

ОБОЗНАЧЕНИЯ

 – формула есть в кодификаторе
 – формулы нет в кодификаторе, ее вывод нужно обязательно показать

 – формулы нет в кодификаторе, но ее можно записать без вывода
 – формула не встречается на ЕГЭ, приведена для расширения кругозора

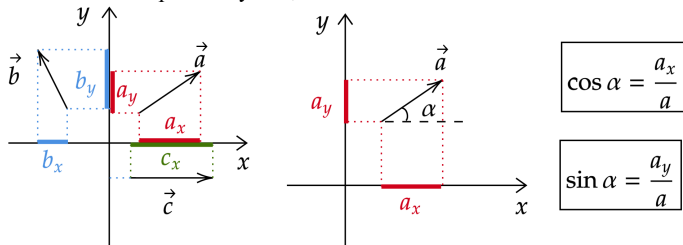
МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА

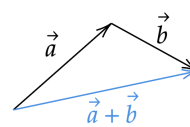
ВЕКТОРЫ В ФИЗИКЕ

Вектор – направленный отрезок, имеющий начало и конец.

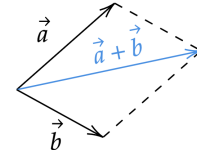
Проекция вектора на ось – длина отрезка между проекциями начала и конца вектора на эту ось, взятая со знаком «+» или «-».



Сложение векторов



Правило треугольника



Правило параллелограмма

Механическое движение – изменение положения тела (или его частей) в пространстве относительно других тел с течением времени, является относительным, т. е. для описания движения необходимо указать относительно какого тела оно рассматривается.

Материальная точка – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

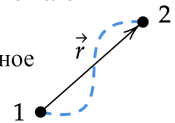
Система отсчета – тело отсчета вместе с жестко связанной с ним системой координат и часами.

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Траектория – линия, вдоль которой движется тело.

Путь – длина участка траектории, пройденного телом за данный промежуток времени.

Перемещение – вектор, соединяющий начальное и конечное положение тела.

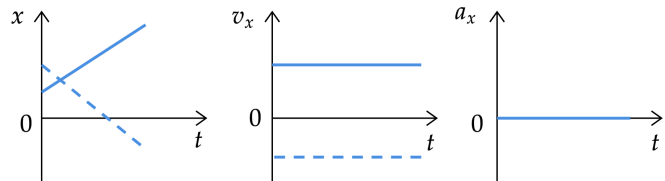


ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ (ПРД)

ПРД материальной точки – движение, при котором тело за равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. Траектория – прямая.

$$\vec{v} = \text{const}$$

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}t \quad \text{– уравнение движения}$$



ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ (ПРУД)

ПРУД материальной точки – движение с постоянным вектором ускорения.

$$\vec{a} = \text{const}$$

уравнение движения :

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

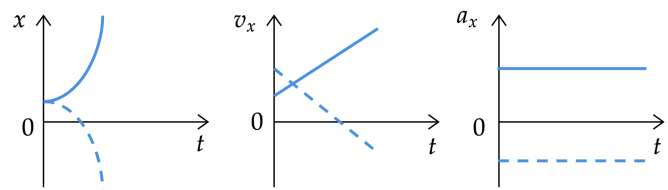
скорость :

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

пройденный путь :

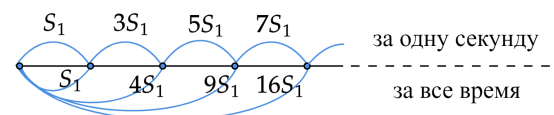
$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

$$S = \frac{(v + v_0)t}{2}$$



ПРУД без начальной скорости

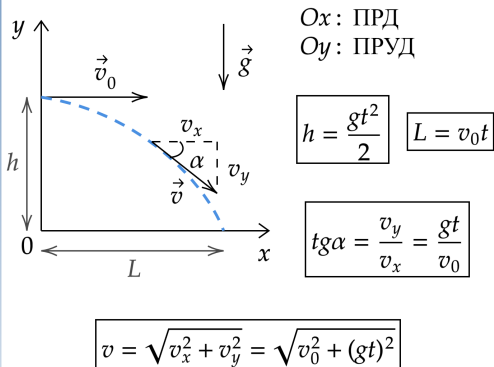
- Модули перемещений за все время возрастают как ряд квадратов чисел.
- Перемещение за определенную секунду возрастает как ряд нечетных чисел.



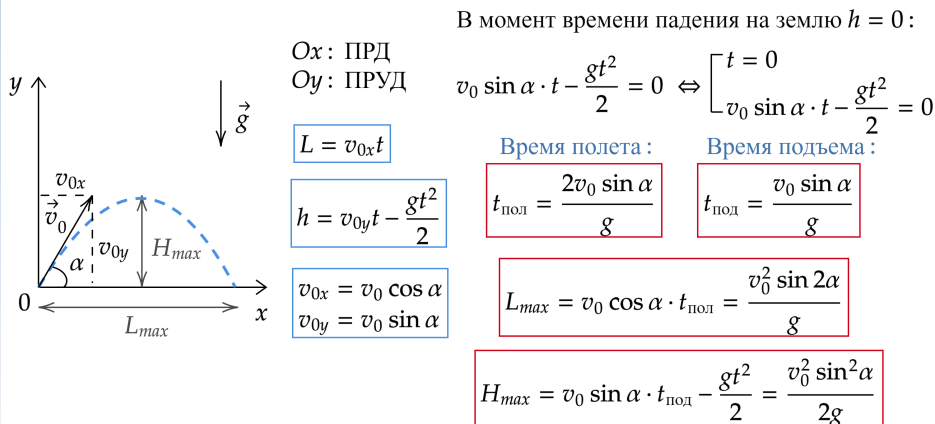
КИНЕМАТИКА

ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ (ПРУД)

Горизонтальное движение



Движение под углом к горизонту



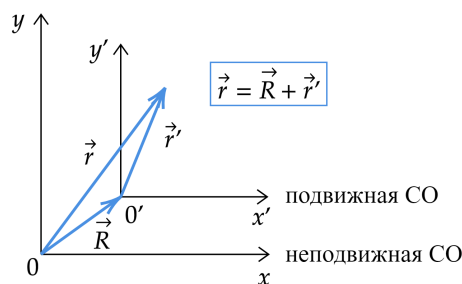
ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Правило (закон) сложения скоростей

Скорость точки относительно неподвижной системы отсчета равна векторной сумме скорости движущейся системы и скорости точки относительно движущейся системы.

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

$\vec{v}$ – абсолютная скорость
 $\vec{u}$ – переносная скорость
 $\vec{v}'$ – относительная скорость



РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

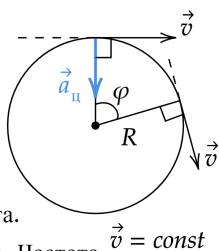
Криволинейное движение – механическое движение, траектория которого – кривые линии с произвольным ускорением и произвольной скоростью.

Движение тела по окружности – частный случай криволинейного движения.

Угловая скорость ω – величина, характеризующая скорость вращения материальной точки вокруг центра вращения.

Период обращения T – время одного полного оборота.

Частота обращения ν – величина, обратная периоду. Частота показывает, сколько полных оборотов совершает материальная точка за секунду.

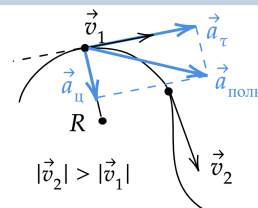


$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad [\text{с}]$$

$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\text{об/с}], \quad [\text{Гц}]$$

Связь линейной и угловой скоростей:

$$v = \omega R$$


Тангенциальное ускорение возникает, если скорость изменяется по величине. **Нормальное (центростремительное) ускорение** возникает, если скорость изменяется по направлению.

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right] \quad \vec{a}_{\text{полн}} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$



КИНЕМАТИКА

ПОЛНОЕ УСКОРЕНИЕ И ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Название	Обознач.	Формула	Направление	Когда появляется
Нормальное	a_n	$a_n = \frac{v^2}{R}$	$a_n \perp \vec{v}$, в центр окружности	меняется направление вектора $\vec{v}$
Тангенциальное	a_τ	$a_\tau = v'(t)$ $a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, если $a_\tau = \text{const}$	$\vec{a}_\tau \parallel \vec{v}$, по касательной к траектории Если $v \uparrow$: $\vec{a}_\tau \uparrow \vec{v}$ Если $v \downarrow$: $\vec{a}_\tau \downarrow \vec{v}$	меняется модуль вектора $\vec{v}$ (меняется значение v)
Полное	$a_{\text{полн}}$	$a_{\text{полн}} = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$	Внутрь траектории	—

ДИНАМИКА

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Первый закон Ньютона

Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

Второй закон Ньютона

В инерциальной системе отсчета ускорение движущегося тела прямо пропорционально сумме приложенных к нему сил и обратно пропорционально его массе.

$$\vec{a} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{m}$$

Третий закон Ньютона

В инерциальной системе отсчета два тела действуют друг на друга с силами равными по модулю и противоположными по направлению. Силы возникают попарно, имеют одну природу, появляются и исчезают одновременно.

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

Сила тяготения:

Закон всемирного тяготения

Две материальные точки массами m и M притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния R между ними.

$$F_{\text{тр}} = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

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

Сила тяжести — сила гравитационного притяжения, действующая на тело со стороны планеты.

Если тело на высоте h над поверхностью планеты, то для силы тяжести:

$$mg(h) = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

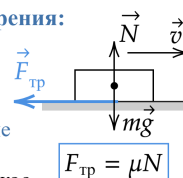
СИЛЫ В ПРИРОДЕ

Сила сухого трения:

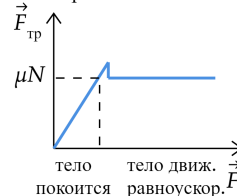
- покоя
- скольжения
- качения

Коэф. трения μ не зависит от:

- площади соприкос. поверхностей;
- скорости движения тел.



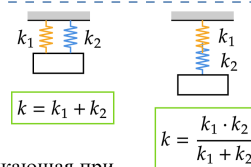
Максимальная величина силы трения покоя равна силе трения скольжения.



Сила упругости:

$$F_{\text{упр}} = kx \text{ — закон Гука}$$

Справедлив лишь при малых деформациях тела.



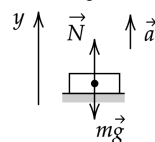
Сила упругости — сила, возникающая при упругой деформации тела и направленная в сторону, противоположную смещению частиц тела в процессе деформации.

Деформация — изменение формы и размеров тела, бывает упругой и пластической.

Упругая деформация полностью исчезает после снятия внешнего воздействия, которое вызвало деформацию.

Вес:

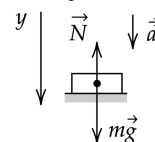
Вес тела — это сила, с которой тело действует на опору или подвес. Вес приложен не к телу, а к опоре или подвесу.



$$\begin{aligned} m\vec{a} &= m\vec{g} + \vec{N} \\ ma &= N - mg \\ N &= mg + ma \end{aligned}$$

$$P = m(g + a)$$

Вес тела больше силы тяжести.



$$\begin{aligned} m\vec{a} &= m\vec{g} + \vec{N} \\ ma &= mg - N \\ N &= mg - ma \end{aligned}$$

$$P = m(g - a)$$

Вес тела меньше силы тяжести.

Если $a = g \Rightarrow P = 0 \Rightarrow$ состояние невесомости.





МЕХАНИКА

Название силы	Действует со стороны	Точка приложения	Направление	Формула	Пример
Гравитационная сила	массивного тела (планета, спутник, звезда)	центр масс данного тела	по прямой, соединяющей тела, в сторону притягивающего тела	$F_{\text{гр}} = G \frac{mM}{R^2}$	
Сила тяжести	планеты Земля	центр масс данного тела	вертикально вниз	$F_{\text{тяж}} = mg$	
Сила упругости	деформированного упругого тела (пружины)	точка соприкосновения пружины и тела	противоположно деформации тела	$F_{\text{упр}} = -kx$	
Сила натяжения	деформированного тела (нити)	точка соприкосновения нити и тела	вдоль подвеса, в сторону уменьшения его деформации	—	
Сила нормальной реакции опоры	деформированного тела (опоры)	точка соприкосновения поверхностей	перпендикулярно поверхности опоры, в сторону уменьшения ее деформации	—	
Сила Архимеда	жидкости, в которую погружено тело	центр масс погруженной части тела	вертикально вверх	$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{п.ч.}}$	
Вес	тела, которое лежит или висит на опоре	к опоре	противоположно силе реакции опоры	$P = N$ или силе натяжения подвеса	
Сила трения покоя	деформированного тела (опоры) при попытке его сдвинуть	к телу, в точках соприкосновения	параллельно поверхности, противоположно действующей силе	равна по величине внешней силе и не превышает $\mu_0 N$	
Сила трения скольжения	деформированного тела (опоры) при движении	к телу, в точках соприкосновения	противоположно скорости движения тела относительно поверхности	$F_{\text{тр.с.}} = \mu N$	

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Название силы	Действует со стороны	Точка приложения	Направление	Формула	Пример
Сила Кулона	заряженного тела	центр масс заряженного тела	вдоль линии, соединяющей заряженные тела	$F_{\text{Кул}} = k \frac{qQ}{r^2}$	
Сила Ампера	магнитного поля	проводник с током	левая рука	$F_A = BIL \sin \alpha$	
Сила Лоренца	магнитного поля	центр масс движущегося заряженного тела	левая рука	$F_L = qvB \sin \alpha$	



ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Импульс – векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость :

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \right]$$

Импульс силы – векторная физическая величина, равная произведению силы на время ее действия, мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени.

Импульс системы материальных точек:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i$$

Второй закон Ньютона в импульсной форме

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

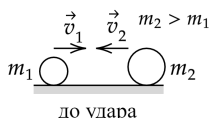
Изменение импульса тела равно импульсу силы.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Закон сохранения импульса

Импульс замкнутой системы тел остается постоянным с течением времени при любых взаимодействиях тел внутри данной системы.

$$\vec{p} = \text{const}$$

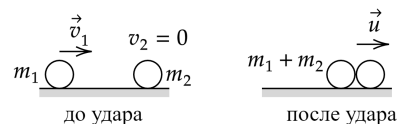


Абсолютно упругий удар

Закон сохранения импульса :
 $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2$

$$\text{Закон сохранения энергии :} \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$$

Абсолютно неупругий удар



Закон сохранения импульса :
 $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$

Закон сохранения энергии **не выполняется**.
 Кинетическая энергия после удара меньше кинетической энергии до удара.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} \quad [\text{Дж}] \quad \text{– кинетическая энергия}$$

Теорема о кинетической энергии:

Изменение кинетической энергии тела равно работе, совершённой приложенными к телу внешними силами за рассматриваемый промежуток времени.

$$\Delta E_k = A_1 + A_2 + \dots$$

Механическая энергия – мера движения и взаимодействия механических объектов (материальных точек, твёрдых тел).

Консервативные силы – силы, сохраняющие механическую энергию замкнутой системы тел. Не зависят от траектории.

Закон сохранения механической энергии:

Если в замкнутой системе действуют только консервативные силы, то механическая энергия системы сохраняется. При этих условиях могут происходить лишь превращения энергии : из кинетической в потенциальную и наоборот.

$$W = \text{const}$$

Потенциальная энергия – физическая величина, представляющая собой часть полной механической энергии системы, находящейся в поле консервативных сил.

$$E_p = mgH \quad [\text{Дж}] \quad \text{– потенциальная энергия тела вблизи поверхности Земли}$$

P. S. высоту не обязательно отсчитывать от поверхности Земли.

$$E_p = \frac{kx^2}{2} \quad [\text{Дж}] \quad \text{– потенциальная энергия упруго деформированного тела}$$

$$E_p = -G \frac{m_1 m_2}{R} \quad [\text{Дж}] \quad \text{– потенциальная энергия гравитационного взаимодействия}$$

Механическая энергия системы тел равна сумме их кинетических энергий и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом :

$$W = E_k + E_p$$

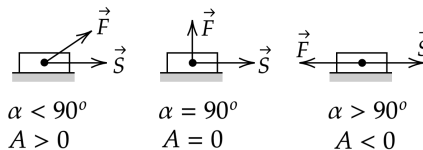
МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. МОЩНОСТЬ

Механическая работа – физическая величина, количественная мера результата действия силы на тело или сил на систему тел.

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} = |\vec{F}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \alpha \quad [\text{Дж}]$$

Мощность – величина, характеризующая скорость совершения работы.

$$N = \frac{A}{t} = Fv \cos \alpha \quad [\text{Вт}]$$



Коэффициент полезного действия :

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затрач}}} = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{затрач}}}$$



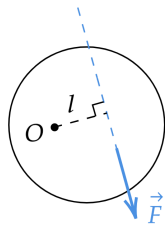
СТАТИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Момент силы относительно оси вращения – произведение силы на плечо. $M = Fl$

Плечо силы – кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Линия действия силы – прямая, проходящая через вектор силы.

Момент силы считается **положительным**, если сила стремится поворачивать тело против часовой стрелки, и **отрицательным**, если по часовой стрелке.



Условия равновесия тела:

- 1) Равна нулю **векторная сумма** всех сил, приложенных к телу.
- 2) Равна нулю **алгебраическая сумма моментов** всех сил, приложенных к телу, относительно данной оси вращения или любой другой оси, параллельной данной.

$$\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0 \\ M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0 \end{cases}$$

МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Сила давления – сила, под действием которой тело деформируется.

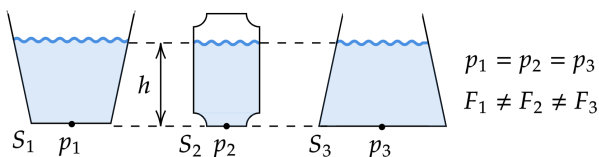
Давление – скалярная физическая величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности.

$$p = \frac{F}{S} \quad [\text{Па, мм. рт. ст.}]$$

1 мм. рт. ст. $\approx 133,3 \text{ Па}$

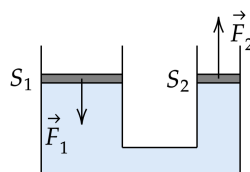
$$p = \rho_{\text{ж}} g h \quad \text{— на дно сосуда}$$

$$p = \frac{\rho_{\text{ж}} g h}{2} \quad \text{— на стенки сосуда}$$



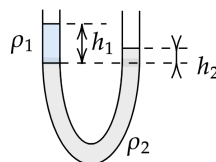
Закон Паскаля

Давление, оказываемое на жидкость или газ, передаётся в любую точку этой среды без изменения по всем направлениям.



Гидравлический пресс – устройство, дающее выигрыш в силе.

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



Сообщающиеся сосуды – сосуды, которые имеют общий канал внизу.

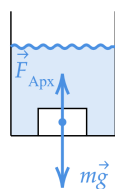
$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Закон Архимеда

На погружённое в жидкость или газ тело действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу среды, объём которой равен объёму тела.

$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{п.ч.}}$$

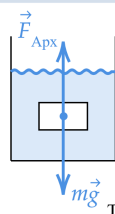
Условия плавания тел



$$mg > F_{\text{Арх}}$$

$$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$$

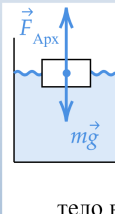
тело тонет



$$mg = F_{\text{Арх}}$$

$$\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$$

тело плавает



$$mg = F_{\text{Арх}}$$

$$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$$

тело всплывает





МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Колебания — это повторяющиеся во времени изменения состояния системы.

Положение равновесия — такое положение системы, в котором она может оставаться сколь угодно долго (будучи помещенной в это положение в состоянии покоя).

Период колебаний T — время одного полного колебания.

Частота ν — величина обратная периоду. Показывает, сколько полных колебаний совершается за одну секунду.

$$T = \frac{t}{N} \quad [\text{с}] \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t} \quad [\text{Гц}]$$

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Гармонические колебания — колебания, при которых координата зависит от времени по гармоническому закону:

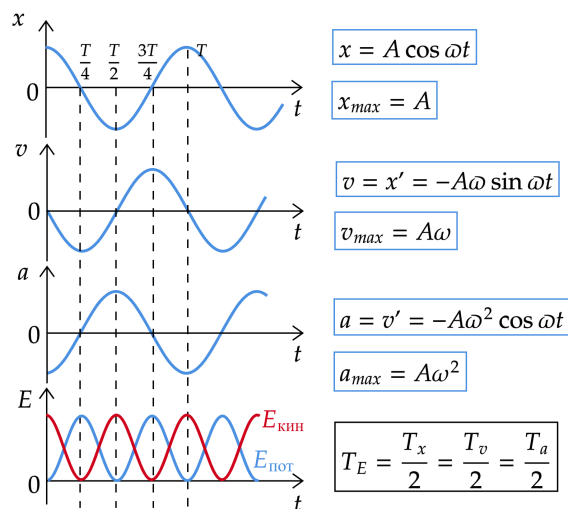
$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad [\text{м}]$$

A — **амплитуда** колебаний тела — величина его наибольшего отклонения от положения равновесия; $(\omega t + \varphi_0)$ — **фаза** колебаний; φ_0 — **начальная фаза**.

циклическая частота: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$

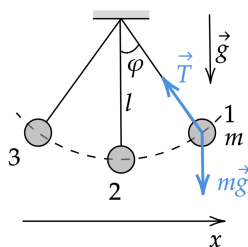
Свободные колебания — колебания системы, предоставленной самой себе (при постоянных внешних условиях).

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ



► Период колебаний энергии в **2 раза** меньше периода колебаний x , v и a .

► Колебания $E_{\text{пот}}$ и $E_{\text{кин}}$ меняются в **противофазе**, а $E_{\text{полн}}$ — **постоянна**.



Математический маятник — небольшое тело, подвешенное на невесомой нерастяжимой нити.

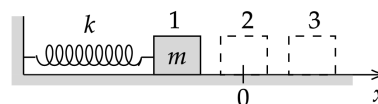
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Запомни: **ЛЫЖИ**

Пол.	v	a	$E_{\text{кин}}$	$E_{\text{пот}}$
1	0	max	0	max
2	max	0	max	min
3	0	max	0	max

Пружинный маятник —

закрепленный на пружине груз, способный совершать колебания в горизонтальном или вертикальном направлении.



Пол.	v	a	$E_{\text{кин}}$	$E_{\text{пот}}$
1	0	max	0	max
2	max	0	max	min
3	0	max	0	max

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

Запомни: **макароны**

Превращение энергии при гармонических колебаниях

При гармонических колебаниях происходит периодическое превращение кинетической энергии в потенциальную и наоборот.

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2} = \text{const}$$

Т. е. выполняется закон сохранения механической энергии.

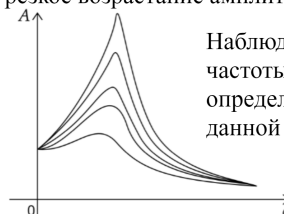
Динамика гармонических колебаний

$$ma_x = -kx, \quad \text{где } k = m\omega^2$$

Вынужденные колебания. Резонанс

Вынужденные колебания — колебания, совершающиеся под воздействием внешней периодической силы.

Резонанс — частотно — избирательный отклик колебательной системы на периодическое внешнее воздействие, при котором происходит резкое возрастание амплитуды стационарных колебаний.



Наблюдается при приближении частоты внешнего воздействия к определенным, характерным для данной системы значениям.



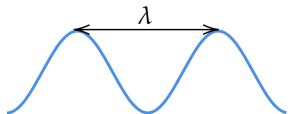


ВОЛНЫ

Волновой процесс – любое изменение состояния сплошной среды, распространяющееся со скоростью и несущее энергию.

Длина волны λ – расстояние между двумя ближайшими друг другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе.

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

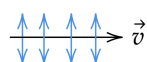


Фронт волны – это совокупность точек, колеблющихся в одной фазе, до которых в данный момент времени дошел волновой процесс.

Продольная волна – волна, при распространении которой смещение частиц среды происходит в направлении распространения волны. Распространяются во всех средах

 $\vec{v}$ Пример: звуковая волна

Поперечные волны – волны, при распространении которых смещение частиц среды происходит в направлении, перпендикулярном распространению волны.

 $\vec{v}$ Распространяются только в твердых средах
Пример: электромагнитная волна, волны на шнуре

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН

Интерференция – такое наложение волн, при котором происходит устойчивое во времени их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других, в зависимости от соотношения между фазами этих волн.

Необходимые условия для наблюдения интерференции:

- 1) Волны должны иметь одинаковые (или близкие) частоты, чтобы картина, получающаяся в результате наложения волн, не менялась во времени (или менялась не очень быстро).
- 2) Волны должны быть однонаправленными (или иметь близкое направление) две перпендикулярные волны никогда не дадут интерференции.

Волны, для которых выполняются эти два условия – **когерентные**.

При наложении когерентных волн возможны два предельных случая.

Условие максимума: разность хода волн равна целому числу длин волн (или четному числу длин полуволен).

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

В рассматриваемую точку волны приходят с одинаковыми фазами и усиливают друг друга. Амплитуда колебаний этой точки равна удвоенной амплитуде.

Условие минимума: разность хода волн равна нечетному числу длин полуволен.

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Волны приходят в рассматриваемую точку в противофазе и гасят друг друга. Амплитуда колебаний данной точки равна нулю.

ДИФРАКЦИЯ ВОЛН

Дифракция волн – явление отклонения волны от прямолинейного распространения и огибания волной препятствия.

При дифракции происходит искривление поверхности волны у краев препятствия. Особенно явно дифракция проявляется в том случае, если размеры препятствия сравнимы с длинами волн.

Принцип Гюйгенса:

Каждая точка среды, до которой дошло возмущение, сама становится источником вторичных волн.

Явление дифракции можно объяснить при помощи принципа Гюйгенса, так как любую точку поля волны следует рассматривать как источник вторичных волн, которые распространяются по всем направлениям, в том числе и в область геометрической тени препятствия.

ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ

Звуковые волны в **широком смысле** – всякие волны, распространяющиеся в упругой среде.

Звуковые волны в **узком смысле** – волны в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц, воспринимаемые человеческим ухом.

Ниже этого диапазона лежит область **инфразвука**, выше – область **ультразвука**.

Основные характеристики звука:

Громкость – определяется амплитудой колебаний давления в звуковой волне. Ед. изм. : дБ (децибелы).

Высота – определяется частотой колебаний: чем выше частота, тем выше кажется звук.

Скорость звука:

Скорость звука в разных средах различна: чем более упругой является среда, тем быстрее в ней распространяется звук.

В жидкостях скорость звука больше, чем в газах, а в твердых телах – больше, чем в жидкостях.



МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Идеальный газ – газ, частицы которого являются не взаимодействующими на расстоянии материальными точками и испытывают абсолютно упругие соударения друг с другом и со стенками сосуда.

Основное уравнение МКТ идеального газа:

$p = \frac{1}{3}m_0n\bar{v}^2$

$p = \frac{2}{3}nE_k$

$p = \frac{1}{3}\rho\bar{v}^2$

$p = nkT$

Единицы измерения : $[p] = \text{Па}$ – паскаль

Средняя скорость теплового движения молекул:

$$\bar{v}_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул:

$$E_k = \frac{m_0\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

Закон Дальтона:

$$p_{\text{смеси}} = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

Уравнение состояния идеального газа:

$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$

$p = \frac{\rho}{M}RT$

Количество вещества:

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

Концентрация:

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

Единицы измерения :
 $[\nu] = \text{моль}$

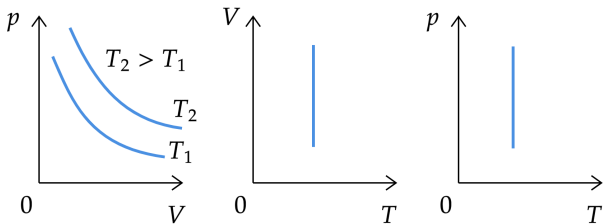
Единицы измерения :
 $[n] = 1/\text{м}^3$

Изопроцессы

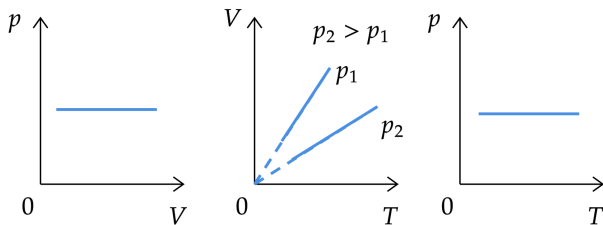
- 1) Изотермический ($T = \text{const}$) : $pV = \text{const}$ –закон Бойля – Мариотта
- 2) Изобарный ($p = \text{const}$) : $\frac{V}{T} = \text{const}$ –закон Гей – Люссака
- 3) Изохорный ($V = \text{const}$) : $\frac{p}{T} = \text{const}$ –закон Шарля

Во всех газовых законах $\nu = \text{const}$

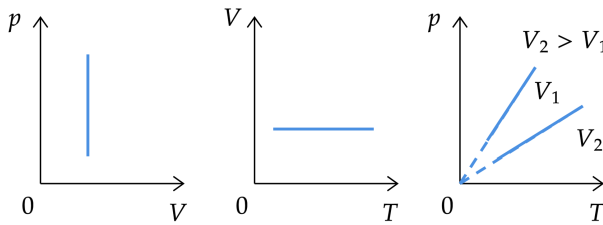
$T = \text{const}$



$p = \text{const}$



$V = \text{const}$



ТЕРМОДИНАМИКА

Внутренняя энергия одноатомного газа:

$$U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}\frac{N}{N_A}kT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}pV$$

Изменение внутренней энергии одноатомного газа:

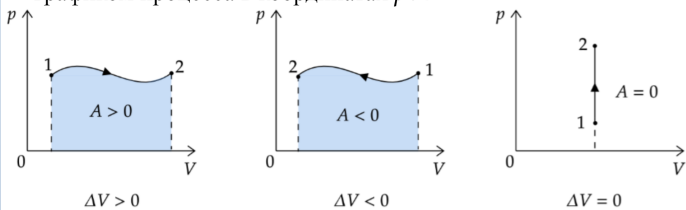
$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$

$\Delta U = \frac{3}{2}\Delta(pV)$

Работа газа при изобарном процессе:

$$A = p\Delta V$$

Работа A численно равна площади под графиком процесса в координатах pV .



Работа газа при изобарном процессе:

$$A_{\text{газа}} = -A_{\text{внеш.сил}}$$

Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A, \quad A - \text{работа газа.}$$

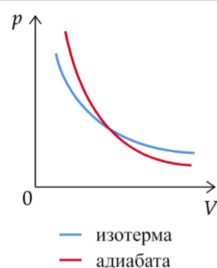
Знак величины	Количество теплоты Q	Изменение внутр. энергии ΔU	Работа газа A
+	газ получает количество теплоты	$T \uparrow \Rightarrow \Delta T > 0$ $\Delta U > 0$	$V \uparrow \Rightarrow \Delta V > 0$ $A > 0$
–	газ отдает количество теплоты	$T \downarrow \Rightarrow \Delta T < 0$ $\Delta U < 0$	$V \downarrow \Rightarrow \Delta V < 0$ $A < 0$
0	теплообмена нет $Q = 0$ адиабатный процесс	$T - \text{const} \Rightarrow$ $\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$ изотермич. процесс	$V - \text{const} \Rightarrow$ $\Delta V = 0 \Rightarrow A = 0$ изохорный процесс



ТЕРМОДИНАМИКА

Применение первого закона термодинамики к изопроцессам:

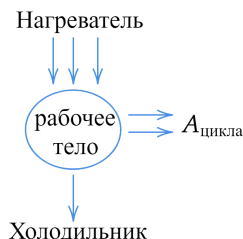
- ▷ Изотермический процесс, $T = \text{const}$
 $\Delta U = 0$, $Q = A$
 Все подведенное к газу тепло идет на совершение газом работы.
- ▷ Изохорный процесс, $V = \text{const}$
 $A = 0$, $Q = \Delta U$
 Все тепло, переданное газу, идет на изменение его внутренней энергии.
- ▷ Изобарный процесс, $p = \text{const}$
 $Q = \Delta U + p\Delta V$



Адиабатный процесс

Адиабатный процесс идет без теплообмена с окружающими телами.
 При адиабатическом процессе $Q = 0$.
 Адиабата – кривая, изображающая ход адиаб. процесса.

Тепловая машина:



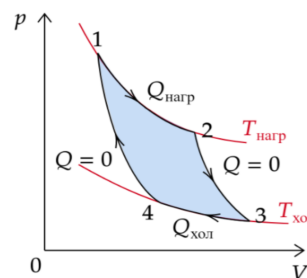
Работа цикла:

$$A_{\text{цикла}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}$$

Коэффициент полезного действия (КПД):

$$\eta = \frac{A_{\text{цикла}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}}$$

Цикл Карно:



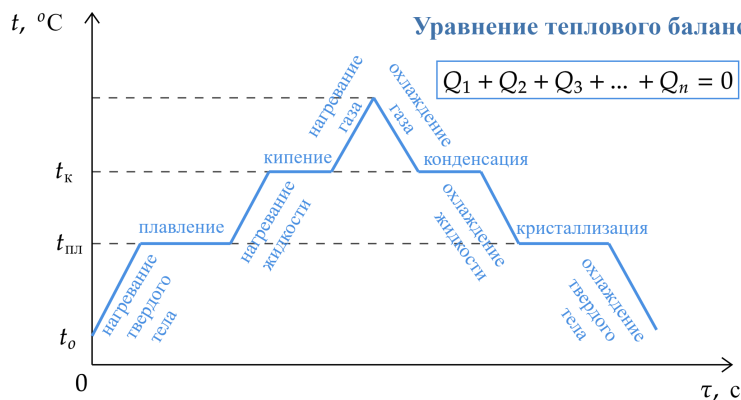
КПД цикла Карно:

$$\eta = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}}$$

- 1 – 2 изотермическое расширение ($T = \text{const}$)
- 2 – 3 адиабатическое расширение ($Q = 0$)
- 3 – 4 изотермическое сжатие ($T = \text{const}$)
- 4 – 1 адиабатическое сжатие ($Q = 0$)

Идеальная тепловая машина – тепловая машина, работающая по циклу Карно.

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ



Уравнение теплового баланса:

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

Процессы плавления, кипения, конденсации, кристаллизации происходят при **постоянной** температуре.

Количество теплоты, необходимое для нагрева / охлаждения:

$$Q = cm\Delta t$$

Количество теплоты, необходимое для парообразования / конденсации:

$$Q = Lm$$

Количество теплоты, необходимое для плавления / кристаллизации:

$$Q = \lambda m$$

Количество теплоты, необходимое для горения:

$$Q = qm$$

ВОДЯНОЙ ПАР

Относительная влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{p_{\text{вод.пара}}}{p_{\text{нас.пара}}} = \frac{\rho_{\text{вод.пара}}}{\rho_{\text{нас.пара}}}$$

При температуре 100° С давление насыщенного пара равно 100 кПа.

Давление насыщенного пара зависит только от температуры.





ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Элементарный электрический заряд – заряд электрона. $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Закон сохранения электрического заряда

В замкнутой системе тел алгебраическая сумма зарядов остается неизменной при любых процессах, происходящих с этими телами:

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

Точечный заряд – это заряженное тело, размеры которого много меньше других размеров, характерных для данной задачи.

Закон Кулона

Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению абсолютных величин зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними.

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

Работа сил электростатического поля

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую **не зависит** от формы траектории, а определяется только положением начальной и конечной точек и величиной заряда.

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

Работа поля по перемещению

электр. заряда:

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

Потенциал поля точечного заряда:

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

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Электрический ток – это направленное движение заряженных частиц, при котором происходит перенос заряда из одних областей пространства в другие.

Сила тока:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Сопротивление:

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

Напряжение:

$$U = \frac{A_{\text{эл}}}{q}$$

ЭДС:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

Мощность тока:

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 R = UI$$

Работа тока (кол-во теплоты на резисторе):

$$A = Q = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t = UI t \quad \text{закон Джоуля – Ленца}$$

Электрическое поле представляет собой векторное поле, существующее вокруг тел или частиц, обладающее электрическим зарядом, а также возникающее при изменении магнитного поля.

Напряженность электрического поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \left[\frac{\text{В}}{\text{м}} \right] - \text{вольт на метр}$$

Линии напряженности всегда начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.

Однородное электрическое поле – такое поле в данной области пространства, для которого вектор напряженности поля одинаков в каждой точке области.

Принцип суперпозиций полей:

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

Напряженность точечного электр. заряда:

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

Напряженность бесконечной заряженной пластины:

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

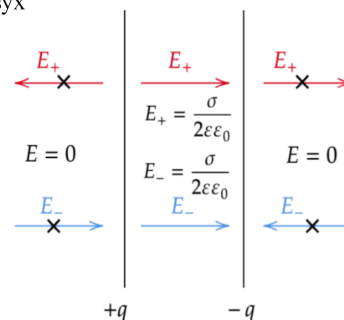
Связь напряженности и напряжения для однородного постоянного поля:

$$U = Ed$$

Связь емкости, заряда и напряженности:

$$C = \frac{q}{U} \quad [\Phi] - \text{фарад}$$

Плоский конденсатор – система из двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика.



Емкость конденсатора:

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

Параллельное соединение

конденсаторов:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Последовательное соединение

конденсаторов:

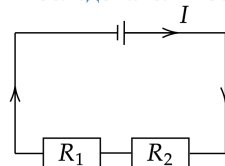
$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Энергия конденсатора:

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

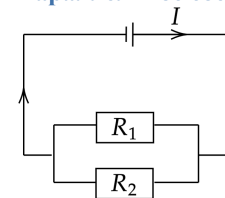
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Последовательное соединение:



- $I_0 = I_1 = I_2$
- $U_0 = U_1 + U_2$
- $R_0 = R_1 + R_2$

Параллельное соединение:



- $I_0 = I_1 + I_2$
- $U_0 = U_1 = U_2$
- $\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

З-н Ома для однородного участка цепи:

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

З-н Ома для полной цепи:

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





МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Для магнитного поля определения как такового не существует.

Но у магнитного поля есть **свойства** :

- ▷ магнитное поле материально и существует независимо от нас и наших знаний о нем;
- ▷ существует два типа магнитных полюсов – северный и южный (принято условно);
- ▷ полюса всегда два (невозможно создать магнит, у которого был бы только один полюс);
- ▷ магнитное поле взаимодействует с движущимися зарядами : если заряд один – силой Лоренца, если проводник с током – силой Ампера;
- ▷ силовые линии магнитного поля всегда замкнуты и не имеют ни начала, ни конца.

Источники магнитного поля:

- движущиеся заряженные частицы (положительные и отрицательные);
- проводник с током (т. к. ток – это упорядоченное движение заряженных частиц);
- постоянный магнит.

Индикаторы магнитного поля:

(то, что взаимодействует с магнитным полем)

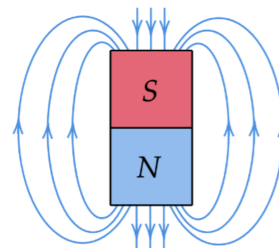
- движущиеся заряженные частицы (положительные и отрицательные);
- проводник с током (т. к. ток – это упорядоченное движение заряженных частиц);
- постоянный магнит.

Силовые линии магнитного поля

Силовые линии – это графическая визуализация силового поля.

Свойства силовых линий магнитного поля :

- ▷ силовые линии заполняют пространство таким образом, что касательные к ним в каждой точке пространства совпадают по направлению с вектором магнитной индукции;
- ▷ силовые линии магнитного поля всегда начинаются на «севере» и заканчиваются на «юге» вне постоянного магнита и идут от «юга» к «северу» внутри него;
- ▷ в отличие от силовых линий электростатического поля, силовые линии магнитного поля всегда замкнуты (магнитное поле является полем вихревого типа);
- ▷ через каждую точку проходит только одна силовая линия магнитного поля (то есть они не пересекаются).



Проводник с током

1. Правило буравчика (винта) :

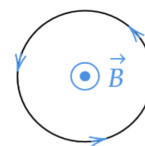
Если направление поступательного движения буравчика (винта) совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции поля, создаваемого этим током.

2.1. Правило правой руки :



2.2. Правило правой руки

для замкнутого проводника с током :



⊙ « к нам »

⊗ « от нас »

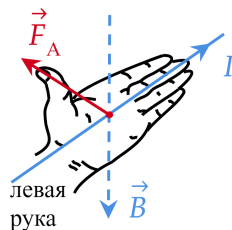
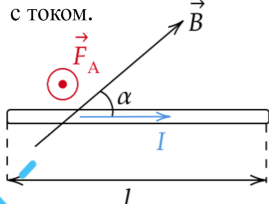
Если обхватить правой рукой контур, то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление вектора магнитной индукции.

Силы в магнитном поле

Сила Ампера:

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

Действует на проводник с током.

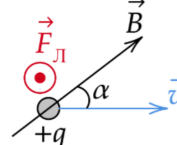


Запомни :
Ампер бил $\sin \alpha$

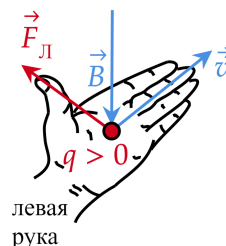
Сила Лоренца:

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

Действует на заряд.



Для отрицательного заряда сила Лоренца будет направлена в противоположную сторону.



левая
рука





ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Магнитный поток Φ через замкнутый контур (один виток): $\Phi = BS \cos \alpha$

Магнитный поток Φ через замкнутый контур (N витков): $\Phi = NBS \cos \alpha$

Магнитный поток Φ через контур, к-ый создан собственным током I : $\Phi = LI$

Напряжение на концах проводника, движущегося в магнитном поле:

$$\mathcal{E} = U = Blv \sin \alpha \quad \text{Запомни: болванка}$$

Закон электромагнитной индукции: $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

ЭДС самоиндукции: $\mathcal{E}_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

Энергия магнитного поля:

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Колебательный контур – электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности и конденсатор.

Свободные электромагнитные колебания в идеальном колебательном контуре:

$$q = q_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$I = q_{\max} \omega \cos(\omega t + \varphi_0) = I_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

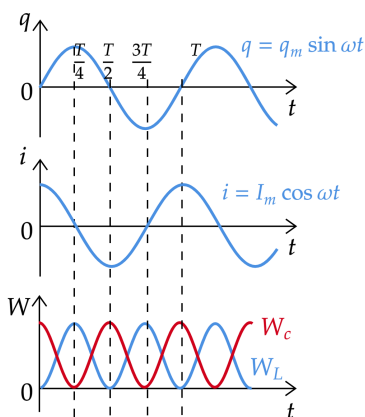
Формула Томсона: $T = 2\pi\sqrt{LC}$

Собственная частота колебаний контура: $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Амплитуда силы тока и заряда: $I_{\max} = q_{\max} \omega$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} = \text{const}$$



q_c	U_c	I_c	E_c	E_L
$\max$	$\max$	0	$\max$	0
0	0	$\max$	0	$\max$

$$T_W = \frac{T_q}{2} = \frac{T_i}{2}$$



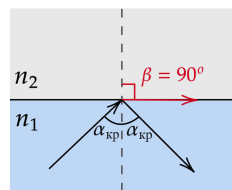


Закон прямолинейного распространения света:

В прозрачной однородной среде световые лучи являются прямыми линиями.

Закон отражения света:

- 1) Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр к отражающей поверхности, проведенный в точке падения, лежат в одной плоскости.
- 2) Угол падения равен углу отражения.



$$n_1 > n_2$$

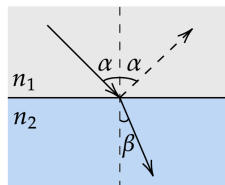
Полное внутреннее отражение – явление отражения света на поверхности раздела двух прозрачных веществ, не сопровождаемое преломлением.

$$\sin \alpha_{кр} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\alpha_{кр} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

Законы преломления света:

- 1) Падающий луч, преломленный луч и нормаль к поверхности, проведенная в точке падения, лежат в одной плоскости.
- 2) Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β равно относительному показателю преломления среды n .



Закон преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{отн}$$

Абсолютный показатель преломления:

$$n_{абс} = \frac{c}{v}$$

c – скорость света в вакууме
 v – скорость света в среде

α – угол падения, β – угол преломления

n_1 – абсолютный показатель преломления первой среды

n_2 – абсолютный показатель преломления второй среды

$n_{отн}$ – относительный показатель преломления

ЛИНЗЫ

Линза – это оптически прозрачное однородное тело, ограниченное с двух сторон двумя сферическими (или одной сферической и одной плоской) поверхностями.

Линза является **тонкой**, если толщина линзы много меньше радиусов кривизны её сферических границ и расстояния от линзы до предмета.

$$D = \frac{1}{F}$$

– оптическая сила линзы
Ед. изм.: [дптр] (диоптрия)

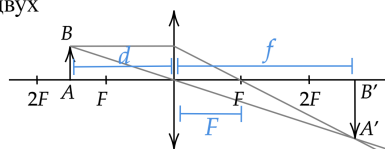
F – фокусное расстояние, [м]

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{H}{h}$$

– увеличение, даваемое линзой

H – высота изображения

h – высота предмета



Формула тонкой линзы:

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

"+" – собирающая линза

"-" – рассеивающая линза

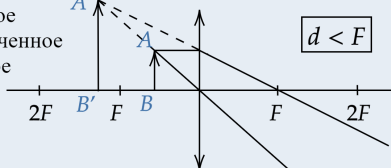
"+" – действительное изображ.

"-" – мнимое изображение

Собирающая линза

Изображение:

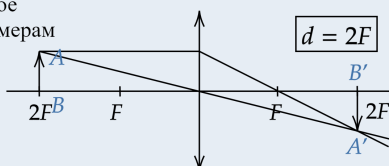
1. мнимое
2. увеличенное
3. прямое



$$d < F$$

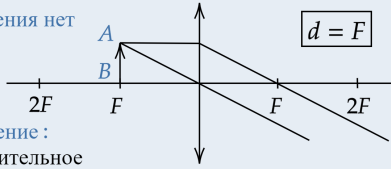
Изображение:

1. действительное
2. равное по размерам
3. перевернутое



$$d = 2F$$

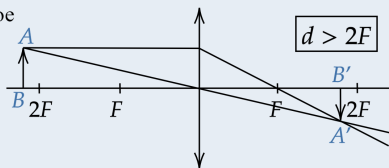
Изображения нет



$$d = F$$

Изображение:

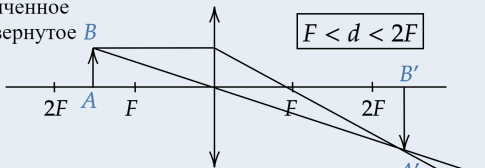
1. действительное
2. уменьшенное
3. перевернутое



$$d > 2F$$

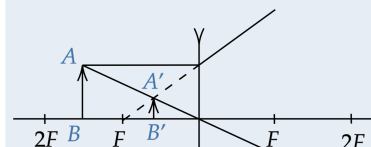
Изображение:

1. действительное
2. увеличенное
3. перевернутое



$$F < d < 2F$$

Рассеивающая линза

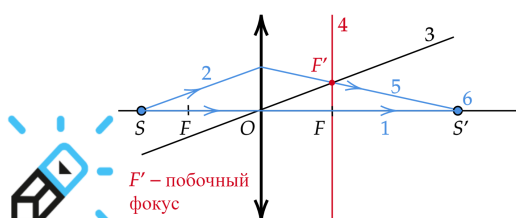


Изображение:

1. мнимое
2. уменьшенное
3. прямое

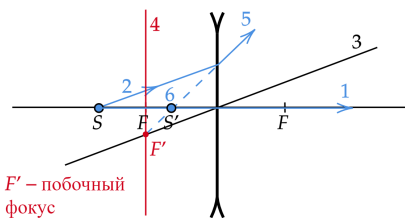
Построение изображения точки, лежащей на главн. оптической оси

Собирающая линза



F' – побочный фокус

Рассеивающая линза



F' – побочный фокус

Алгоритм

Строим:

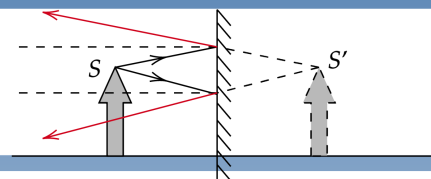
1. луч, || – й главн. опт. оси
2. произвольный луч, падающий от точки на линзу
3. побочную опт. ось, || – ую лучу 2
4. фокальную плоскость
5. ход преломленного луча
6. изображение точки



ПЛОСКОЕ ЗЕРКАЛО

Плоское зеркало – это часть плоскости, зеркально отражающей свет.

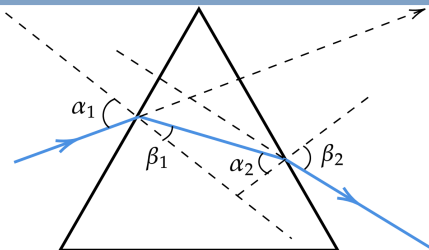
Изображение предмета, даваемое плоским зеркалом, является **мнимым**. Вследствие закона отражения света мнимое изображение предмета располагается **симметрично** относительно зеркальной поверхности. Размер изображения равен размеру самого предмета.



ХОД ЛУЧЕЙ В ПРИЗМЕ

При переходе из **менее плотной** среды (воздух) в **более плотную** (стекло) угол преломления меньше угла падения.

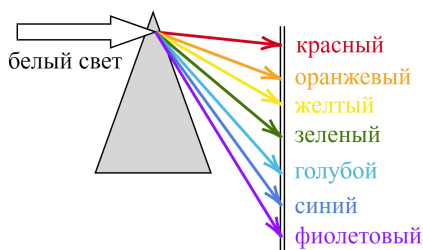
На правой грани луч будет переходить из **более плотной** среды (стекла) в **менее плотную** среду (воздух), поэтому угол падения будет меньше угла преломления.



$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = n$$

$$\frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2} = \frac{1}{n}$$

Переход монохроматического света через границу раздела двух оптических сред



В любой среде скорость света и длина его волны уменьшаются, при этом частота света не меняется: $\nu_1 = \nu_2$

$$n_1 \lambda_2 = n_2 \lambda_1$$

Отношение скорости света в вакууме к скорости света в оптической среде: $\frac{c}{v_1} = \frac{\lambda v}{\lambda_1 v} \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{c}{v} = n$

$\lambda = n \lambda_1$ – в оптической среде длина волны **уменьшается**.

Дисперсия света – зависимость скорости v распространения световой волны в среде от частоты света ν .

С увеличением частоты скорость света в среде уменьшается, и, следовательно, показатель преломления возрастает. Поэтому световые волны различных частот преломляются стеклянной призмой **под разными углами**.

Белый свет, содержащий волны с частотами от красного до фиолетового цвета, проходя сквозь призму, разлагается в **спектр**.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Интерференция света – сложение двух и более волн, вследствие которого наблюдается устойчивая картина усиления и ослабления световых колебаний в разных точках пространства.

Интерферировать могут лишь **когерентные** – имеющие одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз – волны.

При наложении когерентных волн возможны два предельных случая.

Условие максимума: разность хода волн равна целому числу длин волн (или четному числу длин полуволн).

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

В рассматриваемую точку волны приходят с одинаковыми фазами и усиливают друг друга. Амплитуда колебаний этой точки равна удвоенной амплитуде.

Условие минимума: разность хода волн равна нечетному числу длин полуволн.

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Волны приходят в рассматриваемую точку в противофазе и гасят друг друга. Амплитуда колебаний данной точки равна нулю.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

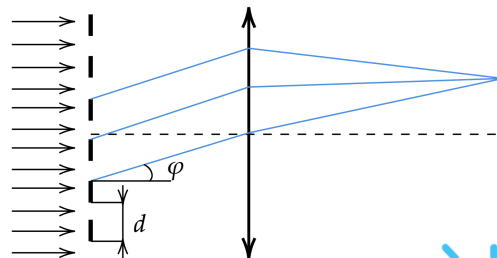
Дифракция – способность волн огибать встречающиеся на их пути препятствия, отклоняться от прямолинейного распространения.

Дифракционная решетка представляет собой систему параллельных равноотстоящих друг от друга щелей равной ширины, разделенных непрозрачными промежутками.

Период решетки (d) – расстояние между штрихами.

Решетка разлагает свет в спектр и позволяет точно определить длину волны.

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad \text{– формула дифракционной решетки}$$



Гипотеза Планка – предположение того, что атомы испускают электромагнитную энергию (свет) отдельными порциями — квантами, а не непрерывно. Энергия E каждой порции прямо пропорциональна частоте излучения.

Фотон – материальная, электрически нейтральная частица, квант электромагнитного поля (переносчик электромагнитного взаимодействия).

Основные свойства фотона :

- является частицей электромагнитного поля;
- движется со скоростью света;
- существует только в движении;
- остановить фотон нельзя : он либо движется со скоростью, равной скорости света, либо не существует;
- масса покоя фотона равна нулю.

Импульс фотона :

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

c – скорость света в вакууме

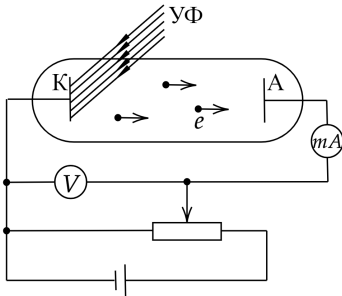
Формула Планка :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

ν – частота излучения
 h – постоянная Планка

ФОТОЭФФЕКТ

Опыт Столетова по фотоэффекту



$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_k \quad \text{– уравнение Эйнштейна}$$

$$h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}} \quad \text{– красная граница фотоэффекта}$$

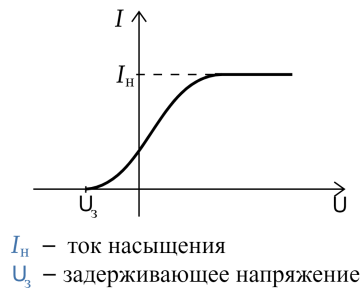
$$eU_{\text{зап}} = E_k \quad \text{– запирающее напряжение}$$

Запирающее напряжение – это напряжение, при котором прекращается фототок.

Законы Столетова (законы внешнего фотоэффекта):

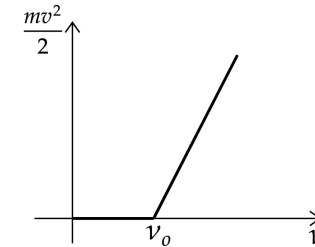
- 1) **Первый закон фотоэффекта** : фототок насыщения – максимальное число фотоэлектронов, вырывающихся из вещества за единицу времени, – прямо пропорционален интенсивности падающего излучения. Увеличение интенсивности света означает увеличение числа падающих фотонов, которые выбивают с поверхности металла больше электронов.
- 2) **Второй закон фотоэффекта** : максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего излучения и линейно возрастает с увеличением частоты падающего излучения.
- 3) **Третий закон фотоэффекта** : для каждого вещества существует граничная частота такая, что излучение меньшей частоты не вызывает фотоэффекта, какой бы ни была интенсивность падающего излучения. Эта минимальная частота излучения называется **красной границей** фотоэффекта.

Вольт-амперная характеристика



Зависимость энергии

фотоэлектронов от частоты света



$\lambda = \max$
 $\nu = \min$
 красный
 оранжевый
 желтый
 зеленый
 голубой
 синий
 фиолетовый
 $\lambda = \min$
 $\nu = \max$

↑ длина волны ↓ частота

ДАВЛЕНИЕ СВЕТА

Квантовая теория света объясняет световое давление как результат передачи фотонами своего импульса атомам или молекулам вещества.

Пусть на поверхность абсолютно черного тела площадью S перпендикулярно к ней каждую секунду падает N фотонов $N = \frac{\Delta N}{\Delta t}$.

Каждый фотон обладает импульсом $\frac{h\nu}{c}$. Полный импульс, получаемый поверхностью тела, равен $\frac{h\nu}{c}N$. Световое давление : $P = \frac{F}{S} = \frac{p\Delta t}{S}$

$$P = \frac{h\nu N}{Sc}$$

При падении света на зеркальную поверхность удар фотона считают абсолютно упругим, поэтому изменение импульса и давление в 2 раза больше, чем при падении на черную поверхность (удар неупругий).

ДВОЙСТВЕННАЯ ПРИРОДА СВЕТА

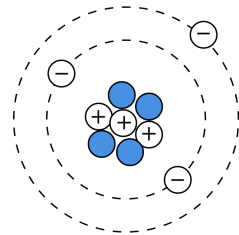
С одной стороны, явления интерференции, дифракции и поляризации света, характерные для любых волновых процессов, подтверждают, что свет имеет волновую природу, свет – это **электромагнитная волна**.

С другой стороны, явления взаимодействия света и вещества (фотоэффект, давление света) указывают на то, что свет ведёт себя как **поток отдельных частиц**. Фотоны обладают энергией и импульсом, участвуют во взаимодействиях с атомами и электронами.

Это доказывает, что свет имеет корпускулярную природу, свет это совокупность фотонов, мчащихся в пространстве.

Свет имеет двойственную, корпускулярно – волновую природу.

ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА РЕЗЕРФОРДА



${}^7_3\text{Li}$

⊖ – электрон
● – нейтрон
⊕ – протон

Зарядовое число Z – порядковый номер химического элемента в таблице Менделеева.
Массовое число A – общее число нуклонов (протоны + нейтроны) в ядре.
Число нейтронов в ядре равно $(A - Z)$.
Запись ${}_Z^AX$ означает, что в ядре элемента X содержится A нуклонов, из которых Z являются протонами.

Li
ЛИТИЙ
6, 941

3

Изотопы – это разновидности одного и того же химического элемента, различающиеся числом нейтронов в ядре.

ДЕФЕКТ МАССЫ ЯДРА

Масса любого ядра всегда меньше суммы масс входящих в его состав протонов и нейтронов (нуклонов).
Дефект масс равен разности между суммарной массой всех нуклонов ядра в свободном состоянии и массой ядра :

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{ядра}}$$

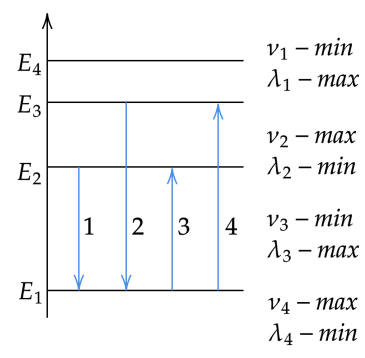
Исходя из $E = mc^2$ при образовании ядра должна выделяться определенная энергия. Для разделения ядра на составляющие необходимо затратить такую же энергию. Эта энергия называется энергией связи ядра. Дефект масс является мерой энергии связи атомного ядра.

ПОСТУЛАТЫ БОРА

- 1) Атомная система может находиться только в особых стационарных состояниях, каждому из которых соответствует определённая энергия E_n .
- 2) При переходе атома из одного стационарного состояния с энергией E_n в другое стационарное состояние с энергией E_m излучается или поглощается квант, энергия которого равна разности энергии стационарных состояний.

$$h\nu = E_n - E_m$$

Непрерывный (сплошной) спектр дают тела, находящиеся в твердом или жидком состоянии, а также сильно сжатые газы.
Линейчатые спектры дают все вещества в газообразном атомарном состоянии.
Спектральный анализ – совокупность методов качественного и количественного определения состава объекта, основанная на изучении спектров взаимодействия материи с излучением.



поглощение энергии : 3, 4
выделение энергии : 1, 2

$$E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}, n = 1, 2, 3, \dots$$

– спектр уровней энергии атома водорода

РАДИОАКТИВНОСТЬ

Радиоактивность – превращение атомных ядер в другие ядра, сопровождающееся испусканием различных частиц и электромагнитного излучения.

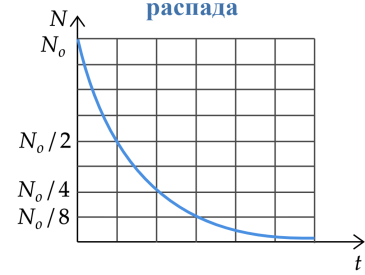
Уравнения распадов

- α – распад : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$
- электронный β – распад : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e + \tilde{\nu}_e$
- позитронный β – распад : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_{+1}^0e + \nu_e$
- γ – распад : ${}_Z^AX \rightarrow {}_Z^AY + \gamma$

Элементарные частицы

название	обозначение
α – частица	${}_2^4\text{He}$
электрон	${}_{-1}^0e$
позитрон	${}_{+1}^0e$
нейтрино	${}_0^0\nu$
антинейтрино	${}_0^0\tilde{\nu}$
фотон	${}_0^0\gamma$

Закон радиоактивного распада



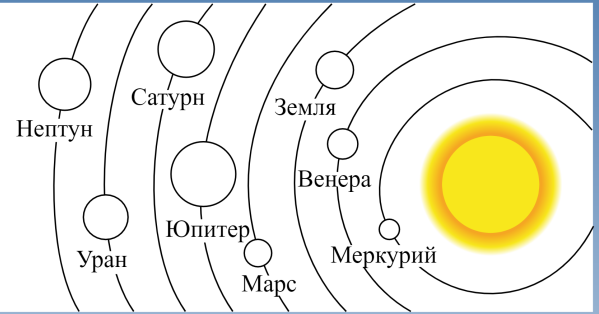
$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

N – число нераспавшихся ядер через время t
 N_0 – начальное число нераспавшихся ядер
 t – время
 T – период полураспада

Период полураспада – это время, в течение которого распадается половина начального числа радиоактивных атомов.



4 ближайшие к Солнцу планеты – Меркурий, Венера, Земля и Марс – называются **планетами земной группы**. Они обладают высокой плотностью. У Меркурия и Венеры нет естественных спутников, у Земли – один естественный спутник – Луна, у Марса – два – Фобос и Деймос. Четыре более удаленные от Солнца планеты – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун – **газовые гиганты**. Они обладают значительно большими размерами и массами, более низкой средней плотностью, быстрым вращением, а также кольцами и большим количеством спутников.



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ФОРМУЛЫ

Год – период обращения вокруг Солнца.
Сутки – период вращения вокруг оси.

радиус :

$$R = \frac{D}{2}$$

объем :

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi D^3}{6}$$

масса :

$$M = \rho V$$

$$v_I = \sqrt{gR}$$

$$v_I = \sqrt{G \frac{M}{R}} \quad \text{— первая космическая скорость}$$

$$v_{II} = \sqrt{2} v_I = \sqrt{2gR}$$

— вторая космическая скорость

СМЕНА ВРЕМЕН ГОДА

Чем ближе угол наклона оси вращения к 90° , тем сильнее выражена смена времен года.

На Меркурии, Венере, Юпитере смены времен года нет, на других планетах – есть.

Орбиты почти всех **астероидов** лежат между орбитами Марса и Юпитера (пояс астероидов):

$$1,5 \text{ а. е.} < a < 5,2 \text{ а. е.}$$

Чем больше **эксцентриситет** орбиты e , тем сильнее вытянута орбита.

$e = 0 \Rightarrow$ круговая орбита

$0 < e < 1 \Rightarrow$ эллиптическая орбита

СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД

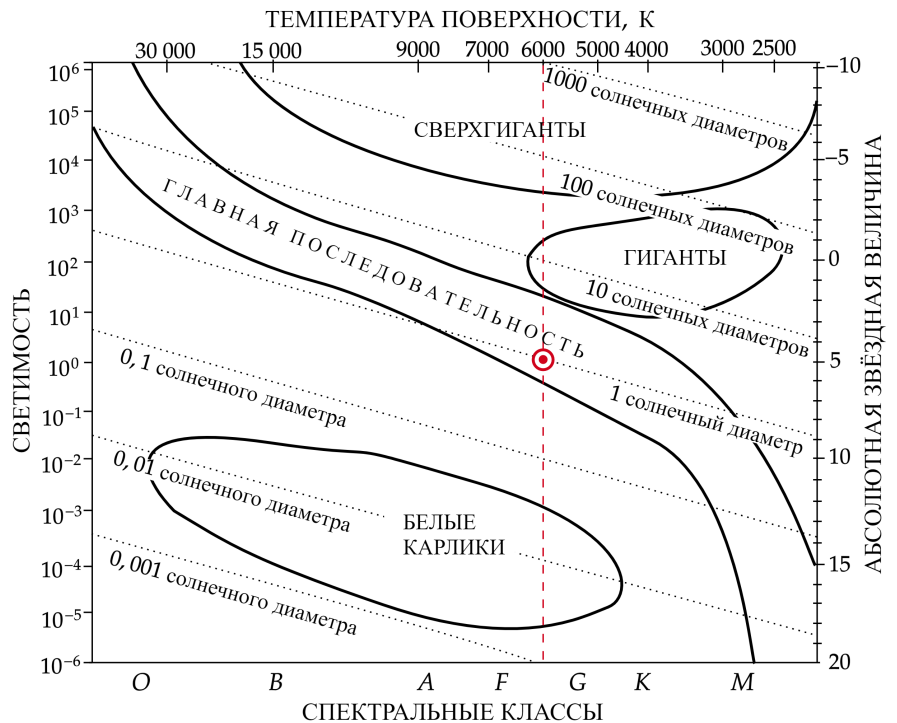
Класс	Температура, К	Истинный цвет
O	30 000 – 60 000	голубой
B	10 000 – 30 000	бело – голубой
A	7500 – 10 000	белый
F	6000 – 7500	желто – белый
G	5000 – 6000	желтый
K	3500 – 5000	оранжевый
M	2000 – 3500	красный



Один Бритый Англичанин Финики
Жевал Как Морковь

ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА-РАССЕЛА

Чем выше температура, тем короче "жизненный цикл" звезды



КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД ПО РАЗМЕРУ

1. Сверхгиганты	$D > 100D_\odot$ для классов M, K, G $D > 30D_\odot$ для классов F, A, B, O (гигантов в этих классах нет)
2. Гиганты	$10D_\odot < D < 100D_\odot$
3. Главная последовательность ($R_\odot \approx 7 \cdot 10^8 \text{ м}$ $T_\odot \approx 6000 \text{ К}$)	$0,1D_\odot < D < 10D_\odot$
4. Белые карлики	$0,001D_\odot < D < 0,1D_\odot$

$$\rho_{\text{св.г.}} \ll \rho_{\text{г.п.}} \ll \rho_{\text{б.к.}}$$

Солнце – желтый карлик
($R_\odot \approx 7 \cdot 10^8 \text{ м}$ $T_\odot \approx 6000 \text{ К}$)
Спектральный класс : G

