точка нулевого магнитного поля (**магнитная индукция равна нулю**). Появляется, когда взаимодействуют два или более магнитных поля с равным, но противоположным действием. Намагниченный брусок, подвешенный вдоль **магнитного меридиана** своим **южным полюсом*** к северу, имеет две нейтральные точки вдоль **магнитной оси***.

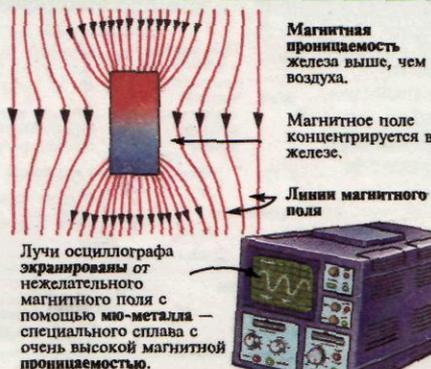
Земной магнетизм

У Земли есть магнитное поле, которое действует так, как если бы в ее центре находился огромный магнит, ориентированный приблизительно вдоль земной оси (хотя это направление постоянно меняется). **Северный полюс*** стрелки компаса указывает на точку, именуемую **магнитным северным полюсом**, южный — на **магнитный южный полюс**.

- **Магнитный меридиан.** Аналог обычного меридиана, но только он проходит через магнитные, а не географические полюса Земли. Вдоль него ориентируется стрелка компаса.
- **Склонение.** Угол между направлением на истинный север (географический Северный полюс) и **магнитным меридианом** (направлением на **магнитный север**) в данной точке. Положение магнитного севера медленно изменяется, а с ним и склонение.
- **Изогоны.** Линии, соединяющие точки равного **склонения**. Со временем они изменяются из-за изменяющегося направления магнитного поля Земли.
- **Наклонение.** Угол между горизонтальной плоскостью на поверхности Земли и направлением магнитного поля Земли в этой точке. Измеряется с помощью **инклинометра** (см. рисунок).
- **Изоклина.** Линия, связывающая точки равного **наклонения**.



- **Магнитная проницаемость.** Мера способности вещества «проводить» магнитное поле. Железо намного более проницаемо, чем воздух, и магнитное поле **втягивается** в него.

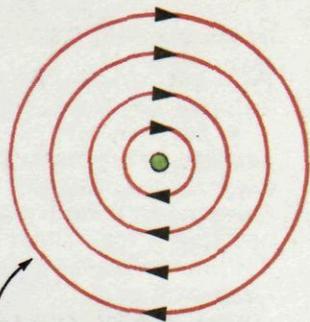


- **Экранирование, или защита.** Отведение магнитного поля от заданной точки с помощью магнитно-мягкого материала. Используется в чувствительных приборах, например осциллографах.

* Полюс, 70.

Электромагнетизм

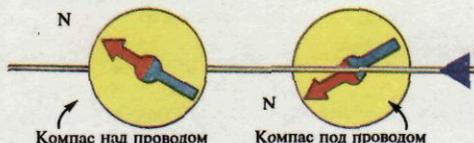
Электрический ток в проводнике создает вокруг проводника **магнитное поле** (см. с. 72—73), вид которого зависит от формы проводника и силы тока. Такие магнитные поля подобны тем, которые создаются **постоянными магнитами***. Это явление, называемое **электромагнетизмом**, используется для создания очень сильных магнитов, а также для того, чтобы вызвать механическое движение с помощью электрического тока.



Поперечное сечение магнитного поля провода с током (ток входит в страницу)

- **Правило пловца Ампера:** северный конец стрелки компаса, помещенного рядом с проводником с током, будет отклоняться по направлению к правой руке воображаемого пловца, движущегося в направлении тока лицом к проводнику.

Правило пловца Ампера



- **Правило буравчика Максвелла:** направление магнитного поля вокруг провода с током есть направление поворота буравчика, вворачиваемого в направлении тока.

Правило буравчика Максвелла



- **Правило правой руки:** направление магнитного поля вокруг провода с током есть направление от основания к кончикам пальцев, если проволока сжимается правой рукой так, что большой палец указывает направление тока.

Правило правой руки



- **Катушка.** Ряд витков токнесущего провода, намотанного на каркас определенной формы. Примеры: **плоская катушка** и **соленоид**.

- **Плоская катушка.** Катушка, длина которой мала по сравнению с диаметром.

- **Соленоид.** Катушка, длина которой велика по сравнению с диаметром. Магнитное поле, создаваемое соленоидом, подобно полю намагниченного бруска. Положение **полюсов*** зависит от направления тока (см. схему).

- **Сердечник.** Материал внутри катушки, определяющий силу поля. Мягкие **ферромагнетики***, чаще всего мягкое железо, создают самое сильное магнитное поле и используются в **электромагнитах**.

Соленоид ▼

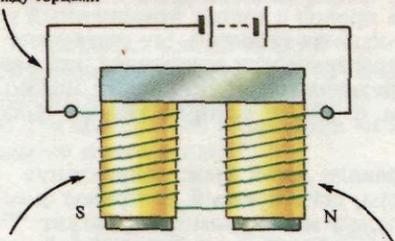
При взгляде с этого торца ток идет по часовой стрелке — это южный полюс*. А при взгляде отсюда ток идет против часовой стрелки — это северный полюс.

Магнитное поле соленоида (продольный разрез)



- **Электромагнит. Соленоид** с сердечником из мягкого **ферромагнетика***. При этом получается магнит, который можно включать и выключать простым включением и выключением тока. Технические электромагниты конструируют так, что два противоположные **полюса*** сближены, это усиливает магнитное поле. Электромагниты имеют ряд применений, некоторые из которых описаны ниже.

Электромагнит, образованный из двух соленоидов с железными сердечниками и железным магнитопроводом между торцами



Для образования противоположных полюсов провода соленоидов намотаны в противоположных направлениях.

Применение электромагнитов

У электромагнитов множество применений, и все они связаны с тем, что включенные электромагниты притягивают многие металлы и, таким образом, превращают **электрическую энергию*** в **механическую***. В двух из приведенных ниже примеров механическая энергия превращается в звуковую.

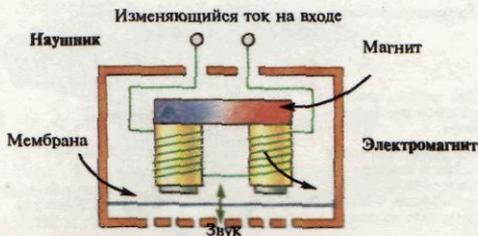
- **Электрический зуммер.** Устройство, издающее жужжание; питается от **постоянного тока***. Металлический рычаг притягивается электромагнитом, движется к нему и, двигаясь, размыкает цепь, подводящую ток к электромагниту. Рычаг таким образом освобождается, и процесс повторяется. Возникающая вибрация рычага вызывает жужжащий звук. В **электрическом звонке** молоточек, прикрепленный к рычагу, многократно ударяет по звонку.

Электрический звонок

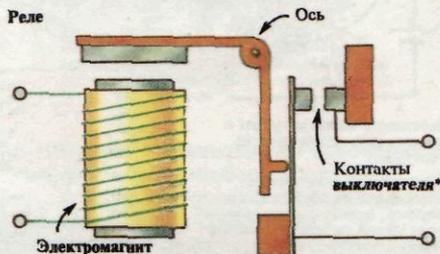


Нажмем на выключатель* замыкается цепь, питающая электромагнит.

- **Наушники.** Устройство для преобразования электрического сигнала в звуковой. Металлическая мембрана притягивается **постоянным магнитом***, но сила притяжения изменяется, поскольку по катушкам электромагнита идет изменяющийся ток (входной сигнал). Мембрана вибрирует, создавая звуковые волны.



- **Реле.** Устройство, в котором под действием электромагнита замыкается **выключатель***. Относительно малый ток в катушке электромагнита может использоваться для включения большого тока без электрического соединения цепей.



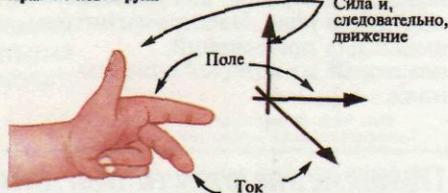
* Выключатель, 64; Механическая энергия, 9; Полюс, Постоянные магниты, 70 (Магнитно-жесткий); Постоянный ток, 60; Ферромагнетик, 70; Электрическая энергия, 9.

Электромагниты (продолжение).

На провод с током, помещенный в магнитное поле, действует сила, способная вызывать его движение. Это явление используется в **электрических двигателях**, где **электрическая энергия*** преобразуется в **механическую***. Его также можно использовать для измерения силы тока (см. с. 77), от которой зависит сила, действующая на провод.

- **Правило левой руки:** направление силы, действующей на провод с током в магнитном поле, может быть найдено с помощью левой руки (см. рисунок).

Правило левой руки



- **Электромотор, электродвигатель.** Устройство, преобразующее **электрическую энергию*** в **механическую***. Простейший мотор состоит из плоской прямоугольной катушки* с током, способной свободно вращаться в магнитном поле (см. схему). Моторы создают **противо-ЭДС*** к движущей их ЭДС. Дело в том, что работающий мотор действует как **генератор*** (т. е. движение катушки в поле вызывает противоположный ток).

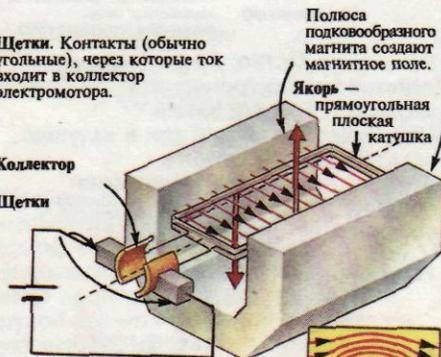
Простой электромотор

Коллектор. Кольцо, разрезанное пополам или на несколько частей, через которое ток входит и выходит из катушки электродвигателя. Обеспечивает вход тока в катушку в нужном направлении — тогда мотор непрерывно вращается в одну сторону.

Щетки. Контакты (обычно угольные), через которые ток входит в коллектор электромотора.

Коллектор

Щетки



Наложение полей катушки и магнита (вид вдоль провода в катушке)

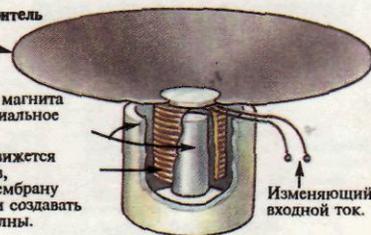
Действующая вниз сила, создаваемая на этой стороне катушки, вместе с направленной вверх силой на другой стороне поворачивает катушку.

- **Колесо Барлоу.** Зубчатое латунное колесо в магнитном поле. Ток входит в его центр и выходит из зубца, опущенного в ртуть. Колесо вращается по мере того, как зубцы поочередно погружаются в ртуть.
- **Обмотки возбуждения.** Катушки* вокруг электромотора, замещающие постоянный магнит для получения более сильного магнитного поля. Это увеличивает мощность электродвигателя.
- **Громкоговоритель.** Устройство, преобразующее электрические сигналы в **звуковые волны***. Состоит из катушки* в радиальном магнитном поле (направление поля в любой точке — к центру). Когда ток меняется, катушка, прикрепленная к бумажному конусу, попеременно вытягивается в поле и выталкивается из него. Бумажный конус колеблется, создавая звуковые волны, соответствующие силе и частоте тока.

Громкоговоритель

Два полюса магнита создают радиальное поле.

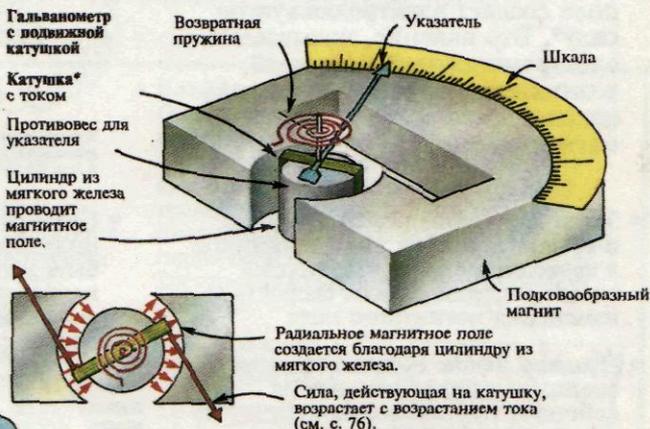
Катушка* движется вверх и вниз, заставляя мембрану колебаться и создавать звуковые волны.



Электроизмерительные приборы

Ток можно обнаружить, поместив рядом с проводником свободно подвешенный магнит и наблюдая его отклонение. Эту идею можно развить и получить устройство (**измерительный прибор**), в котором отклонение указывает на шкале силу тока. Устройство для измерения силы тока может быть приспособлено и для измерения **разности потенциалов***.

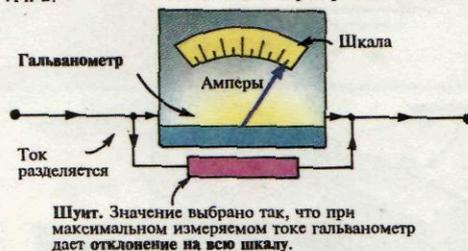
- **Гальванометр.** Любое устройство, применяемое для регистрации **постоянного тока*** по его магнитному действию. Простейший гальванометр — компас, помещенный у провода и показывающий, есть ли ток. В магнитоэлектрическом гальванометре (с подвижной катушкой) используется сила, действующая на провод с током в магнитном поле (см. схему).



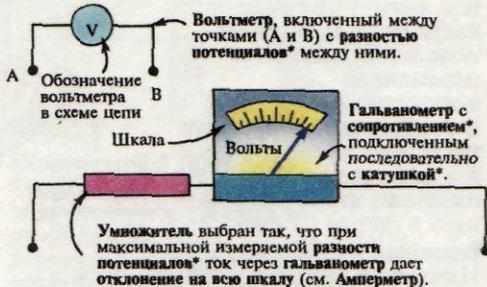
Амперметр измеряет ток, текущий между А и В.



- **Амперметр.** Устройство для измерения силы тока. Разновидность магнитоэлектрического гальванометра устроено так, что определенный ток создает **отклонение на всю шкалу**, т. е. указатель поворачивается в крайнее положение. Для измерения больших токов добавляют **шунт** (см. схему) — тогда максимальное отклонение по новой шкале соответствует большему току.



- **Вольтметр.** Устройство для измерения **разности потенциалов*** между двумя точками. Это — гальванометр, подсоединенный последовательно с большим **сопротивлением***. Определенная разность потенциалов производит **отклонение на всю шкалу** (см. Амперметр). Для измерения больших разностей потенциалов добавляют **умножитель** (см. схему).



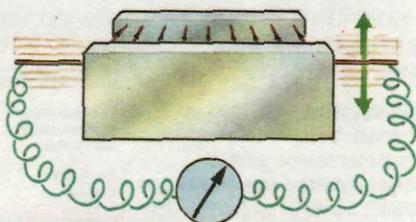
- **Вольтамперметр.** Гальванометр в сочетании с **шунтами** (см. Амперметр) и **умножителями** (см. Вольтметр), необходимыми для измерения силы тока и **разности потенциалов***.

- **Амперметр с подвижными сердечниками.** Измерительный прибор, в котором измеряемый ток намагничивает два ферромагнитных сердечника. Притягивая или отталкивая друг друга, они отклоняют стрелку.

* Катушка, 74; Постоянный ток, 60; Разность потенциалов, 58; Сопротивление, 62.

Электромагнитная индукция

Майкл Фарадей обнаружил, что подобно тому, как провод с током в магнитном поле начинает двигаться (с. 76), так и наоборот, движение **проводника*** в магнитном поле создаст **электродвижущую силу***. Это явление, называемое **электромагнитной индукцией**, возникает в любом проводнике, находящемся в меняющемся магнитном поле.



Электродвижущая сила*, индуцированная движением провода в магнитном поле, вызывает ток через гальванометр*.

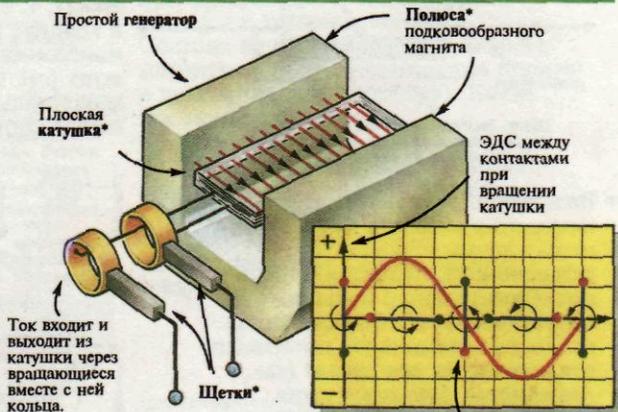
- **Закон электромагнитной индукции Фарадея:** величина индуцированной в **проводнике*** электродвижущей силы пропорциональна скорости изменения магнитного поля.

- **Правило динамо:** направление индуцированного тока может быть установлено по направлениям магнитного поля и движения проводника с помощью правой руки (см. схему).

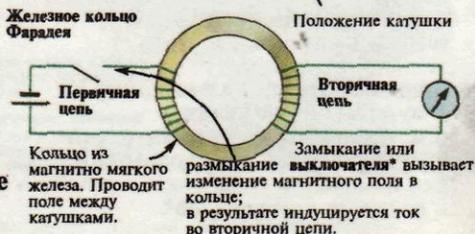
- **Правило Ленца:** индуцированная электродвижущая сила всегда действует противоположно причине, ее вызывающей; например, в **электродвигателе*** ЭДС, созданная им как **генератором**, противоположна ЭДС, движущей мотор.



- **Генератор, или динамо-машина.** Устройство для преобразования **механической энергии*** в электрическую. В простейшем генераторе (см. схему) при вращении **катушки*** в магнитном поле в ней наводится переменная электродвижущая сила. В генераторе **постоянного тока*** есть **коллектор***, как и в **электродвигателе***, это означает, что ток всегда идет в одном направлении.



- **Взаимная индукция.** Наведение электродвижущей силы в катушке посредством изменения тока в другой катушке. Изменяющийся ток создает переменное магнитное поле, индуцирующее ток в любой другой катушке, находящейся в этом поле. Это явление впервые было продемонстрировано на **железном кольце Фарадея**.



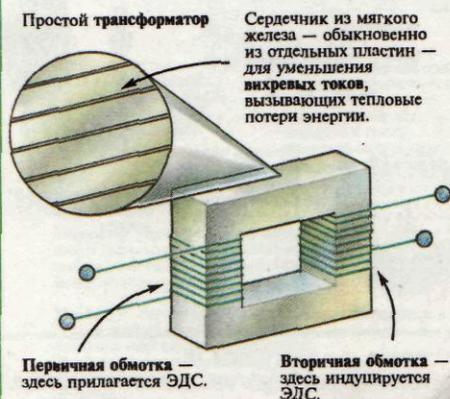
* Выключатель, 64; Гальванометр, 77; Катушка, 74; Коллектор, 76; Механическая энергия, 9; Полос, 70; Постоянный ток, 60; Проводник, 56; Щетки, 76; Электродвижущая сила, 60; Электродвигатель (Электромотор), 76.

- **Самоиנדукция.** Возникновение индукционной электродвижущей силы в катушке* вследствие изменения тока в ней самой. Например, когда ток в катушке выключается, возникающее изменение магнитного поля индуцирует электродвижущую силу, которая в некоторых случаях может быть намного больше первоначальной.

- **Вихревые токи, или токи Фуко.** Токи, возникающие в металле при изменении окружающего его магнитного поля (металл может не быть частью цепи). Вихревые токи могут вызывать нежелательное выделение тепла — например, в железном сердечнике трансформатора.

Трансформаторы

Трансформатор состоит из двух катушек* с одним сердечником* из мягкого ферромагнетика*. Используется для преобразования переменной ЭДС в одной катушке в новую ЭДС во второй — например, в электроэнергетике (см. с. 61). В правильно сконструированном трансформаторе почти не происходит потерь энергии.

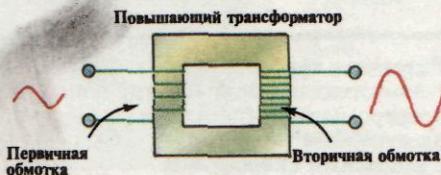


- **Коэффициент трансформации.** Отношение числа витков в первичной обмотке трансформатора к числу витков в его вторичной обмотке. Коэффициент трансформации есть также отношение электродвижущей силы в первичной обмотке к электродвижущей силе во вторичной обмотке.

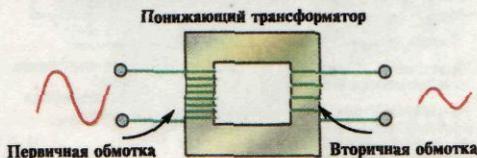


- **Первичная обмотка.** Катушка* трансформатора, к которой прилагают переменную электродвижущую силу, чтобы получить электродвижущую силу во вторичной обмотке.
- **Вторичная обмотка.** Катушка* трансформатора, в которой под действием электродвижущей силы, приложенной к первичной обмотке, индуцируется переменная электродвижущая сила. У некоторых трансформаторов есть несколько вторичных обмоток.

- **Повышающий трансформатор.** Трансформатор, в котором электродвижущая сила во вторичной обмотке больше, чем в первичной. Коэффициент трансформации меньше единицы.



- **Понижающий трансформатор.** Трансформатор, в котором электродвижущая сила во вторичной обмотке меньше, чем в первичной. Коэффициент трансформации больше единицы.



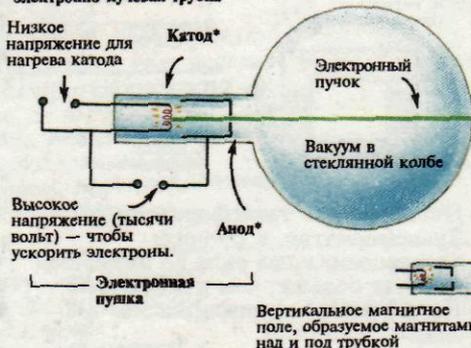
* Катушка, Сердечник, 74; Ферромагнетик, 70.

Электронные пучки

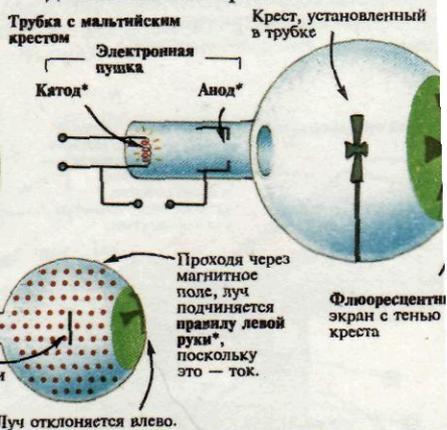
Электронный пучок — непрерывный поток электронов (отрицательно заряженных частиц, см. с. 83) в газе при низком давлении или в вакууме. Образуется, когда электроны высвобождаются из металлического **катода*** и притягиваются к **аноду***. Электронные пучки находят множество применений — от **рентгеновских лучей*** до **телевидения**; во всех случаях используется стеклянная колба определенной формы (называемая **электронно-лучевой трубкой**), содержащая газ при низком давлении или вакуум, через который проходят электроны. Пучок обычно создается **электронной пушкой**, которая составляет часть трубки.

- **Электронная пушка.** Устройство, создающее непрерывный поток электронов (**электронный пучок**). Состоит из нагретого **катода***, испускающего электроны (**термоэлектронная эмиссия**), и **анода***, притягивающего их так, что образуется поток.

Типичная экспериментальная электронно-лучевая трубка



- **Трубка с мальтийским крестом.** Электронно-лучевая трубка, в которой электронный пучок прерывается крестом, отбрасывающим «тень» на **флюоресцентный*** экран в переднем торце трубки. С ее помощью демонстрируется прямолинейность движения электронов.

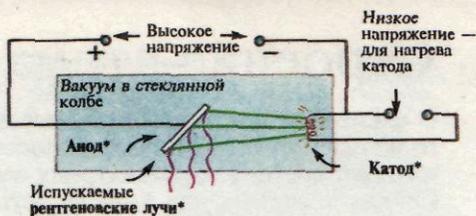


- **Разрядная трубка.** Наполненная газом стеклянная колба, где **ионы*** и электроны притягиваются **электродами*** и движутся к ним с высокими скоростями. Сталкиваясь с атомами газа, они вызывают их расщепление на новые



ионы и электроны, с одновременным испусканием света. Его цвет зависит от природы газа. Например, неон дает красное свечение (как на рекламных вывесках), а пары ртути — голубовато-зеленое (уличные фонари). Разрядные трубки обычно расходуют в пять раз меньше электроэнергии, чем другие осветительные приборы. **Флюоресцентная трубка** — разрядная трубка с парами ртути, испускающими **ультрафиолетовое излучение***. Оно попадает на внутренность трубки, покрытую специальным порошком, который и излучает **видимый свет*** (см. **Флюоресценция**, с. 45).

- **Рентгеновская трубка.** Специальная электронно-лучевая трубка, источник рентгеновских лучей*. В ней электронный пучок попадает на вольфрамовую мишень, резко тормозящую электроны. Это и вызывает испускание рентгеновских лучей.



Электронно-лучевой осциллограф

Электронно-лучевой осциллограф — прибор для измерения зависимости силы тока либо **разности потенциалов*** от времени. Электронный пучок от **электронной пушки** образует пятно на **флюоресцентном*** экране. В обычном режиме луч постоянно

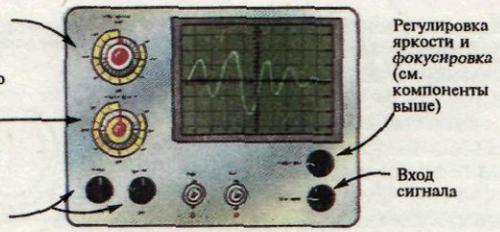
пробегает по экрану изнутри и образует на нем видимый снаружи след. Если на осциллограф подается сигнал, вертикальное положение луча изменится в соответствии с силой сигнала, и след на экране покажет это изменение во времени.

Компоненты осциллографа



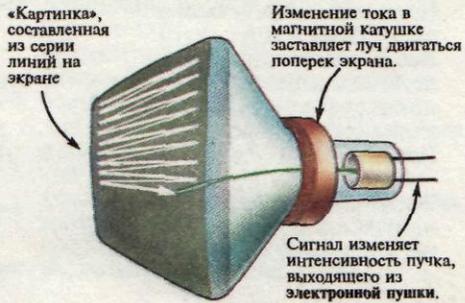
Управление осциллографом

- Генератор развертки.** При его включении точка периодически пересекает экран с выбранной скоростью, каждый раз скачком возвращаясь в исходное положение.
- Усиление.** Регулирует масштаб вертикального перемещения светящейся точки, создаваемого входным сигналом. Устанавливает напряжение, необходимое для перемещения точки на экране на одно деление.
- X-сдвиг и Y-сдвиг.** Используется для установки горизонтального и вертикального положения всей картины на экране.



Телевидение

Телевизионное изображение воспроизводится в **электронно-лучевой трубке**, где электронный пучок, сила которого изменяется в соответствии с сигналом, пробегает по экрану. Различные уровни яркости, соответствующие силе луча, образуют на экране изображение.



* Анод, Катод, 66 (Электрод); Разность потенциалов, 58; Рентгеновские лучи, Флюоресценция, 44.

Строение атома

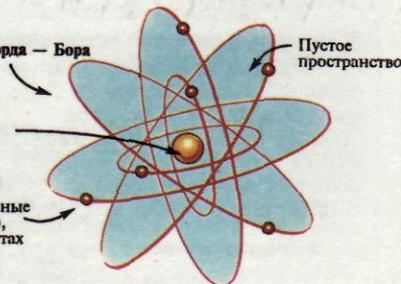
О физической природе атомов сейчас известно намного больше, чем в то время, когда греческие философы впервые предположили, что вся материя состоит из невидимых основных «строительных блоков». Сейчас известно, что атом не есть нечто неделимое, но имеет сложное внутреннее строение: он состоит из многих меньших частиц разного вида (субатомных частиц).

- **Атом Резерфорда — Бора.** Модель атома в виде Солнечной системы, предложенная Эрнестом Резерфордом и Нильсом Бором в 1911 г. Как сейчас известно, эта модель некорректна (у электронов нет правильных орбит (см. Электронные оболочки)).

Модель атома Резерфорда — Бора

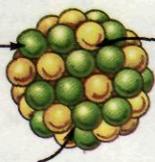
Положительно заряженное «Солнце» (тяжелое ядро; считалось, что оно состоит из одних протонов, нейтроны еще не были открыты)

Отрицательно заряженные «планеты» (электроны), удерживаемые на орбитах электрической силой* притяжения



- **Ядро, или атомное ядро.** Сердцевина атома, состоящая из плотно упакованных нуклонов (протонов и нейтронов).

Ядро (почти вся масса атома — в нем, но оно весьма мало: его радиус равен примерно 1/10 000 радиуса атома)



Протон (масса — примерно 1836 масс электрона).

Нейтрон (масса — примерно 1840 масс электрона).

- **Протоны.** Положительно заряженные частицы в ядре. Число протонов (атомный номер) определяет элемент и равняется числу электронов, так что атом в целом электронейтрален.
- **Нейтроны.** Электронейтральные частицы в ядре. Число нейтронов в атомах данного элемента может варьироваться (см. Изотоп).

- **Массовое число (A).** Число протонов и нейтронов (нуклонов) в ядре. Это целое число, ближайшее к относительной атомной массе атома и важное для различения изотопов.

Массовые числа и атомные номера часто пишут с символом элемента:

12 → Массовое число (A) показывает, что в ядре 12 нуклонов.

6 → Атомный номер (Z) показывает, что 6 из них — протоны.

Число нейтронов (N) = A - Z
Итак, N = 6

- **Атомный номер (Z).** Число протонов в ядре (следовательно, и число электронов вокруг него). Все атомы с одинаковым атомным номером принадлежат одному элементу (см. также Изотоп).

23 → Массовое число (A) показывает, что в ядре 23 нуклона.

11 → Атомный номер (Z) показывает, что 11 из них — протоны.

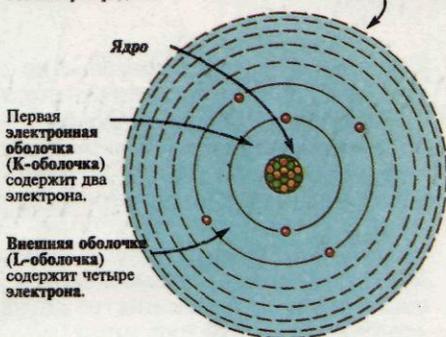
Число нейтронов (N) = A - Z
Итак, N = 12

- **Число нейтронов (N).** Число нейтронов в ядре (см. также график на с. 87).

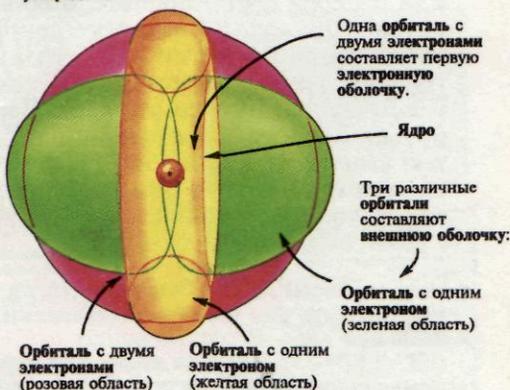
- **Электроны.** Частицы с отрицательным зарядом и очень малой массой. Двигаются вокруг ядра на **электронных оболочках**. (см. также Протон).

- **Электронные оболочки, или энергетические уровни.** Области пространства вокруг ядра, содержащие движущиеся электроны. В атоме их может быть до пяти (начиная изнутри — оболочки **K, L, M, N, O, P, Q**). Каждая может содержать не более определенного числа электронов (первые четыре внутренние оболочки — 2, 8, 18 и 32 соответственно). Чем дальше оболочка от ядра, тем выше энергия электронов (отсюда название — энергетический уровень). **Внешняя оболочка** — последняя оболочка, содержащая электроны. Если она заполнена или содержит **октет** (8 электронов), атом очень устойчив (см. с. 84). Положение электронов в оболочках не может быть точно определено ни в какой момент времени, но каждая оболочка состоит из **орбиталей, или облаков вероятности**. Каждая из них есть область, в которой в любой момент вероятно нахождение одного или двух электронов.

Современная модель (упрощенная) изотопа углерода-12



Современная модель (сложная) изотопа углерода-12



- **Изотопы.** Разновидность одного элемента с тем же атомным номером, но разным числом **нейтронов** и поэтому разными **массовыми числами**. Существуют изотопы каждого элемента: даже если в природе существует всего одна разновидность (элемент **одноизотопный**), другие могут быть получены искусственно (см. **Радиоизотоп**, с. 86).

Массовые числа используют с названиями или символами элементов для указания изотопов:



Углерод-12, или ^{12}C

Углерод-14, или ^{14}C

- **Относительная атомная масса.** Другие названия — **атомная масса** и **атомный вес**. Масса атома в унифицированных **атомных единицах массы** (а.е.м.). Такая единица равна $1/12$ массы атома **изотопа углерода-12**. **Относительная атомная масса** углерода-12, таким образом, 12 а.е.м., но все остальные значения — нецелые числа: например, 26,9815 а.е.м. (алюминий).

Относительная атомная масса учитывает разнообразие изотопов элемента, если они встречаются в его природном составе. Например, в природном хлоре присутствуют три атома хлора-35 на один атом хлора-37, и относительная атомная масса хлора (35,453 а.е.м.) есть среднее арифметическое двух различных масс этих изотопов.

Атомная и ядерная энергия

Все предметы, будь то большие тела или мельчайшие частицы, находятся в определенном **энергетическом состоянии**, которому соответствует определенное значение энергии. Более того, они будут всегда стремиться прийти в наиболее устойчивое состояние с наименьшей возможной энергией, называемое **основным состоянием**. В большинстве случаев это связано с той или иной перестройкой, т. е. с приобретением или потерей составляющих, и во всех случаях приводит к высвобождению «избыточной» энергии — в больших количествах, если частицы — атомы, и в огромных — если это ядра. Чем больше **энергия связи** атомов или ядер, тем выше их стабильность, т. е. менее вероятно, что они претерпят какие-либо изменения.

- **Энергия связи (Э.С.).** Затрата энергии, необходимая для того, чтобы расщепить атом или ядро на составляющие (см. с. 82—83). Энергия атома или ядра меньше суммарной энергии его частей, рассматриваемых по отдельности. Причина этого в том, что при образовании атома или ядра они переходят в более низкое (совместное) **энергетическое состояние** (см. введение и **Ядерная сила**) и теряют энергию. Энергия связи и есть эта разница энергий, т. е. энергия, необходимая, чтобы «вернуться назад», — и чем она больше, тем ниже энергия атома или ядра и выше его устойчивость. Энергия связи меняется от атома к атому и от ядра к ядру.

- **Ядерные силы.** Мощные силы притяжения, удерживающие части ядра (**нуклоны***) вместе и преодолевающие **электрическую силу*** отталкивания между **протонами***. Действие ядерных сил зависит от размера ядра

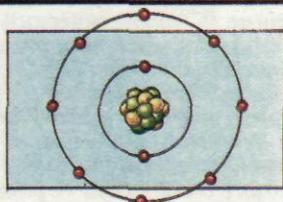
- **Дефект массы.** Масса атома или ядра меньше, чем сумма масс их отдельно взятых составляющих. Соответствующая разность называется **дефектом массы**. Это — **масса потенциальной энергии***, потерянной при соединении частей (см. **Энергия связи** и формулу внизу).

Эйнштейн показал, что энергия имеет массу. Следовательно, любая потеря энергии приводит также к потере массы — массы самой энергии.

Формула массы-энергии Эйнштейна:

$$E = mc^2,$$

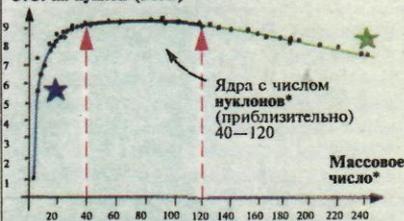
где E — энергия в джоулях; m — масса в килограммах; c = 3 × 10⁸ (численное значение скорости света в м/с).



Атомы с заполненными внешними оболочками*

Наибольшая устойчивость, наивысшая Э.С. или Э.С. на нуклон (см. ниже).

Э.С. на нуклон (МэВ)



Примечание: энергия связи на нуклон (общая Э.С., деленная на число нуклонов) лучше характеризует стабильность ядра — общая Э.С. какого-либо ядра может быть выше, чем Э.С. другого, но его Э.С. на нуклон может быть ниже (см. справа).

(см. график), поскольку они действуют только между соседними нуклонами. Чем больше общее притяжение между нуклонами, тем выше энергия связи ядра (т. е. тем больше энергии было потеряно при соединении его частей).

• **Квантовая теория.** Утверждает, что энергия передается не непрерывным образом, а мельчайшими отдельными «порциями» — квантами. Эта теория первоначально ограничивалась энергией, излучаемой телами (т. е. энергией электромагнитных волн*), но теперь обобщена и на все остальные виды энергии (см. с. 8—9). Электромагнитные кванты сейчас называют **фотонами**. Теория утверждает, что энергия фотона пропорциональна **частоте*** электромагнитного излучения (см. с. 44—45).

Энергия кванта (фотона):

$$E = hf,$$

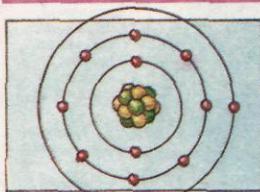
где E — энергия в джоулях; h — постоянная Планка ($6,63 \times 10^{-34}$ Дж/с); f — частота в герцах.

Электронвольт (эВ). Единица атомной энергии, равная кинетической энергии*, приобретаемой электроном при прохождении разности потенциалов* в 1 В.

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$$

Мегаэлектронвольт (МэВ). Единица ядерной энергии, равная 1 миллиону эВ.

$$1 \text{ МэВ} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ Дж}$$



Во внешней оболочке мало электронов*, или же внешняя оболочка почти заполнена: не хватает одного или двух электронов.



Взаимное сближение неустойчивых атомов приводит к передаче электронов, т. е. происходит химическая реакция.

Изменение энергетического состояния атома или ядра — атомный или ядерный переход. Изменения, приводящие к изменению химических свойств (т. е. к другому элементу), — превращение.

Устойчивость ниже, низкая Э.С. или Э.С. на нуклон.

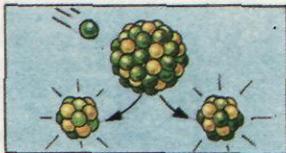


Мало нуклонов*: сравнительно большая площадь поверхности. Лишь на немногие нуклоны (по сравнению с их общим числом) действуют ядерные силы притяжения со стороны соседних нуклонов, так что суммарное действие ядерных сил ослабевает.

Результат — высвобождение избыточной энергии. Частицы становятся более стабильными — общая Э.С. или Э.С. на нуклон больше, чем раньше. Энергия выделяется в виде тепла и кинетической энергии* частиц.



Нагревание сообщает ядрам* высокую кинетическую энергию* — два ядра, столкнувшись, соединяются (см. Синтез, с. 93).



Удары очень быстрых частиц вызывают расщепление ядра (см. Деление, с. 92).

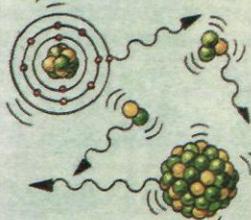


Очень большое число нуклонов — значит, больше протонов* — электрическая сила* отталкивания более эффективна, суммарное действие ядерных сил ослабевает.



Некоторые тяжелые ядра испускают частицы самопроизвольно (см. Радиоактивность, с. 86).

Как показано, переход к большей Э.С. (в более низкое энергетическое состояние) может произойти с очень небольшой «помощью»; примеры — соединение нестабильных атомов или самопроизвольная радиоактивность. В иных случаях приходится предварительно добавлять энергию (нагревание атомов, ядер или частиц).



Если добавлено недостаточно энергии, она вновь выделяется в виде фотонов (см. Квантовая теория). В атомах электроны «падают» обратно, а частота* испускаемых фотонов зависит от того, между какими оболочками совершается переход: рентгеновские лучи* (самая высокая частота — при переходе между внутренними оболочками, УФ-излучение* — между более удаленными и т. д. (см. Спектр, с. 44). В ядрах это всегда γ -лучи* (большая энергия).

* γ -лучи (Гамма-лучи), 44; Кинетическая энергия, 9; Нуклоны, 82 (Ядро); Протоны, 82; Рентгеновские лучи, 44; УФ-излучение, 44; Частота, 16; Электрическая сила, 6; Электромагнитные волны, 44; Электроны, 83.

Радиоактивность

Радиоактивность — свойство некоторых нестабильных ядер (см. с. 82 и 84) самопроизвольно распадаться на ядра других элементов и испускать излучение* (радиацию) — процесс, известный как **радиоактивный распад**.

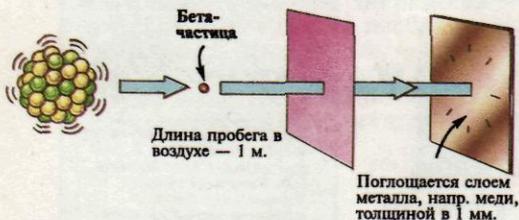
Существует три типа излучения радиоактивных элементов: потоки **альфа-частиц** (альфа-лучи), потоки **бета-частиц** (бета-лучи) и **гамма-лучи**. Подробнее об обнаружении и применении радиации см. с. 86—91.

- **Радионуклид, или радиоактивный изотоп.** Любое радиоактивное вещество (все вещества, в сущности, изотопы, см. с. 83). Несколько радионуклидов встречается в природе; большинство из них все еще существует из-за очень большого периода полураспада (например, уран-238), а один углерод-14, постоянно создается космическими лучами (см. Фоновое излучение). Другие радионуклиды образуются делением ядер*; новые изотопы создаются в исследовательских центрах, где ядра бомбардируют очень быстрыми частицами (от протонов* до ядер урана). Они ускоряются в разнообразных ускорителях частиц, например в циклотронах.



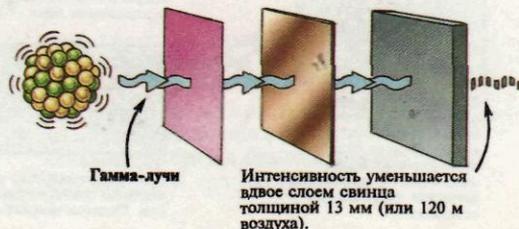
тяжелые (два протона* и два нейтрона*), движутся сравнительно медленно и имеют низкую проникающую способность.

- **Альфа-частицы (α -частицы).** Положительно заряженные частицы, испускаемые некоторыми радиоактивными ядрами (см. Альфа-распад). Они относительно



- **Бета-частицы (β -частицы).** Частицы, испускаемые некоторыми радиоактивными ядрами со скоростью, близкой к скорости света. Есть два типа β -частиц — электроны* и позитроны, частицы с массой электрона и положительным зарядом (см. Бета-распад).

- **Гамма-лучи (γ -лучи).** Невидимые электромагнитные волны (см. также с. 44). Имеют наибольшую проникающую способность; обыкновенно, хотя и не всегда, испускаются радиоактивным ядром после альфа- и бета-частицы.



Обнаружение и измерение радиоактивности

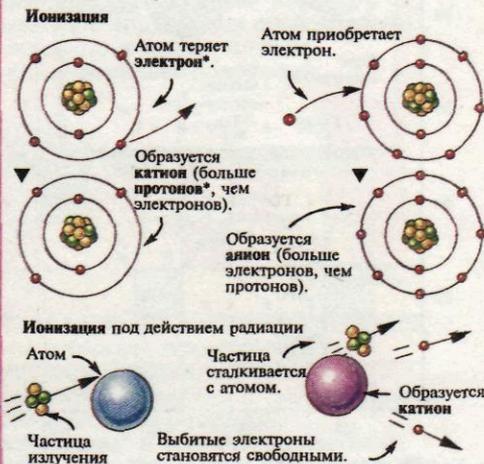


Существует ряд приборов, которые обнаруживают и измеряют излучение радиоактивных веществ (радиоизотопов*). Некоторые используются только в лабораториях (для изучения искусственно созданных радиоизотопов); круг применения других шире (например, приборы контроля за обеспечением безопасности), и они могут быть также использованы для измерения радиационного фона. В большинстве устройств излучение обнаруживают и измеряют по вызываемой им ионизации — см. Счетчик Гейгера и Электроскоп Вульфа (справа), Камера Вильсона и Пузырьковая камера (с. 90).

- **Радиационный фон.** Присутствующая на Земле (в сравнительно малых количествах) радиация от природных и искусственных источников. Один из примечательных ее природных источников — углерод-14, поглощаемый растениями и животными. Он постоянно образуется из азота-14 из-за бомбардировки космическими лучами (космическим излучением), проникающими в атмосферу из космоса; это потоки частиц чрезвычайно высокой энергии.



- **Ионизация.** Создание ионов (электрически заряженных частиц), происходящее, когда электрически нейтральные атомы теряют или приобретают электроны*, образуя катионы (положительные ионы) или анионы (отрицательные ионы)

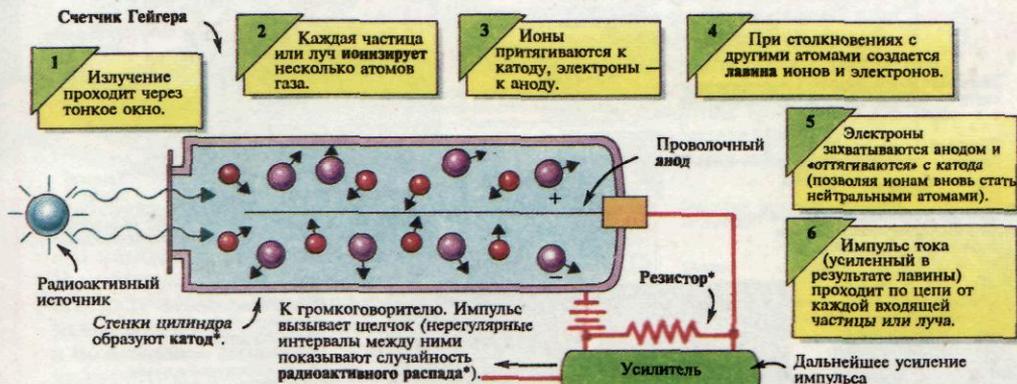


соответственно. Альфа- и бета-частицы*, проходя сквозь вещество, ионизируют его атомы, обычно создавая катионы; энергия частиц так высока, что один или несколько электронов «выбиваются» из атома. Гамма-лучи* также могут ионизировать атомы.

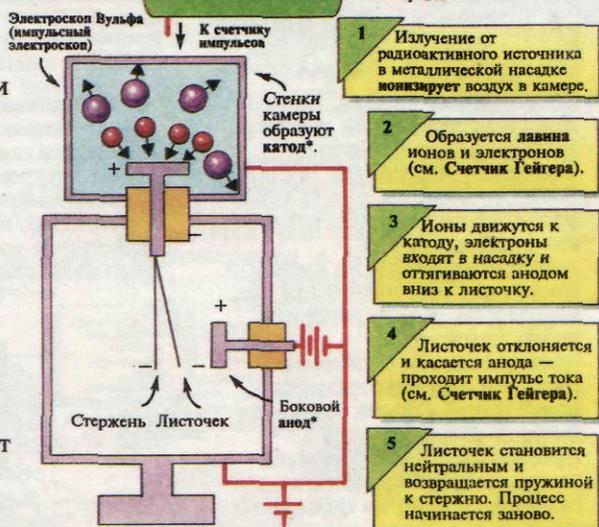
Датчики излучения

- **Счетчик Гейгера.** Прибор, состоящий из **трубки Гейгера** — Мюллера, **счетчика импульсов** и/или **индикатора частоты импульсов**, а часто — и **громкоговорителя**. Трубка — это наполненный газом цилиндр с двумя **электродами*** — его стенки служат **катодом***, а в центре находится **провод анода***. Прибор показывает присутствие радиации, регистрируя

импульсы тока между электродами. Импульсы — результат ионизации газа (обычно это аргон с примесью брома при низком давлении) под действием радиации. Счетчик импульсов регистрирует импульсы, а индикатор частоты импульсов измеряет скорость счета — среднее число импульсов в секунду.



- **Электроскоп Вульфа (импульсный электроскоп).** Разновидность электроскопа с **золотым листочком***. Стенки воздушной камеры вокруг насадки образуют **катод***: рядом с листочком помещен **анод***. Таким образом **электроны*** оттягиваются с насадки вниз, оставляя ее положительно заряженной (листочек отклоняется от стержня, поскольку оба они заряжены отрицательно, но в отсутствие радиоактивного источника это отклонение не достаточно, чтобы коснуться анода). При каждом акте **ионизации** листочек совершает колебание к аноду и обратно, указывая тем самым на наличие радиации.



- **Дозиметр.** Прибор, которым снабжены все люди, работающие с радиоактивными веществами. Содержит фотопленку (которую радиация засвечивает). Пленка регулярно проявляется, и степень затемнения пленки показывает дозу радиации, действию которой подвергался обладатель прибора.



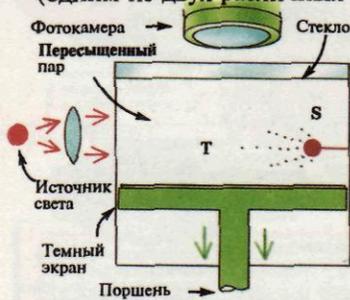
Дозиметр

* Анод, Катод, 66; Радиоактивный распад, 86; Резистор, 62; Электрод, 66; Электроны, 83; Электроскоп, 56.

Датчики излучения (продолжение)

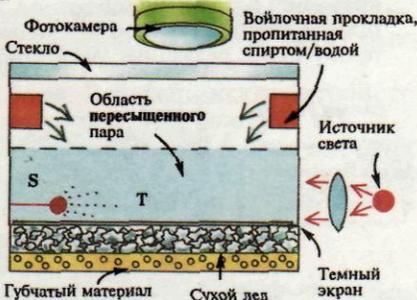
- Камера Вильсона.** Прибор, в котором можно наблюдать следы траекторий **альфа-** и **бета-частиц***. Камера содержит пар (воды или спирта); охлаждением он превращается в **пересыщенный** (одним из двух различных

способов — см. ниже). Температура пара ниже той, при которой он должен конденсироваться; однако он не конденсируется, так как нет пылинок или других частиц, вокруг которых могли бы образоваться капли.



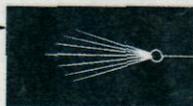
Камера Вильсона. Пар охлаждается резким увеличением объема (опусканием поршня).

- 1 Излучение источника (S) вызывает **ионизацию*** пара.
- 2 Образовавшиеся ионы действуют аналогично пылинкам — на них конденсируется пар.
- 3 Там, где сконденсировался пар, остаются следы из капелек жидкости (T) (достаточно долговечные, чтобы их сфотографировать).



Диффузионная камера Вильсона. Пар охлаждается подложкой из сухого льда (двуокиси углерода). Пар диффундирует* вниз.

Следы в камере Вильсона (образуются через неправильные промежутки времени, что демонстрирует случайную природу радиоактивного распада*).



Следы, оставленные тяжелыми α -частицами* — короткие, прямые и широкие.



Следы легких β -частиц* — длинные, извилистые и тонкие.

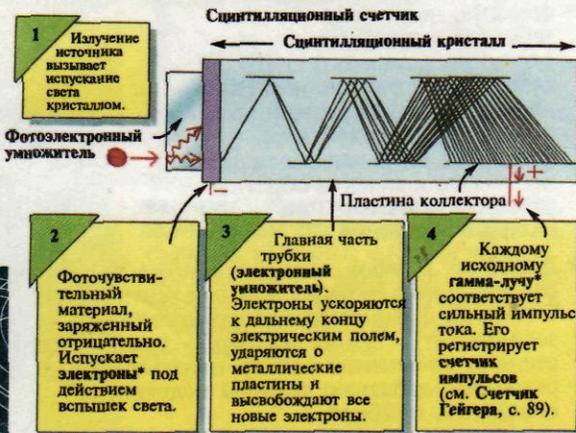
Гамма-лучи* сами не оставляют следов, но могут выбивать **электроны*** из отдельных атомов. Электроны затем ускоряются и могут оставлять следы, подобные следам бета-частиц.

- Пузырьковая камера.** Прибор, показывающий, как и камера Вильсона, следы частиц. Содержит **перегретую** жидкость (обычно водород или гелий), нагретую выше температуры кипения, но в действительности не кипящую, поскольку она находится под давлением. Когда давление резко снижается, появляющиеся в камере ядерные частицы вызывают **ионизацию*** атомов жидкости. Всякий раз, когда это происходит, выделившаяся энергия вызывает кипение, и образуется след из пузырьков.

Следы в пузырьковой камере. Обычно искривлены магнитным полем, которое используют, чтобы облегчить распознавание.



- Сцинтилляционный счетчик.** Устройство, обнаруживающее **гамма-лучи***. Состоит из **сцинтилляционного кристалла** и **фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)**. Вещество кристалла — **люминофор*** (например, иодид натрия). Под действием излучения люминофоры дают вспышки света (**сцинтилляции**).



Применение радиоактивности

Излучение **радиоизотопов*** (радиоактивных веществ) находит разнообразные применения, в особенности в медицине, промышленности и археологических исследованиях.



• **Радиология.** Изучение радиоактивности и **рентгеновских лучей***, в особенности с учетом их медицинского применения.

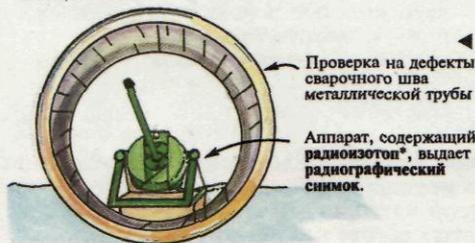
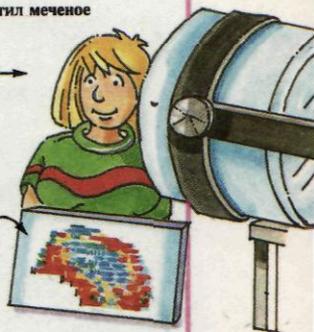
• **Радиотерапия.** Применение излучения **радиоизотопов*** для лечения болезней. Все живые клетки чувствительны к радиации, так что можно разрушить злокачественные (раковые) клетки с помощью тщательно контролируемых доз облучения.

• **Изотопная радиография.** Метод прослеживания путей распространения вещества и определения его концентрации в объекте по мере движения. В вещество вводят **радиоизотоп*** и наблюдают за его излучением. Такой радиоизотоп называется **радиоактивным** или **изотопным индикатором**, а вещество — **меченым**. При медицинской диагностике высокий уровень содержания радиоизотопа в органе может указывать на присутствие злокачественных (раковых) клеток. **Период полураспада*** используемых изотопов обычно мал, и они распадаются на безвредные вещества.

Пациент проглотил меченое вещество.

Сканер (детектор γ -лучей) отслеживает радиоизотоп* в теле.

Пример карты распределения радиоизотопа — врач может найти пораженные болезнью области по окраске.



• **Гамма-радиография (γ -радиография).** Получение **радиографического снимка** (сходен с фотографией) с помощью **гамма-лучей*** (см. также **Рентгенография**, с. 44). Имеет много применений, в том числе для контроля качества в промышленности.

• **Радиоуглеродное датирование, или ^{14}C датирование.** Способ подсчета времени, прошедшего с тех пор, как живая материя умерла. Все живые организмы поглощают небольшие количества **радиоизотопа*** углерода-14 из атмосферы. После смерти поступление углерода-14 прекращается и его излучение постепенно ослабевает (период **полураспада*** углерода-14 — 5700 лет). По интенсивности излучения можно вычислить возраст останков.

Возраст сохранившегося органического материала с места раскопок может быть определен радиоуглеродным методом.



* Гамма-лучи, 86; Период полураспада, 87; Радиоизотоп, 86; Рентгеновские лучи, 44.

Деление и синтез ядер

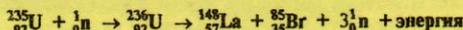
В ядре атома (см. с. 82) запасено огромное количество энергии (см. с. 84—85). Деление и синтез ядер — процессы, в которых эта энергия высвобождается. Это — ядерные реакции (реакции, приводящие к изменению ядра).

- **Деление ядра.** Процесс расщепления тяжелого, нестабильного ядра на два (или больше) более легких ядра примерно одинакового размера с высвобождением двух или трех нейтронов* (нейтронов деления) и выделением большого количества энергии (см. также с. 84). Два более легких ядра называются **продуктами деления**, многие из них **радиоактивны***. В ядерных реакторах деления* этот процесс (см. **Вынужденное деление**) используют для получения тепловой энергии. Самопроизвольное деление ядер происходит довольно редко (см. **Спонтанное деление**).

Вынужденное деление урана-235



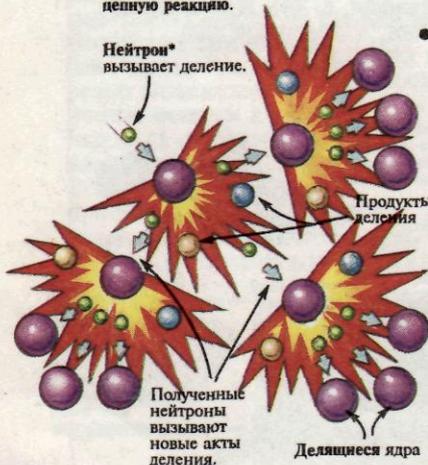
Ядерное уравнение реакции, показанной сверху справа (см. массовое число и атомный номер, с. 82).



- **Спонтанное деление.** Деление ядра, происходящее естественным образом, т. е. без внешнего воздействия. Это может происходить с ядром тяжелого элемента — например, **изотопа***

Вынужденное деление вызывает цепную реакцию.

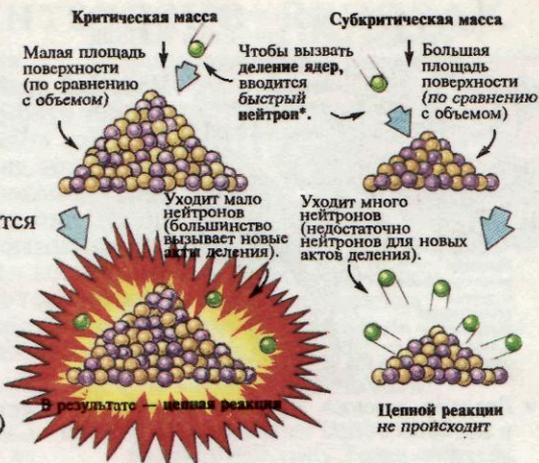
урана-238, но вероятность этого очень мала по сравнению с вероятностью осуществления более простого процесса — например, **альфа-распада***.



- **Вынужденное деление.** Деление ядра, искусственно сделанного нестабильным, например, вследствие удара быстрой частицы (часто — нейтрона*), которая в этом случае поглощается. Так можно вызвать распад не всех ядер, а только некоторых, так называемых **делящихся**, напр. **изотопов*** урана-235 и плутония-239. Если в веществе много делящегося материала (см. также **Тепловой реактор** и **Реактор на быстрых нейтронах**, с. 95), нейтроны, высвобожденные при вынужденном делении, вызовут новые акты деления (плюс новые нейтроны) и т. д. Это — так называемая **цепная реакция**. В ядерном реакторе* деления происходят управляемая цепная реакция, но в ядерной бомбе она не контролируется и приводит к мощному взрыву.

- **Критическая масса.** Минимальная масса делящегося вещества, необходимая для поддержания цепной реакции (см. **Вынужденное деление**). При меньших, **субкритических массах** отношение площади поверхности к объему слишком велико и слишком много нейтронов*, высвободившихся в первых актах распада, уходит в атмосферу. Ядерное топливо хранится при субкритических массах.

- **Бомба деления, или атомная бомба (А-бомба).** Бомба, в которой посредством взрыва запального устройства соединяются две **субкритические массы**. При вызванной таким образом **цепной реакции** (см. **Вынужденное деление**) выделяется огромная энергия.

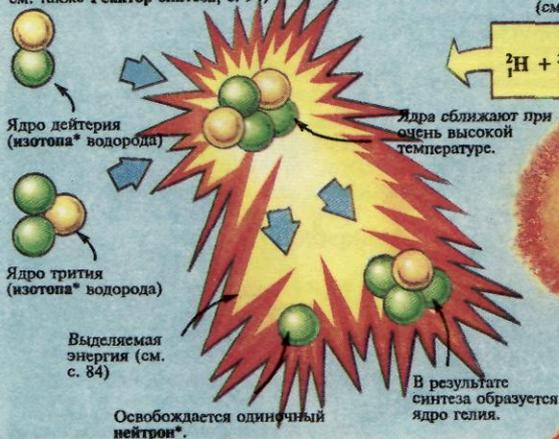


- **Ядерный синтез.** Столкновение и соединение двух легких ядер с образованием более тяжелого, более устойчивого ядра и выделением большого количества энергии (см. также с. 94). Ядерный синтез требует температур в миллионы градусов Цельсия, чтобы сообщить ядрам **кинетическую энергию***, достаточную для их слияния при столкновении (из-за высоких температур реакции синтеза также называются **термоядерными реакциями**). В силу этого естественный синтез происходит лишь на Солнце (и подобных ему

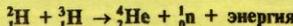
звездах), но проводятся исследования с целью осуществить управляемую термоядерную реакцию в ядерных реакторах синтеза*.

- **Бомба синтеза, или термоядерная, или водородная бомба (H-бомба).** Бомба, в которой происходит **неуправляемый ядерный синтез** в смеси трития и дейтерия — **изотопов*** водорода. Необходимую для этого высокую температуру создает запал — **бомба деления** (бомбы синтеза также называют **бомбами деления-синтеза**). При этом выделяется примерно в 30 раз больше энергии, чем при взрыве бомбы деления того же размера.

Пример ядерного синтеза (D-T-реакции, см. также Реактор синтеза, с. 94)



Ядерное уравнение реакции, показанной слева (см. Массовое число и Атомный номер, с. 82).



* Изотопы, 83; Кинетическая энергия, 8; Нейтроны, 82; Реактор синтеза, 94.

Ядерная энергетика



Ядерные реакторы имеют и другие применения — например, в двигателях подводных лодок и других судов.

Ядерный реактор — устройство, в котором за счет ядерных реакций выделяется большое количество тепла. В принципе возможны два основных типа реактора — **реактор деления** и **реактор синтеза**, но последний до сих пор не создан. Все современные **атомные электростанции** построены на основе реакторов деления, и каждая дает гораздо больше электроэнергии на единицу массы топлива, чем электростанция любого иного типа.

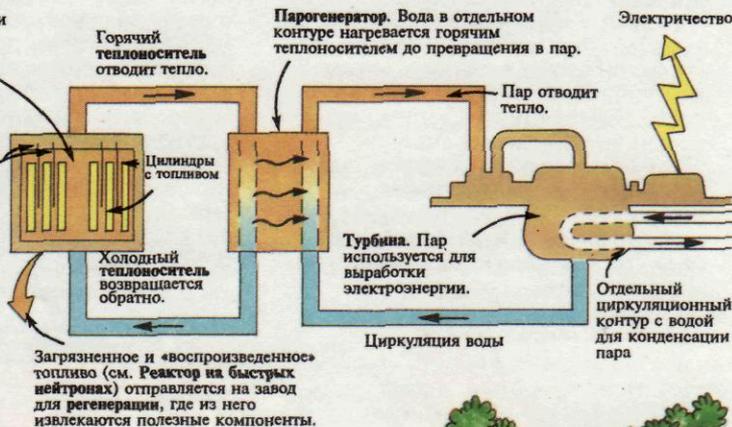
- **Реактор деления.** Ядерный реактор, в котором тепло выделяется благодаря делению ядер*. Эксплуатируются реакторы двух основных типов — **тепловые реакторы** и **реакторы на быстрых нейтронах*** (см. следующую страницу); топливо для обоих — уран. Уран содержится в длинных цилиндрах, плотно размещенных в

активной зоне реактора (в его центре). **Скорость цепной реакции*** (и, следовательно, производство электроэнергии) жестко контролируется с помощью **управляющих стержней**. Использование реактора деления для выработки электроэнергии иллюстрируется диаграммой внизу.

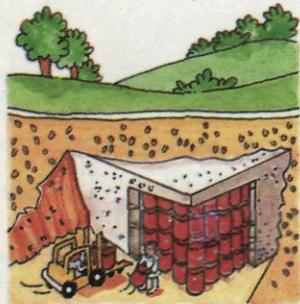
Схема реактора деления и комплекса электростанции

Активная зона реактора. Ядерные реакции в топливе выделяют тепло, нагревающее теплоноситель.

Управляющие стержни, вдвинутые в активную зону, — обычно борные или кадмиевые (с высокой вероятностью поглощают нейтроны и, следовательно, замедляют реакцию). Устанавливаются на определенную глубину, поддерживая постоянную скорость цепной реакции, но могут быть опущены или подняты, поглощая больше или меньше нейтронов.



- **Реактор синтеза.** Находящийся в процессе разработки **ядерный реактор**, в котором тепло должно выделяться в результате **ядерного синтеза***. Вероятно, это будет слияние **изотопов*** водорода, дейтерия и трития, известное как **D-T-реакция** (см. рисунок на с. 93). Чтобы реально создать реактор синтеза, нужно преодолеть ряд значительных затруднений, но он вырабатывал бы в четыре раза больше энергии на единицу массы, чем **реактор деления**. Кроме того, в водороде недостатка нет, в то время как уран редок и добыча его опасна и дорога.

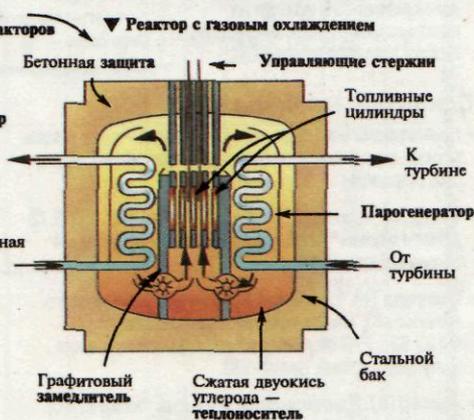
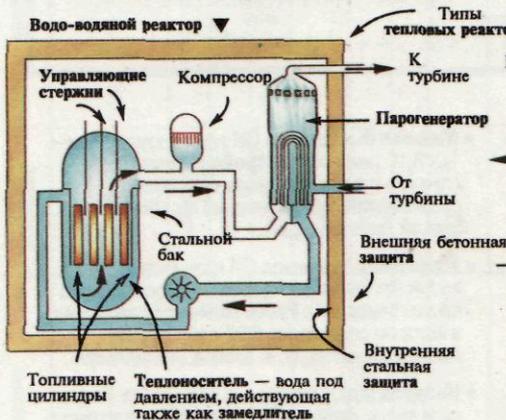


Опасные радиоактивные* отходы (использованное топливо) реакторов деления должны быть захоронены. Реакторы синтеза давали бы меньше отходов.

Типы реакторов деления

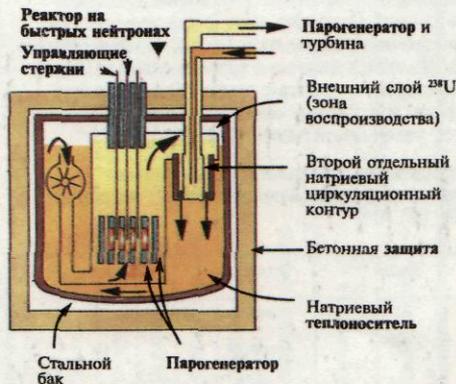
- **Тепловой реактор.** Реактор деления с замедлителем вокруг топливных цилиндров. Замедлитель — вещество с легкими ядрами, например графит или вода. Оно используется для замедления быстрых нейтронов*, образующихся при первых актах деления в природном урановом топливе: нейтроны сталкиваются с легкими ядрами (поглощение маловероятно) и в конечном счете замедляются примерно до 2200 м/с. Замедление нейтронов увеличивает

вероятность того, что они будут и дальше вызывать акты деления (и поддержат цепную реакцию*). Быстрые нейтроны в основном захватываются ядрами наиболее распространенного изотопа* урана-238 (см. Реактор на быстрых нейтронах), а медленные продолжают двигаться, пока не встретят ядра урана-235. Они делятся под действием нейтронов любой скорости, но составляют лишь небольшой процент топлива (несмотря на то, что сейчас его часто дополнительно обогащают ²³⁵U).



- **Реактор на быстрых нейтронах, или реактор-размножитель на быстрых нейтронах.** Реактор деления, в котором нейтроны*, вызывающие деление, остаются быстрыми (скорость около 2×10^7 м/с). Топливо для реактора всегда обогащено дополнительными ядрами урана-235 (см. Тепловой реактор) и плутония-239. Оба они легко делятся под ударами быстрых нейтронов, в отличие от ядер урана-238, которые предпочитают захватывать нейтроны, превращаясь в ²³⁹U и претерпевая радиоактивный распад*. Конечным продуктом этого распада является, однако, ²³⁹Pu. Реакторы на быстрых нейтронах называют также размножителями, поскольку во внешней оболочке

из ²³⁸U вокруг основного топлива происходит превращение ²³⁹U в ²³⁹Pu. Следовательно, создается и запасается дополнительное топливо.



* Изотопы, 83; Нейтроны, 82; Радиоактивный распад, 87; Цепная реакция, 92 (Вынужденное деление).

Величины и единицы измерения

Физические величины — это такие понятия, как **масса***, **сила***, **сила тока*** и т. п., используемые в физических науках. Все они должны определенным образом измеряться, и, следовательно, у каждой есть своя **единица измерения**. Единицы измерения установлены международным соглашением и называются **Международной системой**, или **единицами СИ** (от французского *Systeme International*). Все величины делятся на **основные** и **производные**.

• Основные величины.

Совокупность величин, через которые могут быть определены все остальные (см. **Производные величины**). Каждая основная величина имеет свою **основную единицу измерения СИ**, исходя из которых может быть определена любая другая единица СИ.

Основная величина	Обозначение	Основная единица СИ	Сокращение
Масса	m	килограмм	кг
Длина	l	метр	м
Время	t	секунда	с
Сила тока	I	ампер	А
Температура	T	кельвин	К
Количество вещества	—	моль	моль
Сила света	—	кандела	кд

Основные единицы СИ

- **Килограмм (кг)**. Единица СИ массы. Равен массе международного эталона, хранящегося в Севре, под Парижем.
- **Метр (м)**. Единица СИ длины. Равна 1 650 763,73 **длины волны*** определенного вида излучения атома криптона-86.
- **Секунда (с)**. Единица СИ времени (временного интервала). Равна продолжительности 9 192 631 770 **периодов*** определенного вида излучения атома цезия-133.
- **Ампер (А)**. Единица силы тока (см. также с. 60). Равен силе тока, который, проходя по двум параллельным бесконечным проводникам, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме, вызывает на каждом участке длиной 1 м силу взаимодействия 2×10^{-7} Н.

- **Кельвин (К)**. Единица СИ температуры. Равен $1/273,16$ температуры **тройной точки** воды (точки, в которой лед, вода и пар могут существовать одновременно) по **абсолютной шкале температуры***.

- **Моль (моль)**. Единица СИ количества вещества (заметьте, что это не масса, а число частиц вещества). Равен количеству вещества, в котором содержится $6,02 \times 10^{23}$ (**число Авогадро**) частиц (т. е. атомов или молекул).

- **Кандела (кд)**. Единица СИ силы света. Равна силе света, излучаемого $1/600\,000$ квадратного метра **абсолютно черного тела*** при температуре затвердевания платины и давлении $101\,325$ Н/м².

Приставки

Единица СИ может быть слишком большой или малой для конкретного приложения и поэтому неудобной. Например, метр слишком велик для измерения толщины листа бумаги. По этой причине используются дольные и кратные единицы СИ; их записывают с помощью приставок к названиям единиц (см. таблицу ниже). Например, миллиметр (мм) равен одной тысячной метра.

Стандартные дольные и кратные единицы (те, которые используют степени 10^3 : например, 10^3 , 10^6 , 10^{-3}).

Доля	Приставка	Обозначение
10^{-3}	милли-	м
10^{-6}	микро-	мк
10^{-9}	нано-	н

Кратность	Приставка	Обозначение
10^3	кило-	к
10^6	мега-	М
10^9	гига-	Г

Другие дольные и кратные единицы

Доля или кратность	Приставка	Обозначение
10^2	гекто-	г
10^1	дека-	дк
10^{-1}	деци-	д
10^{-2}	санти-	с

- **Производные величины.** Величины, отличные от основных и определяемые через них или через другие производные величины. Производные величины имеют **производные единицы измерения СИ**, определяемые через **основные единицы СИ** или другие производные единицы. Они получаются из определяющих соотношений для данной величины и иногда имеют особые названия.

Производная величина	Обозначение	Определяющее соотношение	Производная единица СИ	Название единицы	Сокращение
Скорость	v	$v = \frac{\text{путь}}{\text{время}}$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	–	–
Ускорение	a	$a = \frac{\text{скорость}}{\text{время}}$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	–	–
Сила	F	$F = \text{масса} \times \text{ускорение}$	$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$	ньютон	Н
Работа	A	$A = \text{сила} \times \text{расстояние}$	Н·м	джоуль	Дж
Энергия	E	Способность совершать работу	джоуль	–	–
Мощность	P	$P = \frac{\text{совершенная работа}}{\text{время}}$	$\text{Дж} \cdot \text{с}^{-1}$	ватт	Вт
Площадь	S	Зависит от формы тела (см. с. 101)	м^2	–	–
Объем	V	Зависит от формы тела (см. с. 101)	м^3	–	–
Плотность	ρ	$\rho = \frac{\text{масса}}{\text{объем}}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	–	–
Давление	P	$P = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}}$	$\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$	паскаль	Па
Период	T	Время одного цикла	с	–	–
Частота	ν	Число циклов в секунду	с^{-1}	герц	Гц
Импульс силы	–	Импульс силы = сила \times время	Н·с	–	–
Количество движения	P	$P = \text{масса} \times \text{скорость}$	$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	–	–
Электрический заряд	Q	$Q = \text{сила тока} \times \text{время}$	А·с	кулон	Кл
Разность потенциалов	U	$U = \frac{\text{перенесенная энергия}}{\text{заряд}}$	$\text{Дж} \cdot \text{Кл}^{-1}$	вольт	В
Емкость	C	$C = \frac{\text{заряд}}{\text{разность потенциалов}}$	$\text{Кл} \cdot \text{В}^{-1}$	фарад	Ф
Сопротивление	R	$R = \frac{\text{разность потенциалов}}{\text{сила тока}}$	$\text{В} \cdot \text{А}^{-1}$	ом	Ом

Уравнения, символы и графики

Все **физические величины** (см. с. 96—97) могут быть представлены символами и, как правило, каким-либо образом зависят от других величин. Следовательно, между ними есть зависимости, которые можно выразить **уравнениями** и показать на **графиках**.

Уравнения

Уравнение представляет зависимость между двумя или более физическими величинами. Эту зависимость можно выразить как **словесным**, так и **символьным уравнением**, связывающим **символы** величин. Второй способ используется, когда имеется несколько величин, это упрощает обращение с ними. Обозначения всегда должны быть расшифрованы.

Словесное уравнение

$$\text{Плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объем}}$$

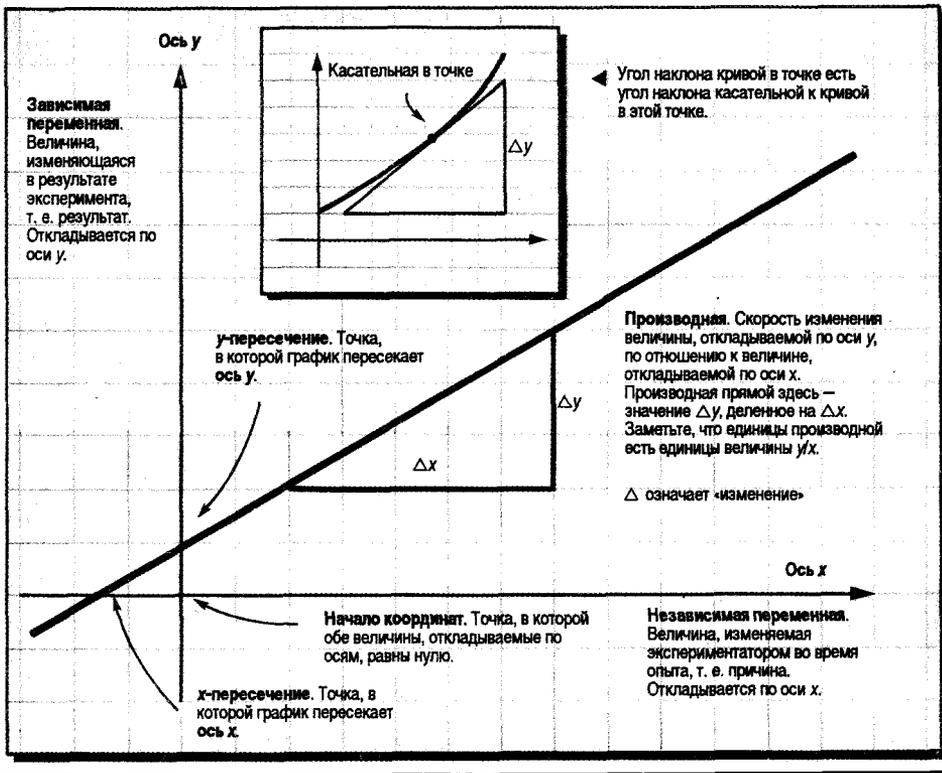
Символьное уравнение

$$Q = m \times c \times (t_2 - t_1) \text{ или } Q = mc (t_2 - t_1),$$

где Q — полученное или потерянное количество теплоты; m — масса; c — удельная теплоемкость; t_1 и t_2 — температуры.

Графики

График — наглядное представление зависимости между двумя величинами. Он показывает, как одна величина зависит от другой. Точки на графике — это значения величин, полученные в ходе эксперимента или из уравнения, если оно известно. Две откладываемые по осям x и y величины называются **переменными**.



Символы

Символы используются для представления **физических величин**. Значение физической величины состоит из числа и единицы измерения. Следовательно, любой символ представляет собой и число, и единицу измерения.

Символы означают величину и единицу измерения

$$m = 2,1 \text{ кг} \quad s = 400 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$$

«Ток через резистор = 1» (т. е. нет необходимости писать «1 ампер», поскольку единица измерения включается в символ).

Для того чтобы указать конкретную единицу измерения какой-либо величины в таблице или на графике, поступают следующим образом: пишут

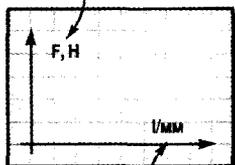
символ величины, а затем, через косую черту или через запятую, саму единицу измерения.

Каждое число в этой колонке — длина в метрах.

l/m	l/c ²
0,9	3,6
1,0	4,0
1,1	4,4
1,2	4,8

Каждое число в этой колонке — квадрат времени, измеренный в секундах в квадрате.

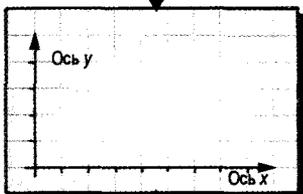
Каждое число на оси — сила в ньютонах.



Каждое число на оси — длина в миллиметрах.

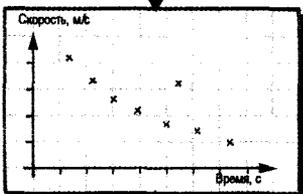
Построение графиков

1. Величину, регулируемую в процессе эксперимента, следует откладывать на оси x , а величину, которая получается в результате, по оси y .



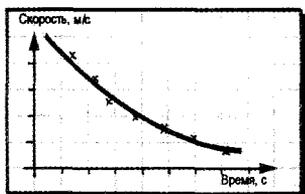
2. Масштабы по осям следует выбирать так, чтобы значения было легко определить (квадратики координатной сетки не должны представлять числа, кратные трем).

3. На осях должны быть поставлены обозначения (или названия) величин и единицы измерения: напр., длина/мм.



4. Точки на графике следует отмечать карандашом значками \times или \circ .

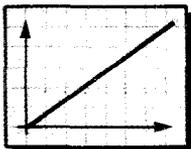
5. Следует проводить гладкую кривую или прямую, наилучшим образом удовлетворяющую отмеченным точкам (поскольку, как правило, физические



величины определенным образом связаны). Заметьте, что простое соединение точек часто не дает гладкой кривой — из-за погрешностей эксперимента.

Информация, которую несет график

Прямолинейный график, проходящий через начало координат, показывает, что величины, отложенные по осям, пропорциональны друг другу (т. е. если одна удваивается, удваивается и другая).



Величина разброса точек относительно гладкой кривой есть показатель погрешностей вследствие неточностей методики, приборов и измерений (это неизбежно при любом эксперименте).

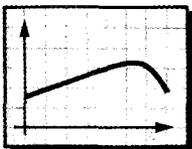
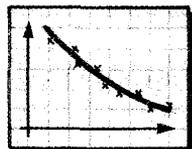
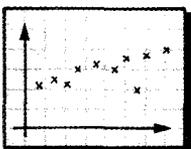


График показывает область, в которой зависимость между двумя величинами линейна (т. е. при фиксированном изменении одной из величин приращение другой всегда одинаково). В такой области график представлен прямой линией.



Отдельные точки, попавшие далеко от кривой, вероятно, получены из-за ошибок во время опыта. Однако не следует пренебрегать такой точкой — следует проверить это значение и, если возможно, провести повторное измерение.

Измерения

Измерение длины

Метод измерения длины зависит от величины этой длины. Для длин от 50 мм и более используют измерительную линейку с делениями. Наименьшее деление обычно равно 1 мм, и длину можно оценить с точностью до 0,5 мм. Для длин

меньше 50 мм такая погрешность была бы неприемлемой (см. также **Погрешность отсчета**, с. 103), и в этом случае используют **нониус**. Для измерения очень малых длин (до 0,01 мм) применяется **микрометр**.

- **Нониус**. Короткая шкала, скользящая по неподвижной шкале. Позволяет точно определить положение нулевой отметки нониуса относительно неподвижной шкалы. Нониус используется в измерительных инструментах, таких, как **штангенциркуль**.

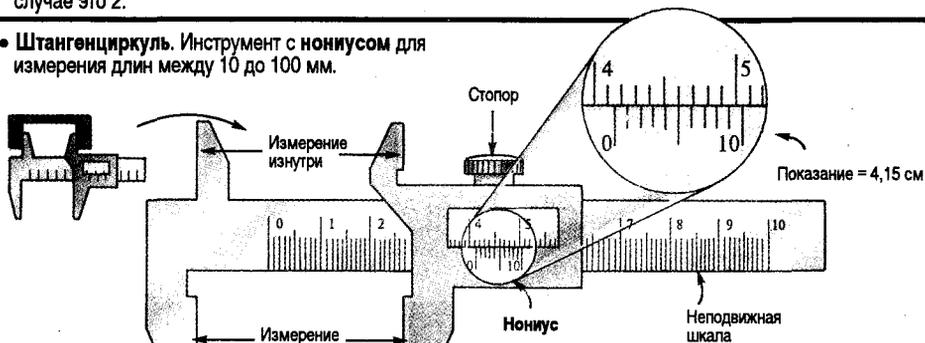
Способ определения положения нулевого деления на **нониусе**:

1. Определить приблизительное положение нулевого деления — в данном случае 8,3 см.
2. Найти место на шкале нониуса, где деления нониуса и основной шкалы совпадают, — в данном случае это 2.



3. Прибавить его к предыдущему значению. Точное показание: 8,32 см.

- **Штангенциркуль**. Инструмент с **нониусом** для измерения длин между 10 до 100 мм.



Способ измерения:

1. Сдвиньте штанги и убедитесь, что нуль **нониуса** совпадает с нулем неподвижной шкалы. Если это не так, снимите показание (это **сдвиг нуля***).
2. Сдвиньте или раздвиньте штанги, охватив ими измеряемый предмет.
3. Зафиксируйте подвижную штангу в нужном положении.
4. Снимите показания шкалы.
5. Прибавьте или вычтите сдвиг нуля (см. 1), чтобы получить верный результат.

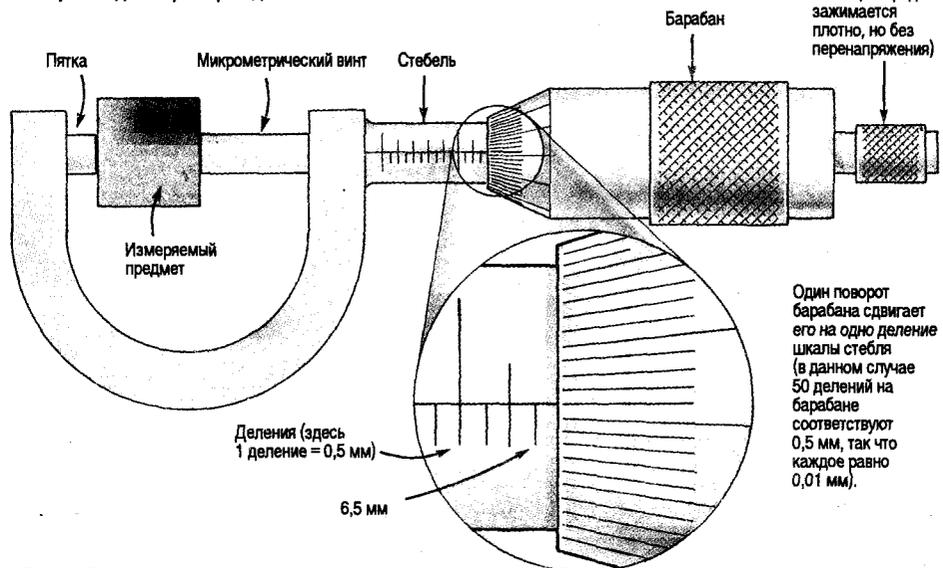
Измерение площади и объема

Объем жидкости вычисляется по объему сосуда, в котором она находится. Внутренний объем сосуда называется его **емкостью**. **Единица СИ*** емкости — **литр (л)**, равный 10^{-3} м^3 . Отметим, что $1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$. Объем жидкости измеряют, используя градуированный сосуд.

Примеры градуированных сосудов для измерения объема



• **Микрометр.** Инструмент для точных измерений длин примерно до 30 мм.

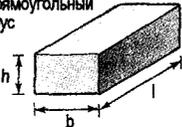
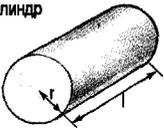


Способ измерения

1. Вычислить цену деления по шкале барабана (см. схему).
2. Используя храповик, вдвинуть до конца микрометрический винт. Нуль шкалы барабана должен совпадать с горизонтальной линией начала отсчета. Если это не так, отметить **сдвиг нуля***.
3. Используя храповик, приблизить микрометрический винт к пятке, зажав измеряемый предмет.
4. Считать показание наивысшей видимой отметки на шкале стебля (в данном случае 6,5 мм).
5. Считать деление шкалы барабана, совпадающее с горизонтальной линией начала отсчета (в данном случае 0,41 мм).
6. Сложить два показания и прибавить или вычесть сдвиг нуля (см. 2), чтобы получить верный результат (в данном случае 6,91 мм).

Площадь поверхности и объем твердого тела правильной формы вычисляются из измерений его линейных размеров

(см. ниже). Для тел неправильной формы — см. **Архимедова колба**, с. 24.

Тело правильной формы	Прямоугольный брусок 	Сфера 	Цилиндр 
Измерения производятся с помощью штангенциркуля или микрометра.	h — высота b — ширина l — длина	r — радиус	r — радиус l — длина
Объем тела вычисляется по формуле	$v = lbh$	$v = 4/3\pi r^3$	$v = \pi r^2 l$
Площадь поверхности тела вычисляется по формуле	$S = 2bl + 2hl + 2hb$ <small>Верхняя и нижняя грани Боковые грани Торцевые грани</small>	$S = 4\pi r^2$	$S = 2\pi r l + 2\pi r^2$ <small>Изогнутая поверхность Торцы</small>

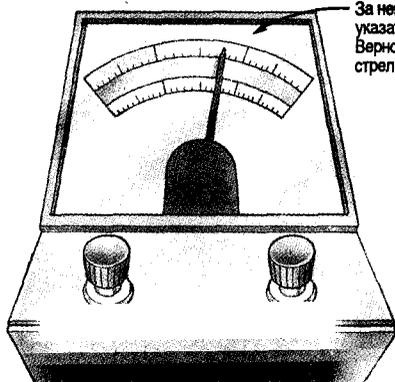
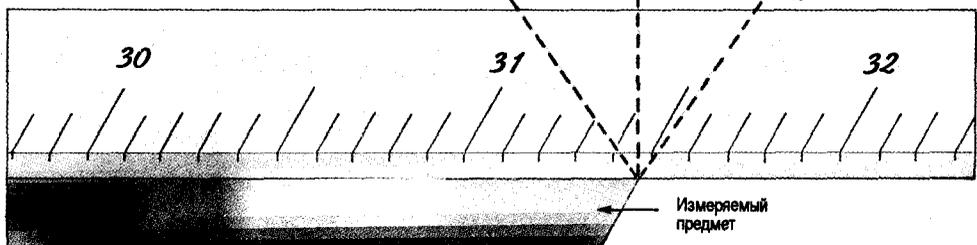
* Сдвиг нуля, 102.

Точность и погрешности

Все экспериментальные измерения связаны с некоторой погрешностью, которая вовсе не сводится к неаккуратности (например, неправильному считыванию показаний шкалы). Наиболее часто встречающиеся погрешности — **ошибка параллакса, сдвиг нуля и ошибка считывания**. Таким образом, при записи результатов измерений должно соблюдаться число значащих цифр, дающее оценку точности показаний.

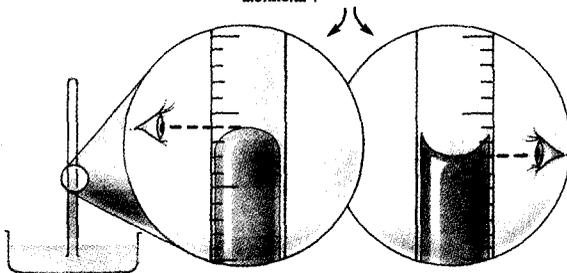
- **Ошибка параллакса.** Ошибка, возникающая, когда при снятии показания глаз не находится в точности напротив шкалы.

Ошибка параллакса при использовании линейки



За некоторыми шкалами со стрелкой-указателем установлено зеркало. Верное показание получают, когда стрелка закрывает свое отражение.

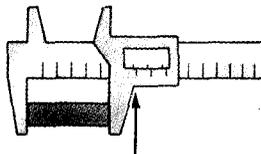
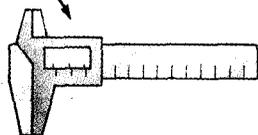
Во избежание ошибок параллакса показания уровней жидкости следует считать, помещая глаз на одном уровне с верхней или нижней границей мениска*.



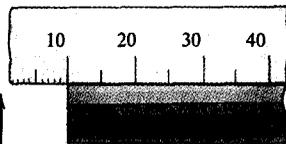
- **Сдвиг нуля.** Ошибка, возникающая, когда измерительный прибор не показывает нуля, хотя и должен в данном состоянии его показывать. В таких случаях следует либо

отрегулировать прибор так, чтобы он показывал нуль, либо снять «нулевое показание» и затем прибавлять или вычитать его при остальных измерениях.

Показание штангенциркуля* в сомкнутом состоянии (должно быть нулевым) — 0,2 мм. Это сдвиг нуля.



Из любого показания следует вычесть 0,2 мм (здесь: наблюдаемое показание — 53,9, но действительная длина равна $53,9 - 0,2$, т. е. 53,7 мм).

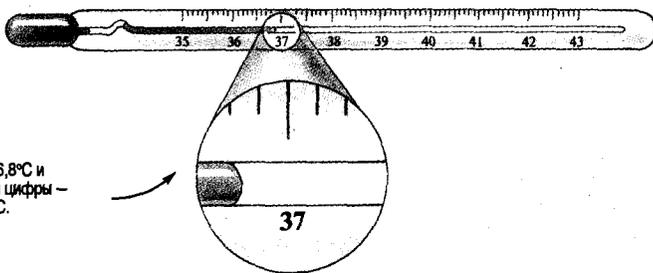


Сдвиг нуля на линейке может случиться из-за изношенного конца. Нужно измерять длины от деления 10 мм и вычитать 10 мм из всех показаний.

• Ошибка считывания.

Погрешность, возникающая из-за предположительной оценки при считывании, когда показание лежит между двумя делениями шкалы.

Показание термометра — между 36,8°C и 36,9°C. Лучшая оценка следующей цифры — половина деления, что дает 36,85°C.



Значащие цифры

Число **значащих цифр** данного числа — число его цифр без учета начальных нулей (исключения см. ниже) безотносительно к положению десятичной запятой. Это показатель точности измерения.

В показании 3704 мм — четыре значащие цифры. Его можно записать как:

3704 мм

3,04 м

0,003704 км

Первая значащая цифра

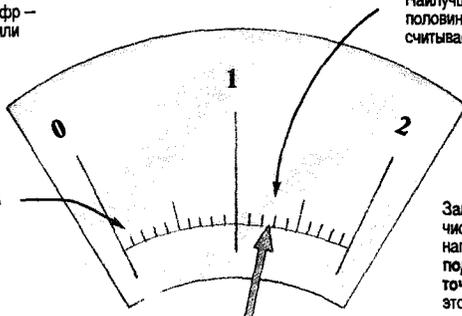
Четвертая значащая цифра

Отметим, что начальные нули здесь не являются значащими цифрами, — они показывают порядок величины.

Число приведенных значащих цифр — показатель точности измерения или результата.

Наилучшее предположение — половина деления; считывается 1,25 А.

Наименьшее деление на шкале амперметра — 0,1 А



Три значащие цифры означают, что показание снято с точностью примерно до 0,05 А.

Запись показаний с большим числом значащих цифр, напр. 1,2518 А, подразумевает большую точность, недостижимую на этой шкале.

• Округление. Процесс уменьшения числа приводимых цифр. Опускается последняя

значащая цифра, а новая последняя цифра изменяется в зависимости от опущенной.

7,3925 (приведено 5 значащих цифр)	Заметьте, что
= 7,393 (округлено до 4 значащих цифр)	
= 7,39 (округлено до 3 значащих цифр)	29,000 (приведено с точностью до 5 значащих цифр)
= 7,4 (округлено до 2 значащих цифр)	= 29,0 (до 3 значащих цифр)
= 7 (округлено до 1 значащей цифры)	= 29 (до 2 значащих цифр)
	= 30 (до 1 значащей цифры)
0,08873 (приведено 4 значащие цифры)	↑
= 0,0887 (округлено до 3 значащих цифр)	В последнем случае 0 — не значащая цифра, но должна быть приведена (см. ниже).
= 0,089 (округлено до 2 значащих цифр)	
= 0,09 (округлено до 1 значащей цифры)	

Для больших чисел, как, например, 283 000, невозможно сказать, сколько цифр является значимыми (ими должны быть первые три), поскольку приходится включать нули, чтобы

указать порядок. Эта неопределенность устраняется при использовании экспоненциального представления (см. с. 109).

Поля и силы

Эта таблица — сравнение трех сил, обыкновенно встречающихся в физике (исключая ядерные силы). На деле большинство сил, с которыми приходится иметь дело в физике, например контактная сила между двумя телами, — это проявление электромагнитной силы, представляющей собой сочетание электрической и магнитной сил. Подробнее о них и о других силах см. с. 6—7.

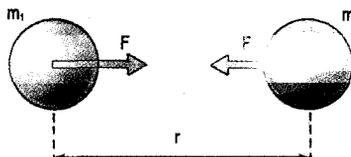
Тип силы. Заметьте, что силы могут существовать только между двумя массами, зарядами или токами и что величина силы, действующей на каждый (каждую) из них, одинакова (см. также Третий закон Ньютона, с. 13). Заметьте также, что силы действуют только между объектами одного рода, например между двумя массами, но не между массой и током.

Описание силы в терминах силового поля. Силовое поле — область вокруг объекта (массы, заряда или тока), в которой может быть выявлено его действие (гравитационное, электрическое или магнитное — см. также с. 6).

Направление поля. Находится наблюдением над действием силового поля на помещенный в него объект (массу, заряд или ток).

Гравитационная сила (см. также с. 6 и 18)

Сила действует между двумя объектами, имеющими массу. Это — всегда сила притяжения.



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

$$G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ Нм}^2 \text{ кг}^{-2}$$

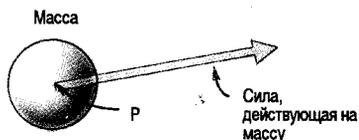
G — гравитационная постоянная*. Ее очень малое значение означает, что гравитационная сила заметна только в случаях, когда хотя бы один из объектов очень велик (напр., планета).



Масса m_1 создает в пространстве вокруг себя гравитационное поле (см. Напряженность поля, с. 106).

Другая масса будет испытывать действие гравитационной силы притяжения, если ее поместить в любую точку (напр., P) гравитационного поля массы m_1 .

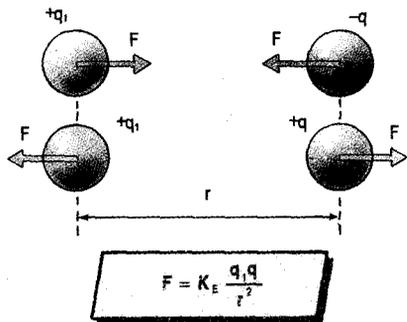
Таким образом, масса создает гравитационное поле и испытывает действие гравитационного поля.



Направление гравитационного поля в точке P есть направление силы, действующей на массу, помещенную в P .

Электрическая сила (см. также с. 6 и 58).

Сила действует между двумя зарядами. Если заряды разноименны, это сила притяжения, если одноименны — сила отталкивания.

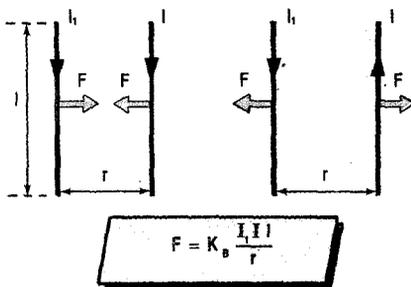


В воздухе $K_\epsilon = 9 \times 10^9 \text{ Нм}^2 \text{ Кл}^{-2}$

Очень большая величина K_ϵ означает, что разделить разноименные заряды трудно.

Магнитная сила (см. также с. 6 и 70)

Сила действует между любыми двумя телами, в которых течет ток. Если токи идут в одинаковом направлении, это сила притяжения. Если токи идут в противоположных направлениях, это сила отталкивания.



В воздухе $K_b = 2,7 \times 10^{-7} \text{ НА}^{-2}$

Малость этой величины означает, что магнитная сила очень слаба по сравнению с электрической.



Точка в поле
P

Заряд q_1 создает в пространстве вокруг себя **электрическое поле*** (см. Напряженность поля, с. 106).

Другой заряд будет испытывать действие электрической силы, если его поместить в любую точку (напр., P) в электрическом поле заряда q_1 .

Таким образом, заряд создает электрическое поле и испытывает действие электрического поля.



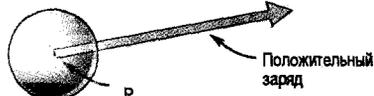
Точка в поле
P

Ток I_1 создает в пространстве вокруг себя **магнитное поле*** (см. Напряженность поля, с. 106).

На другой ток, помещенный в любую точку P магнитного поля тока I_1 , будет действовать магнитная сила.

Таким образом, ток создает магнитное поле и испытывает действие магнитного поля.

Сила, действующая на заряд



Направление напряженности электрического поля в точке P есть направление силы, действующей на положительный заряд, помещенный в P.



Направление магнитного поля в точке P дается **правилом левой руки***.

* Магнитное поле, 72; Правило левой руки, 76; Электрическое поле, 58.

Поля и силы (продолжение)

Напряженность поля. Находится измерением действия силового поля на помещенный в него объект (массу, заряд или ток).

Представление с помощью линий поля.
Линии поля, или силовые линии, или линии потока, используются для наглядного представления силы и направления полей (см. ниже). Линии поля никогда не пересекаются, иначе поле имело бы различные направления в одной точке.

Потенциальная энергия (см. также с. 8). Зависит от напряженности поля и от объекта (его массы для гравитационного поля и его заряда для электрического поля*). Потенциал поля в точке — энергия на единицу массы или заряда и зависит только от поля. Обычно изучают только разность потенциалов* между двумя точками. Потенциал можно определить, выбрав уровень отсчета. Тогда потенциал в точке есть разность потенциалов между данной точкой и началом отсчета.

Гравитационная сила

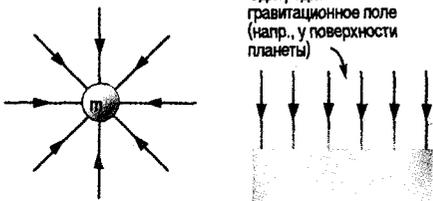
Чтобы измерить в точке Р напряженность g гравитационного поля, созданного массой m_1 , в Р помещают пробную массу m и измеряют действующую на нее гравитационную силу F . Тогда

$$g = \frac{\text{гравитационная сила } (F)}{\text{масса } (m)} \quad \text{или:} \quad F = m g$$

Сопоставляя это с приведенным выше уравнением для гравитационной силы, получаем напряженность поля g на расстоянии r от массы m :

$$g = G \frac{m_1}{r^2}$$

Линии гравитационного поля всегда заканчиваются на массе.

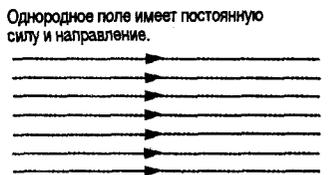
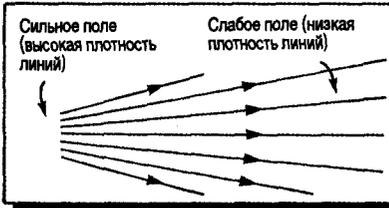
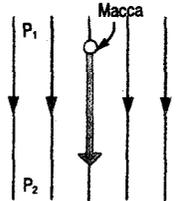


Разность потенциалов между двумя точками в гравитационном поле есть работа, совершаемая против сил поля при перемещении единичной массы между этими точками.

$$\text{Гравитационная разность потенциалов} = \frac{\text{совершенная работа}}{\text{масса}}$$

Гравитационный потенциал уменьшается при движении точки вдоль силовой линии в направлении поля (направление по стрелке).

Гравитационный потенциал в P_1 выше, чем в P_2 .



* Потенциал, Разность потенциалов, Электрическое поле, 58.

Электрическая сила

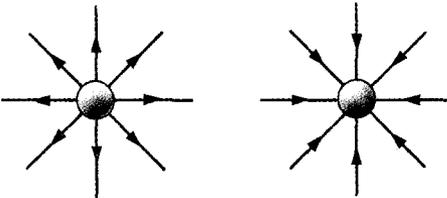
Чтобы измерить в точке Р напряженность E электрического поля, созданного зарядом q_1 , в Р помещают пробный положительный заряд и измеряют действующую на него электрическую силу F . Тогда:

$$E = \frac{\text{электрическая сила (F)}}{\text{заряд (q)}} \quad \text{или} \quad F = qE.$$

Сравнивая с уравнением для электрической силы, приведенным выше, получаем напряженность поля E на расстоянии r от заряда q :

$$E = K_E \frac{q}{r^2}.$$

Линии электрического поля всегда либо начинаются на положительном заряде и заканчиваются на равном отрицательном заряде, либо же они замкнуты.

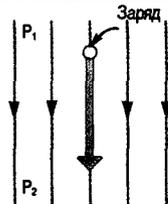


Разность потенциалов между двумя точками в электрическом поле есть работа, совершаемая против сил поля при перемещении между этими точками единичного положительного заряда (если линии поля не замкнуты).

$$\text{Электрическая разность потенциалов} = \frac{\text{совершенная работа}}{\text{заряд}}$$

Электрический потенциал уменьшается при движении точки вдоль силовой линии в направлении поля (по стрелке).

Электрический потенциал в P_1 выше, чем в P_2 .



Магнитная сила

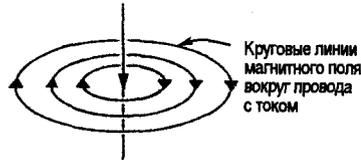
Чтобы измерить в точке Р индукцию B магнитного поля, созданного током I , в Р помещают проводник длины l с током I и измеряют магнитную силу F . Тогда:

$$B = \frac{\text{магнитная сила (F)}}{\text{сила тока (I)} \times \text{длина (l)}} \quad \text{или} \quad F = BIl.$$

Сравнивая с приведенным выше уравнением для магнитной силы, получаем индукцию поля B на расстоянии r от тока I :

$$B = K_B \frac{I}{r}.$$

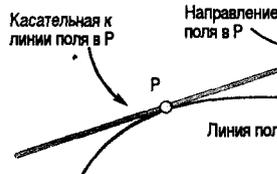
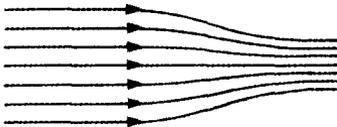
Линии магнитного поля* не имеют ни начала, ни конца, но всегда замкнуты. Это следствие того, что не существует отдельного северного или южного полюса. Это фундаментальное отличие магнитного поля от гравитационного и электрического.



Круговые линии магнитного поля вокруг провода с током

Определить магнитный потенциал намного труднее, чем потенциал гравитационного или электрического поля, поскольку линии поля — круговые. Заметьте, что если на приведенной выше схеме точка движется по круговой линии, она возвращается в ту же точку и поэтому должна иметь тот же потенциал, хотя она уже прошла вдоль линии поля. Это значит, что вычисление магнитного потенциала — сложная задача.

Неоднородное поле

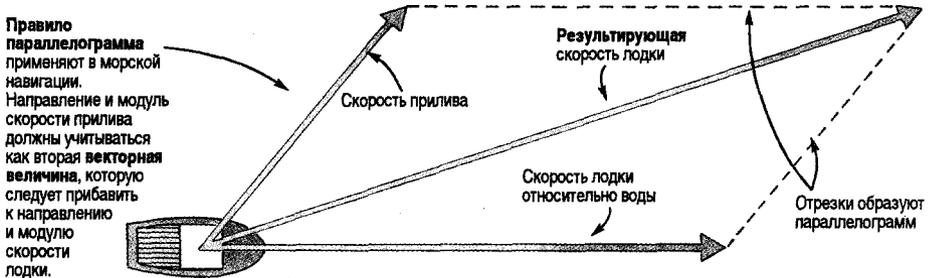
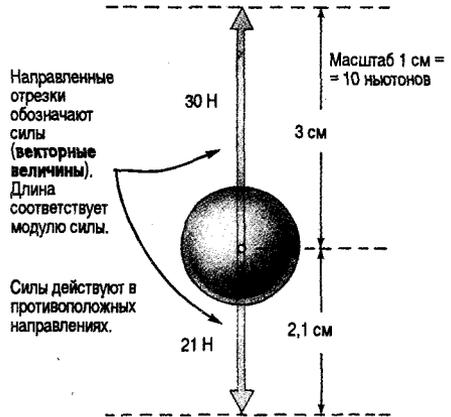


* Линии магнитного поля, 72.

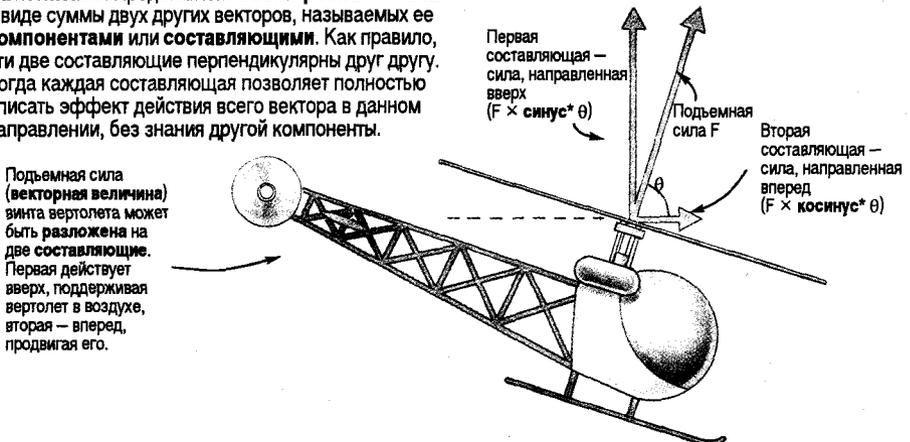
Векторы и скаляры

В физике используются как **векторные**, так и **скалярные величины** — в зависимости от того, имеют ли они, наряду с модулем, также и направление.

- **Скалярная величина** — характеризуется только абсолютной величиной (модулем): например, масса, время, энергия, плотность.
- **Векторная величина** — характеризуется модулем и направлением: например, сила, перемещение, скорость, ускорение. Когда приводится значение векторной величины, должны быть указаны и направление, и модуль. Обычно такие величины графически изображают в виде направленных отрезков. Длина отрезка показывает абсолютную величину вектора (в некотором выбранном масштабе), а направление стрелки — направление вектора.
- **Правило параллелограмма**. Правило, применяемое при сложении двух **векторных величин**. Оба вектора откладываются от одной точки, так что они образуют две стороны параллелограмма, который затем достраивается. Диагональ, проведенная из общей начальной точки, дает сумму двух векторов (**резльтирующий вектор**).



- **Разложение**. Представление **векторной величины** в виде суммы двух других векторов, называемых ее **компонентами** или **составляющими**. Как правило, эти две составляющие перпендикулярны друг другу. Тогда каждая составляющая позволяет полностью описать эффект действия всего вектора в данном направлении, без знания другой компоненты.



Запись чисел

Очень большие и очень малые числа (например, 10 000 000 или 0,000 001) долго записывать и трудно читать; по этой причине применяют **экспоненциальное представление чисел**. В такой записи положение десятичной запятой определяется указанием степени, в которую возводится число 10.

1 000 000	= 10 ⁶	или «десять в шестой степени»
100 000	= 10 ⁵	или «десять в пятой степени»
10 000	= 10 ⁴	или «десять в четвертой степени»
1 000	= 10 ³	или «десять в третьей степени»
100	= 10 ²	или «десять во второй степени»
10	= 10 ¹	или «десять в первой степени»
1	= 10 ⁰	любое число «в степени ноль» равно единице
0,1	= 10 ⁻¹	или «десять в степени минус единица»
0,01	= 10 ⁻²	или «десять в степени минус два»
0,001	= 10 ⁻³	или «десять в степени минус три»
0,0001	= 10 ⁻⁴	или «десять в степени минус четыре»
0,00001	= 10 ⁻⁵	или «десять в степени минус пять»
0,000001	= 10 ⁻⁶	или «десять в степени минус шесть»

Заметьте, что отрицательный показатель означает «единица, деленная на», так что 10⁻³ = 1/10³ = 1/1000. Это применимо и к единицам измерения. Например, кг × м⁻³ означает кг/м³ или кг на м³.

При умножении чисел показатели степени складываются. Например, 10² × 10⁻³ (= 100 000 × 1/1000) = 10²⁻³ = 10⁻¹ = 100.

- **Стандартный вид.** Запись чисел, в которой перед десятичной запятой стоит одна цифра и за самим числом следует указание степени десяти, определяющей порядок величины (см. также **Значение цифры**, с. 103).

Примеры чисел, записанных в стандартном виде.

56342	5,6342 × 10 ⁴
4000	4 × 10 ³ (полагая, что нули — не значащие цифры)
23,3	2,33 × 10 ¹
0,98	9,8 × 10 ⁻¹
0,00211	2,11 × 10 ⁻³

- **Порядок величины.** Значение, приведенное с точностью до множителя, равно десяти или около того. Важно иметь представление о порядке некоторых физических величин, чтобы можно было судить о вычисленном

значении. Например, масса человека примерно равна 60 кг. Следовательно, результат вычислений в 50 кг или 70 кг — вполне разумный, но результат в 6 кг или 600 кг, очевидно, неверен.

Порядки некоторых величин

Название	Масса / кг
Земля	5 × 10 ²⁴
Автомобиль	5 × 10 ³
Человек	5 × 10 ¹
Пакет сахара	1
Апельсин	2 × 10 ⁻¹
Мяч для гольфа	5 × 10 ⁻²
Шарик для настольного тенниса	2 × 10 ⁻³
Протон	2 × 10 ⁻²⁷
Электрон	10 ⁻³⁰

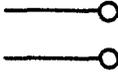
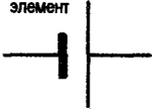
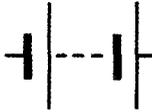
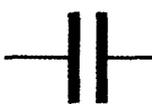
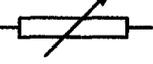
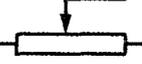
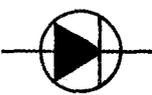
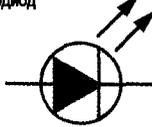
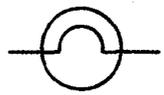
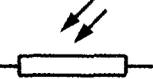
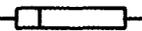
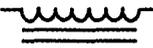
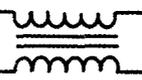
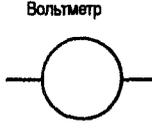
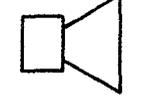
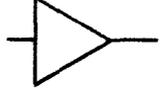
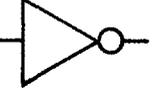
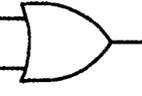
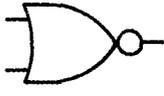
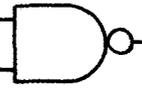
Название	Длина / м
Радиус Галактики	10 ¹⁸
Радиус Солнечной системы	10 ¹¹
Радиус Земли	5 × 10 ⁶
Высота горы Эверест	10 ⁴
Рост человека	2
Толщина бумаги	10 ⁻⁴
Длина световой волны	5 × 10 ⁻⁷
Радиус атома	10 ⁻¹⁰
Радиус ядра	10 ⁻¹⁴

Название	Время/с
Возраст Земли	2 × 10 ¹⁷
Время, прошедшее после появления человека	10 ¹³
Продолжительность человеческой жизни	2 × 10 ⁸
1 год	3 × 10 ⁷
1 час	9 × 10 ⁴
Промежуток между ударами сердца	1
Выдержка в фотоаппарате	10 ⁻²
Период полураспада полония-214	1,5 × 10 ⁻⁴
Время, за которое свет проходит 1 м	3 × 10 ⁻⁹

Название	Энергия/Дж
Энергия, выделяемая Солнцем в секунду	10 ²⁶
Энергия, выделившаяся при землетрясении в Сан-Франциско (1906 г.)	3 × 10 ¹⁷
Энергия, выделяющаяся при делении 1 г урана	10 ¹¹
Энергия грозового разряда	10 ⁹
Энергия конфорки плиты мощностью 1 кВт за час	4 × 10 ⁸
Кинетическая энергия мяча для гольфа	20

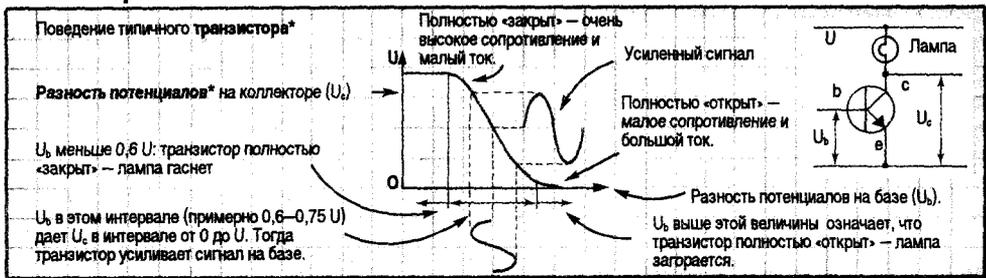
Обозначения на электрических схемах

В таблице показаны основные обозначения, обычно применяемые в схемах электрических цепей (см. также с. 60–65).

<p>Провод</p> 	<p>Пересечение проводов</p> 	<p>Соединение проводов</p> 	<p>Заземление</p> 	<p>Клеммы</p> 	<p>Выключатель</p> 
<p>Гальванический элемент</p> 	<p>Батарея</p> 	<p>Источник переменного тока</p> 	<p>Резистор</p> 	<p>или</p> 	
<p>Конденсатор</p> 	<p>Электролитический конденсатор</p> 	<p>Переменный конденсатор</p> 	<p>Переменный резистор</p> 	<p>Потенциометр</p> 	
<p>Диод</p> 	<p>Светодиод</p> 	<p>Лампа накаливания</p> 	<p>Фотосопротивление</p> 	<p>Главный предохранитель</p> 	
<p>Гальванометр</p> 	<p>Амперметр</p> 	<p>Катушка индуктивности без сердечника</p> 	<p>Катушка индуктивности с сердечником</p> 	<p>Трансформатор</p> 	
<p>Миллиамперметр</p> 	<p>Вольтметр</p> 	<p>Реле</p> 	<p>Громкоговоритель</p> 	<p>Микрофон</p> 	
<p>ppr-транзистор</p> 	<p>Полевой транзистор</p> 	<p>Усилитель</p> 	<p>Инвертор (логическая ячейка «НЕ»)</p> 	<p>Ячейка «ИЛИ»</p> 	
<p>ppp-транзистор</p> 		<p>Ячейка «НЕ-ИЛИ»</p> 	<p>Ячейка «И»</p> 	<p>Ячейка «НЕ-И»</p> 	

Транзисторы и логические ячейки

Транзисторы* могут быть использованы для усиления электрических сигналов (например, в микрофоне), а также в качестве электронных переключателей. Их применяют в сложных системах, таких, как компьютеры, где они заменили громоздкие и медленнее действующие лампы и реле*.



Логические ячейки

Закрытое и открытое состояния транзистора используются для обозначения чисел 0 и 1. Такие схемы называются **цифровыми** (другие —

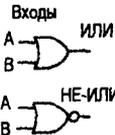
аналоговыми). Комбинации транзисторов с другими компонентами используются для создания схем, выполняющих логические операции.

Таблицы истинности основных логических операций

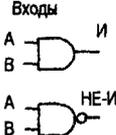
Вход	НЕТ
0	1
1	0



A	B	ИЛИ	НЕ-ИЛИ
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0



A	B	И	НЕ-И
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0



Сочетания этих ячеек с другими транзисторными схемами используются для создания сложных схем, которые могут выполнять математические операции, например

сложение. Они называются **интегральными схемами** и могут содержать многие тысячи таких компонентов, встроенных в одну маленькую кремниевую пластинку.

Компьютеры

Интегральные схемы дают возможность поместить тысячи логических ячеек в один маленький кремниевый компонент, называемый

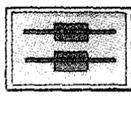
микросхемой или чипом. Процессор компьютера (см. ниже) может быть смонтирован в одном чипе.

Типичная компьютерная система

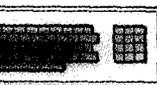
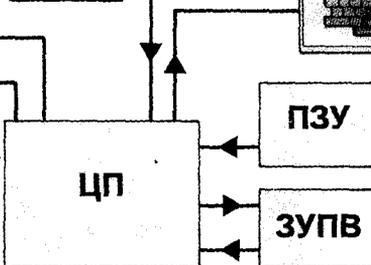
Дисководы — пример устройств ввода — вывода. Они могут хранить во много раз больше данных, чем память самого компьютера, и сохранять их, когда компьютер выключен (информация в ЗУПВ при этом теряется).



Клавиатура и дисплей — также устройства ввода — вывода: с них данные поступают в компьютер, и на них компьютер выдает данные. Это способы связи компьютера с внешним миром.



Центральный процессор (ЦП). Центральная часть компьютера. Получает данные из устройств памяти и ввода, совершает операции над ними (миллионы в секунду) и посылает результаты в устройства памяти и вывода.



Память. Часть компьютера, где содержится предписания (или программа) для центрального процессора и хранятся данные. Есть два типа памяти: **запоминающее устройство с произвольным порядком выборки (ЗУПВ)**, где данные могут храниться (записываться) и откуда они могут извлекаться (считываться), и **постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)**, откуда могут считываться только данные «предварительной записи».

* Разность потенциалов, 56; Реле, 75; Транзистор, 65.

Химические элементы

Элемент	Обозначение	Атомный номер	Примерная масса в а. е. м.*
Кальций	Ca	20	40
Кислород	O	8	16
Кобальт	Co	27	59
Силиций	Si	14	28
Кремний	Kr	36	84
Криптон	Xe	54	131
Ксенон	La	57	139
Лантан	Li	3	7
Литий	Lu	71	175
Лютеций	Mg	12	24
Магний	Mn	25	55
Марганец	Cu	29	64
Медь	Mo	42	96
Молибден	As	33	75
Мышьяк	Na	11	23
Натрий	Nd	60	144
Неодим	Ne	10	20
Неон	Np	93	237
Нептуний	Ni	28	59
Никель	Nb	41	91
Нобий	Sn	50	119
Олово	Os	76	190
Осмий	Pd	46	106
Палладий	Pt	78	195
Платина	Pu	94	242
Плутоний	Po	84	210
Полоний	Pr	59	141
Празеодим	Pm	61	147
Прометий	Pa	91	231
Протактиний	Ra	88	226
Радий	Rn	86	222
Радон	Re	75	186
Рений	Rh	45	103
Родий	Hg	80	201
Ртуть			

* Атомная единица массы (а. е. м.), 83.

Элемент	Обозначение	Атомный номер	Примерная масса в а. е. м.*
Азот	N	7	14
Активный	Ac	89	227
Актиний	Al	13	27
Алюминий	Am	95	243
Америций	Ar	18	40
Аргон	At	85	210
Астат	Ba	56	137
Барий	Be	4	9
Бериллий	B	5	11
Бор	Br	35	80
Бром	V	23	51
Ванадий	Bi	83	209
Висмут	H	1	1
Водород	W	74	184
Вольфрам	Gd	64	157
Гадолиний	Ga	31	70
Галлий	Hf	72	178,5
Гафний	He	2	4
Гелий	Ge	32	73
Германий	Ho	67	165
Гольмий	Dy	66	162
Диспрозий	Eu	63	152
Европий	Fe	26	56
Железо	Au	79	197
Золото	In	49	115
Индий	Ir	77	192
Ирландий	Yb	70	173
Иттербий	Y	39	89
Итрий	I	53	127
Йод	Cd	48	112
Кадмий	K	19	39
Калий			

* Атомная единица массы (а. е. м.), 83.

Элемент	Обозначение	Атомный номер	Примерная масса в а. е. м.*
Рубидий	Rb	37	85
Рутений	Ru	44	101
Самарий	Sm	62	150
Свинец	Pb	82	207
Селен	Se	34	79
Сера	S	16	32
Серебро	Ag	47	108
Скандий	Sc	21	45
Стронций	Sr	38	88
Сурьма	Sb	51	122
Таллий	Tl	81	204
Тантал	Ta	73	181
Теллур	Te	52	128
Тербий	Tb	65	159
Технеций	Tc	43	99
Титан	Ti	22	48
Торий	Th	90	232
Тулий	Tm	69	169
Углерод	C	6	12
Уран	U	92	238
Фосфор	P	15	31
Франций	Fr	87	223
Фтор	F	9	19
Хлор	Cl	17	35,5
Хром	Cr	24	52
Цезий	Cs	55	133
Церий	Ce	58	140
Цинк	Zn	30	65
Цирконий	Zr	40	91
Эрбий	Er	68	167

* Атомная единица массы (а. е. м.), 83.

Полезные константы

Величина	Обозначение	Значение
Скорость света в вакууме	c	$2,998 \times 10^8$ м·с ⁻¹
Заряд электрона	e	$1,602 \times 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	m _e	$9,109 \times 10^{-31}$ кг
Масса протона	m _p	$1,673 \times 10^{-27}$ кг
Масса нейтрона	m _n	$1,675 \times 10^{-27}$ кг
Число Авогадро	N _A	$6,023 \times 10^{23}$ моль ⁻¹
Постоянная Фарадея	F	$9,65 \times 10^4$ Кл·моль ⁻¹
Гравитационная постоянная	G	$6,670 \times 10^{-11}$ Н·м ² ·кг ⁻²
Газовая постоянная	R	$8,314$ Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹

Значения часто встречающихся величин

Величина	Значение
Ускорение силы тяжести g (напряженность гравитационного поля)	9,81 м·с ⁻²
Плотность воды	$1,00 \times 10^3$ кг·м ⁻³
Плотность ртути	$13,6 \times 10^3$ кг·м ⁻³
Точка замерзания воды (стандартная температура)	273 К
Точка кипения воды	373 К
Нормальное атмосферное давление	$1,01 \times 10^5$ Па
Продолжительность земных суток	$8,64 \times 10^4$ с

Физические свойства веществ

(Плотность, удельная теплоемкость и удельное сопротивление зависят от температуры. Значения приведены для комнатной температуры, т. е. 18–22° С).

Вещество	Плотность 10^3 кг·м^{-3}	Модуль Юнга 10^{10} Н·м^{-2}	Удельная теплоемкость $Дж·кг^{-1}·К^{-1}$	Удельная скрытая теплота плавления 10^3 Дж·кг^{-1}	Коэффициент линейного расширения 10^{-6} К^{-1}	Удельная теплопроводность $Вт·м^{-1}·К^{-1}$	Удельное сопротивление 10^{-8} Ом·м
Алюминий	2,70	7,0	908	40,0	25	242	2,67
Висмут	9,78	3,2	112	5,5	14	9	117
Вода	1,00	—	4200	33,4	33,4	0,2	—
Вольфрам	19,3	39,0	142	—	4,3	185	5,5
Галлий	5,93	—	377	—	19	34	17,4
Германий	5,40	—	324	—	5,7	59	$4,6 \times 10^7$
Железо (ковкое)	7,85	21,0	460	21,0	12	71	10,3
Железо (чугун)	7,60	11,0	—	—	—	—	—
Золото	19,3	8,0	128	6,7	14	300	2,20
Иридий	22,4	—	135	—	6,5	59	5,2
Кадмий	8,65	5,0	230	5,5	30	96	—
Кобальт	8,70	—	435	24,0	12	93	6,4
Константан	8,90	—	420	—	16	23	49
Кремний (аморфный)	2,35	11,3	706	—	2,5	175	$\approx 10^{10}$
Латунь	$\approx 8,6$	9,0	389	?	19	109	≈ 8
Марганец	7,4	4,1	1030	30,0	26	154	4,24
Медь	8,93	11,0	385	20,0	16	383	1,72
Молибден	10,1	—	301	—	5,0	142	5,7
Мышьяк	5,73	—	335	—	6,0	—	33,3
Никель	8,80	21,0	456	29,0	13	59	6,94
Олово	7,3	5,3	225	5,8	23	63	11,4
Палладий	12,2	—	247	15,0	12	74	10,7
Платина	21,5	17,0	135	11,5	9,0	71	10,5
Ртуть	13,6	—	139	1,2	12	9	95,9
Свинец	11,3	1,6	127	2,5	29	36	20,6
Селен	4,79	—	324	35,0	26	0,24	10^3
Серебро	10,5	7,7	234	10,5	19	414	1,63
Сталь (малоуглеродистая)	7,80	22,0	450	—	12	46	≈ 15
Сурина	6,82	7,8	210	16,5	11	19	44
Тантал	16,6	19,0	151	—	6,5	56	13,4
Теллур	6,2	—	201	—	17	50	$\approx 1,6 \times 10^6$
Цинк	7,10	8,0	387	10,5	11	111	5,92

Словарь

- **Градуировка.** «Настройка» измерительного прибора, обеспечивающая верные показания. Обычно при изготовлении прибор регулируется так, чтобы он давал верный результат при измерении некоего стандартного значения. Например, весы регулируются так, чтобы они показывали ровно 1 кг при взвешивании эталонной массы в 1 кг.
- **Калориметрия.** Измерение тепловых изменений при химических реакциях или иных процессах, связанных с передачей тепла. Например, измерение повышения температуры известного вещества при электрическом нагревании используется для нахождения **удельной теплоемкости***, а повышение температуры некоторой массы воды может использоваться для подсчета энергии, выделяемой топливом при сгорании.
- **Константа, или постоянная.** Не изменяющееся численное значение. Например, в уравнении $E = mc^2$ (см. также с. 84) значение c (скорость света в вакууме) — константа. E и m — **переменные**, поскольку они могут изменяться.
- **Косинус (угла).** Отношение длины прилежащего к углу катета к длине гипотенузы (самой длинной стороны) в прямоугольном треугольнике. Зависит от угла.
- **Коэффициент.** Константа данного вещества, применяемая для подсчета связанных с веществом величин посредством умножения на другие величины. Например, сила, прижимающая два тела друг к другу, умноженная на **коэффициент трения*** данных поверхностей, дает **силу трения***.
- **Мениск.** Вогнутая или выпуклая поверхность жидкости, например воды или ртути. Вызывается относительным притяжением молекул друг к другу и к молекулам сосуда (см. также **Адгезия и Когезия**, с. 23 и **Ошибка параллакса**, с. 102).
- **Обратная величина.** Величина, полученная делением единицы на данное число, т. е. величина, обратная к x , есть $1/x$. Например, обратная к 10 величина — 0,1.
- **Обратно пропорциональный.** В применении к двум величинам означает, что одна величина прямо пропорциональна величине, обратной к другой.
- **Объем.** Мера пространства, занимаемого телом. См. с. 101 о вычислении объема. **Единица СИ*** объема — кубический метр (m^3).
- **Переменная.** Численная величина, которая может принимать любое значение. Например, в уравнении $E = mc^2$ (см. также с. 84) E и m — переменные, поскольку могут принимать любые значения (хотя значение E зависит от значения m). Значение c (скорость света в вакууме) — **константа**.
- **Пропорциональный, или прямо пропорциональный.** В применении к двум величинам означает, что при изменении одной из них (напр., X) во сколько-то раз вторая (напр., Y) изменится во столько же раз.
- **Синус (угла).** Отношение длины противолежащей углу стороны (катета) к длине гипотенузы (самой длинной стороны) в прямоугольном треугольнике. Зависит от угла.
- **Система.** Совокупность связанных частей, влияющих друг на друга и образующих единое целое.
- **Скорость изменения.** Величина, на которую изменяется одна величина по отношению к другой. Например, **ускорение*** — скорость изменения скорости во времени. Заметьте, что вторая величина — не обязательно время. Если построен график зависимости Y от X , скорость изменения Y относительно X в точке есть производная в этой точке.
- **Спектр.** Определенное распределение длин волн и частот. Например, **спектр видимого света*** — от 4×10^7 до $7,5 \times 10^7$ м.
- **Сплав.** Смесь двух или более металлов или металла и неметалла. Свойства сплава (металлические) могут сильно отличаться от свойств его составляющих. Например, латунь — сплав меди с цинком, сталь — сплав железа с углеродом (ее свойства зависят от их соотношения).
- **Среда.** Любое вещество, через которое передается физическое воздействие. Например, стекло — среда при прохождении через него света.
- **Среднее.** Синоним среднего арифметического, т. е. суммы ряда величин, деленной на их число в ряду.
- **Тангенс (угла).** Отношение длины противолежащей углу стороны (катета) к длине прилежащей к нему стороны (катета) в прямоугольном треугольнике. Зависит от угла.

* Единица СИ, 96; Коэффициент трения, Сила трения, 7; Спектр видимого света, 55; Удельная теплоемкость, 30; Ускорение, 11.

Алфавитный указатель

Номера приведенных в указателе страниц — трех видов. Набранные жирным шрифтом (напр., 79) в каждом случае указывают, где можно найти основное определение. Напечатанные светлым шрифтом (напр., 82) относятся к дополнительным определениям. Номера, набранные курсивом (напр., 34), указывают страницы, где данное слово находится в подписи к рисунку или схеме. Если за номером страницы следует слово в скобках, это означает, что указанное слово можно найти в тексте указанного определения. Если за ним следует (В), слово можно найти во вводном тексте на данной странице. Синонимы указаны пометкой «см.» или наклонной чертой (/), если они следуют друг за другом в алфавитном порядке.

α -распад, см. Альфа-распад
 β -распад, см. Бета-распад
 α -частицы, см. Альфа-частицы
 β -частицы, см. Бета-частицы
 γ -рентгенография, см. Гамма-рентгенография
 α -лучи, см. Альфа-лучи
 β -лучи, см. Бета-лучи
 γ -лучи, см. Гамма-лучи

А

А-бомба, см. Атомная бомба
Аберрация
 Сферическая 49
 Хроматическая 55
Абсолютная шкала температур 27
Абсолютно черное тело 29 (Куб Лесли)
Абсолютный коэффициент объемного расширения, см.
Истинный коэффициент объемного расширения
Абсолютный нуль 27
Абсолютный показатель преломления 37 (Показатель преломления) 50
Авогадро число, 96 (Моль)
Агрегатное состояние 4—5, 30—31
 Газообразное 5
 Энергия 84 (1)
Адгезия 23
Азот (N) 112
Аккумулятор 69
 Никель-кадмиевый 69
 Щелочной 69

Аккумулятор, см. Вторичный элемент
 Кислотный свинцовый 69
Активная зона (ядерного реактора) 94 (Реактор деления)
Активный электрод 68 (Электрод)
Актиний (Ac) 112
Акустика 40 (В)
Акустические волны, см. Звуковые волны
Альфа-лучи (α -лучи) 86 (В)
Альфа-распад (α -распад) 87
Альфа-частицы (α -частицы) 86
Алюминий (Al) 112, 114
Амальгама 68 (Местное действие)
Америций (Am) 112
Аморфный кремний 114
Ампер (A) 60, 96
Ампер-час 69 (Емкость)
Ампера, правило пловца 74
Ампервольтметр 77
Амперметр 77, 110
Амплитуда 16, 34
Аналоговый, 111 (Логические ячейки)
Анионы 66, 88 (Ионизация)
Анод 66 (Электрод)
Аномальное расширение 33
Антинейтрино 87 (Бета-распад)
Апертура
 (зеркала) 48
 (камеры) 54 (Диафрагма)
 (линзы) 52
Аргон (Ar) 112
Ареометр, см. Гидрометр
Архимеда закон, 25
Архимедова колба 24
Астат (At) 112
Атмосферное давление 24, 25 (Барометр)
Атом(ы), 4—5, 82—87
 Резерфорда — Бора 82

Атомная бомба (А-бомба), 93 (Бомба деления)
Атомная масса, см. Относительная атомная масса
Атомная решетка 4
Атомная энергия 84—85
Атомное ядро, см. Ядро
Атомные единицы массы 83 (Относительная атомная масса)
Атомный вес, см. Относительная атомная масса
Атомный номер 82, 112—113
Ахроматическая линза
 54 (Спектрометр)
 55 (Хроматическая аберрация)

Б

База 65 (Транзистор)
Барий (Ba) 112
Барлоу колесо, 76
Барометр 25
 Простой 25
Батарея 68 (В), 69, 110
Бегущие волны 34 (В)
Безразличное равновесие 15
Беккерель (Бк) 87
Береговой бриз 28
Бериллий (Be) 112
Бета-лучи (β -лучи) 86 (В)
Бета-распад (β -распад) 87
Бета-частицы (β -частицы) 86
Биевий частота, 42 (Биения)
Биметаллическая полоска 32
Блоков система 20, 21
Бойля, закон 33
Бомб(ы)
 Атомная/Деления 93
 Деления—синтеза 93 (Бомба синтеза)
 Синтеза (Водородная)
 Термоядерная 93

Бор (B), 112
Бром (Br) 112
Броуновское движение 5
Бумажный конденсатор 59
Буровича правило (Максвелла) 74
Быстрые нейтроны (Реактор на быстрых нейтронах) 95
Бюретка 101

В

В фазе (волны) 38 (Фаза)
Вакуумная колба 29
Ванадий (V) 113
Ватт (Вт) 9 (Мощность) 97
Ввод (компьютеры) 111
Векторная величина 108
Величина
 Порядок 109
Величины 96—97, 113
 Векторные 108
 Оновые 96
 Производные 97
 Скалярные 108
 Физические 96 (B)
Верхняя реперная точка 26
Вершина зеркала 48
(Реперные точки)
Вес 18
 Атомный, см. Относительная атомная масса
 Удельный, см. Относительная плотность
Взаимная индукция 78
Видимого света, спектр 54, 55
Видимый свет 45, 54—55 (Цвет)
Висмут (Bi) 112, 114
Вихревой ток 79
Внешняя оболочка 83 (Электронные оболочки)
Внутреннее отражение 51 (Полное внутреннее отражение)
Внутреннее сопротивление (r) 63
Внутренняя энергия 9
Вогнутая линза 52, 53
Вогнутое зеркало 48
Вогнутый мениск 53 (Вогнутая линза)
Вода 114
Водо-водяной реактор 95
Водород (H) 112
Водородная бомба (H-бомба) 93 (Бомба синтеза)
Возгонка 31
Волн, интерференция 38—39
Волн, энергия 9
Волна(ы) 34—35
 Акустические, см. Звуковые волны

Бегущая 34 (B)
Звуковые 40—43
Инфразвуковые 40
(Инфразвук)
Когерентные 38 (B)
Механические 34 (B)
Отраженная 36 (Отражение)
Падающая 36
 Поперечные 34
 Преломленная 37
 (Преломление)
 Продольные 35
 Радио- 44, 45
 Стоячая 43
 Ударные 40
 Ультразвуковые 40
 (Ультразвук)
 Электромагнитные 34 (B), 44—45
Волновая ванна 36
Волновое движение 34 (B)
Волновой фронт 34
 Круговой 34
 Падающий 36 (Падающая волна)
 Прямолинейный 34
Волны, интенсивность 35
Волны, скорость 35
Вольт (B) 58 (Разность потенциалов) 97
Вольтметр 77, 110
Вольтов столб 68
Вольфрам (W) 113, 114
Владыны (волны) 34
Вращательного движения
 кинетическая энергия
 (Кинетическая энергия)
Вращательное движение 10 (B), 11
Вращательное равновесие 13
Вращающие силы 14—15
Вращающий момент, см. Момент
Вращение, см. Вращательное движение
Временные магниты 70 (Магнитно мягкий)
Время (t) 96
Всемирного тяготения Ньютона, закон 18
Вторая космическая скорость 19
Вторичная обмотка 79
Вторичная цепь 78
Вторичный элемент, см. Аккумулятор
Вывод (компьютеры) 111
Выигрыш в силе (B. C.) 20
Выключатель 64, 110
Вынужденное деление 92
Вынужденные колебания 17
Выпрямление
 Двухполупериодное 65
 Однополупериодное 65

Выпуклая линза 52, 53
Выпуклое зеркало 48
Выпуклый мениск 53 (Выпуклая линза)
Высота тона (звук) 42
Выталкивающая сила 25
Вязкость 23

Г

Гадолиний (Gd) 112
Газ (ы) 5, 33
 Идеальный 33
Газов общее уравнение, см. Уравнение идеального газа
Газовые законы 33
Газообразное состояние 5
Галлий (Ga) 112, 114
Гальванический элемент 68 (B)
Гальванометр 77, 110
 Магнитоэлектрический 77
 (Гальванометр)
 С подавляющей катушкой 77
Гальваностегия 67
Гамма
 Диатоническая 42
 Хроматическая 42
Гамма-лучи (γ -лучи) 44, 85, 86
Гамма-радиография (γ -радиография) 91
Гамматрон 91
Гармоники 43
Гафний (Hf) 112
Гейгера—Мюллера трубка 89
(Гейгера счетчик)
Гейгера счетчик 89
Гелий (He) 112
Генератор 78
 Парогенератор 94, 95
 Ван де Граафа 57
Генератор Ван де Граафа 57
Генератор развертки (управление осциллографом) 81
Геоостационарная орбита 19
Германий (Ge) 112, 114
Герц (Гц) 16 (Частота), 97
Гидравлический пресс 21
Гидрометр 25
 главная ось 48, 52
 главный фокус (F) 48, 52
Гольмий (Ho) 112
Гофмана кулонометр 67
Гравитационная постоянная (G) 18
(Закон всемирного тяготения Ньютона)
Гравитационная потенциальная энергия 8
Гравитационного поля линии 106
Гравитационное поле 104, 106

Гравитация 18—19
Градиент
 Потенциала 58 (Потенциал)
 Температурный 28 (Удельная теплопроводность)
Градуировка 115
Графики 98—99
 (правила построения) 99
Гребни (волн) 34
Громкоговоритель 76, 110
Громкость 42
Грэма закон диффузии 5
Гука закон 22
g-сила 18 (Ускорение силы тяжести)

Д

Давление (P) 24—25, 97
 Атмосферное 24, 25 (Барометр)
Давления закон 33
Дальность
 (действия силы) 6
Датирование
 Радиоуглеродное/Углеродное 91
Двигатель
 Ракетный 13
 Реактивный самолета 13
Двигатель/Мотор (электрический), см. Электромотор
Движение 10—11
 Броуновское 5
 Волновое 34 (В)
 Вращательное 10 (В), 11
 Законы движения Ньютона 12—13
 Периодическое 16—17
 По окружности 17
 Поступательное 10 (В)
 Прямолинейное 10
 Равномерное по окружности 17 (Движение по окружности)
 Уравнения равноускоренного движения 11
Движение по окружности 17
Двокоопутный 53
Двоковыпуклый 53
Двухполупериодное выпрямление 65
Двухполюсный выключатель 64
Действие
 Капиллярное 23
 (сила) 13 (Третий закон Ньютона)
 Местное 68
«Действительное—положительно», правило знаков 49
Действительное изображение 49 (Изображение)

Деление (ядер) 85, 92—93, 94—95
 Бомба деления 93
 Вынужденное 92
 Деления осколки, см. Деления продукты
 Деления—синтеза бомба 93 (Бомба синтеза)
 Деления нейтроны 92 (Деление ядра)
 Деления реактор 94
 Самопроизвольное / Спонтанное 92

Делитель

 Напряжения 63
Делитель напряжения 63
Делящийся (материал, вещество) 92 (Вынужденное деление)
Деполаризатор 68 (Поляризация)
Деструктивная интерференция 99
Дефект массы, 81
Деформация
 Пластическая 23 (Предел пластичности)
 Упругая 23
Деформация 22 (Закон Гука)
 Энергия, см. Упругая потенциальная энергия
Децибелы (дБ) 42 (Громкость)
Джоуль (Дж) 8 (В), 97
Диамagnetизм 72
Диапазон звуковой 40 (В)
Диапазоны волн 44
 (Электромагнитный спектр)
Диатоническая гамма 42
Диафрагма (фото-, кинокамера) 54
Динамика 12—13
Динамическая сила трения 7
Динамическое равновесие 14 (Равновесие)
Динамо, правило, см. Правило правой руки Флеминга
Динамомашинa, см. Генератор
Диод 65, 110
 Светодиод 65, 110
Диоптрий 53 (Оптическая сила)
Диполь 71 (Теория доменов)
Дисперсия 54 (Цвет)
Диспрозий (Dy) 112
Дифракция 36, 37
Диффузионная камера
Вильсона 90
Диффузионно-конденсационная камера, см. Диффузионная камера Вильсона
Диффузия 5
 Закон диффузии Грэма 5
Диффузное отражение 47
Диэлектрик 59 (Конденсатор)
Диэлектрическая проницаемость 59

Длина (l) 96
 (измерение) 100
Длина волны 34
Доза (радиации) 89 (Дозиметр)
Дозвуковая скорость 40
Дозиметр 89
Дольные (единицы) 96
Доменов, теория 71
Домены 71 (Теория доменов)
Доплера, эффект 41
D-T-реакция 93, 94 (Реактор синтеза)

Е

Европий (Eu) 112
Единицы 96—97
 Атомные единицы массы (а.е.м.)
83 (Относительная атомная масса)
Емкость
 Теплоемкость (C) 30
 (потенциал), см. Электроемкость
 Удельная теплоемкость (с), 30 (объем), 101 (элемента), 69

Ж

Железо (Fe) 112, 114
Жидкое состояние 5
Жидкостный термометр 26

З

Зависимая переменная 98
Заземление 61, 110
Закон всемирного тяготения (Ньютона) 18
Закон диффузии (Грэма) 5
Закон сохранения количества движения 13
Закон сохранения энергии 8 (В)
Закон электролиза (Фарадея) 67
Закон электромагнитной индукции (Фарадея) 78
Закон электростатики (первый) 56
Закон(ы)
 Бойля 33
 Газовые 33
 Гука 22
 Давления 33
 Ома 62
 Снелла 50
 Шарля 33
Законы движения (Ньютона) 12—13
Законы отражения света 46
Законы преломления света 50
Замедление 11 (Ускорение)
Замедлитель 95 (Тепловой реактор)

Замерзания воды точка 26
(Реперные точки)
Запись (чисел) 109
 Экспоненциальная 109
Запоминающее устройство с
произвольным порядком выбора
(ЗУПВ) 111 (Память)
Заряд (электрический) 56—59, 97
Затвердевание 30
Затвердевания температура 30
(Затвердевание)
Затвор (фотокамера) 54
Затмение 47
 Кольцевое 47
 Лунное 47
 Полное 47
 Солнечное 47
 Частичное 47
Затухание 16
Защита (магнетизм) 73
Защита (ядерный реактор) 95
Защита, см. Экранирование
Звук(и) 40—43
 (музыкальные) 42—43
 Скорость 42
Звуковой диапазон 40 (В)
Звуковой удар 40
Звуковые волны 40—43
Зеркала, формула 49
Зеркало(а)
 Вогнутое (собирающее) 48
 Выпуклое 48
 Искривленное 48 (В)
 Плоское 47
 Рассеивающее, см. Выпуклое
 зеркало
Зеркальное обращение
(изображения) 47 (Плоское зеркало)
Зеркальное отражение 46
Знаков правило, «Действительное—
положительно» 49
Знаков правило, см. Соглашение о
знаках
Значащие цифры 103
Золото (Au) 112, 114
Зубчатая передача 21

И

«И» (логическая ячейка/операция) 110,
111
Идеального газа уравнение 33
Идеальный газ 33
Идеальный механизм 20
Избирательная разрядка 66 (Ионная
теория электролиза)
Излучение 9, 29
 Космическое 88 (Фоновое
излучение)

Инфракрасное (ИК) 44, 45
Ультрафиолетовое (УФ) 44, 85
Фоновое 88
Изменение агрегатного состояния 30
Измерения 100—101
Измерительные приборы
(электрические) 77
 Электромагнитные 77
Изображение (я) 49
 Действительное 49
 Мнимое 49
 Тепловое 45 (Инфракрасное
излучение)
Изотопы 73
Изоклины 73
Изолятор(ы) (электричество) 56
(теплота) 28
Изотоп (ы) 83
 Радиоактивный, см.
Радиоактивный изотоп
ИК-излучение, см. Инфракрасное
излучение
«ИЛИ» (логическая ячейка/операция)
110, 111
Импеданс 64
Импульс силы 12, 97
Импульс тела, см. Количество
движения
Импульсный (Вульфа) электроскоп
89
Инвертор (обозначение) 110
Индий (In) 112
Индикатор частоты импульсов 89
(Счетчик Гейгера)
Индуктивности катушка 64
(Индуктивность) 110
Индуктивность 64
Индукция
 Взаимная 78
 Магнитная 72
 Закон Фарадея 78
 (магнитная) 71 (Намагничивание)
 Электромагнитная 78, 79
 Электростатическая 57
Индукцированный магнетизм 71
(Намагничивание)
Инертный электрод 66 (Электрод)
Инерция 12
Инclinатор 73 (Наклонение)
Интегральная схема 111 (Логические
ячейки)
Интегральная схема 111 (Логические
ячейки)
Интегрирующий электроскоп 56
(Электроскоп)
Интенсивность волн 35
Интервал(ы)
 Обратно пропорциональный 115

Основной 26 (Реперная точка)
(звуковой) 42 (Музыкальный
интервал)
Интерференционная картина 38 (В),
39
Интерференционные полосы 38
(Щели Юнга)
Интерференция (волн) 38—39
 Деструктивная 39
 Конструктивная 39
Инфразвук 40
Инфразвуковые волны 40
(Инфразвук)
Инфракрасное излучение (ИК-
излучение) 44, 45
Ион(ы) 88 (Ионизация)
Ионизация 88
Ионная теория электролиза 66
Ионное соединение 4
Ионосфера 45
Иридий (Ir) 112, 114
Искривленные зеркала 48 (В)
Испарение 31
Истинная невесомость 19
Истинности, таблицы 111
Истинный коэффициент объемного
расширения 32, 33
Иттербий (Yb) 113
Иттрий (Y) 113
Йод (I) 112

К

К-оболочка 83 (Электронные
оболочки)
К.Э., см. Кинетическая энергия
Кадмий (Cd) 112, 114
Кажущаяся глубина 51
Кажущаяся невесомость 19
Калий (K) 112
Калориметрия 115
Кальций (Ca) 112
Камера Вильсона 90
Капиллярная трубка 23, 24, 26
(Стеклянный жидкостный
термометр)
Капиллярность/Капиллярное
действие 23
Каркас (электромагниты) 74
(Катушка)
Карта распределения 97
Катионы 66, 88 (Ионизация)
Катод 66 (Электрод)
Катушка 74
 Плоская 74
Каустическая кривая 49
(Сферическая абберрация)
Квантовая теория 85
Кванты 85 (Квантовая теория)

Кельвины (К) 27 (Абсолютная шкала температур), 96
Килограмм (кг) 36
Кинематика 10 (В)
Кинетическая теория 5
Кинетическая энергия (К.Э.) 9
Кинокамера 54
Кипение 30 (Парообразование) 31
Кипения (точка) 26 (Реферная точка)
Кирхгофа правила 63
Кислород (О) 112
Кобальт (Со) 112, 114
Ковкое железо 114
Когезия 23
Когерентные волны 38 (В)
Колебаний, кинетическая энергия 9 (Кинетическая энергия)
Колебания 16, 34 (В)
 Вынужденные
 Закон сохранения 13
 Свободные / Собственные 17
Количество движения 12, 97
Коллектор (электродвигатель/ генератор) 76
Коллектор 65 (Транзистор)
Кольцевая магистраль (цепь) 61
Кольцевое затмение 47
Компоненты, см. Составляющие
Компьютеры 111
Конвекционный ток 28 (Конвекция)
Конвекция 28
Конденсатор 59, 110
 Бумажный 59
 Переменный 59, 110
 Полиэфирный 59 (Бумажный конденсатор)
 Электрический 59, 110
Конденсация 30
Константа 113, 115
Константан 114
Конструктивная интерференция 39
Контактная сила 7
 Нормальная 7 (Коэффициент трения)
Косинус 115
Космические лучи 86 (Радиоизотоп)
Космическое излучение 88 (Фоновое излучение)
Коэффициент 115
Коэффициент динамического трения 7 (Коэффициент трения)
Коэффициент объемного расширения (g) 32
Коэффициент полезного действия (КПД) 20
Коэффициент статического (ограничивающего) трения 7 (Коэффициент трения)
Кратность, см. Угловое увеличение

Кратные (единицы) 96
Кремний (Si) 113, 114
Кривая охлаждения 31
Кривизна
 Радиус кривизны (r) 48
 Центр кривизны (С) 48, 52
Криптон (Kr) 112
Критическая масса 93
Критическая температура 5
Круговые волновые фронты 34
Ксенон (Xe) 113
Кулон (Кл) 60, 97
Кулонометр 67
 Гомана 67
 Медный 67
Кюри 87

Л

Лабораторный стакан 101
Лавина (частиц) 89
Лампа накаливания (обозначение) 110
Лампа накаливания 64
Лантан (La) 112
Латунь 114
Левой руки правило 76
Легирование 65
Лейденская банка 59
Лекланше, элемент 69
Ленца, формула 78
Лесли, куб 29
Линейного расширения, коэффициент (a) 32, 114
Линейное равновесие 15
Линейное увеличение 49
Линейное ускорение 14 (В)
Линз, система (Фотоаппарат/
Кинокамера) 54
Линза(ы) 52 (В)
 Ахроматическая 54, 55 (Хроматическая аберрация)
 Вогнутая 52, 53
 Выпуклая 52, 53
 Объектива 54, 55
 Окуляра 54, 55
 Проекционная 54
 Собирающая 52
Линзы, формула, см. Формула зеркала
Линии потока/Силовые линии, см. Линии поля
Литий (Li) 112
Литр (л) 101
Логические ячейки 111
Луное затмение 47 (Затмение)
Лула, см. Простой микроскоп
Луч(и)
 Альфа (α -лучи) 86 (В)
 Бета (β -лучи) 86 (В)

Гамма (γ -лучи) 44, 85, 86
Космические 86 (Радиоизотоп), 88 (Фоновое излучение)
Отраженный 46
Падающий 46, 50
Предельный 51 (Предельный угол)
Преломленный 50
Лучистая тепловая энергия 29 (Излучение)
Люминофор 45 (Фосфоресценция)
Лютеций (Lu) 112
L-оболочка 83 (Электронные оболочки)

М

M-оболочка 83 (Электронные оболочки)
Магнетизм 73
 Индукцированный/Наведенный 71 (Намагничивание)
 Первый закон 70
 Остаточный 70 (Магнитно мягкий)
 Теория доменов 71
Магнетрон 45
Магний (Mg) 112, 114
Магнит(ы) 70—79
 Временный 70 (Магнитно мягкий)
 Молекулярный, см. Диполи
 Постоянный 70 (Магнитно жесткий)
Магнитная восприимчивость 71
Магнитная индукция, 72
Магнитная индукция / Плотность магнитного потока 72
Магнитная ось 70
Магнитная проницаемость 73
Магнитная сила 6, 105, 107
Магнитная энергия 9
Магнитно-жесткий (магниты) 70
Магнитно-мягкий (магниты) 70
Магнитного поля / магнитной индукции, линии 72, 107
Магнитное поле 72—73, 105, 107
Магнитный 70 (В)
Магнитный меридиан 73
Магнитный север 73
Магнитный экватор 73
Магнитный юг 73
Магнитопровод 71 (Саморазмагничивание)
Магнитоэлектрический гальванометр 77 (Гальванометр)
Максвелла, правило буравчика 74
Максимальный термометр 27
Манометр 25
Марганец (Mn) 112

Масса (m) 12, 96
Атомная, см. Относительная атомная масса
Критическая 93
Относительная атомная 83, 112–113
Субкритическая 93 (Критическая масса)
Центр масс 10
Массовое число (A) 82
Массы-энергии формула (Эйнштейна) 84
Массы, дефект 84
Мгновенная скорость 10 (Скорость)
Мгновенной скорости модуль 10 (Модуль скорости)
Мегаэлектронвольт (МэВ) 85
Медицинский термометр 26
Медный вольтметр 67 (Вольтметр)
Медь (Cu) 112, 114
Международная система единиц (Единицы СИ) 96–97
Межмолекулярные силы 7
Менск 115
Вогнутый 53 (Вогнутая линза)
Выпуклый 53 (Выпуклая линза)
Меридиан
Магнитный 73
Мерный цилиндр 101
Металлокерамика 70 (Ферромагнетик)
Метр (м) 96
Ньютонометр (Нм) 14 (Момент)
Механизм(ы) 20–21
Идеальный 20
Механическая энергия 9
Механические волны 34 (В)
Меченое вещество 91 (Радиоактивное слежение)
Микроволновые печи 45 (Микроволны)
Микроволны 44, 45
Микрометр 101
Микроскоп 54
Простой 54
Сложный 54
Микрослайки 7
Микросхема 111 (Компьютеры)
Микрофон (обозначение) 110
Миллиамперметр (обозначение) 110
Минимальный термометр 27
Мнимое изображение 49 (Изображение)
Молекулы 4–5
Молекулярная потенциальная энергия 8
Молекулярные магниты, см. Диполи
Молекулярные свойства 22–23
Молибден (Mo) 112, 114

Молниеотвод 57 (Молния)
Молниеотвод 57 (Молния)
Молния 57
Моль 96
Момент(ы) 14
Принцип моментов 15 (Вращательное равновесие)
Результирующий 15 (Момент)
Монохорд, см. Сонометр
Морской бриз 28
Мост с метровым реохордом 63 (Мостик Уитстона)
Мощность (P) 8, 97
Музыкальные звуки 42–43
Музыкальный строй 42 (Музыкальные звуки)
Музыкальный строй 42 (Музыкальные звуки)
Мышьяк (As) 112, 114
Мю-металл 73

Н

Н-бомба, см. Водородная бомба
Набегаящая волна, см. Падающая волна
Наблюдаемый коэффициент объемного расширения 32, 33
Наведенный магнетизм, см. Индуцированный магнетизм
Нагрузка 20 (В)
Бесполозная 20
Наклонение 73
Наклонная плоскость 21
Намагничивание 70 (В), 71
Напряжение (V) 58 (Разность потенциалов)
Напряжение 22 (Закон Гука)
В точке предела текучести 23
Предельное 22
Разрушающее 23
Напряжение в точке предела текучести, 23 (Предел текучести)
Напряженность поля 106–107
Насыщенный (Магнит) 71
Натрий (Na) 113
Натяжение, поверхностное 23
Наушники 75
Начало координат (график) 98
Не в фазе (волны) 38 (Фаза)
«НЕ-И» (логическая ячейка / операция) 110, 111
«НЕ-ИЛИ» (логическая ячейка / операция) 110, 111
«НЕ» (логическая ячейка / операция) 110, 111
Невесомость 19
Независимая переменная 98
Нейтральная точка 72

Нейтральный (провод) 67
Нейтрино 87 (Бета-распад)
Нейтрон(ы) 82
Деления 92 (Деление ядра)
Нейтронов, число (N) 82
Неодим (Nd) 112
Неон (Ne) 112
Нептуний (Np) 112
Неточность отсчета 103 (Ошибки)
Неустойчивое равновесие 15
Неэлектролит 66
Нижняя реперная точка 26 (Реферная точка)
Никель (Ni) 112, 114
Никель-кадмиевый элемент 69 (Щелочной аккумулятор)
Ниобий (Ni) 112
Нить накала 64 (Лампа накаливания)
Номер

Атомный (Z) 82, 112–113
Нейтронов (N) 82
Нониус 100
Нормаль 46, 50
Нормальный элемент 69
Ноты 42 (Музыкальные звуки)
Нуклон(ы) 82 (Ядро)
Энергия связи на нуклон 84
Ньютонометр (Н) 6, 97
Ньютонометр (Н·м) 14 (Момент)
Ньютона, закон всемирного тяготения 18
Ньютона, законы движения 12–13
N-оболочка 83 (Электронные оболочки)
n-типа (полупроводник) 65 (Легирование)
npn-транзистор 65, 110

О

O-оболочка 83 (Электронные оболочки)
Обертоны 43 (Вид колебаний)
Облака вероятности, см. Орбитали
Обмотка
Вторичная 79
Первичная 79
Обмотки возбуждения (электродвигатель) 76
Обозначения 96–97, 99, 110, 112–113
Оболочка(и)
Внешняя 83 (Электронные оболочки)
Электронные 83
Обратимости света
Принцип 49, 50
Обратная величина 115

Обратное смещение 65 (Диод)
Обследование / Сканирование
(ультразвуковое) 40, 41 (Эхо)
Объектив
 микроскопа 54
 телескопа 55
Объем (V) 97, 101, 115
Одноизотопный 83 (Изотопы)
Однополупериодное выпрямление
65
Округление (значений) 103
Октет 83 (Электронные оболочки)
Окуляр (линза)
 микроскопа 54
 телескопа 55
Олово (Sn) 113, 114
Ом 62 (Сопротивление), 97
Ома закон 62
Оптическая плотность 50 (Закон
Снелла)
Оптическая сила линзы 53
Оптические волокна 51
Оптические приборы 54–55
Оптический центр (O) 52
Орбита
 Геоостационарная 19
Орбитали 83 (Электронные
оболочки)
Ослабление 35
Осмий (Os) 112
Основная частота 43 (Виды
колебаний)
 Жидкое 5
 Изменения 30
 Основное 84 (1)
 Твердое 5
Основное состояние 84 (B)
Основной интервал 26 (Реперная
точка)
Основные величины 96
Основные единицы СИ 96
Основные цвета 55
Остаточный магнетизм 70 (Магнитно
мягкий)
Острий эффект 57
Осциллограф
 Электронно-лучевой (ЭЛО) 73,
 81
Ось
 Главная 48, 52
 Магнитная 70
Отклонение
 Угол отклонения 51
Отклонение на всю шкалу 77
(Амперметр)
Отклоняющая система (осциллограф)
81
Относительная атомная масса 83,
112–113
Относительная плотность 24

Относительная скорость 11
Отражение(я) 36, 46–49
 Внутреннее 51 (Полное
 внутреннее отражение)
 Диффузное 47
 Законы 46
 Зеркальное 46
 Полное внутреннее 51
 Угол (r) 46
Отраженная волна 36 (Отражение)
Отраженный луч 46
Отсчета неточность 103
Ошибка (n) 102–103
 Параллакса 102

П

П.Э., см. Потенциальная энергия
Падающая волна 36
Падающий волновой фронт 36
(Падающая волна)
Падающий луч 46–50
Падения
 Точка 46, 50
 Угол (l) 46, 50
Палладий (Pd) 112, 114
Память (компьютеры) 111
 Запоминающее устройство с
 произвольным порядком
 выборки
 (ЗУПВ) 111 (Память)
 Постоянное запоминающее
 устройство (ПЗУ) 111 (Память)
Пар 5
Пара сила 14
Параллакс 47
Параллакса ошибка 102
Параллелограмма правило 108
Параллельное соединение 64
Парамагнетизм 72
Парниковый эффект 29
Парогенератор 94, 95
Парообразование 30
 Скрытая удельная теплота 31
Паскаль (Па) 24, 97
Первичная обмотка 79
Первичная цепь 78
Первичный элемент 69
Первый закон магнетизма 70
(Полос)
Первый закон электростатики 56
Перегретая жидкость 90
(Пузырьковая камера)
Передаточное число (П.Ч.) 20
Переключатель 64, 110
 На два направления 64
 Поворотный 64
Переключатель на два направления
64

Переменная(ые) 98, 115
Переменное сопротивление 63, 110
Переменный конденсатор 59, 110
Переменный ток (а. с.) 61, 110
Перемещение 10
Пересыщенный пар 90 (Камера
Вильсона)
Переход (атомный/ядерный) 85
Период (T) 16, 34, 97
 Собственный 17 (Собственные
 колебания)
Периодическое движение 16–17
ПЗУ, см. Постоянное запоминающее
устройство
Пики (волн), см. Гребни
Пикнометр 24
Плавление
 Принцип 25
Плавление
 Удельная теплота 31, 114
Плавление 30
Плавления, температура 30
(Плавление), 31
Планка, постоянная 85
Пластическая деформация 23
(Предел пластичности)
Пластичный 22 (Упругость)
Пластичный 23 (Предел
пластичности)
Платина (Pt) 112, 114
Пленка 54
Пловца правило (Ампера) 74
Плоская катушка
Плоская катушка 74
Плоско-вогнутый 53
Плоско-выпуклый 53
Плоское зеркало 47
Плотность (ρ) 24–25, 97, 114
 Магнитного потока, см.
 Магнитная индукция
Площадь (A) 97
 (измерение) 101
Поверхность (измерение) 101
Плутоний (Pu) 112
Поверхности, площадь (измерение)
10
Поверхностная плотность 57
Поверхностного расширения
(коэффициент) (b) 32
Поверхностное натяжение 23
Поворотный переключатель 64
Повышающий трансформатор 79
Погрешность, см. Ошибки
Подъемный винт 21
Позитроны 86 (Бета-распад)
Показатель
 Абсолютный, преломления 37
 (Показатель преломления), 50
 Преломления (h) 37, 50 (Закон
 Снелла), 51

Поле (поля)

- Гравитационное 104, 106
- Линии поля 6, 106—107
 - Гравитационного 106
 - Магнитного 72, 107
 - Электрического 107
- Магнитное 72, 107
- Направление поля 104—105
- Напряженность поля 106—107
- Силовое 6, 104—107
- Электрическое 58 (В), 105, 107

Полное внутреннее отражение 51**Полное затмение 47****Полоний (Po) 112****Полупроводники 65****Полураспада период (Т_{1/2}) 87****Полутья 46 (Тень)****Полус (а)**

- Промежуточные 71
- (магнита) 70
- Северный 70
- Южный 70

Полуса 60 (Электродвижущая сила) 110**Поляризация 68****Понижающий трансформатор 79****Поперечные волны 34****Порядок величины 109****Последовательное соединение (компонентов) 64****Постоянная**

- Гравитационная (G) 16 (Закон всемирного тяготения Ньютона)
- Планка 85

Постоянная скорость 10 (Скорость)**Постоянная, см. Константа****Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 111 (Память)****Постоянное ускорение 11 (Ускорение)****Постоянные магниты 70 (Магнитно жесткий)****Постоянный модуль скорости 10 (Модуль скорости)****Постоянный ток (d. c.) 60****Поступательного движения, кинетическая энергия 9 (Кинетическая энергия)****Поступательное движение 10****Потенциал 58, 106—107****Потенциала градиент 58 (Потенциал)****Потенциальная энергия (П.Э.) 8, 106—107**

- Гравитационная 8
- Молекулярная 8
- Упругая 8
- Электромагнитная 8
- Ядерная 9

Потенциометр (Переменное сопротивление) 110**Потока,**

- линии, см. Линии поля
- Плотность магнитного потока, см. Магнитная индукция

Правило(а)

- Буравчика Максвелла 74
- Динамо, см. Правило правой руки
- Левой руки 76
- Параллелограмма 108
- Плосца Ампера 74
- Правой руки 74

Правило(а)

- Кирхгофа 63
- Ленца 78

Правой руки правило 74, 78**Праземид (Pr) 112****Превращение**

- (атомное/ядерное) 85
- (энергии) 8 (В), 9

Превращение (энергии) 8 (В), 9**Предел**

- Ограничивающая сила трения 7
- Пропорциональности 22 (Закон Гука)
- Упругости 22

Предел текучести 23**Предельное напряжение 23 (Предел упругости)****Предельный луч 51 (Предельный угол)****Предельный угол (с) 51****Предохранитель (главкий) 61, 110****Преломление(я) 37, 50—53****Законы 50****Угол (r) 50****Преломления, показатель (n) 37, 50 (Закон Снелла), 51**

- Абсолютный 37 (Показатель преломления), 50

Преломленная волна 37 (Преломление)**Преломленный луч 50****Призма 51****Прилипание, см. Адгезия****Принцип моментов 15****(Вращательное равновесие)****Принцип обратимости света 49, 50****Принцип главания 25****Принцип суперпозиции 39****Приставки (единицы) 96****Провода (обозначение) 110****Проводимость (электрическая) 62****Проводник(и)**

- (тепла) 28 (Теплопроводность)
- (электричества) 56

Продольные волны 35**Проектор 54****Проекционная линза (проектор) 54****Производная (графики) 98****Производные величины 97****Производные единицы СИ 97****Производные цвета 55****Промежуточные полюса 71****Прометий (Pm) 112****Проницаемость диэлектрическая 59****Пропорциональность**

- Предел пропорциональности 22 (Закон Гука)

Пропорциональный 115**Простое касание 71****Простой барометр 25****Простой микроскоп 54 (Микроскоп)****Простой элемент 68****Простые машины, см. Механизмы****Протактиний (Pa) 112****Противо-ЭДС 60 (Электродвижущая сила)****Противодействие (сила) 13 (Третий закон Ньютона)****Протоны 82****Профили скорости 23****Пружинные весы 22****Прямо пропорциональный, см.****Пропорциональный****Прямое смещение 65 (Диод)****Прямолинейное движение 10****Прямолинейный волновой фронт 34****Пузырьковая камера 90****Пучностей точки, см. Пучности****Пучностей, линии 38, 39 (Пучности)****Пучности 39, 43****r-тип (полупроводник) 65****(Легирование)****rnp-транзистор 65, 110****P****P-оболочка 83 (Электронные оболочки)****Работа 8 (В), 97****Равновесие 14—15****Безразличное 15****Вращательное 15****Динамическое 14****Линейное 15****Неустойчивое 15****Статическое 14****Тепловое 28 (В)****Устойчивое 15****Равномерное движение по окружности 17 (Движение по окружности)****Радиационный фон, 88****Радиация, см. Излучение****Радий (Ra) 113****Радиоактивное слежение 91****Радиоактивность 85, 86—91****Радиоактивный / Изотопный**

- индикатор 91 (Радиоактивное слежение)
- Радиоактивный распад 87
- Радиоактивный ряд 87
- Радиоволны 44, 45
- Радиографический снимок 91 (Гамма-радиография)
- Радиография
Гамма-радиография 91
- Радиоизотоп 86
- Радиология 91
- Радиолокатор (Радар) 45 (Микроволны)
- Радиотерапия 91
- Радиоуглеродное датирование 91
- Радиус кривизны (r) 48
- Радон (Rn) 113
- Раздельное касание 71
- Разложение 108
- Размагничивание 71
- Разметочный компас 72 (Линии магнитного поля)
- Разность потенциалов (V) 58, 97, 106—107
- Разность фаз 38 (Фаза)
- Разрежения области (волны) 35
- Разрушающее напряжение 23
- Разрядка, избирательная 66 (Ионная теория электролиза)
- Разрядная трубка 80
- Ракетный двигатель 13
- Распад (радиоактивный) 87
Альфа (α -распад) 87
Бета (β -распад) 87
- Распад 87 (Радиоактивный распад)
- Рассеивающая линза 53
- Рассеивающее зеркало, см.
- Выпуклое зеркало
- Расширение 32—33
Аномальное 33
- Расширения, коэффициент 32 (В)
Абсолютный (коэффициент)
Истинный (коэффициент)
Истинный объемного 32, 33
Линейного (a) 32, 114
Наблюдаемый коэффициент объемного расширения 32, 33
Объемного (g) 32
Объемного расширения, см.
Поверхностного (b) 32
- Реактивное сопротивление (Реактанс) 64
- Реактивный двигатель самолета 113
- Реактор (ядерный) 94 (В)
Водо-водяной 95
Деления 94
На быстрых нейтронах
(Размножитель на быстрых нейтронах) 95
С газовым охлаждением 95
Синтеза 94
Тепловой 95
- Реактор с газовым охлаждением 95
- Реакция
D-T 93, 94 (Реактор синтеза)
Термоядерная 93 (Ядерный синтез)
Цепная 92 (Вынужденное деление)
Ядерная 92 (В), 94—95
- Реверберация 41
- Регенерация 94
- Резерфорда—Бора атом 82
- Резистор 62, 110
Свето-чувствительный (обозначение) 110
Угольный 62 (Резистор)
- Резонанс 17
- Результирующая (векторная величина) 108 (Правило параллелограмма)
- Результирующая сила 6
- Результирующий момент 14 (Момент)
- Реле 75, 110
- Рений (Re) 113
- Рентгеновская трубка 81
- Рентгеновские лучи 44, 85
- Рентгенограмма 44
- Рентгенография 44
- Реостат 63
- Реперная точка 26
Верхняя 26
Нижняя 26
- Родий (Rh) 113
- Ртуть (Hg) 112, 114
- Рубидий (Rb) 113
- Рутений (Ru) 113
- Рычаг 21
- Ряд
Радиоактивный 87
- С**
- Самарий (Sm) 113
- Самоиנדукция 79
- Саморазмагничивание 71
- Саморазряд 68
- Сверхзвуковая скорость 40
- Свет 46—55
Видимый 45, 54—55 (Свет)
Законы отражения 46
Законы преломления 50
Преломление 50—53
Принцип обратимости 49, 50
Отражение 46—49
- Света, сила 96
- Светодиод 65, 110
- Свинец (Pb) 112, 114
- Свинцовый аккумулятор, кислотный 69
- Свободное падение 19
- Свободные колебания, см.
- Собственные колебания
- Свойства (физические) веществ 114
Молекулярные 22—23
Термометрические 26 (Термометр)
- Связь энергии (Э. С.) 84
На нуклон 84
- Сдвиг нуля 102
- Сдвиг нуля 102 (Ошибки)
- Северный полюс 70 (Полюс)
- Секунда 96
- Селен (Se) 113, 114
- Сера (S) 112
- Сердечник (электромагнита) 74
- Серебро (Ag) 113, 114
- Сжатия, области (волны) 35
- Сжатия, сила 7
- СИ единицы 96—97
Основные 96
Производные 97
- Сила(ы) 6—7, 97, 104—107
Вращающая 14—15
Гравитационная 6, 104, 106
Динамическая, трения 7
Контактная 7
Линии, см. Силовые линии
Магнитная 6, 105, 107
Межмолекулярная 7
Нормальная, контакта 7 (Коэффициент трения)
Ограничивающая, трения 7
Растяжения 7
Результирующая 6
Сжатия 7
Статическая, см.
Ограничивающая сила трения
Трения 7
Трения скольжения, см.
Динамическая сила трения
Центробежная 17
Центростремительная 17
Электрическая 6, 105, 107
Электродвижущая (ЭДС) 60
Электромагнитная 6
Электростатическая 6
Ядерные 7, 84
- Сила растяжения 7
- Сила света 96
- Силовое поле 6, 104—107
- Символы 98
- Символьное уравнение 98

- Синтез
 Ядерный 85
 Синтеза бомба 93
 Синтеза реактор 94
 Синус 115
 Синусоидальный (форма волны) 61
 Система 115
 Блоков 20, 21
 Отклоняющая 81
 Скалярная величина 108
 Скандий (Sc) 113
 Сканер 91
 Склонение (магнитное) 73
 Скорость (V) 10, 97
 Волн 35
 Вторая космическая 19
 Дозвуковая 40
 Мгновенная 10
 Модуль скорости 10
 Относительная 11
 Постоянная 11
 Сверхзвуковая 40
 Средняя 10
 Угловая 17
 Установившаяся 19
 Скорость звука 40
 Скорость изменения 115
 Скрытая теплота (L) 30, 31
 Удельная 30 (B)
 Скрытая теплота парообразования (удельная) 31.
 Скрытая теплота плавления (удельная) 31, 114
 Слежение (радиоактивное) 91
 Словесное уравнение 98
 Сложный микроскоп 54 (Микроскоп)
 Смесь 4 (Соединение)
 Смещение цветов 55 (Фильтрация и смещение цветов)
 Смещение
 Обратное 65 (Диод)
 Прямое 65 (Диод)
 Смещение 34
 Снелла закон 50
 Собирающая линза 52
 Собирающее зеркало, см. Вогнутое зеркало
 Собственная частота 17
 (Собственные колебания)
 Собственный период 17
 (Собственные колебания)
 Соглашение о знаках 11
 Соединение 4
 Ионное 4
 Солениод 74
 Солнечное затмение 47 (Затмение)
 Сонар 41 (Эхо)
 Сонометр 43
 Сопротивление (компонент), см.
- Резистор
 Сопротивление переменное 63, 110
 Сопротивление среды 18
 (Установившаяся скорость)
 Сопротивление удельное (p) 62, 114
 Сопротивление электрическое (R) 62, 97
 Внутреннее (r) 63
 Сопротивления термометр 27
 Составляющие 6, 108 (Разложение)
 Сохранения количества движения, закон 13
 Сохранения энергии закон 8 (B)
 Спектр 115
 Видимого света 54 (Цвет), 55
 Электромагнитный 44
 Спектрометр 54 (Цвет)
 Сплав 115
 Спонтанное деление 92
 Среда 115
 Среднее 115
 Среднее квадратичное (значение) 61
 (Переменный ток)
 Среднее положение 16, 34
 Средний модуль скорости 10
 (Модуль скорости)
 Средний свободный пробег 5
 Средняя скорость 10 (Скорость)
 Сталь 114
 Стандартная волна, см. Стоячая волна
 Стандартные долинные (единицы) 96
 Стандартные кратные (единицы) 96
 Стандартный вид (запись чисел) 109
 Стандартный элемент, см. Нормальный элемент
 Статическая сила трения, см. Ограничивающая сила трения
 Статическое равновесие 14
 (Равновесие)
 Статическое электричество 56—57
 Столкновение 12
 Стоячая волна 43
 Стронций (Sr) 113
 Субатомные частицы 82 (B)
 Субкритическая масса 93
 (Критическая масса)
 Суперпозиция / Наложение 39
 (Принцип суперпозиции)
 Сурьма (Sb) 112, 114
 Сухой элемент 69
 Сферическая aberrация 49
 Щепление, см. Когезия
 Сцинтилляционный кристалл 90
 (Сцинтилляционный счет)
 Сцинтилляционный счетчик 90
 Сцинтилляция
- 90 (Сцинтилляционный счетчик)
 45 (Фосфоресценция)
 Счетчик импульсов 89 (Счетчик Гейгера)
- Т**
- Таллий (Tl) 113
 Тангенс 115
 Тантал (Ta) 113, 114
 Твердое состояние 5
 Твердое тело 10 (B)
 Телевидение 81
 Телескоп 55
 Теллур (Te) 113, 114
 Темир 43 (Типы колебаний)
 Температура 26—27, 96
 Затвердевания 30
 (Затвердевание)
 Кипения 30 (парообразование), 31
 Критическая 5
 Плавления 30 (Плавление), 31
 Температурная шкала, Абсолютная / Термодинамическая 27
 Температурное свечение 45
 (Видимый свет)
 Температурный градиент 28
 (Теплопроводность)
 Тень (полная) 46 (Тень)
 Тень 46
 Теория
 Доменов (магнетизма) 71
 Ионная (электролиза) 66
 Квантовая 85
 Кинетическая 5
 Тепловая энергия 9, 28—33
 Тепловая энергия, см. Внутренняя энергия
 Тепловое изображение 45
 (Инфракрасное излучение)
 Тепловое равновесие 28 (B)
 Тепловой реактор 95
 Теплоемкость (C) 30
 Удельная (c) 30, 114
 Теплоноситель (ядерный реактор) 94, 95
 Теплопередача 28—31
 Теплопроводность 28
 Теплота, см. Тепловая энергия
 Скрытая (L) 30, 31
 Удельная скрытая (l) 30
 Тербий (Tb) 113
 Термистор 27, 65
 Термодинамическая шкала температур, см. Абсолютная шкала температур
 Термометр 26
 Жидкостный 26

Максимальный 27
Медицинский 26
Минимальный 27
Сопротивления 27

Термометрическое свойство 26
(Термометр)
Термопара 27
Термостат 32
Термостолбик 29
Термоэлектронная эмиссия 80
(Электронная пушка)
Термоядерная бомба, см.
Водородная бомба
Термоядерная реакция 93 (Ядерный синтез)
Технеций (Tc) 113
Тип колебаний 43
Титан (Ti) 113

Ток
Вихревой 79
Конвекционный 28 (Конвекция)
Переменный (а. с.) 61, 110
Постоянный (д. с.) 60
Фуко, см. Вихревой
(электрический) 55 (В), 60—64, 96

Токовые весы 60 (Ампер)
Торий (Th) 113
Торможение, см. Замедление
Торричеллиева пустота 25
Точка опоры 14 (В, Момент) 21
(Рычаг)
Точка падения 46, 50
Точка(и)
Верхняя реперная 26 (Реперная точка)
Замерзания воды 26 (Реперные точки)
Кипения воды 26 (Реперные точки)
Нейтральная 72
Пучности, см. Пучности
Реперная 26 (Реперная точка)
Реперные 26
Узловая, см. Узлы
Фокальная, см. Главный фокус

Точность 102—103
Транзистор(ы) 65, 111
полевой (обозначение) 110
ppn 65, 110
rpr 65, 110

Трансформатор(ы) 79, 110
повышающие 79
понижающие 79

Трансформации, коэффициент 79
Трение, см. Силы (трения)
Турли (Tm) 113
Турбина 94
Тяжести сила, см. Гравитационная сила
Ускорение силы тяжести (п) 18

Центр тяжести 10 (Центр масс)

У

Увеличение
Линейное 49
Угловое 55 (Угол зрения)
Увеличительное стекло, см. Простой микроскоп
Углерод (С) 112
Углеродное датирование, см.
Радиоуглеродное датирование
Угловая скорость 17
Угловое увеличение 55 (Угол зрения)
Угловое ускорение 17
Угол (углы)
Зрения 55
Предельный 51
Угол зрения 55
Угол отклонения 51
Угол отражения (r) 46
Угол падения (i) 46, 50
Угол преломления (r) 50
Угольный резистор 62 (Резистор)
Ударная волна 40
Удельная проводимость 62
Удельная скрытая теплота (l) 30
Удельная скрытая теплота парообразования 31
Удельная скрытая теплота плавления 31, 114
Удельная теплоемкость (с) 30, 114
Удельная теплопроводность 28, 114
Удельный вес, см. Относительная плотность
Узлов линии 38, 39 (Узлы)
Узловые точки (Узлы) 39, 43
(Стоячие волны)
Указатель (устройство термометра) 27
(Максимальные и минимальные термометры)
Ультразвук 40
Ультразвуковое сканирование 40, 41
(Эхо)
Ультразвуковые волны 40
(Ультразвук)
Ультрафиолетовое излучение 44, 85
Умножитель 77 (Вольтметр)
Электронный 90

Упорядочение (Ориентация) 71
(Теория доменов)
Управляющая сетка (осциллографа) 81
Управляющие стержни 94 (Реактор деления) 95
Упругая энергия 8
Упругости, предел 22
Упругость 22
Уравнение (я) 98—99

Идеального газа (Общее уравнение газа) Уравнение состояния 33
Символьное 98
Словесное 98
Ядерное 92, 93

Уравнение состояния, см. Уравнение идеального газа
Уравнения равноускоренного движения 11
Уран (U) 113
Усиление (управление осциллографом) 81
Усилие 20 (В)
Усилитель (обозначение) 110
Ускорение 11, 97
Линейное 14 (В)
Постоянное 11 Ускорение силы тяжести (g) 18
Угловое 17
Центростремительное 17
Ускорение свободного падения, см.
Ускорение силы тяжести
Ускорители (частиц) 86
(Радиоизотоп)
Установившаяся скорость 19
Устойчивое равновесие 15
УФ-излучение, см.
Ультрафиолетовое излучение
У, ось (график) 98
У-пересечение (график) 98
У-пластины (осциллограф) 81
(Отклоняющая система)
У-сдвиг (управление осциллографом) 81

Ф

Фаза
(состояние вещества), см.
Агрегатное состояние
(волны) 38
Фарад (Ф) 59, 97
Фарадея железное кольцо 78
(Взаимная индукция)
Фарадея закон индукции 78
Фарадея законы электролиза 67
Фаренгейта шкала 27
Ферромагнитный (материал)
Ферромагнетик 70
Физические величины 96 (В), 98, 99
Фильтрация 55 (Фильтрация и сложение цветов)
Флюоресцентная трубка 80
(Разрядная трубка)
Флюоресценция 45
Фокальная точка, см. Главный фокус
Фокусное расстояние (f) 48, 52

Фоны 42 (Громкость)
Формула
 Линзы (Зеркала) 49
 Энштейна, массы — энергии 84
Фосфор (P) 112
Фосфоресценция 45
Фотоаппарат 54
Фотоны 85 (Квантовая теория)
Фотосопротивление (обозначение)
110
Фотоэлектронный умножитель /
ФЭУ 90 (Сцинтилляционный счетчик)
Франций (Fr) 112
Фтор (F) 112
Фуко тока, см. Вихревой ток

Х

Х, ось (график) 98
Х-пересечение (график) 98
Х-пластины (осциллограф) 81
(Отклоняющая система)
Х-сдвиг (управление осциллографом)
81
Химическая энергия 8, 9
Хлор (Cl) 112
Хром (Cr) 112
Хроматизм, см. Хроматическая
абберация
Хроматическая абберация 55
Хроматическая гамма 42
Хрупкий 23 (Предел текучести)

Ц

Цвет(а) 54—55
 Вторичные 55
 Дополнительные 55
 Производные 55
 Основные 55
Цветов, смешение 55
Цезий (Cs) 112
Цельсия, шкала 27
Центр кривизны (C) 48, 52
Центр масс 10
Центр тяжести 10 (Центр масс)
Центральный процессор 111
Центробежная сила 17
Центростремительная сила 17
Центростремительное ускорение (a)
17
Цепная реакция 92 (Вынужденное
деление)
Цель (Цели) 60 (B)
 Первичная 78
 Вторичная 78
 (схемы) 110
Церий (Ce) 112
Цикл 16

Циклотроны 83 (Радиоизотоп)
Цинк (Zn) 113, 114
Цирконий (Zr) 113
Цифровой 111 (Логические ячейки)

Ч

Частиц ускорители 86 (Радиоизотоп)
Частичное затмение 47
Частота (f) 16, 35, 97
 Биений 12 (Биения)
 Основная 43 (Типы колебаний)
 Собственная 17 (Собственные
колебания)
Число (a)
 Авогадро 96 (Моль)
 Массовое (A) 82
 (запись) 109
Чугун 114

Ш

Шаг резьбы 21 (Подъемный винт)
Шарля, закон 33
Шкала
 Абсолютная, температур 27
 Нониуса 100
 Термодинамическая, см.
 Абсолютная шкала температур
 Фаренгейта 27
 Цельсия 27
Штангенциркуль 100
Шунт 77 (Амперметр)
Шум 42 (B)

Щ

Щетки (электродвигатель) 76

Э

Э.С., см. Энергия связи
ЭДС, см. Электродвижущая сила
 Противо-ЭДС 60
(Электродвижущая сила)
Эlevator (магнитный) 73
Эквивипотенциальный 58
Экспоненциальная запись
(представление) 109
Электрическая сила 6, 105, 107
Электрическая энергия 9
Электрический ветер 57 (Эффект
острия)
Электрический заряд (Q) 56—59, 97
Электрический звонок 75
(Электрический зуммер)
Электрический зуммер 75
Электрический конденсатор 59, 110

Электрический ток (I) 60—61
Электрического поля, линии 107
Электрическое поле 58 (B), 105, 107
Электрическое сопротивление (R)
62, 97
Электричество 56—69, 74—79
Электрод 66
 Активный 66
 Инертный 66
Электродвижущая сила (ЭДС) 60
Электродинамический прибор 77
Емкость (C) 59, 97
Электроизмерительные приборы 77
Электролиз 66—67
 Закон электролиза Фарадея 67
 Ионная теория электролиза 66
Электролит 66
Электролитическая очистка 67
Электролитический элемент 66
Электролитическое осаждение, см.
Гальваностегия
Электромагнетизм 74—76
Электромагнитная индукция 78—79
Электромагнитная потенциальная
энергия 8
Электромагнитная сила 6
Электромагнитная энергия 9
(Электрическая энергия)
Электромагнитные волны 34 (B), 44—
45
Электромагнитный спектр 44
Электромагнитных волн, шкала 44
Электромагниты 75—76
Электромотор (Электродвигатель)
76
Электрон(ы) 80, 83, 86 (Бета-
частицы), 87 (Бета-распад), 88—90
Электронвольт (эВ) 85
Электронная пушка 80
Электронно-лучевая трубка 80 (B)
Электронно-лучевой осциллограф
81
Электронные оболочки 83
Электронные пучки 80—81
Электронный умножитель 90
Электроскоп 56
 Интегрирующий 56
 Импульсный (Вульфа) 89
 С золотым листочком 56
Электроскоп с золотым листочком
56 (Электроскоп)
Электроснабжение 61
Электростанция(и) 61
 Атомная 94 (B)
Электростатика
 Первый закон 56
Электростатическая индукция 57
Электростатическая сила, см.
Электрическая сила

Электрофор 57
 Электрофорный диск 57
 Электрохимический эквивалент 67
 (Закон Фарадея)
 Элемент 66—68, 110
 Вторичный 69
 Гальванический 68 (В)
 Лекланше 69
 Нормальный/стандартный 69
 Первичный 69
 Простой 68
 Сухой 69
 Электролитический 66
 Элемент(ы) (химические) 4, 112, 113
 ЭЛО, см. Электроннолучевой
 осциллограф
 Эмиттер 65 (Транзистор)
 Эндоскоп 51
 Энергетические уровни, см.
 Электронные оболочки
 Энергетическое состояние 84 (В)
 Энергия (Е) 8—9, 97
 Атомная 84—85
 Внутренняя 9
 Волновая 9
 Гравитационная 8
 Деформации, см. Упругая
 потенциальная энергия

Закон сохранения 8 (В)
 Кинетическая (К. Э.) 9
 Кинетическая вращения 9
 (Кинетическая энергия)
 Кинетическая колебательного
 движения (колебаний) 9
 (Кинетическая энергия)
 Кинетическая поступательного
 движения 9 (Кинетическая
 энергии)
 Лучистая тепловая 29
 (Излучение)
 Магнитная 9
 Механическая 9
 Молекулярная 8
 Потенциальная (П. Э.) 106—107
 Связь (Э. С.) 84
 Тепловая 9, 28—33
 Упругая потенциальная 8
 Химическая 8
 Электрическая 9
 Электромагнитная 9
 Эйнштейна, формула массы—
 энергии 84
 Ядерная 84—85
 Ядерная потенциальная 9
 Эрбий (Er) 112
 Эффект острия 57

Эхо 41
 Эхондирование 41 (Эхо)
 Эхолокация 41 (Эхо)

Ю

Южный полюс 70 (Полюс)
 Юнга, модуль 22, 114
 Юнга, щели 38

Я

Ядерная потенциальная энергия
 Ядерная энергия 84—85
 Ядерное деление, см. Деление я
 Ядерное уравнение 92, 93
 Ядерные реакции 85, 92 (В), 94—9
 Ядерные силы 7, 84
 Ядерные электростанции 94 (В)
 Ядерный реактор 94 (В)
 Ядерный синтез, см. Синтез ядер
 Ядро 82
 Якорь (электродвигателя) 76
 Ячейки, см. Логические ячейки
 Я-оболочка 83 (Электронные
 оболочки)

Т
 Т
 Т
 Т
 Т
 (Р
 Т
 Т

The Osborne illustrated dictionary of PHYSICS

Chris Oxlade
 Corinne Stockley
 Jane Wertheim

Справочное издание
 Для среднего и старшего школьного возраста

ФИЗИКА

Школьный иллюстрированный справочник
 Редактор доктор физико-математических
 наук В. А. АЦАРКИН
 Рецензент, кандидат химических наук
 С. В. НОВИКОВ
 Технический редактор Л. П. КОСТИКОВА
 Корректор О. И. ИВАНОВА
 Компьютерная верстка С. Е. ПРУДНИКОВ

ЛР №0634423 от 26.05.94.

Подписано к печати с готовых
 диапозитивов 10.10.95
 Формат 70×90¹/₁₆. Бум. Гознак № 1.
 Гарнитура таймс. Печать офсетная.
 Усл.печ.л. 11,2. Уч.-изд. л. 15,0.
 Усл. кр.-отт. 44,8.

Тираж 26 000 экз. Заказ № 1186. С—165.

Издательство «Росмэн».
 125124, Москва, а/я 62.
 1-я ул. Ямского поля, 28.
 Отдел реализации: (095) 257-46-61.

Отпечатано с готовых диапозитивов
 Тверском ордена Трудового Красно
 Знамени полиграфкомбинате детск
 литературы им. 50-летия СССР
 Комитета Российской Федерации
 печати. 170040, Тверь, проспе
 летия Октября, 46.



ISBN 5—7519—0148—7

III 4802020000—165 Без объявл.
 38Г(03)—95

© Издание на русском языке,
 «Росмэн», 1995

То
 Тр

Тр

Тр
 Тр
 Тул
 Тур
 Так
 сил