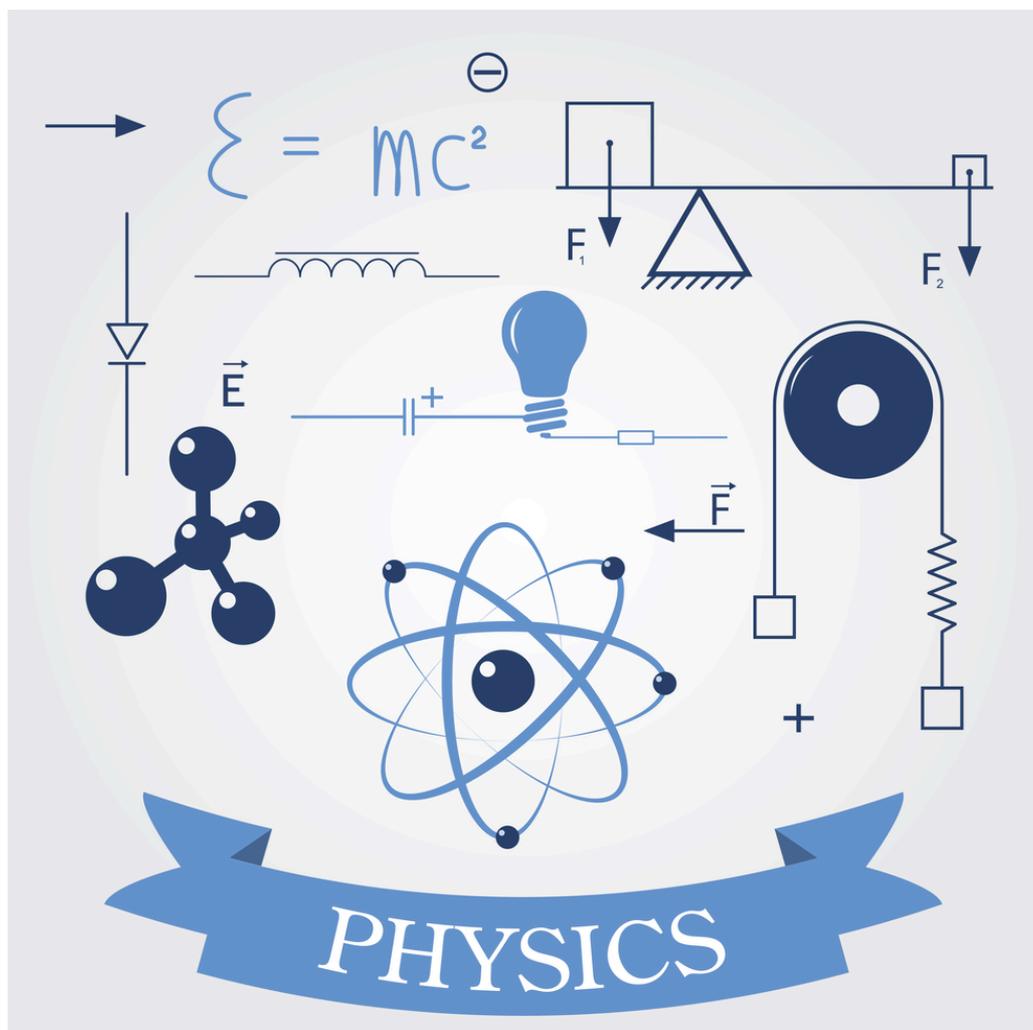


**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Любая С.И., Копылова О.С.



СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ ПО ФИЗИКЕ

*для студентов-иностранцев
подготовительных факультетов*

Ставрополь
2018

УДК 53(076)
ББК 22.3я 7
Б 742

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент СтГАУ Рубцова Е.И.
Кандидат физико-математических наук, доцент СКФУ Хащенко А.А.

Печатается по рекомендации
методической комиссии
Электроэнергетического факультета
(протокол № 6 от 11 января 2018 г.)

С.И.Любая, О.С.Копылова. Справочное пособие по физике для
студентов-иностранцев подготовительных факультетов Вузов –
Ставрополь, 2018.- 83 с.

УДК 53(076)
ББК 22.3я7
Б 742

♥ С.И. Любая, О.С. Копылова.

Аннотация

Справочное пособие по физике предназначено для преподавателей и студентов-иностранцев подготовительных факультетов, готовящихся к обучению в вузах.

Материал пособия расположен в соответствии с программой по физике подготовительных факультетов для иностранных граждан.

В справочном пособии даны определения всех основных физических понятий, сформулированы физические законы, а также дана сущность описываемых явлений. Основной материал пособия дополняется примерами, доказательствами, пояснениями, которые расположены на полях, параллельно основному тексту. Данное пособие не претендует на роль учебника, поэтому доказательства приводятся в исключительных случаях.

Справочное пособие по физике поможет студентам при подготовке к экзамену по физике. Оно содержит необходимый объем лексики, конструкций научного стиля речи и будет способствовать восприятию студентами-иностранцами лекций по физике при последующем их обучении в вузе.

Часть I. МЕХАНИКА

1. Кинематика

Физика изучает свойства материи.

Материя – это все, что существует в природе.

Физическое тело – это любой материальный предмет.

Материя – это физические тела, вещества и физические поля.

Движение материи – это любое изменение материи.

Материальная точка – это тело, размерами которого можно пренебречь в данной задаче. Размер тела много меньше, чем расстояние, которое тело проходит (рис. 1).

Тело отсчета – это тело, относительно которого мы изучаем движение.

Система отсчета (С.О.) – это тело отсчета, система координат и часы.

Тело движется в пространстве. Мы изучаем движение тела в системе отсчета OXYZ (рис. 3).

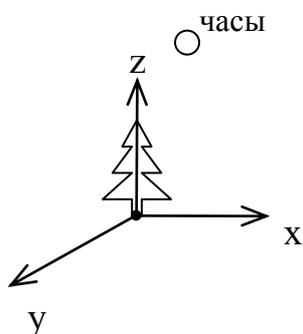


Рис. 3

В природе мы видим физические тела и вещества, из которых тела состоят.

В природе мы наблюдаем физические поля: гравитационное поле, электрическое поле, электромагнитное поле.

Например, изменение температуры, состояния вещества, положения тел.

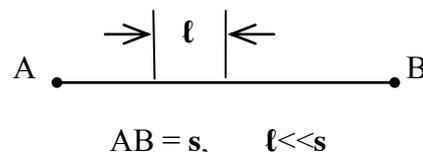


рис. 1

Например, когда мы изучаем движение ракеты, мы выбираем тело отсчета – Земля. Потом, когда ракета находится далеко от Земли, мы выбираем тело отсчета – Солнце (рис. 2).

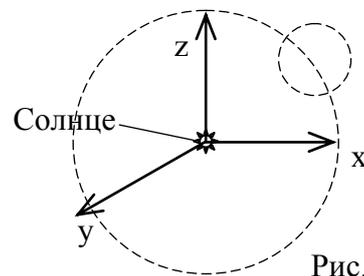


Рис. 2



- дерево, которое мы взяли как тело отсчета.

Система координат OXYZ имеет 3 оси координат: OX, OY, OZ.

Тело движется на плоскости. Мы изучаем движение тела в системе отсчета ОХУ (рис. 4)

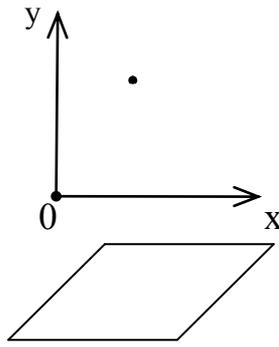


Рис. 4

Тело движется по прямой линии. Мы изучаем движение тела в системе отсчета ОХ (одна ось*) (рис. 5).

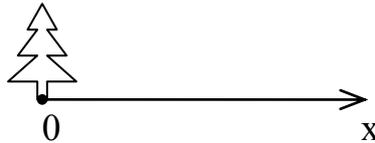


Рис. 5

Механическое движение – это изменение положения тела относительно других тел с течением времени.

Траектория – это линия движения точки или тела.

Виды движения по траектории:

- 1) прямолинейное движение,
- 2) криволинейное движение.

Когда физика изучает явления природы, она использует **физические величины** или **параметры**. Они могут быть двух видов:

- 1) скалярные величины,
- 2) векторные величины.

Скалярная величина – это величина, которая имеет только числовое значение.

Скалярные величины складывают, вычитают, умножают алгебраически.

Система координат ОХУ имеет 2 оси координат: ОХ, ОУ.

* В физике система координат на прямой – это числовая ось. ОХ – это ось абсцисс.

Траектории могут быть:



Параметр = физическая величина

Примеры скалярных величин:

- t** – время,
- m** – масса,
- T** – температура,
- V** – объём,
- p** – плотность,
- s** – путь, расстояние

Векторная величина – это величина, которая имеет модуль и направление.

Векторные величины складывают, вычитают, умножают геометрически.

Два правила **сложения** двух векторов:

1) правило треугольника: $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$

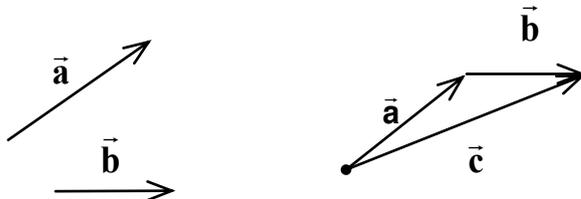


Рис. 6

Перенесём \vec{b} в конец \vec{a} , соединим начало \vec{a} и конец \vec{b} , получим \vec{c} (рис. 6);

2) правило параллелограмма:

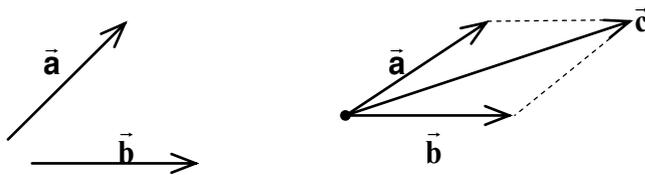


Рис. 7

Перенесём \vec{b} в начало \vec{a} , проведём параллельные линии и начертим диагональ параллелограмма. Это \vec{c} (рис. 7).

$$|\vec{c}| = c = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos \alpha}$$

Если дано более чем два вектора, используют правило многоугольника. Оно аналогично правилу треугольника.

Вычитание производят как сложение.

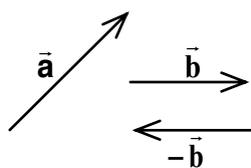


Рис. 8

$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b};$$

$$\vec{c} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

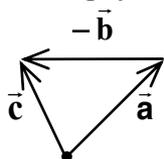
\vec{r} - радиус – вектор
 $\Delta \vec{r}$ - перемещение
 \vec{v} - скорость
 \vec{a} - ускорение
 \vec{F} - сила

\triangle - к - треугольник
 \square - м - параллелограмм
 \square - к - прямоугольник
 \hexagon - к - многоугольник

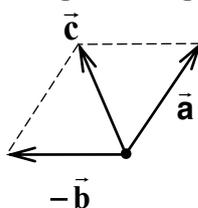
$-\vec{b}$ - противоположный вектор

Примеры векторных величин:

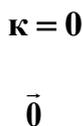
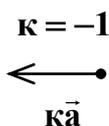
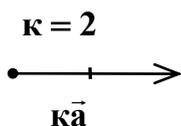
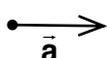
Правило треугольника:



Правило параллелограмма:



Результат умножения вектора на скаляр – это вектор $\vec{a} \cdot k = k\vec{a}$



Вектор можно разложить на составляющие. Задача разложения вектора имеет одно решение, если даны направления составляющих векторов или один из составляющих векторов.

Пример: начертить вертикальную и горизонтальную составляющие скорости движения самолета (рис. 10).

Дано: \vec{v}

Найти: \vec{v}_1 и \vec{v}_2

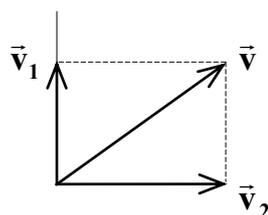
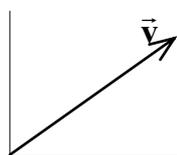
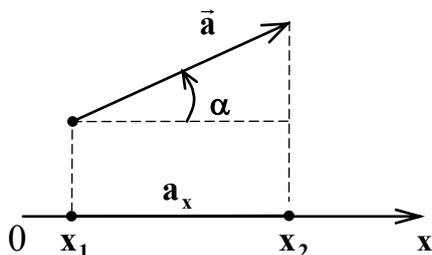


Рис. 10

Проекция вектора на оси координат – это скалярные величины. Чтобы найти проекцию вектора на ось, нужно опустить на ось перпендикуляры из начала и конца вектора.

Проекция вектора на ось равна разности координат конца и начала вектора (рис. 11).



$$a_x = x_2 - x_1$$

$$a_x = |\vec{a}| \cdot \cos \alpha^*$$

Рис. 11

Если $k > 0$, векторы \vec{a} и $k\vec{a}$ имеют одинаковое направление.

Если $k < 0$, векторы \vec{a} и $k\vec{a}$ имеют противоположное направление.

Если $k = 0$, -это нуль – вектор. На чертеже – точка.

Если дан только результирующий вектор, задача разложения имеет бесчисленное множество решений.

Мы можем начертить бесчисленное множество параллелограммов.

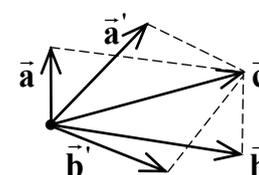


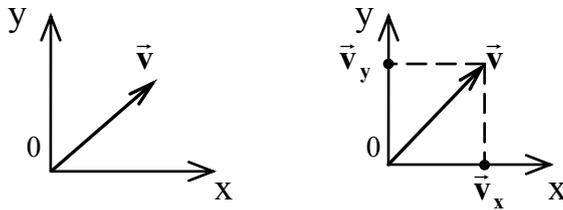
Рис. 9

* Если дан угол между осью OX и направлением вектора, проекцию вектора можно найти по этой формуле.

Пример:

Начертить проекции вектора скорости самолета на оси координат OX и OY.

Дано:



Найти V_x и V_y

Рис. 12

Для того чтобы перейти от проекции вектора к задаче разложения вектора на составляющие, нужно использовать единичные векторы \vec{i}, \vec{j} .

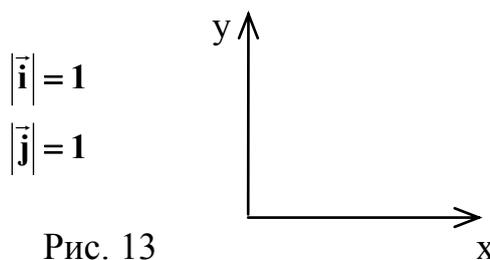
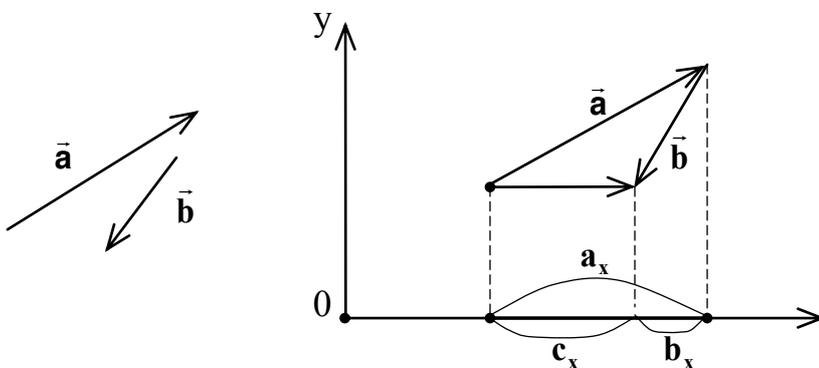


Рис. 13

Когда мы геометрически складываем векторы, проекции этих векторов на ось мы складываем алгебраически.

Пример. Сложить по правилу треугольника векторы \vec{a} и \vec{b} и их проекции \vec{a}_x и \vec{b}_x (рис. 14).



$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$
$$c_x = a_x + b_x$$

Рис. 14

Угол α (так же, как и угол между векторами) – это угол поворота против часовой стрелки (по часовой стрелке угол отрицательный)

Единичный вектор называется ортом. Он задает:

- 1) положительное направление оси OX;
- 2) точку O – начало координат;
- 3) масштаб.

Параметры (физические величины) механического движения:

- 1) время t ;
- 2) радиус – вектор \vec{r} ;
- 3) координаты x, y, z ;
- 4) путь s ;
- 5) перемещение $\Delta\vec{r}, M_0M$;
- 6) скорость \vec{v} ;
- 7) ускорение \vec{a} ;

Радиус – вектор – это вектор, который соединяет материальную точку с началом координат.

Координаты – это проекции радиуса – вектора на оси координат.

Радиус – вектор и координаты определяют положение материальной точки. Когда точка движется, радиус – вектор и координаты изменяются.

Путь – это длина траектории.

Перемещение – это вектор, который соединяет две точки траектории.

Модуль перемещения $|\Delta\vec{r}| = \Delta s$, когда точка движется прямолинейно, а также при $\Delta t \rightarrow 0$.

Быстроту движения характеризует физическая величина – **скорость** \vec{v} .

Вектор средней скорости – это отношение пути к промежутку времени.

$$V_{cp} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Средняя скорость на пути – это отношение пути к промежутку времени.

$$V_{cp} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{или} \quad V_{cp} = \frac{s}{t}$$

Чем меньше промежуток времени Δt , тем лучше мы знаем числовое значение средней скорости.

Рассмотрим движение материальной точки M на плоскости в системе отсчёта XOY .

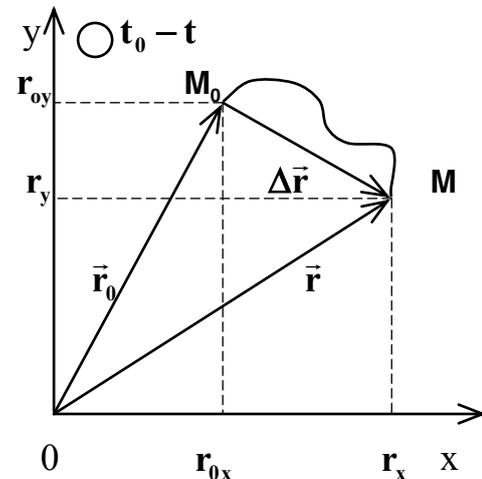


Рис. 15

$\Delta t = t - t_0$ – промежуток или интервал времени.

Траектория M_0M – кривая линия.

Путь s – это длина кривой линии.

Путь Δs – это длина части кривой линии.

$\Delta t \rightarrow 0$ – промежуток времени стремится к нулю.

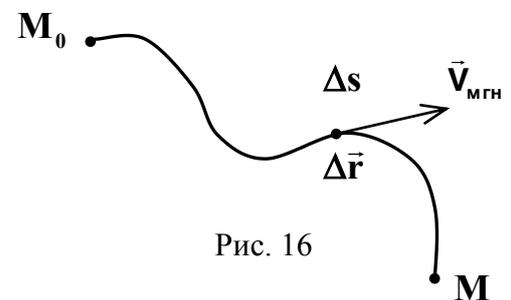


Рис. 16

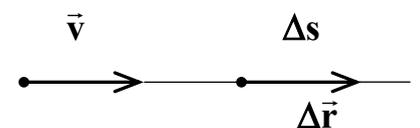


Рис. 17

Мгновенная скорость – это скорость в данный момент времени или в данной точке траектории.

$$\vec{V}_{\text{мгн}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad \text{когда } \Delta t \rightarrow 0 \quad |\Delta \vec{r}| = \Delta s, \quad \therefore$$

$$V_{\text{мгн}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

$\vec{V}_{\text{мгн}}$ имеет направление касательной к траектории (рис. 16).

Если $\vec{V} = \text{const}$, то $\vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ и $V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Быстроту изменения скорости характеризует физическая величина – ускорение \vec{a} .

Ускорение - это отношение изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло.

$$\Delta \vec{V} = \vec{V} - \vec{V}_0 \quad \text{- изменение скорости}$$

$$\Delta t = t - t_0 \quad \text{- промежуток или интервал времени}$$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} \quad \vec{a} = \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{t - t_0} \quad \text{или} \quad \vec{a} = \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{t} \quad (t_0 = 0)$$

При решении задач, производя вычисления, мы будем оперировать со скалярными величинами – проекциями векторных величин (ускорения, скорости, перемещения). Проекции векторов мы чертим в системе отсчёта. В прямолинейном движении – это система отсчёта ОХ (одна ось). Например, автомобиль движется с ускорением. Его скорость увеличивается от V_0 до V (рис. 18).

В прямолинейном движении вектор скорости имеет направление движения (рис. 17).

\therefore - следовательно

Мы говорим о средней и мгновенной скорости, если скорость изменяется.

Когда скорость постоянна, эти формулы дают нам просто скорость \vec{V} .

Мы часто выбираем начальный момент t_0 , равным нулю.

$$t_0 = 0, \quad \text{тогда } \Delta t = t$$

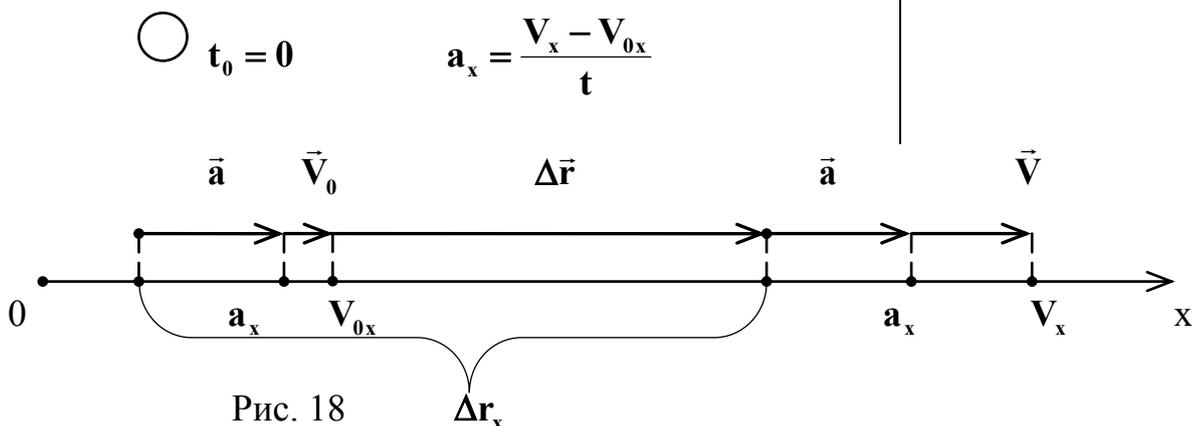


Рис. 18

Единицы измерения физических величин

Единицы длины

1 м (метр)	1 км = 1000 м
1 см (сантиметр)	1 м = 100 см
1 км (километр)	

Единицы времени

1 с (секунда)	1 мин = 60 с
1 мин (минута)	
1 ч (час)	1 ч = 60 мин = 3600 с
1 сут (сутки)	1 сут = 24 ч

Единицы скорости

$1 \frac{м}{с}$ (метр в секунду)
$1 \frac{см}{с}$ (сантиметр в секунду)
$1 \frac{км}{ч}$ (километр в час)

Единицы ускорения

$1 \frac{м}{с^2}$ (метр в секунду в квадрате)
$1 \frac{см}{с^2}$ (сантиметр в секунду в квадрате)

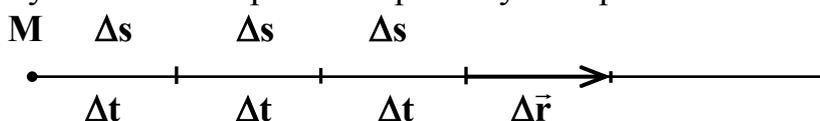
Метр и секунда – это основные единицы в системе единиц СИ.

Единицы скорости и ускорения – это производные единицы. Их получают из формул: $\mathbf{V} = \frac{\Delta \mathbf{s}}{\Delta t}$ и $\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{V}}{\Delta t}$

В кинематике изучают виды движений по скорости. Это равномерное и неравномерное или переменное движение.

Равномерное движение – это движение с постоянной скоростью.

Рассмотрим равномерное прямолинейное движение, $\vec{V} = \text{const}$. Материальная точка проходит равные пути за любые равные промежутки времени.



$$\vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}; \quad \mathbf{V} = \frac{\Delta \mathbf{s}}{\Delta t}; \quad \mathbf{V} = \frac{\mathbf{s}}{t}$$

Единицы длины мы используем для пути (расстояния) и модуля перемещения.

СИ (SI) – международная система или система интернациональная.

км, ч, $\frac{км}{ч}$, мин – это внесистемные единицы.

$\mathbf{V}_{cp} = \mathbf{V}_{мгн}$ – в этом движении средняя скорость равна мгновенной скорости.

Уравнения зависимости скорости, пути и координат от времени:

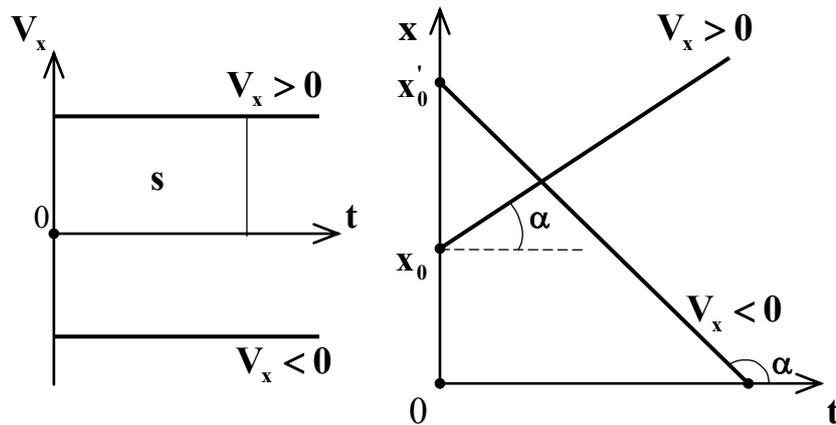
$V_x = \text{const}$ - скорость не зависит от времени;

$s = V \cdot t$ - путь прямо пропорционален времени

$x = x_0 + V_x \cdot t$ - координата зависит от времени в первой степени (линейная функция).

Уравнения изображают графически.

Графики $V_x(t)$, $s(t)$ и $x(t)$:



$s =$ площади прямоугольника

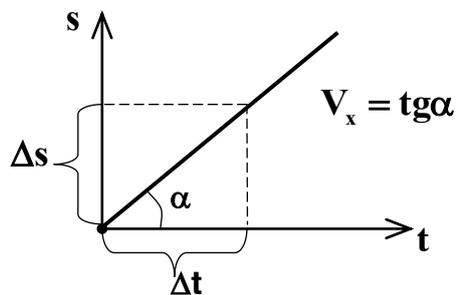


Рис. 19

Пример. Начертить графики $x(t)$ для тел 1, 2 и 3.

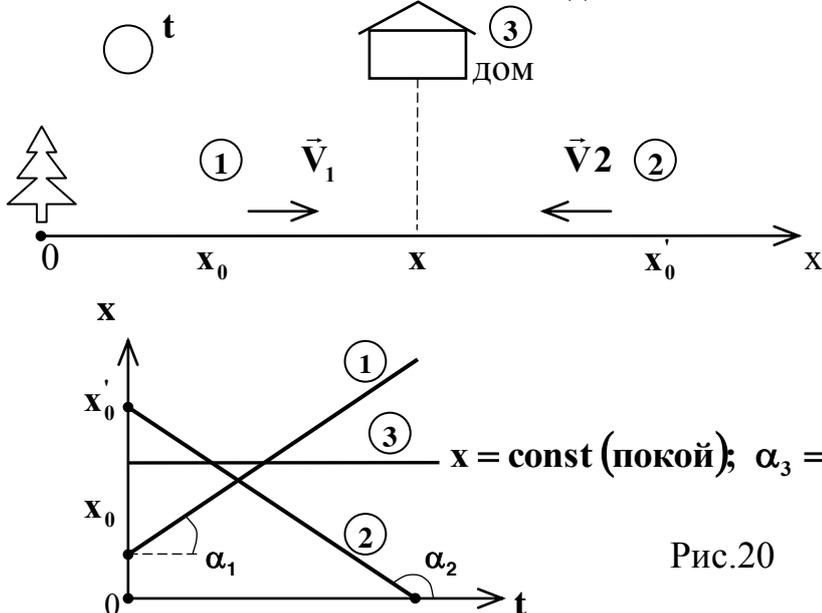


Рис.20

В уравнении пути $V = |\vec{V}|$ - модуль скорости.

Путь $s > 0$ и при движении увеличивается.

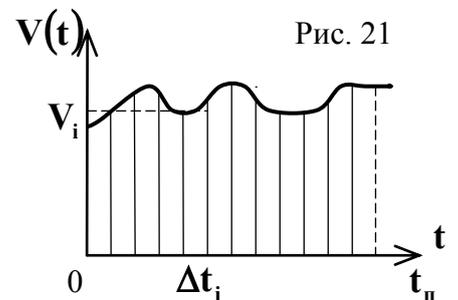
На графике скорости путь численно равен площади прямоугольника.

На графике пути скорость численно равна тангенсу угла α .

$V_x > 0$ - тело движется по направлению оси OX ;

$V_x < 0$ - тело движется противоположно направлению оси OX.

Метод определения пути как площади прямоугольника используют и для неравномерного движения. $V(t)$ -переменная величина



Разделим время t_n на малые промежутки $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_i, \dots, \Delta t_n$.

Будем считать $V_i = \text{const}$ в каждом промежутке. Путь $\Delta s_i = V_i \cdot \Delta t_i$;

Весь путь $s = \sum_{i=1}^n \Delta s_i$ или

$s = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \Delta t_i =$ площади криволинейной трапеции

$$s = \int_0^{t_n} V(t) \cdot dt$$

Если тело в данной системе отсчета участвует одновременно в нескольких движениях, мы можем сложить скорости и перемещения. Например, лодка плывёт по реке. Вода в реке течёт, она движет лодку.

Скорость, которую сообщает лодке мотор (или человек) и скорость течения – это составляющие скорости. - Результирующая скорость лодки относительно берега – это геометрическая сумма составляющих скоростей (см. таблицу).

\vec{V} - результирующая скорость лодки относительно берега;
 \vec{V}_1 - составляющая скорость лодки относительно воды;
 \vec{V}_2 - составляющая скорость воды относительно берега (скорость течения)
 мы сложим векторы \vec{V}_1 и \vec{V}_2 по правилу треугольника.

			$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$ $V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1 \cdot V_2 \cdot \cos \alpha}$
			$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$ $V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$ $\alpha = 90^\circ$
			$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$ $V = V_1 + V_2$ $\alpha = 0^\circ$
			$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$ $V = V_1 - V_2$ $\alpha = 180^\circ$

α - угол между векторами \vec{V}_1 и \vec{V}_2 . Когда $\alpha = 90^\circ, \alpha > 90^\circ, \alpha < 90^\circ$, можно использовать два правила сложения векторов (треугольника и параллелограмма). Но когда $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$, мы можем использовать только правило треугольника (так как невозможно построить параллелограмм).

Если тело отсчёта берег (земля), то система отсчёта, связанная с ним, это неподвижная система отсчёта (НСО).

Если тело отсчёта вода, то система отсчёта, связанная с водой – это подвижная система отсчёта (ПСО).

Пример с лодкой показывает нам, что скорость лодки относительно неподвижной системы отсчёта $|\vec{V}_{\text{те.ла}/\text{НСО}} = \vec{V}|$ равна скорости лодки относительно подвижной системы отсчёта $|\vec{V}_{\text{те.ла}/\text{ПСО}} = \vec{V}_1|$ плюс скорость подвижной системы отсчёта относительно неподвижной $|\vec{V}_{\text{ПСО}/\text{НСО}} = \vec{V}_2|$.

Значит $\vec{V}_{\text{те.ла}/\text{НСО}} = \vec{V}_{\text{те.ла}/\text{ПСО}} + \vec{V}_{\text{ПСО}/\text{НСО}}$;
(сравните $\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$).

Из этого уравнения можно найти скорость тела относительно подвижной системы:

$$\vec{V}_{\text{те.ла}/\text{ПСО}} = \vec{V}_{\text{те.ла}/\text{НСО}} - \vec{V}_{\text{ПСО}/\text{НСО}}$$

или скорость первого тела относительно второго, когда оба тела движутся.

$$\vec{V}_{1,2} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = (-\vec{V}_{2,1})$$

Это уравнение - векторная разность.

Примеры:

1) Два человека на эскалаторе в метро. Найти скорость человека 1 относительно человека 2.

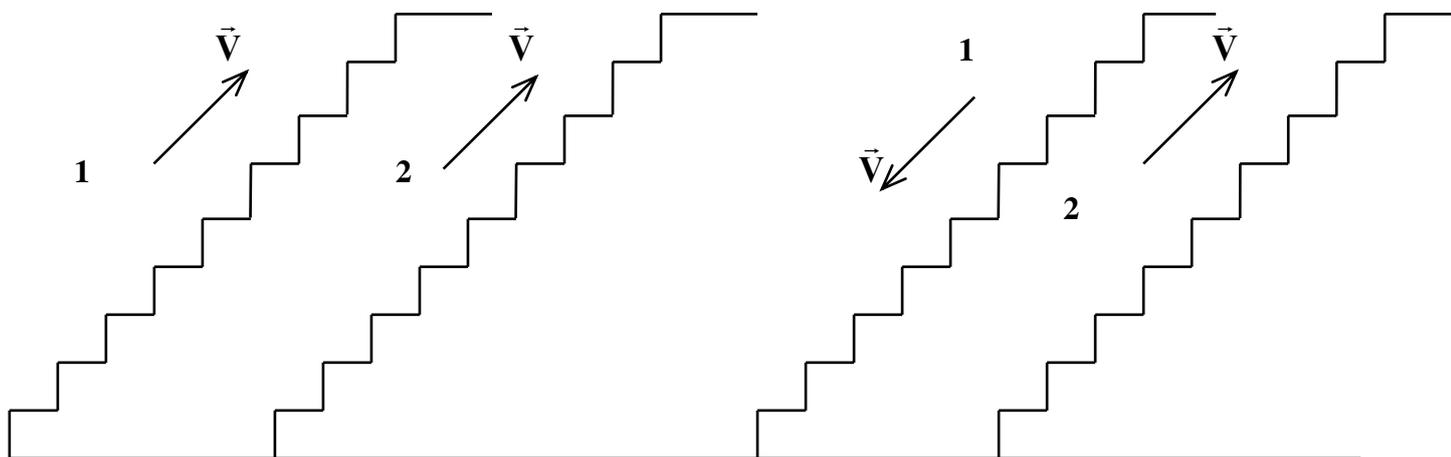


Рис. 22

\vec{V} - скорость эскалатора относительно земли

Скорость человека 1 относительно человека 2 :

$$\vec{V}_{1,2} = \vec{V} - \vec{V}_0 = \mathbf{0}; \quad \vec{V}_{1,2} = \mathbf{0}$$

(одинаковые направления)

Скорость человека 1 относительно человека 2:

$$\vec{V}_{1,2} = \vec{V} - (-\vec{V}) = 2\vec{V}; \quad V_{1,2} = 2V$$

(противоположные направления)

2) Найти скорость человека относительно автобуса, если их движения перпендикулярны.

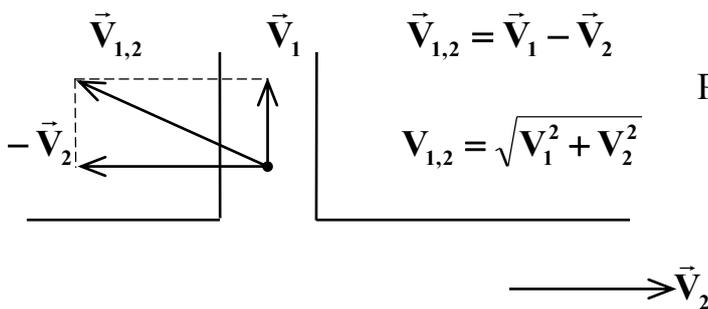


Рис. 23

На странице 8 вы прочитали, что в кинематике изучают равномерное и неравномерное или переменное движение.

Равномерное движение мы рассмотрели. Сейчас рассмотрим переменное. Скорость такого движения изменяется, значит, есть ускорение. Когда \vec{a} и \vec{V} имеют одинаковое направление, модуль скорости увеличивается. Это ускоренное движение. Когда \vec{a} и \vec{V} имеют противоположное направление, модуль скорости уменьшается. Это замедленное движение.

Переменное движение $\begin{cases} \text{ускоренное} \\ \text{замедленное} \end{cases}$

Если модуль ускорения не изменяется $|\vec{a}| = \text{const}$, движение называется равнопеременным.

Равнопеременное движение $\begin{cases} \text{равноускоренное} \\ \text{равнозамедленное} \end{cases}$

Равнопеременное движение – это движение с постоянным ускорением $\vec{a} = \text{const}$. Его уравнения:

$\vec{a}_x = \text{const}$ - ускорение не зависит от времени;

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}; \quad a_x = \frac{V_x - V_{0x}}{t}; \quad t_0 = 0$$

$V_x = V_{0x} + a_x \cdot t$ - скорость зависит от времени в первой степени (линейная функция);

$s = V_{0x} \cdot t + \frac{1}{2} a_x \cdot t^2$ - путь зависит от времени в квадрате (квадратичная функция).

Человек, который идет по улице, относительно автобуса движется в направлении вектора $\vec{V}_{1,2}$. Так видит человек, который едет в автобусе.

$\vec{a} \downarrow \vec{V}$, тогда $|\vec{V}|$

$\vec{a} \uparrow \vec{V}$, тогда $|\vec{V}|$

По траектории прямолинейное движение.

Из формулы $a_x = \frac{V_x - V_{0x}}{t}$

получим уравнение скорости:

$$a_x \cdot t = V_x - V_{0x}$$

$$V_x = V_{0x} + a_x \cdot t$$

Если тело движется из состояния покоя, $V_{0x} = 0$, то

$$\boxed{s = \frac{1}{2} a_x \cdot t^2}; \quad \boxed{V_x = a_x \cdot t}.$$

При движении по оси OX из точки с начальной координатой x_0 координата в любой момент

времени t :
$$\boxed{x = x_0 + V_{0x} \cdot t + \frac{1}{2} a_x \cdot t^2}$$

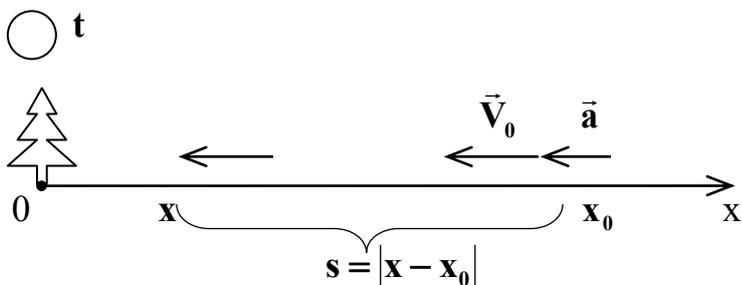
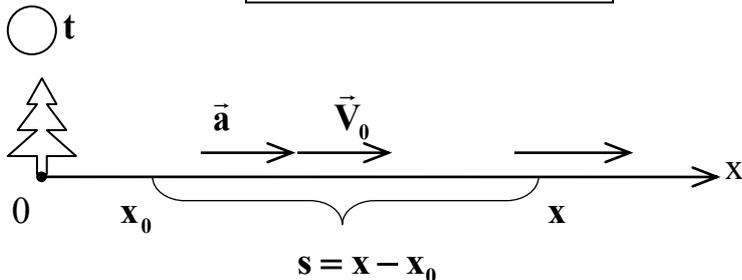


Рис. 25

В эти примерах равноускоренное движение.

Если вектор ускорения противоположен вектору скорости $\vec{a} \downarrow \vec{V}$, проекции a_x и V_x будут иметь разный знак.

В этих случаях движение равнозамедленное.

Рассмотрим графики зависимости ускорения, скорости, пути и координаты от времени.

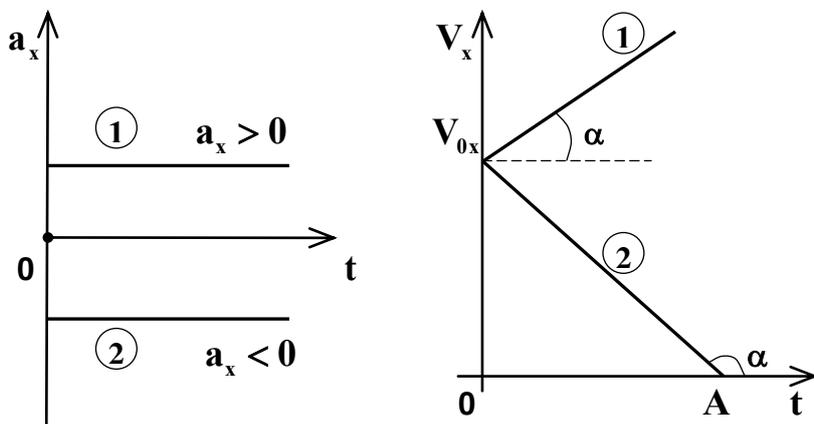
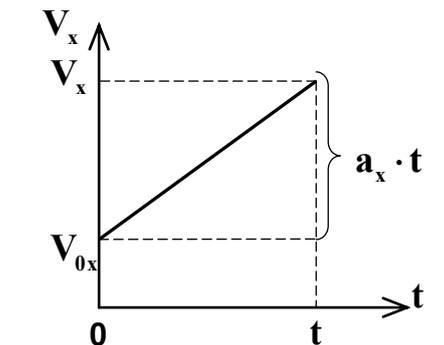


Рис. 26а

Путь s на графике скорости численно равен площади трапеции или площади прямоугольника и треугольника.



$$s = \text{пл. } \square - \text{ка} + \text{пл. } \triangle - \text{ка}$$

$$s = V_{0x} \cdot t + \frac{1}{2} a_x \cdot t^2$$

$\vec{a} \downarrow \vec{V}$; $+ a_x, + V_x$ - тело движется по оси OX.

$\vec{a} \uparrow \vec{V}$; $- a_x, - V_x$ - тело движется противоположно оси OX.

$\vec{a} \uparrow \vec{V}$; $- a_x, + V_x$ - тело движется по оси OX.

$\vec{a} \downarrow \vec{V}$; $+ a_x, - V_x$ - тело движется противоположно оси OX.

Проекция ускорения численно равна тангенсу между графиком и осью времени.

В точке А на графике скорости и пути тело останавливается.

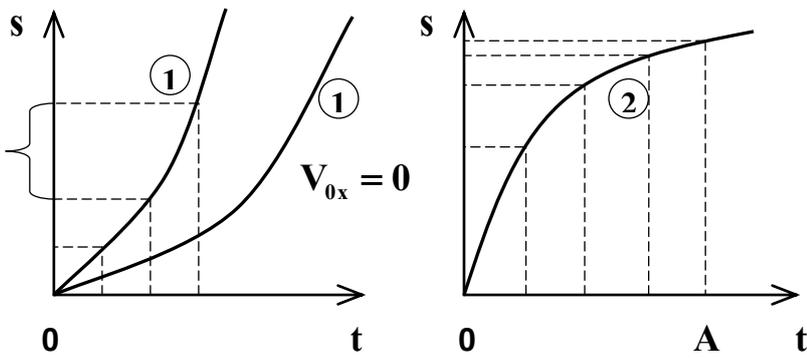


Рис. 26б

s за n -ю секунду равен $s_n - s_{n-1}$.

Если $V_{0x} = 0$, то s за n -ю секунду равен $\frac{1}{2} a_x (t_n^2 - t_{n-1}^2)$

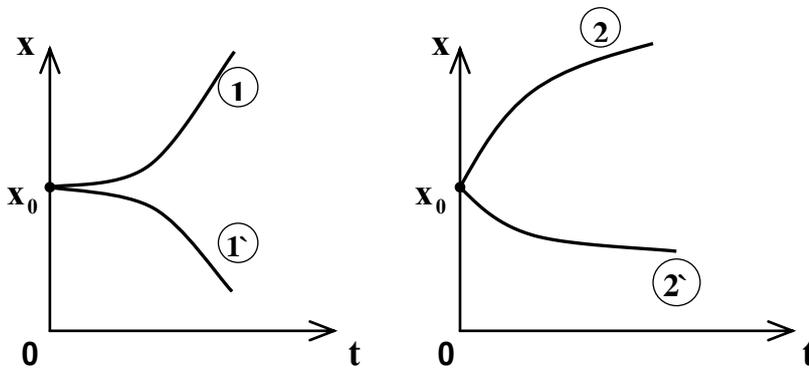


Рис. 26в

1' и 2' - это равноускоренное и равнозамедленное противоположное движение.

Примером прямолинейного равноускоренного движения является свободное падение.

Свободное падение происходит в вакууме без начальной скорости. Ускорение свободного падения обозначают буквой \vec{g} . Галилео Галилей на опыте определил, что $g = 9,8 \frac{M}{c^2}$.

В воздухе падение можно считать свободным, если можно пренебречь сопротивлением воздуха.

Уравнения и графики свободного падения:

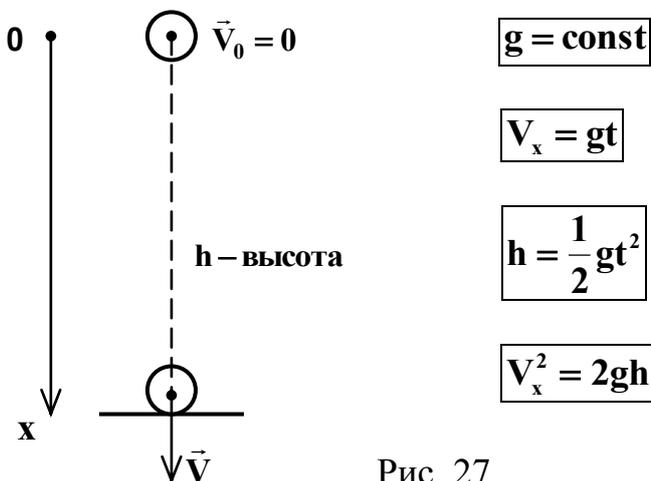


Рис. 27

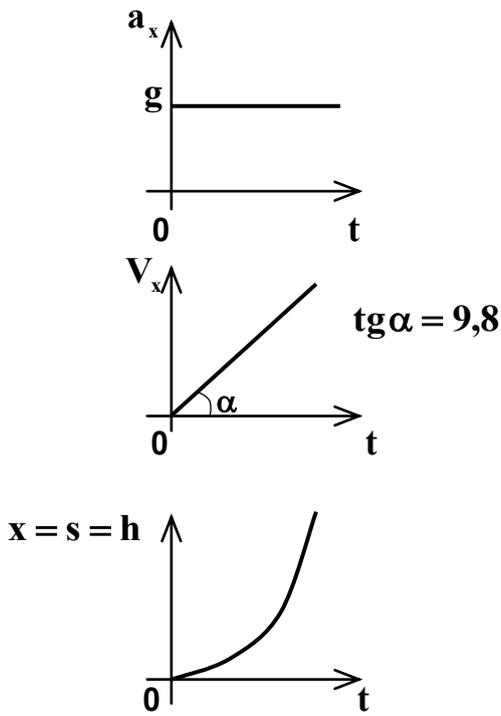


Рис. 28

Если тело бросили вниз, ему сообщили начальную скорость $V_{0\downarrow}$, тогда уравнения и графики будут следующими:

$$g = \text{const}$$

$$V_x = V_{0x} + gt$$

$$h = V_{0x} \cdot t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$V_x^2 = V_{0x}^2 + 2gh$$

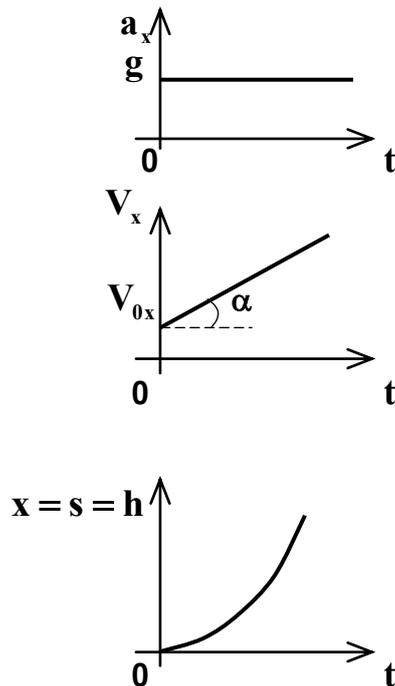


Рис. 29

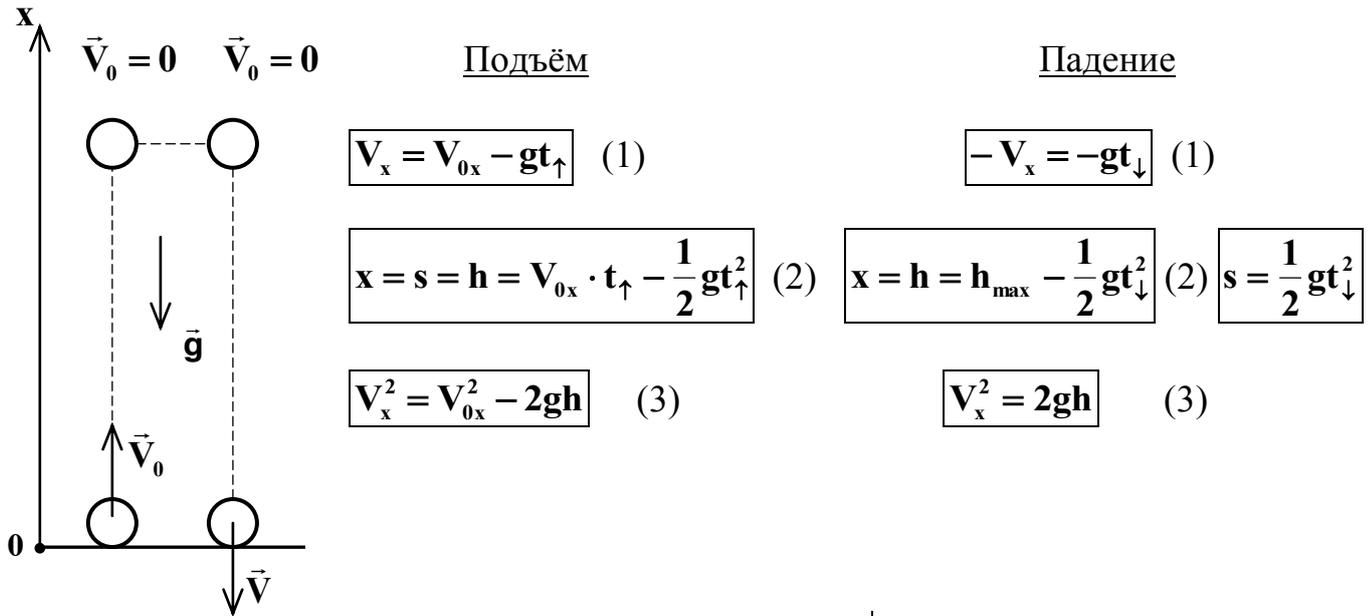
Если тело бросили вверх, сообщив ему начальную скорость $V_{0\uparrow}$, оно движется равнозамедленно до остановки, а затем свободно падает. Мы имеем два движения. Начало отсчёта лучше взять на поверхности Земли, а ось OX направить вверх.

* - это движение, как и свободное падение, равноускоренное.

** - путь за первую секунду будет больше, чем при свободном падении. Он зависит от модуля начальной скорости.

Подъём и падение происходят по одной линии. Мы для наглядности начертим две.

Уравнения:



Уравнение (3): когда $h = h_{\max}$, $V_x = 0$, тогда $0 = V_{0x}^2 - 2gh$, $V_{0x\uparrow}^2 = 2gh$, но $V_{x\downarrow}^2 = 2gh$.

Следовательно, $V_{0x\uparrow} = V_{x\downarrow}$ - начальная скорость бросания равна конечной скорости падения.

Уравнение (1): когда $h = h_{\max}$, $V_{x\uparrow} = 0$, тогда $V_{0x\uparrow} = gt_{\uparrow}$, но $V_{x\downarrow} = gt_{\downarrow}$. Следовательно, $t_{\uparrow} = t_{\downarrow}$ время подъёма равно времени падения.

Время движения тела $t = t_{\uparrow} + t_{\downarrow}$.

Пример:

Если шарик бросили вверх со скоростью 15 м/с, $g \approx 10 \text{ м/с}^2$. Он упадет через 3 с.

$$V_{0x\uparrow} = gt_{\uparrow};$$

$$t_{\uparrow} = \frac{V_{0x\uparrow}}{g} = \frac{15 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 1,5 \text{ с}$$

$$t_{\uparrow} = t_{\downarrow} = 1,5 \text{ с},$$

$$t = 1,5 \text{ с} + 1,5 \text{ с} = 3 \text{ с}$$

Графики:

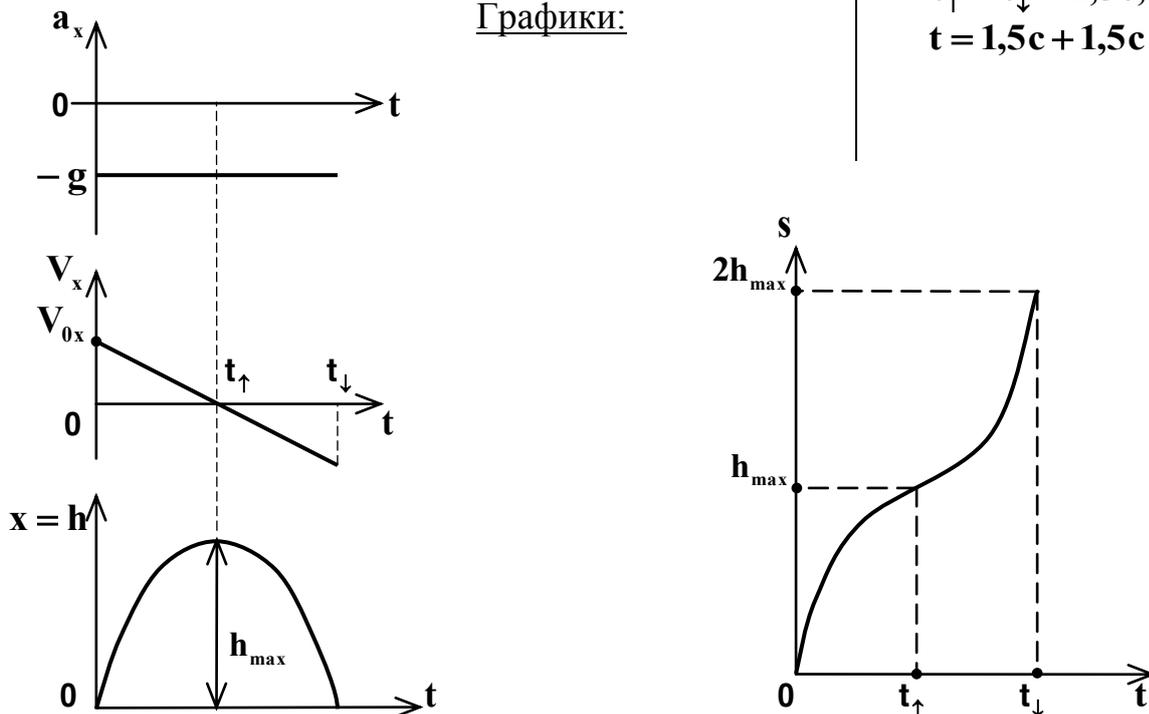
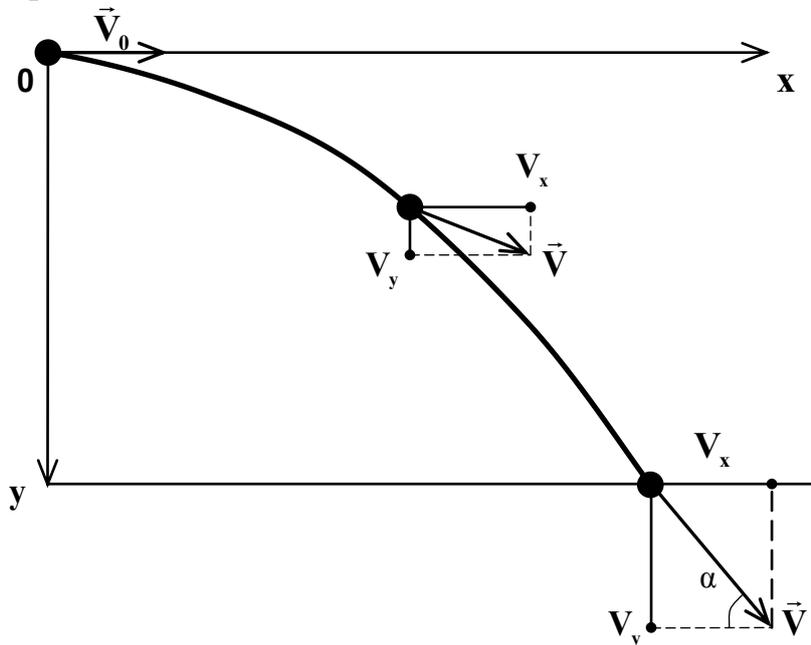


Рис. 30

Если тело бросили горизонтально, сообщив ему начальную скорость \vec{V}_0 , оно движется криволинейно. Здесь \vec{g} и \vec{V}_0 направлены под углом друг к другу. Изменяется модуль и направление скорости.



Ускорение \vec{g} перпендикулярно оси Ox , поэтому $V_x = V_0 = \text{const}$; $a_x = 0$. Это равномерное движение. Начальная скорость \vec{V}_0 перпендикулярна оси Oy , поэтому $V_y = gt$; $a_y = g$. Это свободное падение. Два движения происходят вместе. Найдём координаты тела.

$$x = V_0 \cdot t \Rightarrow t = \frac{x}{V_0}; \quad y = \frac{gt^2}{2};$$

$$y = \frac{gx^2}{2V_0^2} = \frac{g}{2V_0^2} \cdot x^2; \quad \frac{g}{2V_0^2} = k$$

$y = k \cdot x^2$ - это уравнение параболы, значит траектория движения – парабола.

Высоту, с которой бросили тело, расстояние по горизонтали и скорость падения можно найти по формулам:

$$h = \frac{1}{2}gt^2;$$

$$s = V_0 \cdot t;$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad \text{Угол падения } \text{tg} \alpha = \frac{V_y}{V_x}$$

\vec{g} и \vec{V}_0 - это постоянные величины, поэтому мы можем обозначить величину $\frac{g}{2V_0^2}$ как коэффициент k .

Для тела, брошенного под углом к горизонту, применяем тот же метод. Криволинейное движение имеет две части: подъём и падение.

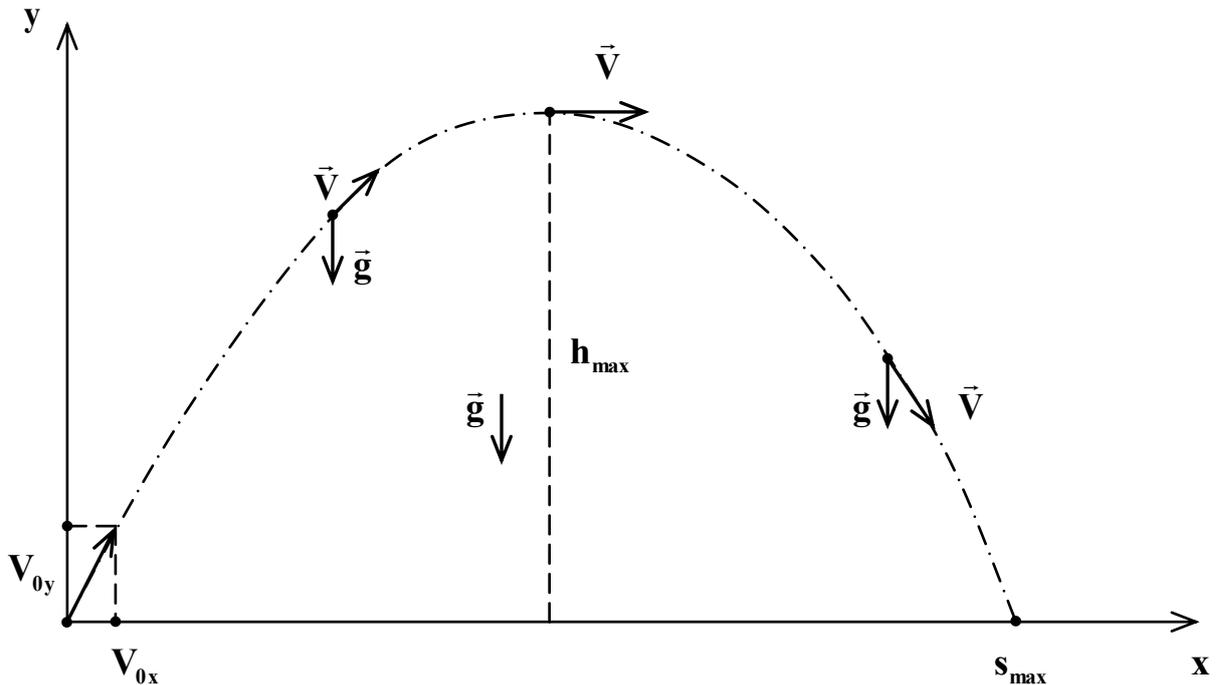


Рис. 32

$$\begin{array}{l|l} V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha & V_x = V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha = \text{const} \\ V_{0y} = V_0 \cdot \sin \alpha & V_y = V_{0y} - gt_{\uparrow} = V_0 \cdot \sin \alpha - gt_{\uparrow} \end{array}$$

Когда $y = h_{\max}$, $V_y = 0$; $0 = V_0 \cdot \sin \alpha - gt_{\uparrow} \Rightarrow t_{\uparrow} = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$

$t = t_{\uparrow} + t_{\downarrow}$, поэтому время движения $t = \frac{2V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$

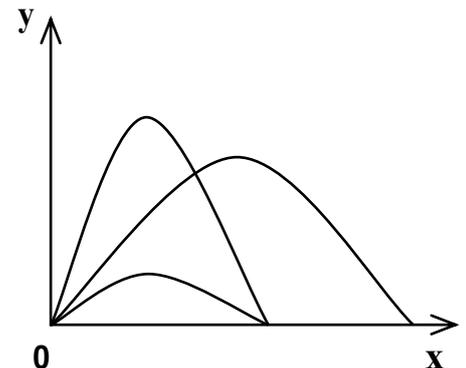
Наибольшая дальность полета тела:

$$s_{\max} = V_0 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2V_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad s_{\max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$

Наибольшая высота полета:

$$h_{\max} = \frac{1}{2}gt_{\downarrow}^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{gV_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g^2} \quad h_{\max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$$

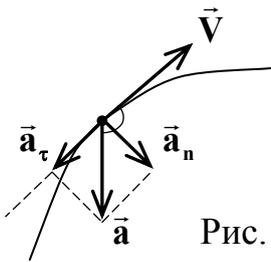
Наибольшая дальность полета при $\alpha = 45^\circ$. При $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$ она одинаковая.



В криволинейном движении ускорение изменяет модуль и направление скорости. Можно разложить вектор ускорения на два составляющих вектора. Один из них \vec{a}_τ - тангенциальное ускорение изменяет модуль скорости; второй \vec{a}_n - нормальное ускорение изменяет направление скорости.

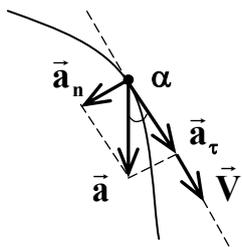
$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

\vec{a} - полное ускорение



$\alpha > 90^\circ$, $\vec{a}_\tau \uparrow \downarrow \vec{V}$, $|\vec{V}|$ -
- это равнозамедленное движение

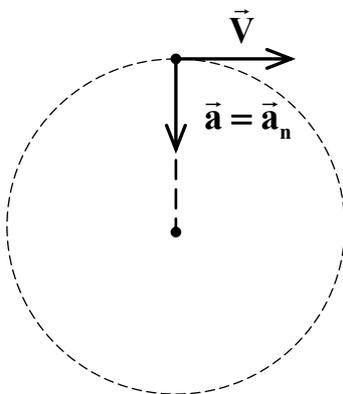
Рис. 33



$\alpha < 90^\circ$, $\vec{a}_\tau \downarrow \downarrow \vec{V}$, $|\vec{V}|$ -
- это равноускоренное движение

Рис. 34

Если $\alpha = 90^\circ$; $\vec{a}_\tau = 0$; $\vec{a} = \vec{a}_n$ и траектория будет окружностью.



Это равномерное движение по окружности.
 $|\vec{V}| = \text{const}$
 \vec{a}_n - нормальное или центростремительное ускорение

Рис. 35

Касательная к траектории и нормаль перпендикулярны. На чертеже мы имеем прямоугольник. Диагональ прямоугольника $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$.

Рассмотрим параметры равномерного движения по окружности.

- R** - радиус
- $\Delta\phi$ - угол поворота радиуса
- T** - период вращения
- n** - частота вращения
- \vec{V} - линейная скорость
- ω - угловая скорость
- \vec{a}_n - центростремительное ускорение

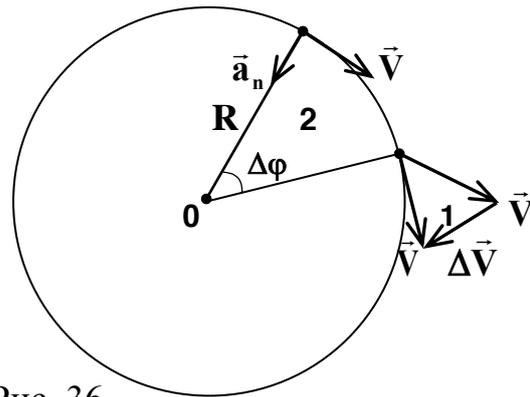


Рис. 36

Период вращения – это время одного полного оборота.

Частота вращения – это число оборотов в единицу времени.

Угловая скорость – это отношение угла поворота радиуса к промежутку времени.

$$\boxed{T = \frac{1}{n}} \quad \boxed{n = \frac{1}{T}} \quad \boxed{\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}}$$

Один полный оборот: $\Delta t = T$; $\Delta\phi = 2\pi$; $\Delta s = 2\pi R$

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}} \quad \boxed{\omega = 2\pi n}$$

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{V = \frac{2\pi R}{T}} \quad \boxed{V = 2\pi R n}$$

$$V = \omega \cdot R \quad \boxed{a_n = \frac{V^2}{R}} \quad \boxed{a_n = \omega^2 R}$$

Единица $n - \frac{\text{об}}{\text{с}}$ (оборот в секунду)

Единица $\omega - \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ (радиан в секунду)

В задачах пишем $\frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$

На рис. 36 $\Delta 1 \sim \Delta 2$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta s}{R}; \quad \Delta V = \frac{V \cdot \Delta s}{R}$$

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V \cdot \Delta s}{\Delta t \cdot R} =$$

$$\frac{V}{R} \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{V}{R} \cdot V$$

$$\boxed{a_n = \frac{V^2}{R}}$$

Таблица основных формул равномерного движения по окружности

Период и частота вращения	Угловая скорость	Линейная скорость	Нормальное (центростремительное) ускорение)
$T = \frac{1}{n}$	$\omega = \frac{2\pi}{T}$	$V = \frac{2\pi R}{T}$	$a_n = \frac{V^2}{R}$
$n = \frac{1}{T}$	$\omega = 2\pi n$	$V = 2\pi R n$	$a_n = \omega^2 R$
	$V = \omega \cdot R$		

2. Динамика

Физическая величина сила.

Сила – это мера взаимодействия физических тел или физических полей.

Свойства силы: 1) модуль,
2) направление,
3) точка приложения.

Результаты действия силы:

- 1) ускорение (изменение скорости),
- 2) деформация (изменение формы),
- 3) ускорение и деформация вместе.

Правило. Точку приложения силы можно переносить по линии действия силы.

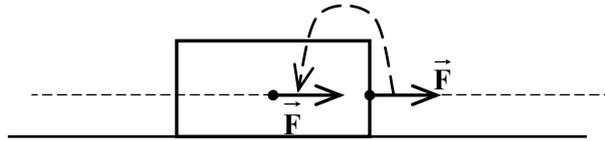


Рис. 37

В механике изучают 3 вида сил.

I. **Силы тяготения** (гравитации).

Закон Всемирного тяготения: две материальные точки притягивают друг друга с силой, прямо пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

$$\begin{array}{c}
 \bullet \xrightarrow{\quad r \quad} \bullet \\
 m_1 \quad \vec{F}_{2,1} \quad \quad \quad \vec{F}_{1,2} \quad m_2
 \end{array}
 \quad
 \left| \vec{F}_{1,2} \right| = \left| \vec{F}_{2,1} \right| = F;
 \quad
 \boxed{F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}}$$

Гравитационная постоянная $G = \frac{1}{15 \cdot 10^9} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$

Сила тяготения Земли – это сила тяжести $m\vec{g}$.

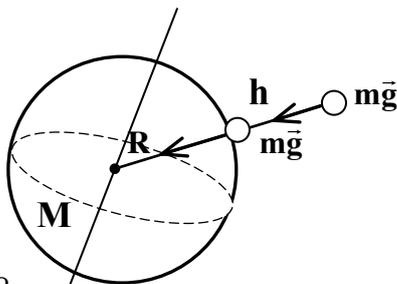


Рис. 38

M – масса Земли

Для тела на поверхности Земли $\boxed{mg = G \frac{m \cdot M}{R^2}}$

Для тела на высоте h над поверхностью

Земли $\boxed{mg' = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2}}$

$mg' < mg$

Сокращая массу m в этих формулах, получаем:

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad g' = G \frac{m \cdot M}{(R+h)^2} \quad g' < g$$

II. Силы упругости.

Силы упругости возникают при деформации. Существуют два вида упругой деформации:

- 1) растяжение,
- 2) сжатие.

Закон Гука: сила упругости прямо пропорциональна деформации.

$F_{\text{упр}} = -kx$ Коэффициент упругости k называется жѐсткостью. Его единица: $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ (ньютон на метр).

III. Силы трения.

Силы трения возникают при контакте тел и имеют направление, противоположное движению (или возможному движению).

При движении твѐрдых тел причиной трения является неровность поверхностей и силы молекулярного взаимодействия.

При движении жидкостей и газов возникает трение между их слоями. Оно называется вязкостью.

- Виды трения:
- 1) трение покоя,
 - 2) трение скольжения,
 - 3) трение качения.

Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления, то есть нормальной реакции опоры.

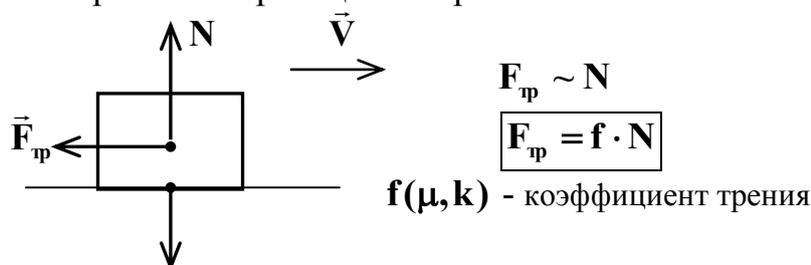


Рис. 39

Коэффициент трения зависит от материала (вещества) поверхностей.

$\vec{F}_{\text{давления}}$

Формула

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

показывает, что ускорение свободного падения не зависит от массы падающего тела.

Деформация – это изменение формы тела.

Упругие предметы: пружина, резина.

Знак «-» в формуле показывает, что сила упругости и деформация противоположны.

Сила нормального давления – это сила, с которой тело давит на плоскость.

Плоскость действует на тело с равной силой \vec{N} .

\vec{N} - нормальная реакция опоры.

Сложить силы – это значит, найти равнодействующую (резльтирующую) силу, если даны составляющие силы.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_i + \dots + \vec{F}_n \quad \text{или} \quad \vec{R} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

\vec{R} - равнодействующая сила, её действие равно действию всех сил вместе.

\vec{F}_1, \vec{F}_2 - составляющие силы.

Для двух сил ($n=2$)

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$|\vec{R}| = R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$$

$$F_1 - F_2 \leq R \leq F_1 + F_2$$

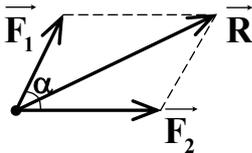


Рис. 40

Материальная точка **находится в равновесии**, если $\vec{R} = \mathbf{0}$, то есть $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \mathbf{0}$.

Это **уравновешенные силы**.

Разложить силу на составляющие – это значит, найти составляющие силы, если дана равнодействующая. Задача разложения силы имеет одно решение, если ещё даны направления составляющих сил или одна составляющая сила.

Момент силы – это произведение силы на её плечо.

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot \ell \quad \vec{F} - \text{модуль силы, } \ell - \text{плечо силы.}$$

Плечо силы – это длина перпендикуляра

между осью вращения и линией действия силы.

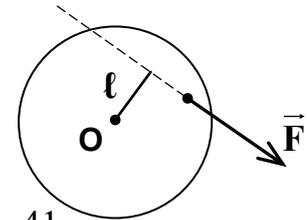


Рис. 41

Условия равновесия твёрдого тела:

1) $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \mathbf{0}$ - геометрическая сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю;

2) $\sum_{i=1}^n M_i = \mathbf{0}$ - алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело,

равна нулю.

Примеры: 1) рычаг

A l_1 O l_2 B

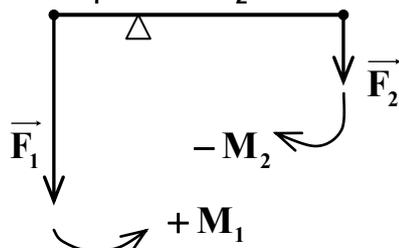


Рис. 42

Силы, приложенные к рычагу, обратно пропорциональны плечам.

O- точка опоры, ось вращения

Равновесие рычага:

$$M_1 - M_2 = \mathbf{0}$$

$$F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2 = \mathbf{0}$$

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

Рычаг – это простой механизм, который используют для различных целей. При помощи рычага можно поднимать тяжёлое тело.

2) ДИСК

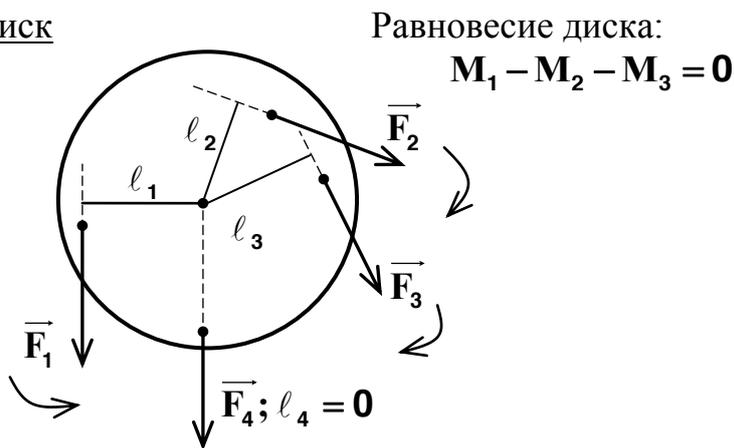


Рис. 43

Плечо силы \vec{F}_4 , которая проходит через ось вращения равно нулю $l_4 = 0$

Первый закон Ньютона (закон инерции)

Существуют системы отсчёта (И.С.О.), в которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела.

Если $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$, то $\left. \begin{array}{l} \vec{V} = 0 \\ \vec{V} = \text{const} \end{array} \right\} \vec{a} = 0$

Явление природы, когда любое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, называется инерцией.

Инертность – это свойство тела сохранять своё состояние.

Масса тела – это мера инертности тела.

Второй закон Ньютона

Ускорение тела прямо пропорционально силе, действующей на тело, и обратно пропорционально массе этого тела.

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

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

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

Уравнение для \vec{F} - это основное уравнение динамики.

И.С.О. – инерциальная система отсчёта.

На практике на тело всегда действуют другие тела.

I-й закон Ньютона выполняется, если сумма их действий равна нулю. То есть сумма сил, действующих на тело, равна нулю.

Этот закон имеет две формулировки.

$$\vec{a} \approx \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m}$$

$k = 1$, так как единицу силы – ньютон мы определяем из этой формулы.

При решении задач мы выбираем систему координат и пишем основное уравнение динамики в проекции на каждую ось.

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = m \cdot a_x$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = m \cdot a_y$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iz} = m \cdot a_z$$

Следствия из основного уравнения динамики.

1) Если $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0}$, то $\vec{a} = \vec{0}$ — $\vec{V} = \vec{0}$
 $\vec{V} = \text{const}$

В этом случае на тело действуют уравновешенные силы, и тело находится в состоянии покоя или движется прямолинейно равномерно.

2) Если $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \text{const}$, то $\vec{a} = \text{const}$.

Под действием постоянной силы или постоянной равнодействующей тело движется равнопеременно (равноускоренно или равнозамедленно).

3) Сила тяжести сообщает телу ускорение свободного падения \vec{g} , поэтому её обозначают буквами $m\vec{g}$.

4) Единицы силы мы определяем из формулы

$$F = m \cdot a. \quad \text{В системе СИ: } 1 \text{ ньютон} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\text{В системе СГС: } 1 \text{ дина} = 1 \frac{\text{г} \cdot \text{см}}{\text{с}^2}$$

Единица силы — производная, так как мы производим её из формулы.

Изменение импульса тела прямо пропорционально силе, действующей на тело.

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot \vec{V})$$

Импульс тела (\vec{P}) — это произведение массы тела на его скорость.

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

Произведение силы на время её действия называют импульсом силы.

Если сила не постоянная, ускорение — переменное. Например, при колебании маятника.

$F \neq \text{const}$
и $a \neq \text{const}$

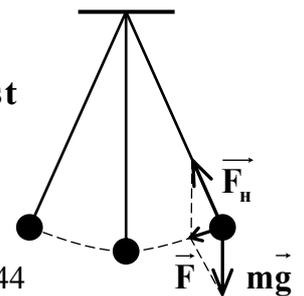


Рис. 44

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Третий закон Ньютона.

Силы, с которыми два тела действуют друг на друга, имеют равные модули и противоположные направления.

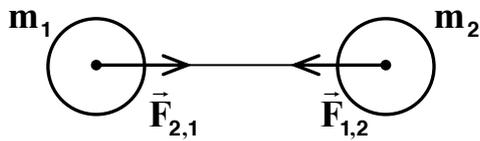


Рис. 45

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1} \quad (\text{или } \vec{F}_1 = -\vec{F}_2)$$

$$|\vec{F}_{1,2}| = |\vec{F}_{2,1}| \quad \vec{F}_{1,2} \downarrow \uparrow \vec{F}_{2,1}$$

Эти силы называют действием и противодействием или реакцией.

$$m_1 \cdot \vec{a}_1 = -m_2 \cdot \vec{a}_2 \Rightarrow \frac{\vec{a}_1}{\vec{a}_2} = -\frac{m_2}{m_1}$$

Ускорения, которые тела получают при взаимодействии, обратно пропорциональны массам и имеют противоположные направления.

Вес тела.

На все тела на Земле действует сила тяжести $m\vec{g}$. Это результат притяжения Земли. Если эту силу мы назовем действием, то реакция приложена к Земле. Это $M \cdot \vec{a}$, где M - масса Земли.

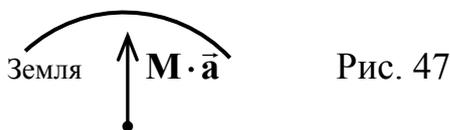
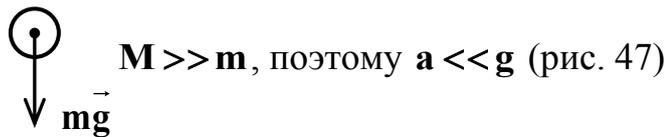


Рис. 47

Если тело лежит на плоскости или висит на нити, оно действует на плоскость и нить. Тело давит на плоскость и растягивает нить (рис. 48).

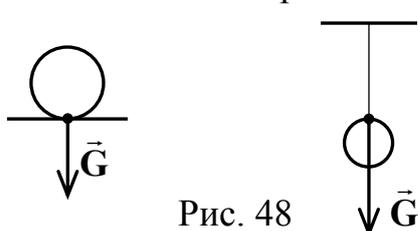


Рис. 48

Эту силу мы называем весом тела.

$\vec{F}_{1,2}$ - сила, с которой первое тело действует на второе.

$\vec{F}_{2,1}$ - сила, с которой второе тело действует на первое.

Пример. Ракета движется под действием силы реакции.

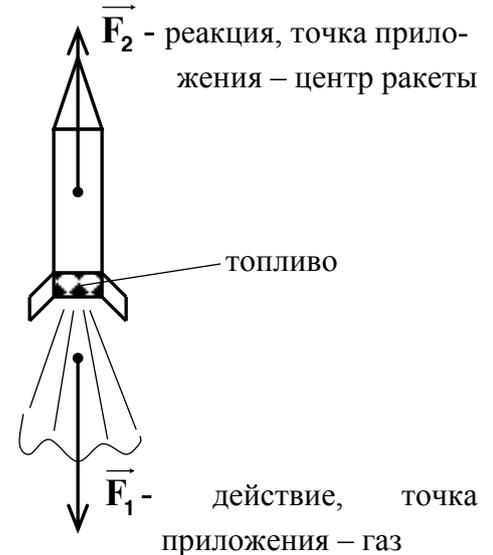


Рис. 46

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Плоскость тоже действует на тело. Это нормальная реакция опоры \vec{N} . на приложена к телу. Результат действия нити на тело - это реакция нити или сила натяжения нити.

Вес (\vec{G}) – это сила, с которой тело действует на горизонтальную опору или на подвес.

Когда тело находится в покое или движется прямолинейно по горизонтальной плоскости, вес равен силе тяжести $\vec{G} = m\vec{g}$. Эти силы имеют разные точки приложения. Вес тела приложен к опоре, а сила тяжести приложена в центре тяжести тела.

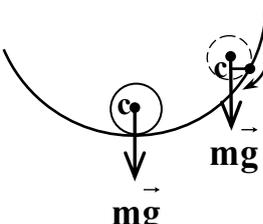
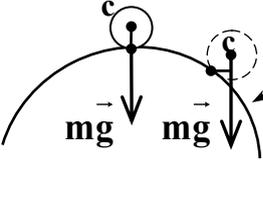
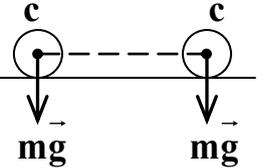
Когда тело движется вверх или вниз с ускорением или движется по окружности, вес может быть больше силы тяжести $\vec{G} > m\vec{g}$. Это состояние перегрузки. Также вес может быть меньше силы тяжести $\vec{G} < m\vec{g}$ или вес равен нулю $\vec{G} = 0$. Это состояние невесомости.

Центр тяжести (С) – это точка приложения силы тяжести. Для определения положения центра тяжести используют 2-е условие равновесия твердого тела, которое называют правилом моментов. Относительно точки С $\sum_{i=1}^n M_i = 0$.

Положение центра тяжести определяет вид равновесия тела.

В таблице показаны 3 вида равновесия шара, у которого имеется точка опоры **О**.

Когда тело находится в равновесии, правило моментов можно написать относительно любой точки, включая С.

Устойчивое равновесие		При отклонении шара от положения равновесия центр тяжести повышается, возникает момент $M = mg \cdot l$, который возвращает тело в положение равновесия.
Неустойчивое равновесие		При отклонении шара от положения равновесия центр тяжести понижается, возникает момент $M = mg \cdot l$, и шар падает
Безразличное равновесие		При отклонении шара высота центра тяжести не изменяется.

Правило моментов используют для сложения и разложения параллельных сил. Система двух равных антипараллельных сил называется **парой сил** (рис. 49). Для пары сил $\vec{R} = 0$, но $M \neq 0$.

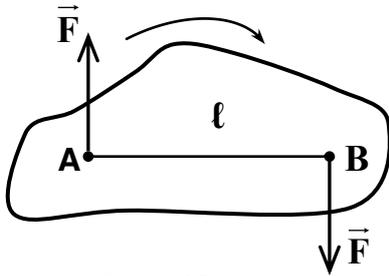


Рис. 49

\vec{R} - равнодействующая пары сил.

$M = F \cdot l$ - момент пары сил.

l - плечо пары сил, расстояние между силами.

В результате действия пары сил тело вращается.

Закон сохранения импульса

В замкнутой системе тел сумма импульсов всех тел остается постоянной, то есть сохраняется.

$$\sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{v}_i = \text{const}$$

Замкнутая или **изолированная** система тел – это система, на которую не действуют внешние силы.

Внешние силы – это силы, с которыми другие тела действуют на систему.

Внутренние силы – это силы взаимодействия тел системы.

В природе нет замкнутых систем, но систему тел можно считать замкнутой, если:

- 1) сумма внешних сил равна нулю;
- 2) внешние силы много меньше внутренних;
- 3) время действия внешних сил очень мало (выстрел, взрыв);
- 4) на систему действуют внешние силы, но их сумма равна нулю в проекции на одну ось, например, ОХ.

Для задач удобно сформулировать закон сохранения импульса так:

сумма импульсов всех тел замкнутой системы до взаимодействия равна сумме импульсов этих тел после взаимодействия.

Для системы тел вторая формулировка второго закона Ньютона

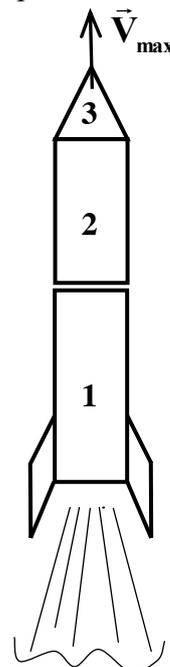
$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot \Delta t = \sum_{i=1}^n \Delta(m_i \cdot \vec{v}_i)$$

Если $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot \Delta t = 0$, то

$$\sum_{i=1}^n \Delta(m_i \cdot \vec{v}_i) = 0, \therefore$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{v}_i = \text{const}$$

Пример. Многоступенчатая ракета.



Первая и вторая ступени имеют топливо, которое сгорает. Тогда ступени 1 и 2 отделяются. Третья ступень имеет массу m_{\min} , поэтому её скорость \vec{v}_{\max} .

Рис. 50

Механическая работа и энергия

Механическая работа (A) равна скалярному произведению векторов силы и перемещения.

$$\boxed{A = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}}$$

$$\boxed{A = F \cdot s \cdot \cos \alpha}$$

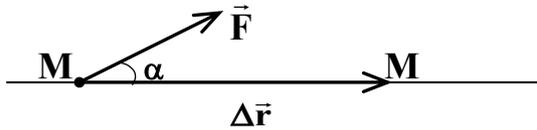


Рис. 51

При движении материальной точки M сила постоянна. $|\Delta \vec{r}| = s$

Частные случаи:

1) $\alpha = 0^\circ$; $\cos \alpha = 1$; $A = F \cdot s$; $A > 0$ - это работа движущей силы.

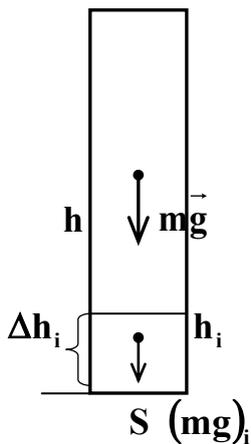
2) $\alpha = 180^\circ$; $\cos \alpha = -1$; $A = -F \cdot s$; $A < 0$ - это работа силы сопротивления.

3) $\alpha = 90^\circ$; $\cos \alpha = 0$; $A = 0$ - это работа перпендикулярной силы.

Если сила не постоянна, полная работа равна сумме элементарных работ.

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i; \quad \Delta A_i = F_i \cdot \Delta s_i \cdot \cos \alpha_i$$

Например, при постройке колонны высотой h и площадью поперечного сечения S ,



$$\Delta A_i = (mg)_i \cdot \Delta h_i = (\rho S g)_i \cdot \Delta h_i$$

$$A = \sum_{i=1}^n \rho \cdot S \cdot h_i \cdot g \cdot \Delta h_i =$$

$$= \int_0^h \rho \cdot S \cdot g \cdot h_i \cdot dh = \rho \cdot S \cdot g \int_0^h h \cdot dh =$$

$$= \rho \cdot S \cdot g \cdot \frac{h^2}{2} = \frac{mgh}{2}$$

$$\boxed{A = \frac{mgh}{2}}$$

Рис. 55

Скалярное произведение – это произведение модулей векторов на косинус угла между ними.

Например, тело падает

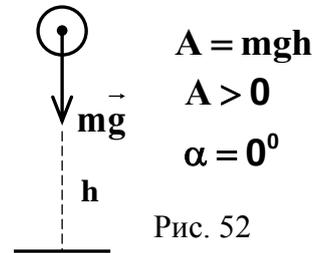


Рис. 52

Когда тело поднимают вверх, работа силы тяжести (как силы сопротивления) отрицательна.

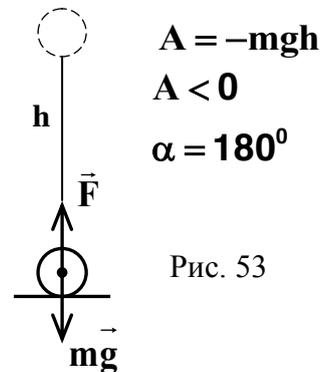


Рис. 53

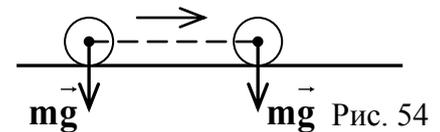


Рис. 54

Тело катится по горизонтальной плоскости. Сила тяжести работы не совершает. Мы видим, что на замкнутом контуре работа равна нулю.



Работу изображают графически.

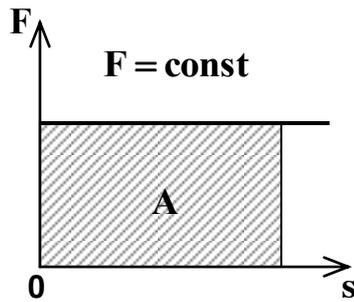


Рис. 56

Работа численно равна площади прямоугольника

$$A = \text{Пл. } \square - ka$$

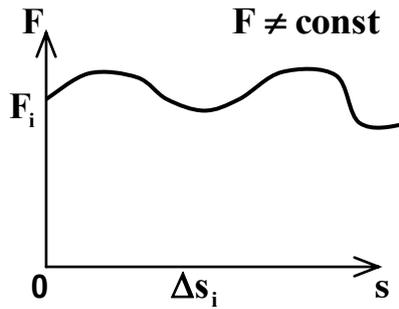


Рис. 57

$$\Delta A_i = F_i \cdot \Delta s_i$$

$$A = \sum_{i=1}^n F_i \cdot \Delta s_i - \text{полная работа, она равна}$$

площади фигуры под графиком

$$A = \int_0^s F \cdot ds$$

Пример непостоянной силы, сила упругости $F_{\text{упр}}$.

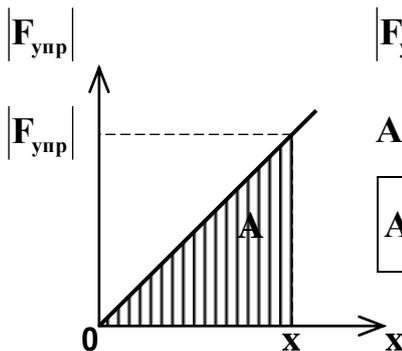


Рис. 58

$$|F_{\text{упр}}| = kx \text{ (по закону Гука).}$$

$$A = \frac{|F_{\text{упр}}| \cdot x}{2} = \frac{0 + kx}{2} \cdot x$$

$$A = \frac{1}{2} kx^2$$

Разделим путь на части, где силу можно считать постоянной. Это элементы

$$\Delta s_1, \Delta s_2, \dots, \Delta s_i, \dots$$

ΔA_i - элементарная работа.

k - жесткость пружины

x - деформация или смещение

При растяжении пружины сила упругости является силой сопротивления, её работа отрицательна. Сила упругости сжатой пружины совершает положительную работу (рис. 59).

$$A < 0$$

$$A > 0$$



$$A = 0$$

Рис. 59

Работа силы упругости по замкнутому контуру равна нулю так же, как и работа силы тяжести. Силы с таким свойством называются консервативными, а их поле – потенциальным. Работа в потенциальном поле не зависит от формы и длины траектории. Она зависит от положения конечной точки относительно начальной.

Единицы работы.

Система СИ: $1 \text{ Дж (джоуль)} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}$

Система СГС: $1 \text{ эрг} = 1 \text{ дина} \cdot \text{см} = 1 \frac{\text{г} \cdot \text{см}^2}{\text{с}^2}$

Мощность (P) – это отношение работы ко времени, за которое эта работа была совершена.

$$P = \frac{A}{t}$$

$$P = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t}$$

$$P = F \cdot V_{\text{cp}} \cdot \cos \alpha$$

V_{cp} - средняя скорость

Чем меньше времени требуется машине (механизму) для совершения работы, тем бóльшую мощность она развивает.

Единицы мощности:

Система СИ: $1 \text{ Вт (ватт)} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$

Система СГС: $1 \frac{\text{эрг}}{\text{с}}$

Механическая энергия – это функция скорости (E_k) и координат (E_n).

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \text{ - кинетическая энергия}$$

$$E_n = mgh \text{ и } E_n = \frac{1}{2} k x^2 \text{ - потенциальная энергия.}$$

Единицы энергии такие же, как и работы, 1 Дж и 1 Эрг.

Полная механическая энергия – это сумма кинетической и потенциальной энергии системы тел.

$$E = E_k + E_n$$

Кинетическая энергия может превращаться в потенциальную, а потенциальная в кинетическую.

$$1 \text{ Дж} = 10^7 \text{ эрг}$$

$$1 \text{ кДж} = 10^3 \text{ Дж}$$

Когда тело может совершить работу, оно обладает энергией. Работа – это мера изменения энергии.

$$A = \Delta E$$

При движении тела без трения $F = ma$, F - приложенная сила.

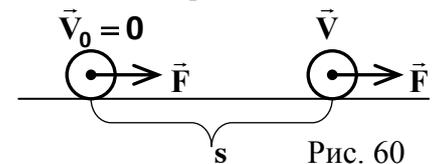


Рис. 60

$$A = F \cdot s = m \cdot a \cdot s = m \frac{v^2}{2s}$$

$$v^2 = 2as$$

$$A = \frac{1}{2} m v^2$$

При этом в замкнутой системе тел, где не действуют силы сопротивления, полная механическая энергия остается постоянной. Это **закон сохранения механической энергии.**

$$E = \text{const}$$

$$E_1 = E_2$$

$$E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}$$

Пример. Велосипедист описывает окружность радиусом R .

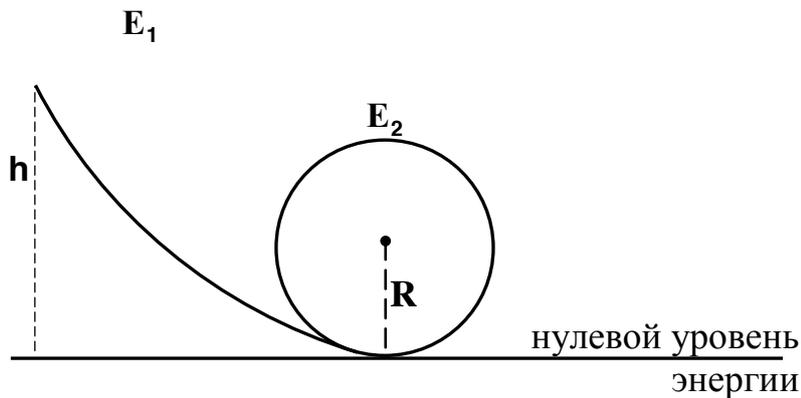


Рис. 61

Напишем закон сохранения энергии.

$$E_1 = E_2 \quad E_{п1} = E_{к} + E_{п2} \quad mgh = mg \cdot 2R + \frac{1}{2} mV^2$$

Механические колебания и волны.

Механические колебания – это периодическое движение, при котором тело смещается то в одну, то в другую сторону от некоторого среднего положения.

Гармонические колебания – это колебания, которые происходят под действием силы упругости (или квазиупругой силы) по закону косинуса.

Квазиупругая сила – это сила, приблизительно упругая.

Параметры гармонического колебания

1. Смещение x - м, см
2. Амплитуда A - м, см
3. Период T - с
4. Частота $\nu; f$ - Гц = c^{-1}
5. Круговая или циклическая частота ω_0 - Гц = c^{-1}
6. Фаза φ - рад.

Свободные колебания – это колебания под действием внутренних сил, когда колеблющееся тело получает энергию один раз в начале.

Основное уравнение динамики для колебательного движения : $\ddot{x} + \omega_0^2 \cdot x = 0$.

Пружинный маятник

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$
$$\ddot{x} + \frac{k}{m} \cdot x = 0$$
$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Математический маятник

$$\omega_0^2 = \frac{g}{l}$$
$$\ddot{x} + \frac{g}{l} \cdot x = 0$$
$$\omega_0^2 = \frac{g}{l} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Решение основного уравнения динамики:

$$x = A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0); \quad \varphi_0 - \text{начальная фаза.}$$

$$x = A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right)$$

$$x = A \cdot \cos(2\pi \nu t + \varphi_0)$$

Гц – герц
рад – радиан

$$\ddot{x} = \frac{d^2 x}{dt^2} = a$$
$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = V$$

Круговая частота ω аналогична угловой скорости.

Поэтому $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ и $\omega = 2\pi \nu$

График гармонических колебаний

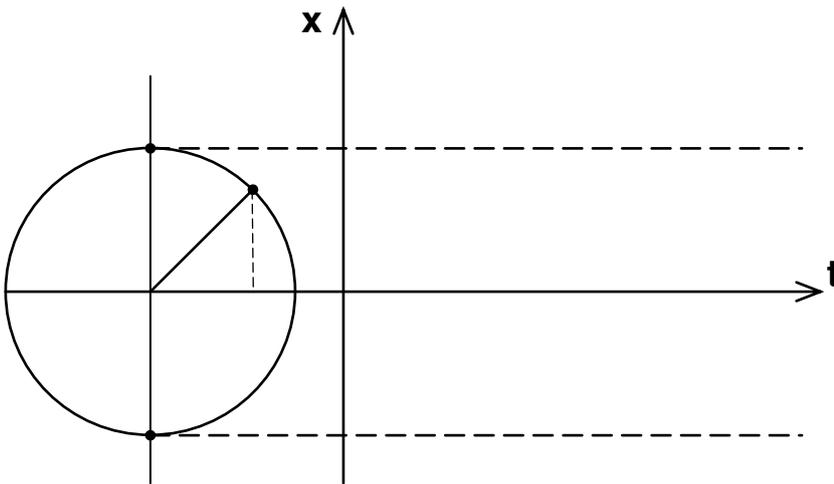


Рис. 62

$$x = A \cdot \cos \varphi; \quad \varphi_0 = 0$$

$$\omega_0 = \frac{\varphi}{t} \Rightarrow \varphi = \omega_0 t$$

$$x = A \cdot \cos \omega_0 t$$

$$x = A \cdot \cos \frac{2\pi}{T} t$$

$$x = A \cdot \cos 2\pi \nu \cdot t$$

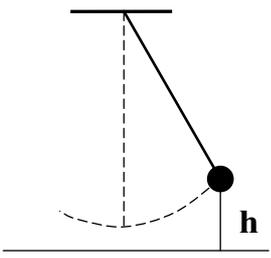
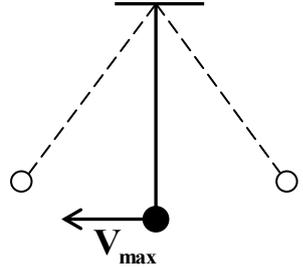
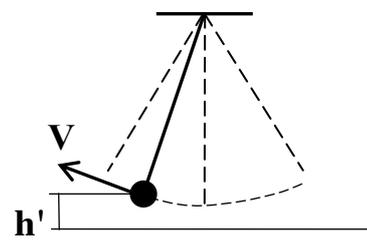
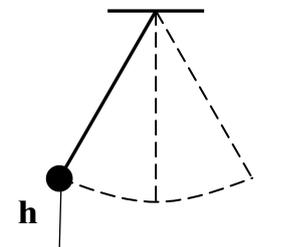
Законы Галилея (из опыта)

1. Период колебаний математического маятника не зависит от массы маятника.
2. Период колебаний математического маятника не зависит от амплитуды при небольших углах отклонения ($\alpha < 4^\circ$).
3. Период колебаний математического маятника зависит от длины маятника и ускорения свободного

падения и определяется по формуле:
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Превращение энергии при колебательном движении показано в таблице.

При равномерном движении точки по окружности её проекция на горизонтальную ось колеблется.

Положения маятника	Пружинный маятник	Математический маятник
1	$E_1 = E_n = \frac{1}{2}kA^2$	 $E_1 = E_n = mgh$
2	 $E_2 = E_k = \frac{1}{2}mV_{\max}^2$	 $E_2 = E_k = \frac{1}{2}mV_{\max}^2$
3	 $E_3 = E'_k + E'_n = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}kx^2$	 $E_3 = E'_k + E'_n = \frac{1}{2}mV^2 + mgh'$
4	$E_4 = E_n = \frac{1}{2}kA^2$	 $E_4 = E_n = mgh$

При движении маятника из положения 1 в положение 2 потенциальная энергия превращается в кинетическую.

При движении маятника из положения 2 в положение 4 кинетическая энергия превращается в потенциальную.

В положении 3 маятник обладает кинетической и потенциальной энергией. Их сумма E_3 .

По закону сохранения энергии $E_1 = E_2 = E_3 = E_4$. То есть полная механическая энергия сохраняется. Это происходит в том случае, когда не действует силы сопротивления. Амплитуда колебаний не изменяется.

Это незатухающие колебания.

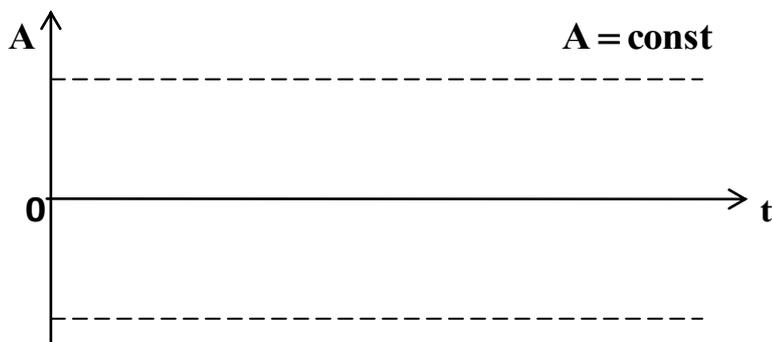


Рис. 63

Если силы сопротивления действуют, полная механическая энергия уменьшается, и амплитуда тоже уменьшается. Это затухающие колебания.

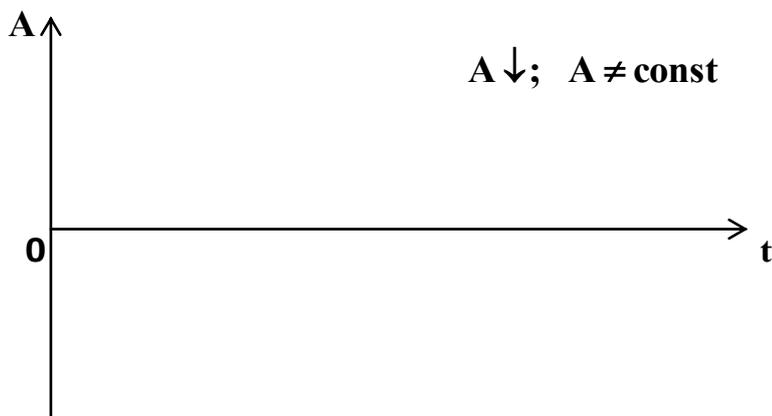


Рис. 64

Сила сопротивления прямо пропорциональна скорости маятника.

$F_c = r \cdot V$, где r - коэффициент пропорциональности.

Уравнение колебаний: $\ddot{x} + \omega_0^2 \cdot x + r \cdot V = 0$

Вынужденные колебания – это незатухающие колебания, которые происходят под действием внешней периодической силы.

$$F = F_0 \cdot \cos \Omega \cdot t ; \quad \Omega - \text{частота этой силы.}$$

$$\text{Уравнение колебаний: } \ddot{x} + \omega_0^2 \cdot x + r \cdot \dot{V} = F_0 \cdot \cos \Omega \cdot t$$

Резонанс – это явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при совпадении собственной частоты колебаний с частотой внешней силы.

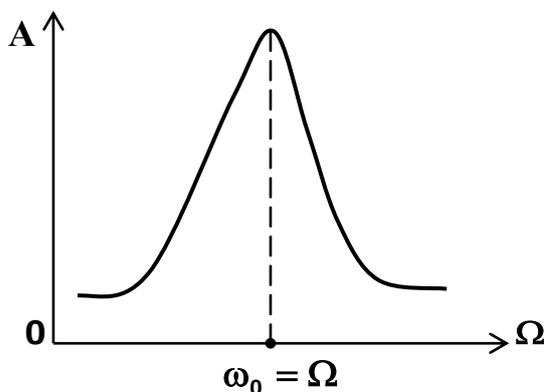


Рис. 65

Волновое движение или волны – это процесс распространения колебаний в какой-нибудь среде. В упругой среде возникает 2 вида упругих волн:

- 1) поперечные волны,
- 2) продольные волны.

Поперечные волны – это волны, в которых частицы среды колеблются перпендикулярно к направлению распространения волны.

Продольные волны – это волны, в которых частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны.

График этих двух видов волн, как и гармонических колебаний – косинусоида. Но колебание – это процесс, периодический во времени, а волны – это процесс периодический во времени и в пространстве.

Скорость волны – это скорость распространения колебаний. За период волна распространяется на расстояние – длина волны.

Средой является воздух, вода, земля, металлы (трубы, провода).

Это волны на поверхности воды, на упругой верёвке, они возникают в земле при землетрясении.

Это звуковые волны, волны на пружине, они также возникают при землетрясении.

Длина волны (λ) – это расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковых фазах.

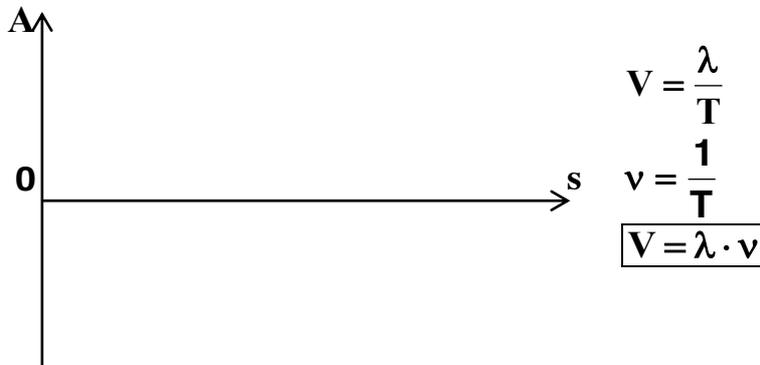


Рис. 66

Звуковые волны – это продольные волны с интервалом частоты от 20 до 20000 Гц. Характеристики звука являются громкость, высота и тембр (сумма гармонических составляющих *).

Гидростатика изучает равновесие жидкости.

Она использует физические величины: плотность (ρ) и давление (p).

Плотностью вещества называется отношение массы вещества к его объёму.

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

Единицы плотности: $1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Давлением называется отношение силы нормального давления к площади, на которую эта сила действует.

$$p = \frac{F}{S} \quad F = mg, \quad p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S}; \quad p = \rho gh$$

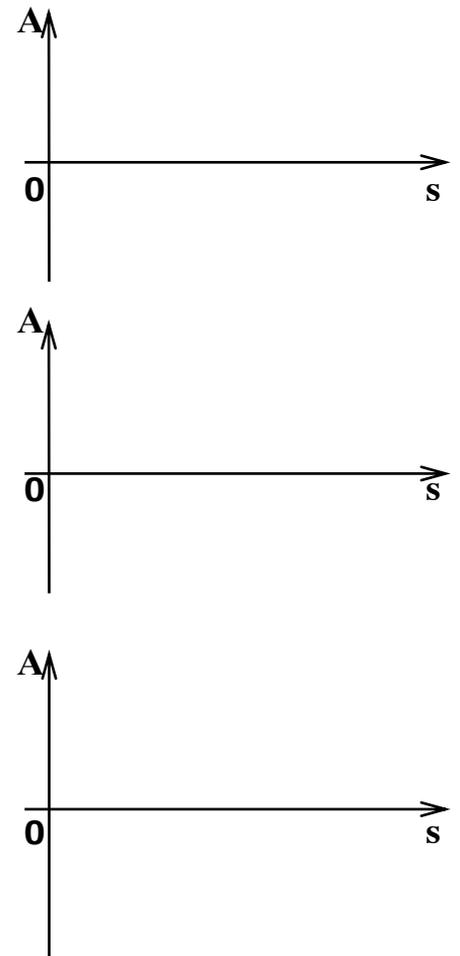


Рис. 67

$$1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{1000\text{г}}{100^3\text{см}^3} = 10^{-3} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

По этим формулам можно найти давление твёрдого тела и жидкости.

Закон Паскаля.

Давление, производимое на жидкость (или газ), передаётся по всем направлениям одинаково.

Торричелли на опыте определил атмосферное давление $p_{\text{атм}}$. Он получил $p_{\text{атм}} = 760$ мм рт. ст.

Единицы давления:

1. Система СИ: $1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$
(паскаль) (ньютон на квадратный метр)

$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$
(гектопаскаль)

$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}$
(килопаскаль)

2. 1 мм рт. ст.

3. Физическая атмосфера $1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} =$
 $= 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}.$

4. Техническая атмосфера $1 \text{ атм} \approx 10^5 \text{ Па}$

5. Система СГС: $1 \frac{\text{дина}}{\text{см}^2}$

$1 \text{ бар} = 10^6 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$

$1 \text{ мбар} = 10^{-3} \text{ бар}$
(миллибар)

$1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар}$, поэтому легко переходить от системы СИ к системе СГС.

Нормальное атмосферное давление – это $760 \text{ мм рт. ст.} = 1013 \text{ гПа} = 1013 \text{ мбар}$.

Закон Архимеда.

На тело, погружённое в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости (или газа).

Условием плавания тела является равенство силы тяжести и выталкивающей силы. Её можно называть силой Архимеда F_A .

Если $F_A = mg$, тело плавает.

Если $F_A > mg$, тело всплывает.

Если $F_A < mg$, тело тонет.

мм рт. ст. – миллиметр ртутного столба.

Физическую величину «давление» используют многие науки: химия, биология, метеорология, вакуумная техника и др., поэтому существует много единиц давления.

Два или несколько сосудов, соединённых между собой, называются сообщающимися. Например, водопровод – это система сообщающихся сосудов.

В сообщающихся сосудах однородная жидкость устанавливается на одном уровне.

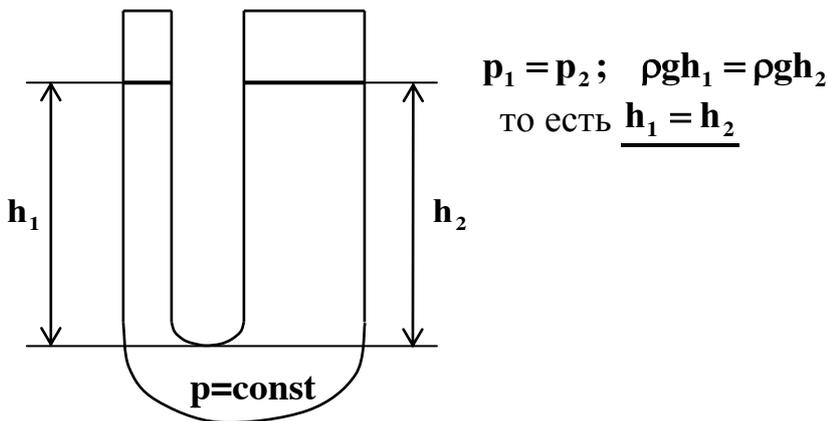


Рис. 68

Если в сосуды наливают разную жидкость, то высота столба жидкости обратно пропорциональна её плотности.

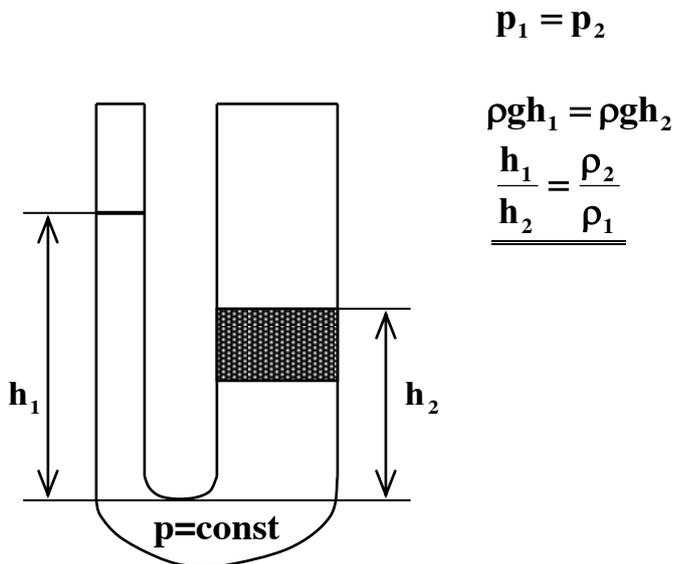


Рис. 69

По закону Паскаля давление в сообщающихся сосудах должно быть одинаковым $p = \text{const}$.

С помощью сообщающихся сосудов определяют плотность жидкости.

Гидродинамика изучает движение жидкости.

Давление $p = \rho gh$ называется статическим.

Потенциальная энергия некоторой массы жидкости равна $E_n = mgh$. Разделим её на объём V . Мы

получим: $\frac{E_n}{V} = \frac{m}{V} \cdot gh = \rho gh$. Таким образом, статическое давление равно потенциальной энергии единицы объёма жидкости.

Давление $p = \frac{\rho v^2}{2}$ называется динамическим.

Кинетическая энергия некоторой массы жидкости равна $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. Разделим её на объём V . Мы

получим $\frac{E_k}{V} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{V} \cdot v^2 = \frac{1}{2}\rho v^2$. Таким образом, динамическое давление равно кинетической энергии единицы объёма жидкости.

Стационарное течение жидкости – это течение с постоянной скоростью $\vec{v} = \text{const}$.

Идеальная жидкость – это жидкость при движении которой можно пренебречь силой трения между слоями жидкости.

Уравнение неразрывности потока или струи

Скорости течения в стационарном потоке обратно пропорциональны площадям его поперечного сечения.

Труба с разной площадью поперечного сечения.

$$S_1 > S_2$$

$$v_1 < v_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$$

Рис. 72

Это может быть давление воды в озере на глубине h .

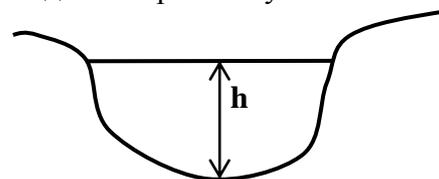


Рис. 70

Это давление воды в реке. Вода течет со скоростью \vec{v} .

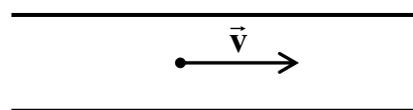


Рис. 71

В гидродинамике при решении многих задач используют понятие идеальной жидкости. Опыт показывает, что жидкость течёт слоями параллельными направлению течения.

кран

- это струя



- это поток

$$m_1 = m_2$$

$$\rho V_1 = \rho V_2; \quad V = \ell \cdot S$$

за 1 с $V = v \cdot S$

$$\rho v_1 S_1 = \rho v_2 S_2$$

$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

Уравнение Бернулли.

Применим к трубе с разной площадью поперечного сечения закон сохранения энергии.

$$E_1 = E_2 \quad E_1 = E_{п1} + E_{к1} \quad E_2 = E_{п2} + E_{к2} .$$

Разделив на V , мы получим

$$P_{стат1} + P_{дин1} = P_{стат2} + P_{дин2}$$

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad \text{или}$$

$$\boxed{p + \frac{\rho v^2}{2} = const}$$

При стационарном течении идеальной жидкости сумма статического и динамического давлений постоянна.

В этом уравнении может быть также внешнее давление. Это давление, создаваемое насосом или атмосферное давление. Тогда уравнение Бернулли примет вид:

$$\boxed{p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const}$$

p - внешнее давление

В реальной жидкости (в отличие от идеальной) есть внутреннее трение. Оно возникает при движении слоев жидкости и называется **вязкостью**.

Реальная жидкость – это вязкая жидкость.

Закон Стокса.

На твёрдое тело, например, шарик, движущийся в жидкости, действует сила сопротивления. Она прямо пропорциональна радиусу шарика и его скорости.

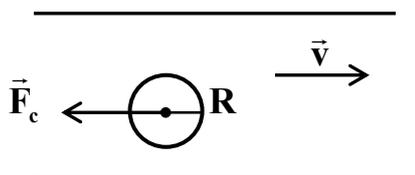


Рис. 74

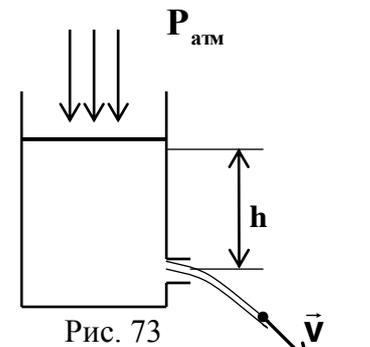
$$\boxed{F_c = 6\pi\eta Rv}$$

η - вязкость жидкости

По закону сохранения энергии полная механическая энергия остается постоянной. Поэтому

$$E_1 = E_2$$

Торричелли нашёл скорость вытекания жидкости из открытого сосуда, используя уравнение Бернулли.



$$p_{атм} + \rho gh = p_{атм} + \frac{\rho v^2}{2}$$

$$\rho gh = \frac{\rho v^2}{2} \Rightarrow v^2 = 2gh$$

Формула скорости струи идеальной жидкости, которая вытекает из сосуда - это формула скорости свободного падения.

$6\pi\eta$ - коэффициент пропорциональности. Стокс делал опыты и, применив математический расчет, доказал формулу

$$F_c \sim Rv$$

$$F_c = 6\pi\eta Rv$$

Единицы вязкости:

$$1) \text{ система СИ: } 1 \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{М}}{\text{с}^2 \cdot \text{М} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{М} \cdot \text{с}};$$

$$2) \text{ система СГС: } 1 \frac{\text{дина}}{\text{см} \cdot \frac{\text{см}}{\text{с}}} = 1 \frac{\text{Г} \cdot \text{см}}{\text{с}^2 \cdot \text{см} \cdot \frac{\text{см}}{\text{с}}} = 1 \frac{\text{Г}}{\text{см} \cdot \text{с}} = 1 \text{ пуаз}$$

Главной единицей вязкости, которая используется на практике является пуаз.

Пуаз – это единица вязкости жидкости, которая оказывает сопротивление в 1 дину перемещению двух слоев жидкости площадью в 1 см² на расстоянии 1 см друг от друга с относительной скоростью 1 см/с. Пуаз происходит от имени ученого Пуазейля, который опытным путем открыл закон, по которому можно определить объём жидкости, протекающей по трубе длиной ℓ и радиусом R .

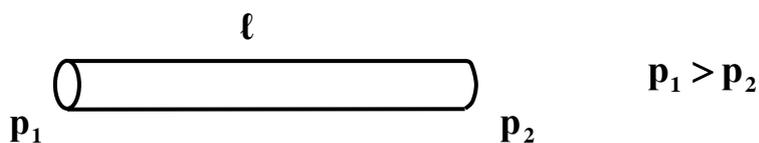


Рис. 75

$$V = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi R^4}{8\ell} \cdot (p_1 - p_2)$$

$\frac{1}{\eta}$ - это величина, обратная вязкости – текучесть.

Вязкость зависит от температуры. При +20°C вязкости:

эфира - 0,0024 пуаз

воды - 0,01004 пуаз

крови - 0,045 пуаз

глицерина - 14,80 пуаз

Эфир можно считать идеальной жидкостью. Остальные - это реальные жидкости.

Часть II. ТЕПЛОТА

Молекулярная физика

Основные положения молекулярно-кинетической теории:

- 1) все тела состоят из огромного числа молекул;
- 2) молекулы находятся в состоянии непрерывного хаотического движения;
- 3) между молекулами действуют силы притяжения и отталкивания.

Диффузия - это явление проникновения молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого вещества.

Броуновское движение - это движение микроскопических частиц эмульсии в результате ударов молекул воды.

График зависимости сил взаимодействия молекул от расстояния между молекулами.

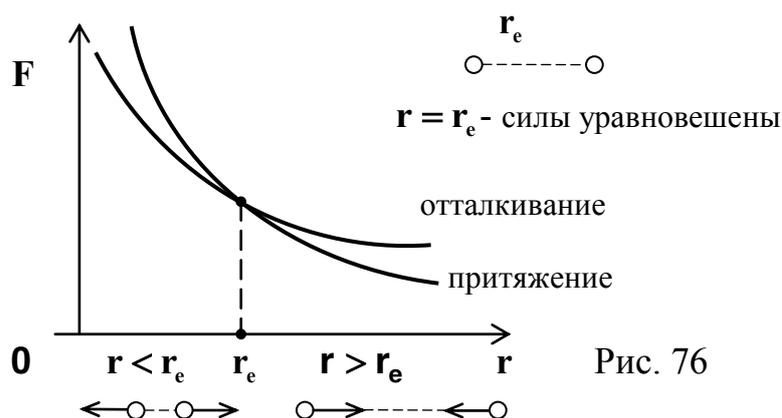
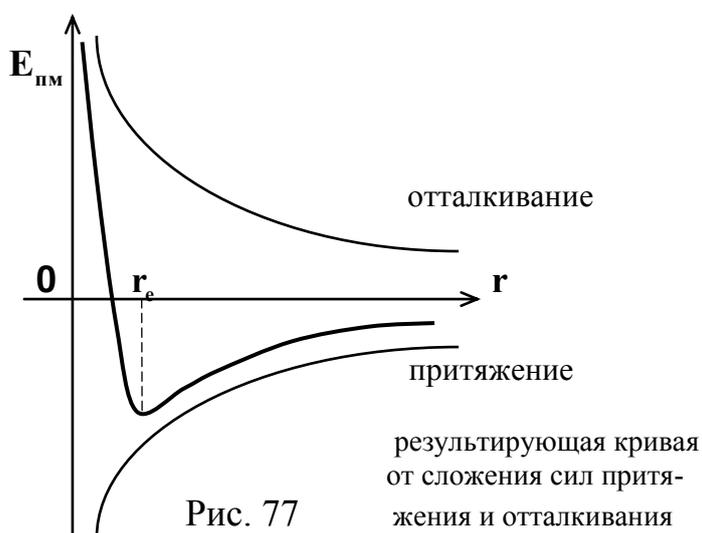


График зависимости потенциальной энергии взаимодействия молекул от расстояния между молекулами.



Молекулярная физика изучает физические свойства тел на основе их микроскопического строения. Три положения являются обобщением опытов, наблюдений и теоретических работ. Их доказывают явления: растворение, испарение, диффузия, броуновское движение и др.

Силы притяжения и отталкивания имеют противоположное направление, поэтому на графике сила притяжения берётся со знаком «минус».

Рассматривая взаимодействие двух молекул: одна находится в начале координат, другая движется к ней из бесконечности. Сначала на неё действует сила притяжения. К точке r_e возрастает сила отталкивания, но молекула продолжает двигаться по инерции. Сила отталкивания растёт ещё больше и движет молекулу обратно по оси Or . Но тогда растёт сила притяжения, и молекула снова движется к началу координат. Таким образом, молекула колеблется.

Когда силы притяжения и отталкивания уравновешены, потенциальная энергия имеет минимальное значение, и система молекул находится в состоянии устойчивого равновесия. График показывает, что молекулы находятся в состоянии колебательного движения. По графику находят эффективный диаметр молекулы. Он порядка 10^{-8} см.

Количество вещества (ν) - это число молекул, из которых состоит вещество. Его единица - моль.

Молярная масса (M) - это масса одного моля вещества. В одном моле вещества содержится

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль молекул. N_A - постоянная Авогадро. Масса молекулы $m = \frac{M}{N_A}$ (порядка 10^{-27} кг).

Объём, занимаемый одним молем вещества, называют **молярным объёмом** V_M .

Каждое вещество может находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях. Твердые вещества могут быть двух видов: кристаллические и аморфные. В твердом теле молекулы и атомы совершают колебательные движения около положения равновесия. В жидкостях молекулы совершают колебания, а также перемещаются. Они более свободны, чем молекулы твердых тел. В газах молекулы свободны и между столкновениями движутся прямолинейно.

Молекулы любого вещества обладают потенциальной энергией взаимодействия ($E_{\text{пм}}$) и кинетической энергией теплового движения ($E_{\text{км}}$).

Внутренняя энергия (U) - это сумма потенциальной, кинетической и внутримолекулярной энергии.

$$U = E_{\text{пм}} + E_{\text{км}} + E_{\text{вм}}$$

Температура является мерой средней кинетической энергии теплового движения молекул.

Два способа изменения внутренней энергии:

1-й способ: совершение работы (удар, трение);

2-й способ: теплопередача, или теплообмен.

Моль - это количество однородного вещества, которое содержит столько же молекул, сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода.

Например, масса молекулы кислорода равна

$$m = \frac{32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{МОЛЬ}}}{6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{МОЛЬ}}} \approx 53,1 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Внутримолекулярная энергия не изменяется в тепловых процессах. Поэтому мы будем считать, что: $U = E_{\text{пм}} + E_{\text{км}}$. Соотношение между потенциальной и кинетической энергией определяет агрегатное состояние вещества.

$|E_{\text{пм}}| \gg E_{\text{км}}$ - твердое вещество

$|E_{\text{пм}}| \approx E_{\text{км}}$ - жидкость

$E_{\text{км}} \gg |E_{\text{пм}}|$ - газ

Изменение внутренней энергии в процессе теплопередачи характеризует физическая величина, которая называется количеством теплоты.

Количество теплоты (Q) - это мера изменения внутренней энергии в процессе теплопередачи.

$$Q = \Delta U$$

$$Q = U_2 - U_1$$

Единица количества теплоты - джоуль.

Все тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Для твёрдых тел используют формулы линейного и объёмного расширения:

$$l_t = l_0(1 + \beta \cdot t^0) \quad V_t = V_0(1 + \alpha \cdot t^0) \quad \alpha \approx 3\beta$$

Для жидкостей и газов используют формулы объёмного расширения и изменения плотности:

$$V_t = V_0(1 + \alpha \cdot t^0) \quad \rho_t = \left(\frac{\rho_0}{1 + \alpha \cdot t^0} \right)$$

Идеальный газ - это такой газ, у которого:

- 1) расстояние между молекулами много больше размера молекул, то есть можно пренебречь объёмом молекул по сравнению с объёмом сосуда;
 - 2) молекулы не притягиваются и не отталкиваются, они взаимодействуют только при столкновениях.
- Параметры, характеризующие состояние идеального газа:

давление **P**,
 объём **V**,
 температура **T (t⁰C)**,
 масса **m**.

Для постоянной массы газа и изменения трёх других параметров существует три газовых закона (см. стр.49).

Если газ нагревать при постоянном давлении, коэффициент объёмного расширения для всех газов одинаков и равен $\frac{1}{273}$ град⁻¹. Это α_p . При нагревании газа при постоянном объёме

$$\alpha_v = \alpha_p = \frac{1}{273} \text{ град}^{-1}.$$

U_1 - начальное значение внутренней энергии.

U_2 - конечное значение внутренней энергии.

Вначале изучения тепловых явлений единицей количества теплоты была калория. Джеймс Джоуль на опыте нашёл, что

$$1 \text{ калория} = 4,186 \text{ Дж} \approx 4,2 \text{ Дж}.$$

l_0 - длина тела при 0°C

l_t - длина тела при t°C

β - температурный коэффициент линейного расширения

V_0 - объём тела при 0°C

V_t - объём тела при t°C

α - температурный коэффициент объёмного расширения

ρ_0 - плотность при 0°C

ρ_t - плотность при t°C

Значит, можно сказать, что молекулы - материальные точки.

Значит, силами взаимодействия молекул можно пренебречь.

$$V_t = V_0(1 + \alpha_p \cdot t^0)$$

$$p_t = p_0(1 + \alpha_v \cdot t^0)$$

График зависимости объёма или давления от температуры - линейная функция (рис. 78).

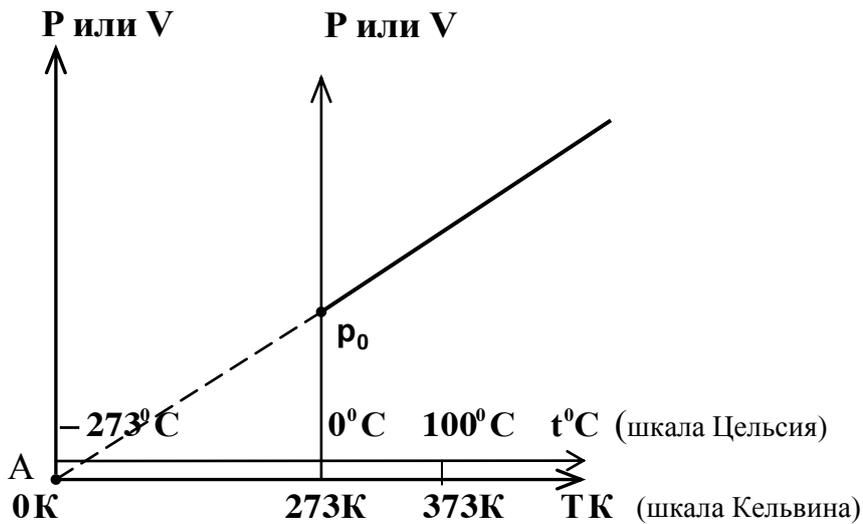


Рис. 78

-273°C или 0K - это абсолютный нуль. В точке **A** $p = 0$ и $V = 0$, что невозможно. Абсолютный нуль недостижим.

В шкале Кельвина (абсолютной термодинамической шкале) температура в кельвинах

$$\boxed{T = t^{\circ}\text{C} + 273}$$

Изопроцесс - это процесс, при котором один из трёх параметров состояния идеального газа не изменяется.

$T = \text{const}$ - изотермический процесс

$p = \text{const}$ - изобарический процесс

$V = \text{const}$ - изохорический процесс.

В точке **A** $p_t = 0$

$$0 = p_0(1 + \alpha_v \cdot t^{\circ})$$

$$p_0 \neq 0, \therefore (1 + \alpha_v \cdot t^{\circ}) = 0$$

$$1 + \frac{t^{\circ}}{273} = 0, \quad \underline{t^{\circ} = -273^{\circ}\text{C}}$$

Кельвин предложил шкалу температур, где

$$\underline{T = t^{\circ}\text{C} + 273}$$

Тогда давление и объём прямо пропорциональны абсолютной термодинамической температуре Кельвина.

$p \sim T$ и $V \sim T$

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t^{\circ} \right)$$

$$\frac{V_t}{V_0} = \frac{273 + t^{\circ}}{273} = \frac{T}{T_0}$$

Аналогично

$$\frac{p_t}{p_0} = \frac{T}{T_0}$$

1. Закон Бойля - Мариотта. Изотермический процесс.

При постоянной температуре произведение давления данной массы газа на его объём - величина постоянная.

Из опыта $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$ - давление газа и его объём

обратно пропорциональны.

$p_1 V_1 = p_2 V_2 = p_3 V_3 = \dots = \text{const}$

При $T = \text{const}; pV = \text{const}$

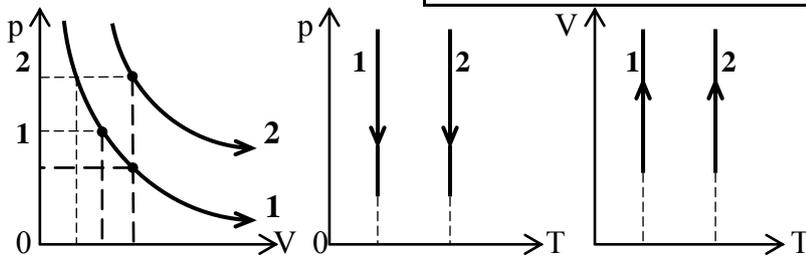


Рис. 79

Изотермический процесс - это процесс, который происходит при постоянной температуре.

При этом газ сжимают или расширяют очень медленно.

График изотермического процесса - изотерма.

2. Закон Гей - Люссака. Изобарический процесс.

При постоянном давлении объём данной массы газа прямо пропорционален абсолютной термодинамической температуре.

При $p = \text{const} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

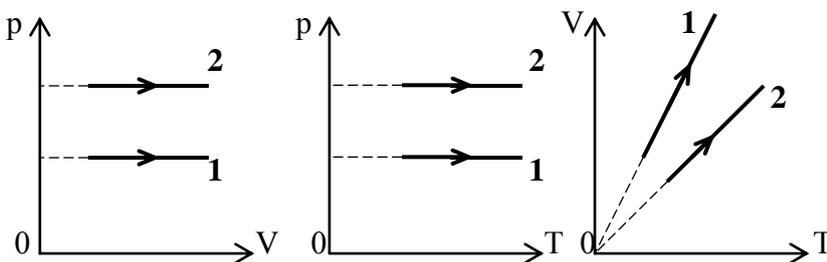


Рис. 80

Изобарический процесс - это процесс, который происходит при постоянном давлении.

При этом газ нагревают или охлаждают.

График изобарического процесса - изобара.

3. Закон Шарля. Изохорический процесс.

При постоянном объёме давление данной массы газа прямо пропорционально абсолютной термодинамической температуре.

При $V = \text{const}; \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$

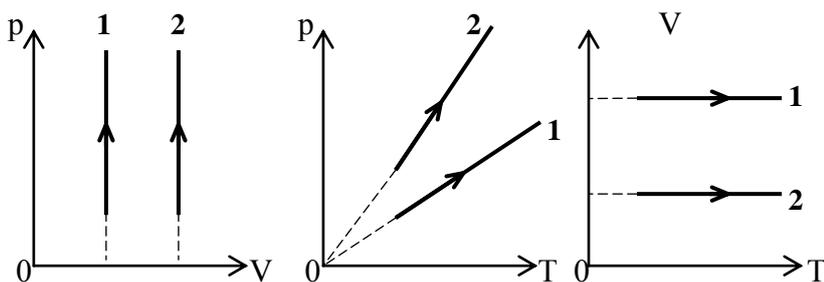


Рис. 81

Изохорический процесс - это процесс, который происходит при постоянном объёме.

При этом газ нагревают или охлаждают.

График изохорического процесса - изохора.

Объединённый газовый закон: $\frac{pV}{T} = \text{const}$

Произведение давления данной массы газа на его объём, делённое на абсолютную термодинамическую температуру, есть величина постоянная.

Молярная газовая постоянная $R = \frac{p_0 V_0}{T_0}$ - состояние

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

Уравнение Менделеева - Клапейрона:

$p \cdot V = R \cdot T$ - для молярной массы газа M

$p \cdot V = \frac{m}{M} RT$ - для любой массы газа m .

Давление газа $p = \frac{2}{3} n E_{\text{км}}$, где n - число молекул в 1 м^3 ; $E_{\text{км}}$ - средняя кинетическая энергия молекул.

Из уравнений $p = \frac{2}{3} n E_{\text{км}}$ и $p \cdot V = R \cdot T$ получаем:

$\frac{2}{3} n V E_{\text{км}} = RT$ и $E_{\text{км}} = \frac{3}{2} k T$, где $k = \frac{R}{nV} = \frac{R}{N_A}$ -

постоянная Больцмана, N_A - постоянная Авогадро.

Абсолютная термодинамическая температура является физической величиной, прямо пропорциональной средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

$E_{\text{км}} = \frac{1}{2} m V^2$, $V^2 = \frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}{n}$ - средняя

квадратичная скорость молекул.

Работа газа.

Вычислим работу, которую совершает при расширении сжатый газ (рис. 82).

S - площадь поршня

Δs - путь поршня

$$A = F \cdot \Delta s; \quad p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = p \cdot S$$

$A = p \cdot S \cdot \Delta s$; $S \cdot \Delta s = \Delta V$ - изменение объёма газа

Итак, $A = p \cdot \Delta V$

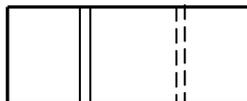


Рис. 82

Мы получаем этот закон, соединив 3 газовых закона вместе.

Постоянную (const) обозначают буквой R , называют молярной газовой постоянной и вычисляют из нормальных условий.

$\frac{m}{M} = n$ - число молей. Газ массой m занимает объём в $\frac{m}{M}$ раз больший, чем молярный объём $22,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$.

Уравнение $E_{\text{км}} = \frac{3}{2} k T$

справедливо не только для газа, но и для вещества в любом состоянии. Оно является определением температуры.

Термодинамика

Уравнение теплового баланса: $Q_{\text{отданное}} = Q_{\text{полученное}}$

При теплопередаче одни тела отдают некоторое количество теплоты (при этом они охлаждаются), другие тела получают такое же количество теплоты (при этом они нагреваются).

Формулы количества теплоты для процесса нагревания и охлаждения:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad Q = C \cdot \Delta T \quad \Delta T = \Delta t^{\circ}\text{C}$$

Нагревание: $T_2 > T_1$

$$Q = c \cdot m \cdot (T_2 - T_1)$$
$$Q = C \cdot (T_2 - T_1)$$

Охлаждение: $T_2 < T_1$

$$Q = c \cdot m \cdot (T_1 - T_2)$$
$$Q = C \cdot (T_1 - T_2)$$

Удельная теплоёмкость вещества (c) - это количество теплоты, необходимое для нагревания одного килограмма вещества на 1К или на 1°C.

Теплоёмкость тела (C) - это количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой m на 1К или на 1°C.

$$C = c \cdot m$$

Единица c - $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \left(1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \right)$

Единица C - $1 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \left(1 \frac{\text{Дж}}{\text{град}} \right)$

График зависимости температуры от количества теплоты представлен на рис. 83.

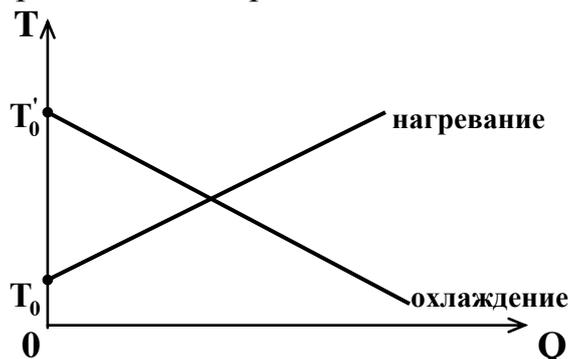


Рис. 83

Термодинамика в отличие от молекулярной физики рассматривает тело, как макротело, не изучая его строение.

Три начала (закона) термодинамики являются обобщением опытов, наблюдений; из них следуют частные случаи.

Количество теплоты Q - скалярная положительная величина.

При охлаждении на 1К 1 кг вещество отдаёт количество теплоты, равное удельной теплоёмкости.

При охлаждении на 1К тело отдаёт количество теплоты, равное его теплоёмкости.

Q зависит от T линейно, поэтому график - прямая линия под углом к оси OQ .

В этих процессах изменяется кинетическая энергия молекул.

Формула количества теплоты для процессов плавления и отвердевания (кристаллизации):

$$Q = \lambda \cdot m$$

Удельная теплота плавления (λ) - это количество теплоты, необходимое для превращения в жидкость одного килограмма твёрдого вещества в точке плавления. Единица λ - $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Твёрдые кристаллические вещества имеют определённую температуру плавления - точку плавления. При этой температуре происходит разрушение кристаллической решётки, то есть увеличение потенциальной энергии молекул. Графики зависимости температуры от количества теплоты представлены на рис. 84 и 85.

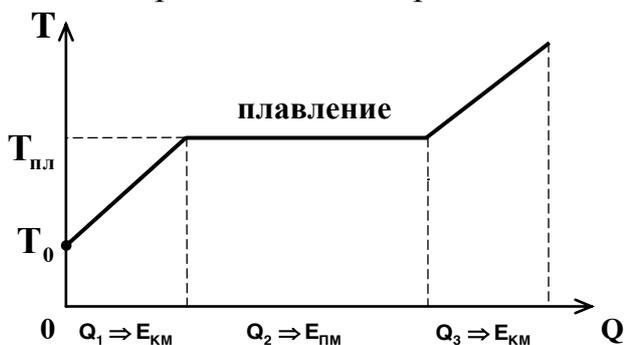


Рис. 84

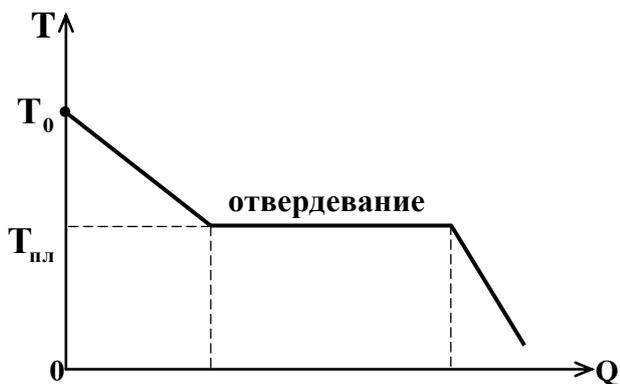


Рис. 85

Формула количества теплоты для процессов парообразования и конденсации:

$$Q = r \cdot m$$

Удельная теплота парообразования (r) - это количество теплоты, необходимое для превращения в пар одного килограмма жидкости в точке кипения.

Единица r - $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Твердые аморфные вещества не имеют точки плавления. Они переходят в жидкое состояние постепенно, становясь сначала мягкими, затем жидкими.

$$Q_1 = c \cdot m \cdot (T_{\text{пл}} - T_0)$$

$$Q_2 = \lambda \cdot m$$

$$Q_3 = c' \cdot m \cdot (T - T_{\text{пл}})$$

$c' \neq c$. Удельные теплоёмкости вещества в твёрдом и жидком состоянии разные.

2 вида парообразования:

1) испарение,

2) кипение.

Формула $Q = r \cdot m$ для кипения.

Графики зависимости температуры от количества теплоты представлены на рис. 86 и 87

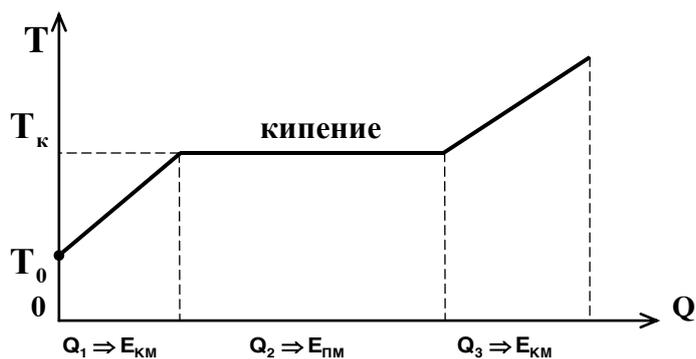


Рис. 86

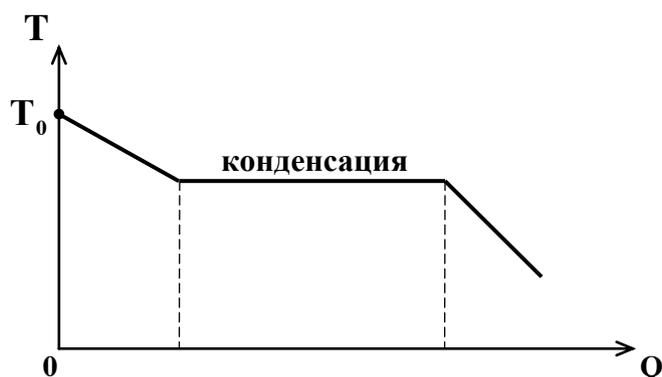


Рис. 87

Точка кипения зависит от величины атмосферного давления. Жидкость начинает кипеть в тот момент, когда давление насыщенного пара в пузырьках внутри жидкости равно атмосферному давлению.

Калориметрия - это методы измерения удельных теплоёмкостей веществ, параметров фазовых переходов при помощи калориметра. Калориметр представляет собой двойной сосуд для лучшей теплоизоляции, в который наливают жидкость и помещают тело, нагретое до определённой температуры, или лёд, или впускают пар (рис. 88).

В калориметре имеется термометр, который измеряет начальную температуру и температуру после теплового баланса.

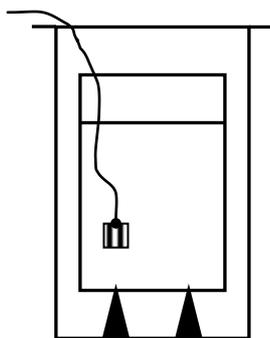


Рис. 88

Испарение происходит при любой температуре с поверхности жидкости. Вылетают молекулы с большой кинетической энергией, остаются молекулы медленные. Поэтому температура жидкости при испарении понижается.

В случае с нагретым телом, удельную теплоёмкость вещества которого хотят измерить, уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1^0 - \theta^0) = c_2 \cdot m_2 \cdot (\theta^0 - t_2^0) + c_3 \cdot m_3 \cdot (\theta^0 - t_2^0)$$

$$c_1 = \frac{c_2 \cdot m_2 (\theta^0 - t_2^0) + c_3 \cdot m_3 \cdot (\theta^0 - t_2^0)}{m_1 \cdot (t_1^0 - \theta^0)}$$

Макроскопическая система, находящаяся в состоянии термодинамического равновесия, подчиняется трём законам (началам) термодинамики.

Первый закон термодинамики.

Количество теплоты, сообщенное системе тел, расходуется на увеличение её внутренней энергии и на работу, которую совершает система против внешних сил.

$$Q = \Delta U + A$$

Второй закон термодинамики.

В законе используется физическая величина энтропия S, изменение которой $\Delta S: \Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$.

Энтропия - это функция состояния системы (её изменение не зависит от пути перехода).

Существует функция состояния системы - энтропия, приращение которой при обратимом сообщении системе теплоты равно $dS = \frac{dQ}{T}$.

Третий закон термодинамики.

Энтропия всех тел в состоянии равновесия стремится к нулю при температуре абсолютного нуля.

или

Абсолютный нуль температур недостижим.

Q_1 - количество теплоты, отданное телом;

Q_2 - количество теплоты, полученное водой;

Q_3 - количество теплоты, полученное калориметром;

θ^0 - общая температура после теплового баланса;

$t_2^0 = t_3^0$, так как вода и калориметр находятся в контакте и имеют одинаковую температуру.

Законы термодинамики называются началами, потому что они являются обобщением многочисленных наблюдений.

Первый закон термодинамики является законом сохранения энергии.

Второй закон говорит о направлении тепловых процессов: теплота не может перейти от системы с меньшей температурой к системе с большей температурой. К этому выводу привело изучение работы тепловых машин.

Третий закон вытекает из законов газов, когда при изобарическом процессе при $t^0 = -273^0\text{C}$ объём газа становится равным нулю $V=0$, что невозможно, так как молекулы газа имеют собственный объём.

Тепловые двигатели.

В тепловых двигателях за счёт тепловой энергии топлива совершается механическая работа. Во всех механизмах существует трение, поэтому часть тепловой энергии расходуется на работу по преодолению силы трения. В результате полезная механическая работа меньше теплоты, полученной при сгорании топлива.

$$A_{\text{полезная}} = Q_{\text{полезное}} < Q_{\text{затраченное}}$$

$$A_{\text{полезная}} = F_{\text{тяги}} \cdot S; \quad Q_{\text{полезное}} = c \cdot m \cdot \Delta t^0 - \text{для нагревателя}$$

Затраченное количество теплоты находят по формуле: $Q_{\text{затраченное}} = q \cdot m$, где q - удельная теплота сгорания топлива или теплотворность топлива.

Удельная теплота сгорания топлива - это количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании 1 кг топлива.

$$q - \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Разность $Q_{\text{затраченное}} - Q_{\text{полезное}}$ - это потери тепла.

Коэффициент полезного действия (к.п.д.) теплового двигателя или нагревателя - это отношение полезного количества теплоты к затраченному.

к.п.д. - η

$$\eta = \frac{Q_{\text{полезн.}}}{Q_{\text{затр.}}} \cdot 100\%$$

Можно использовать отношение работы или

мощности: $\eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{A_{\text{затр.}}} \cdot 100\%$ $\eta = \frac{P_{\text{полезн.}}}{P_{\text{затр.}}} \cdot 100\%$

Французский ученый Карно доказал, что к.п.д.

теплового двигателя равен: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, где

Q_1 - количество теплоты, полученное от нагревателя;

Q_2 - количество теплоты, отданное холодильнику;

$Q_1 - Q_2$ - количество теплоты, отданное рабочим телом.

Полезную работу можно также найти по формуле $A = P \cdot t$, где P - полезная мощность двигателя, написанная на нём.

Например, нефть, керосин, бензин имеют

$$q = 4,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Если принять $Q_{\text{затр.}}$ за

100%, то $\eta = Q_{\text{полезн.}}$

Разность - это потери теплоты. Например,

$\eta = 30\%$, потери

теплоты равны 70%.

Рабочее тело - это водяной пар в паровом двигателе или пар бензина в двигателе внутреннего сгорания.

Карно также доказал, что к.п.д. теплового двигателя меньше величины $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$, где

T_1 - температура нагревателя;

T_2 - температура холодильника.

Для повышения к.п.д. теплового двигателя нужно повышать температуру нагревателя и понижать температуру холодильника. Только при $T_2=0$, то есть при абсолютном нуле к.п.д. был бы равен единице.

Влажность воздуха.

В открытом сосуде над жидкостью находится **ненасыщенный пар**. В закрытом сосуде наступает динамическое равновесие между паром и жидкостью, и пар становится **насыщенным**. (рис. 88, 89).

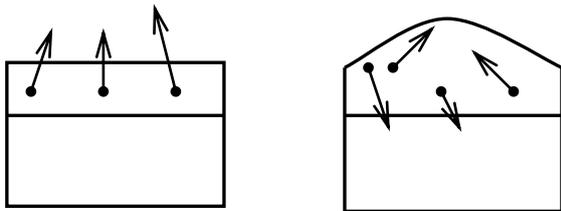


Рис. 89

Атмосфера - это открытый сосуд, в котором находится ненасыщенный пар. Он образуется при испарении воды с поверхности рек, морей и океанов. Однако этот пар может стать насыщенным при понижении температуры. Влажность воздуха увеличивается.

Абсолютная влажность воздуха (f) - это масса пара в граммах в 1 м^3 воздуха.

Относительная влажность воздуха (B) - это отношение абсолютной влажности (f) к тому количеству пара, которое необходимо для насыщения 1 м^3 воздуха при данной температуре (f_0).

$$B = \frac{f}{f_0} \cdot 100\%$$

При средних климатических условиях, наиболее благоприятной для человека является влажность 40...60%.

Динамическое равновесие наступает, когда число молекул, которые вылетают из жидкости, равно числу молекул, которые возвращаются в жидкость.

Образованием насыщенного пара объясняется туман, роса, запотевание холодных предметов.

Критическая температура.

Опытным путем установлено, что не только пар, но и любой газ можно превратить в жидкое состояние. Переход газов в жидкое состояние называется сжижением газов.

Газы - это ненасыщенные пары. При нормальных условиях они очень далеки от состояния насыщения. Переход газа в жидкое состояние можно сделать понижением температуры и повышением давления. Однако существует такая температура, выше которой никаким сжатием нельзя перевести газ в жидкое состояние. Это критическая температура. Она различна для каждого газа. Например, критическая температура воды $374,2^{\circ}\text{C}$.

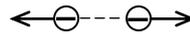
Часть III. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.

Электростатика.

Электрический заряд (q) - это физическая величина, характеризующая свойство тел вступать в электромагнитное взаимодействие.

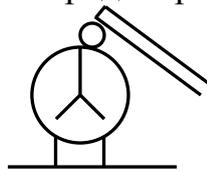
Существуют два вида электрических зарядов: положительные и отрицательные.

Одноимённые заряды отталкиваются $\leftarrow \oplus \text{---} \oplus \rightarrow$



Разноимённые заряды притягиваются $\oplus \rightarrow \leftarrow \ominus$

Электроскоп



Эбонитовая палочка заряжает электроскоп.
Рис. 90

Электрометр

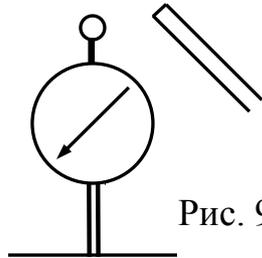


Рис. 91

Стеклянная палочка электризует электрометр. Это явление называется электризацией.

В замкнутой системе тел алгебраическая сумма электрических зарядов остаётся постоянной.

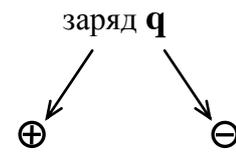
$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}$ - это закон сохранения заряда.

Электрический заряд дискретен. Любой заряд $q = \pm n \cdot e$, где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ (целое число).

Заряд тела равен нулю, если сумма положительных зарядов равна сумме отрицательных зарядов.

Закон Кулона.

Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна величинам зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.



Получить заряженное тело можно в результате трения или используя контакт, когда заряды переходят с одного тела на другое.

При контакте с эбонитовой палочкой электроскоп получил отрицательный заряд.

Между электрометром и стеклянной палочкой нет контакта, но стрелка отклоняется. Свободные электроны притягиваются к палочке и движутся вверх. Стрелка имеет положительный заряд.

Носители электрического заряда: протоны e_+ и электроны e_-

$q=0$, если $n \cdot e_+ = n \cdot e_-$

Опыт Кулона.

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

или

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

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$ - коэффициент пропорцио-

нальности.

В диэлектрике сила взаимодействия зарядов уменьшается в ϵ раз. ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость.

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

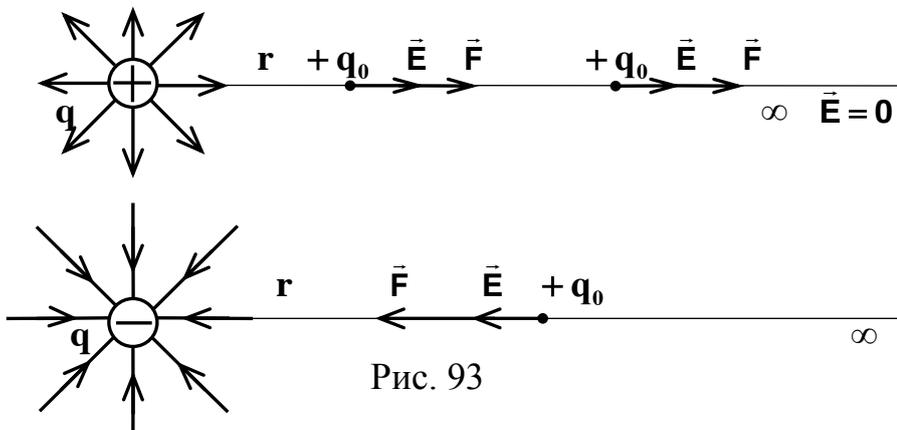
Электростатика изучает взаимодействие неподвижных зарядов. Вокруг неподвижных зарядов существует электростатическое поле.

Взаимодействие зарядов происходит так:
заряд ---- поле ---- другой заряд

Параметры электростатического поля.

1. Напряжённость электростатического поля.

На рис. 93 заряд $\pm q$ образует поле; заряд $+q_0$ - это заряд, который вносят в поле для изучения этого поля.



$\pm q$ - заряд, образующий поле
 $+q_0$ - пробный заряд.

Напряжённость (\vec{E}) - это физическая величина, равная отношению силы, действующей на положительный пробный заряд в данной точке поля, к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1)$$

Напряжённость - это силовая характеристика поля.

ϵ_0 - электрическая постоянная
1 Кл (кулон) - производная единица заряда. Основная единица электричества в системе СИ - 1А (ампер). Это единица силы тока.

$$q = I \cdot t$$

1Кл = 1 А · с

$q_0 \ll q$, чтобы он не изменял поле, которое изучает.

q и q_0 - точечные заряды.

Если помещать в данную точку поля заряды $q_0, 2q_0, 3q_0, \dots$, сила, которая действует на заряды будет $\vec{F}, 2\vec{F}, 3\vec{F}, \dots$

$$\text{При этом } \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{2\vec{F}}{2q_0} = \frac{3\vec{F}}{3q_0} = \dots = \text{const}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2}$$

$\vec{E} \parallel \vec{F}$ - векторы напряжённости и силы имеют одинаковое направление.

В вакууме $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2}$; $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2 \cdot q_0}$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (2)$$

В диэлектрике $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{\epsilon \cdot r^2}$; $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon \cdot r^2}$

Единица напряжённости $1 \frac{Н}{Кл} = 1 \frac{В}{м}$ (вольт на метр).

Принцип суперпозиции: если поле образовано несколькими зарядами, то напряжённость поля в данной точке равна геометрической сумме напряжённостей, создаваемых каждым зарядом.

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

2. Разность потенциалов. Потенциал данной точки поля.

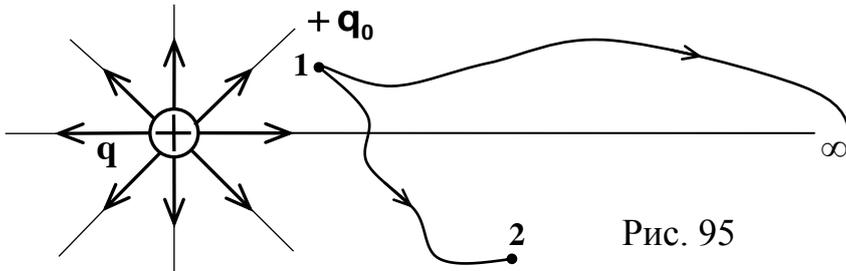


Рис. 95

Разность потенциалов ($\varphi_1 - \varphi_2$) - это отношение работы сил электростатического поля по перемещению положительного пробного заряда из одной точки поля в другую к величине этого заряда.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q_0} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = U; \quad U - \text{напряжение.}$$

$$A_{1 \rightarrow 2} = E_{п1} - E_{п2}; \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{E_{п1} - E_{п2}}{q_0}$$

Потенциал данной точки поля (φ) - это отношение работы сил электростатического поля по перемещению положительного пробного заряда из данной точки поля в точку с нулевым потенциалом к величине этого заряда.

$$(1) \quad \varphi = \frac{A}{q_0}$$

$$\varphi = \frac{E_{п}}{q_0}$$

Потенциал - это энергетическая характеристика поля

В формулах (1) и (2) стоят разные заряды.

В (1) - q_0 - пробный заряд;

В (2) - q - заряд, образующий поле.

Пример. $+q_1$ и $-q_2$ образуют поле. Найдём $\vec{E}_{рез}$ в точке А.

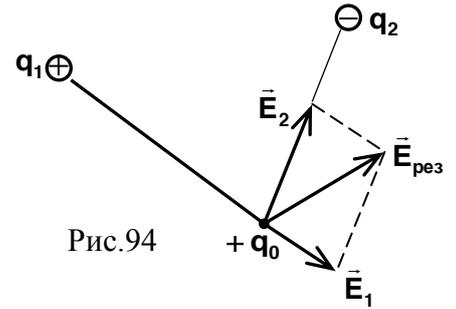


Рис.94

$$\vec{E}_{рез} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_{рез} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha}$$

Работа в электростатическом поле не зависит от формы и длины траектории. Она зависит от положения начальной и конечной точек траектории.

$E_{п}$ - потенциальная энергия

Если точка 2 находится в бесконечности, то $\varphi_2 = 0$. Мы имеем потенциал точки 1.

$$\varphi_1 = \frac{A_{1 \rightarrow \infty}}{q_0}$$

В теории бесконечность (∞) - это точка с нулевым потенциалом. На практике это поверхность Земли.

В вакууме
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \quad (2)$$

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

Единица разности потенциалов и потенциала

$$1\text{В (вольт)} = \frac{1\text{ Дж}}{1\text{ Кл}}$$

Поверхность равного потенциала называется эквипотенциальной поверхностью.

Заряжаем шар электрометра в каждой точке его поверхности при равновесии зарядов потенциал постоянный.

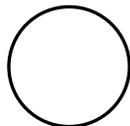


Рис.96

$\varphi = \text{const}$ - эквипотенциальная поверхность.

Электростатическое поле изображают линиями, касательные к которым в каждой точке указывают направление вектора напряжённости \vec{E} . Эти линии называются линиями напряжённости или силовыми линиями.

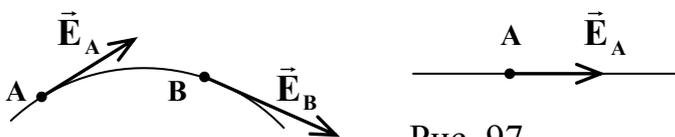


Рис. 97

Начало линий - положительные заряды. Конец линий - отрицательные заряды или бесконечность.

Примеры полей. 1) точечные заряды

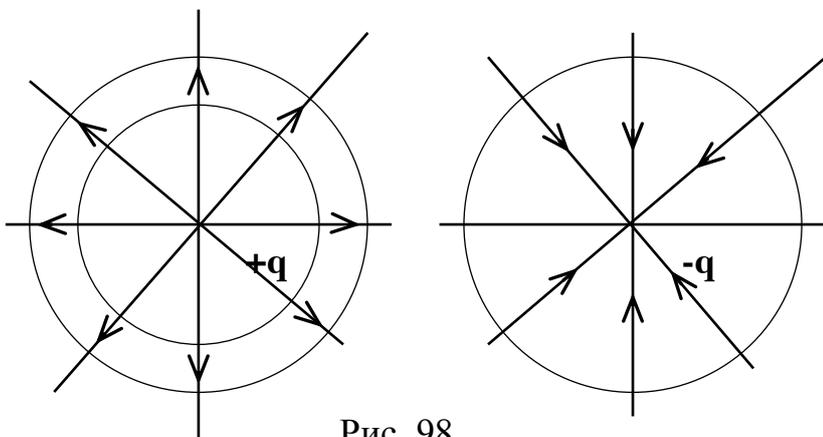


Рис. 98

Поверхность сферы - это эквипотенциальная поверхность.

В формулах (1) и (2) стоят разные заряды. Докажем формулу (2).

$$A = F \cdot dr \quad (F \neq \text{const})$$

$$\frac{A}{q_0} = \frac{F}{q_0} dr$$

$$\varphi = E \cdot dr ; E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

$$\varphi = \int_r^\infty \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} dr$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot q \int_r^\infty \frac{1}{r^2} dr$$

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

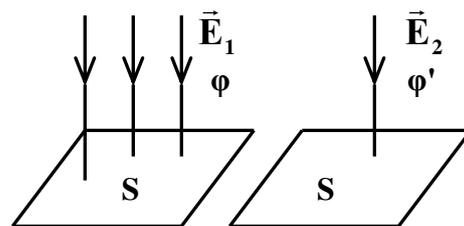
Потенциал поля нескольких зарядов равен алгебраической сумме потенциалов полей, которые создавал бы каждый заряд.

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

Линии напряжённости электростатического поля не замкнуты.

$$E_1 > E_2, \quad S - \text{площадь.}$$

На модуль напряжённости указывает плотность линий напряжённости.



$$\varphi' < \varphi$$

2. Плоскость

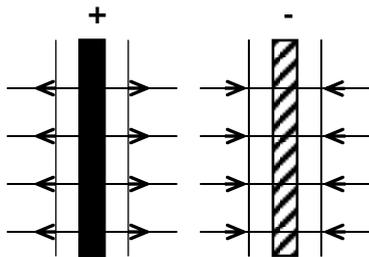


Рис. 99

3. Система двух параллельных плоскостей

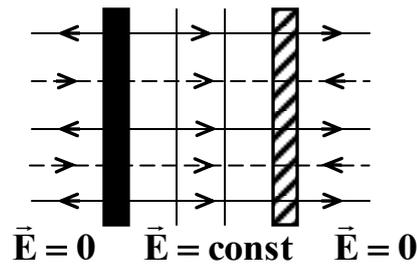


Рис. 100

Эквипотенциальные поверхности - это поверхности самих плоскостей и плоскостей, параллельных им. Они перпендикулярны линиям напряжённости.

Однородное электростатическое поле.

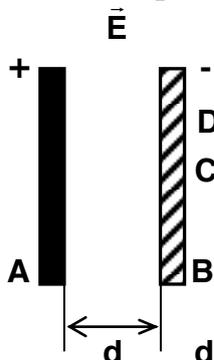


Рис. 101

Пробный заряд $+q_0$ движется в поле с напряжённостью \vec{E} . На заряд действует сила $\vec{F} = q_0 \vec{E}$. Работа $A = \vec{F} \cdot \vec{d} = q_0 \vec{E} \cdot \vec{d}$ - это работа по перемещению заряда по траектории АВ.

d - расстояние между плоскостями

По траектории АС работа равна

$$A = q_0 E \cdot AC \cdot \cos \alpha = q_0 E d$$

По траектории AD работа равна

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i = q_0 E \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cdot \cos \alpha_i = q_0 E d$$

$A = q_0 E d$ - работа не зависит от формы и длины траектории. Из определения разности потенциалов

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q_0} \quad \text{работа} \quad A = q_0 (\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$q_0 E d = q_0 (\varphi_1 - \varphi_2); \quad E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$$

Эта формула имеет название - связь разности потенциалов с напряжённостью.

Формула даёт нам единицу напряжённости:

1В/м (вольт на метр).

Однородное электростатическое поле - это поле, в каждой точке которого одинаковая напряжённость. Линии напряжённости параллельны.



Рис. 102

Траекторию AD нужно разделить на n элементов.

Найти элементарные работы

$$\Delta A_1 = F_1 \cdot \Delta S_1 \cdot \cos \alpha_1$$

$$\Delta A_i = F_i \cdot \Delta S_i \cdot \cos \alpha_i$$

$$\Delta A_n = F_n \cdot \Delta S_n \cdot \cos \alpha_n$$

Затем нужно найти их сумму.

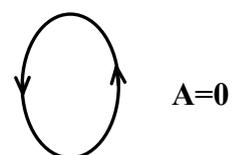
Для неоднородного поля

$$E = - \frac{\Delta \varphi}{\Delta r};$$

$$\vec{d} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \Delta \vec{r};$$

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

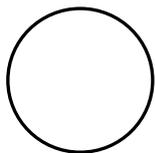
Можно доказать, что в неоднородном поле работа также не зависит от формы и длины траектории. Работа на замкнутой траектории равна нулю.



Все вещества в природе можно разделить на проводники, диэлектрики (изоляторы) и полупроводники.

В проводниках имеются свободные заряды, которые движутся по всему объёму проводника. В электростатическом поле проводник электризуется. Это явление называется электростатической индукцией.

При равновесии зарядов на поверхности проводника отсутствует.



Если взять две любые точки шара на расстоянии d , то:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \text{ или } \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = 0,$$

Рис.103 следовательно, $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ ($d \neq 0$)

и $\varphi_1 = \varphi_2$, то есть $\varphi = \text{const}$. Поверхность проводника в каждой точке имеет равный потенциал, она является эквипотенциальной поверхностью. Любая поверхность, симметричная поверхности проводника, имеет тоже одинаковый потенциал (но меньший). Эта поверхность является тоже эквипотенциальной поверхностью.

Свойства эквипотенциальной поверхности:

- 1) работа перемещения заряда по этой поверхности равна нулю $A=0$;
- 2) линии напряжённости перпендикулярны к эквипотенциальной поверхности.

В диэлектриках нет свободных зарядов. Положительные и отрицательные заряды связаны между собой. Связанные заряды представляют собой диполь $\oplus \text{---} \ominus$ или $\oplus \text{---} \ominus$. В электростатическом поле диполь поворачивается и ориентируется вдоль поля. Это явление называется

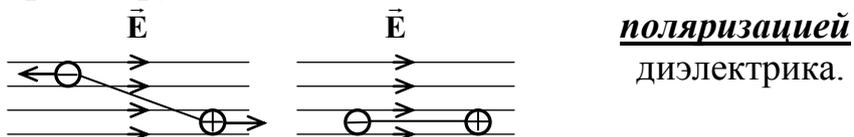


Рис. 104

В отсутствии поля диполи в диэлектрике располагаются хаотично.

Поляризация приводит к уменьшению поля внутри диэлектрика.

В металлах свободные заряды - электроны; в электролитах - ионы.

Отсутствие поля внутри металлической поверхности называется электростатической защитой.

В опытах по электростатике мы имеем очень малые заряды 10^{-9} Кл; 10^{-7} Кл. Заряды, равные нескольким кулонам образуются в атмосфере. Их получают облака, которые при трении о воздух электризуются. Тяжёлые ионы обычно находятся внизу облака, а лёгкие электроны вверху. Облака взаимодействуют, а также действуют на дома, деревья, людей.

Эл. разряд - молния



эквипотенциальные поверхности

Рис. 105

Относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ) характеризует степень поляризации диэлектрика. Она равна отношению напряжённости внешнего поля к напряжённости результирующего поля внутри диэлектрика.

$$\epsilon = \frac{E_0}{E_{рез}}$$

Електроёмкость проводника (С) - это отношение заряда проводника к его потенциалу.

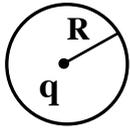
$$C = \frac{q}{\phi}$$

Единица электроёмкости: 1Ф (фарада) = 1 Кл/В

1 мкФ (микрофарада) = 10^{-6} Ф

1 пФ (пикофарада) = 10^{-12} Ф

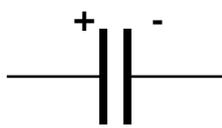
Для шара $\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$, тогда $C = \frac{q}{\phi} = 4\pi\epsilon_0 \cdot R$



В вакууме $C = 4\pi\epsilon_0 \cdot R$

В диэлектрике $C = 4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot R$

Конденсатор состоит из двух металлических пластин и диэлектрика, расположенного между пластинами. Электроёмкость конденсатора равна отношению заряда к разности потенциалов его пластин.



$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2} = \frac{q}{U}$, U - напряжение.

Опыт показывает, что $C \sim \frac{S \cdot \epsilon}{d}$

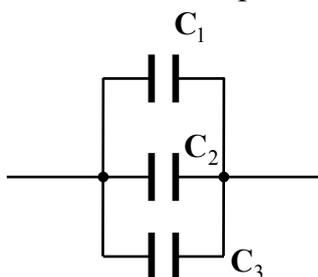
$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{d}$$

S - площадь одной пластины,

d - расстояние между пластинами.

Конденсаторы соединяют в батарею. Существует два типа соединений: параллельное и последовательное.

Параллельное соединение



$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i$$

Рис. 106

Самая большая диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 81$ у воды.

Электроёмкость зависит от размеров проводника, его формы и диэлектрической проницаемости окружающей среды. Она также зависит от окружающих тел - проводников. В результате явления электростатической индукции электроёмкость увеличивается.

Электроёмкость конденсатора не зависит от окружающих тел.

Это плоский конденсатор. Могут быть конденсаторы, где проводники другой формы.

Электроёмкость батареи конденсаторов легко доказать по формуле:

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2}$$

в первом случае заряд батареи конденсаторов равен сумме зарядов, а во втором - заряды пластин конденсаторов одинаковы.

Последовательное соединение

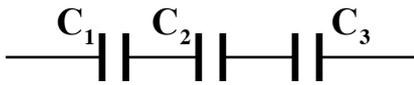


Рис. 107

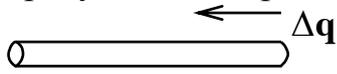
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}; \quad \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

Таблица основных формул по электростатике		
Физическая величина	Вакуум	Диэлектрик
Сила взаимодействия зарядов F (Н)	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon \cdot r^2}$ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$
Напряжённость электростатического поля $E = \frac{F}{q_0} \left(\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{В}}{\text{м}} \right)$	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon \cdot r^2}$
Потенциал электростатического поля $\varphi = \frac{A}{q_0} \text{ (В)}$	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon \cdot r}$
Ёмкость шара $C = \frac{q}{\varphi} \text{ (Ф)}$	$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot R$	$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot R$

Постоянный электрический ток

Электрический ток - это направленное движение заряженных частиц (электронов, положительных и отрицательных ионов).

Количественно электрический ток характеризуется скалярной величиной - **силой тока I** .



По проводнику течет ток.

Рис. 108

Через поперечное сечение проводника непрерывно переносится электрический заряд.

Сила тока $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$. Для постоянного тока :

$$I = \text{const} \Rightarrow I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = I \cdot t$$

1 Кл (кулон) = 1 А (ампер) · 1 с (секунда)

Источники тока создают и поддерживают в проводниках электрическое поле, необходимое для существования тока длительное время.

В источнике тока происходит превращение какой-либо энергии (механической, химической, внутренней, световой и др.) в электрическую.

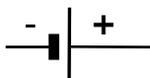
Электродвижущая сила источника тока (ЭДС) - это отношение работы сторонних сил по перемещению положительного заряда по цепи к величине этого заряда.

$$\xi = \frac{A_{\text{стор. сил}}}{q}$$

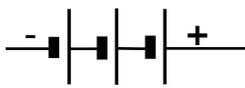
Электрическая цепь - это источник тока, потребитель, выключатель и соединительные провода.

В цепи могут быть измерительные приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр.

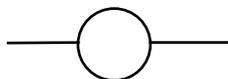
Условные обозначения на электрических схемах:



элемент или аккумулятор



батарея элементов или аккумуляторов



генератор постоянного тока



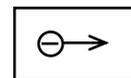
электрическая сеть

Ампер - основная единица.
Кулон - производная единица.

Мы знаем о токе в проводнике по тем действиям, которые он производит: нагревание проводника, изменение химического состава и создание магнитного поля.

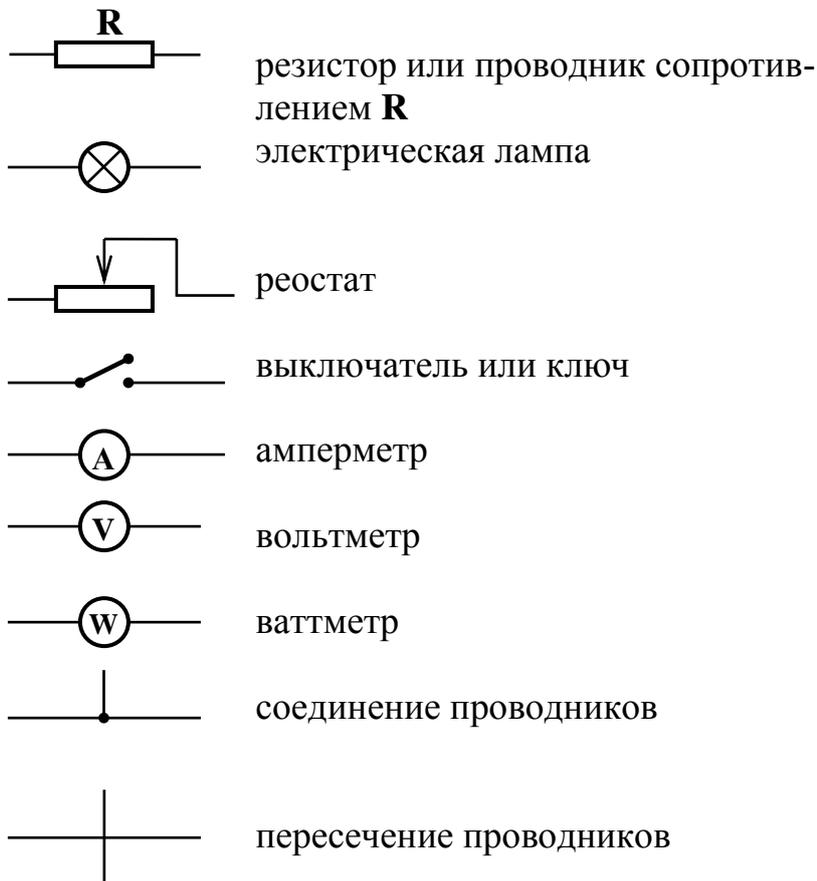
За счёт неэлектрических видов энергии внутри источника совершается работа по разделению положительно и отрицательно заряженных частиц и созданию на его полюсах разности потенциалов.

источник тока



Внутри источника заряды движутся против электрического поля под действием неэлектрических сторонних сил.

Электрические схемы - это чертежи, на которых изображена электрическая цепь.



Условия существования тока в цепи:

- 1) свободные заряженные частицы;
- 2) электрическое поле внутри проводника, т.е. разность потенциалов на его концах;
- 3) замкнутая электрическая цепь.

Пример электрической цепи

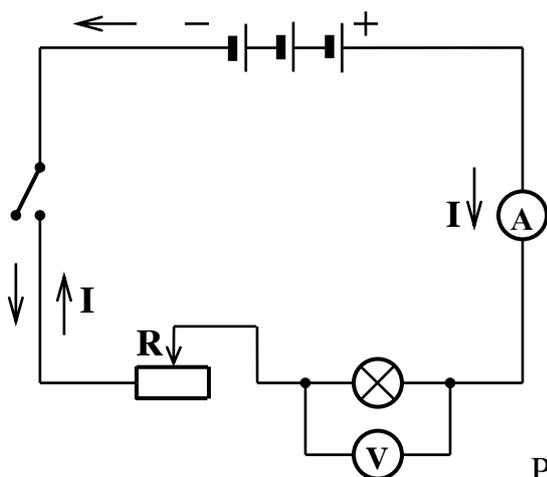


Рис. 110

Амперметр  измеряет силу тока. Его включают последовательно. $R \rightarrow 0$.

Вольтметр  измеряет напряжение на участке цепи. Его включают параллельно. $R \rightarrow \infty$

Первое условие означает, что цепь состоит из проводников.

Амперметр имеет малое сопротивление, чтобы не изменять силу тока в цепи.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$$

Вольтметр имеет очень большое сопротивление, чтобы взять на себя очень небольшой ток.

Работу по перемещению зарядов по всей цепи совершают электрические (кулоновские) и сторонние силы.

$$A = A_{\text{кул.}} + A_{\text{стор.}}, \text{ разделим на } q$$

$$\frac{A}{q} = \frac{A_{\text{кул.}}}{q} + \frac{A_{\text{стор.}}}{q}, \text{ то есть } \boxed{U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \xi}$$

Напряжение на участке цепи равно сумме э.д.с. и разности потенциалов на этом участке.

Если на участке нет источника тока, то

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

Закон Ома для участка цепи

Сила тока в металлическом проводнике прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

$$I \sim U \quad \boxed{I = G \cdot U} \quad G - \text{электропроводность}$$

$$G = \frac{1}{R}, R - \text{сопротивление}$$

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

$$\boxed{U = I \cdot R}$$

$I \cdot R$ - падение

напряжения

(если участок цепи не имеет источника тока, $\xi = 0$ и

$$U = \varphi_1 - \varphi_2).$$

Таблица формул сопротивления

N			
1	$R = \frac{U}{I}$	U - напряжение I - сила тока	$U = 1\text{В}$ $1\text{Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$ $I = 1\text{А}$
2	$R = \rho \frac{\ell}{S}$	ℓ - длина проводника S - площадь поперечного сечения ρ - удельное сопротивление	$\ell = 1\text{м}$ $S = 1\text{м}^2 (\text{мм}^2)$ $\rho = 1 \text{Ом} \cdot \text{м}$ $= 10 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
3	$R_t = R_0(1 + \alpha t^0)$ $\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t^0)$	R_0 - сопротивление при 0°C R_t - сопротивление при $t^\circ\text{C}$ ρ_0 - удельное сопротивление при 0°C ρ_t - удельное сопротивление при $t^\circ\text{C}$ α - температурный коэффициент сопротивления	$\alpha = \frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 \cdot t}$ $\alpha = 1 \text{град}^{-1}$

$$\frac{A}{q} = U - \text{напряжение на}$$

участке цепи.

$$\frac{A_{\text{кул.}}}{q} = \varphi_1 - \varphi_2 - \text{разность}$$

потенциалов.

$$\frac{A_{\text{стор.}}}{q} = \xi - \text{э.д.с. источника}$$

тока.

Зависимость силы тока от напряжения называют вольт-амперной характеристикой.

$I = f(U)$. Её изображают графически

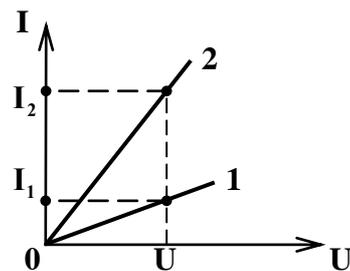
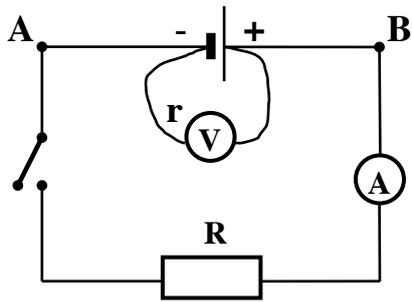


Рис. 111

$$I_2 > I_1, \therefore R_2 < R_1$$

Закон Ома для полной цепи.



R - внешнее сопротивление;
 r - внутреннее сопротивление
 Уравнение
 $U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \xi$ для участков АВ и ВА:

Рис. 112

$$\left. \begin{aligned} U_{AB} &= \varphi_A - \varphi_B + \xi \\ U_{BA} &= \varphi_B - \varphi_A \end{aligned} \right\} +$$

$$\underline{U_{AB} + U_{BA} = \xi}$$

Из закона Ома для участка цепи: $U_{AB} = I \cdot r$
 $U_{BA} = I \cdot R$

$I \cdot R + I \cdot r = \xi$ - сумма падений напряжения в цепи равна э.д.с. источника.

$I = \frac{\xi}{R + r}$ || Сила тока в цепи равна отношению э.д.с. источника к полному сопротивлению цепи.

Если внешнее сопротивление $R = 0$, то $I_{\max} = \frac{\xi}{r}$.

Это короткое замыкание.

Соединение проводников

<p>1. Последовательное</p> <p>Рис. 113</p> <p style="text-align: center;">$I = \text{const}$</p> <p style="text-align: center;">$U = U_1 + U_2 + U_3$</p> <p style="text-align: center;">$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">$R = R_1 + R_2 + R_3$</div> <p>Полное сопротивление равно сумме отдельных</p>	<p>2. Параллельное</p> <p>Рис. 114 $U = \text{const}$</p> <p style="text-align: center;">$I = I_1 + I_2 + I_3$</p> <p style="text-align: center;">$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">$G = G_1 + G_2 + G_3$</div> <p>Полная электропроводность равна сумме отдельных</p>
--	---

сопротивлений	электропро
---------------	------------

Э.д.с. измеряет вольтметр при незамкнутой цепи.

Если цепь замкнута, вольтметр показывает напряжение

$U = \xi - I \cdot r$ $U = I \cdot R < \xi$

Для n одинаковых проводников

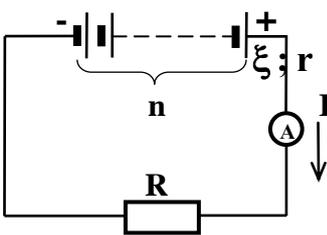
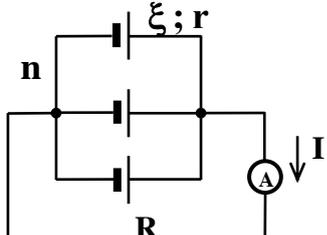
$$R = \sum_{i=1}^n R_i = n \cdot R_1$$

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{n}{R_1}$$

Для двух параллельно соединённых проводников

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Соединение источников тока (элементов, аккумуляторов) в батарею.

1. Последовательное	2. Параллельное
<p>Рис. 115</p>  <p> $\xi_{\text{батареи}} = n \cdot \xi$ $r_{\text{батареи}} = n \cdot r$ </p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $I = \frac{n \cdot \xi}{R + n \cdot r}$ </div> <p>Для разных элементов $\xi_{\text{батареи}} = \xi_1 + \xi_2 + \dots$ $r_{\text{батареи}} = r_1 + r_2 + \dots$ </p>	<p>Рис. 116</p>  <p> $\xi_{\text{батареи}} = \xi$ $\frac{1}{r_{\text{батареи}}} = \frac{n}{r}$ $r_{\text{батареи}} = \frac{r}{n}$ </p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $I = \frac{\xi}{R + \frac{r}{n}}$ </div> <p>Для разных элементов $\xi_{\text{батареи}} = \xi_{\text{max}}$ (элемента с наибольшей э.д.с.) $\frac{1}{r_{\text{батареи}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots$ </p>

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

Мощность постоянного тока равна произведению силы тока и напряжения.

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ А} \cdot \text{В}$$

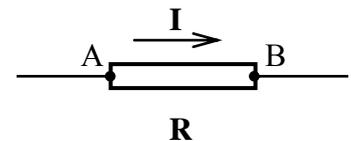
При совершении работы электрическая энергия превращается в другие виды энергии.

Используя n элементов, мы хотим получить силу тока в n раз больше, чем от одного элемента. Последовательное соединение даёт этот результат в случае, если $R \gg r$. Тогда

$$I \approx \frac{\xi \cdot n}{R}$$

Параллельное соединение - в случае, если $R \ll r$. Тогда

$$I \approx \frac{\xi \cdot n}{r}$$



При перемещении заряда q из точки А в точку В на участке цепи электрическое поле совершает работу

$$A = q(\varphi_A - \varphi_B) \quad 1 \text{ Дж} = 1 \text{ Кл} \cdot \text{В}$$

Так как $U = \varphi_A - \varphi_B$ и $I = \frac{q}{t}$,

$$\text{то } A = I \cdot U \cdot t$$

Работа постоянного тока равна произведению силы тока, напряжения и времени прохождения тока.

$$\boxed{A = I \cdot U \cdot t}$$

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{с}$$

Мощность - это работа, совершаемая в единицу времени.

Прибор для измерения мощности - ваттметр



Если в цепи имеется соленоид, она превращается в энергию магнитного поля. Если в цепи имеется электролит, она превращается в химическую энергию. Если же в цепи не происходит указанных превращений (имеется только сопротивление **R**), то вся электрическая энергия превращается во внутреннюю. Когда по проводнику течёт ток, он нагревается. Тогда $U = I \cdot R$. Следовательно,

$$\boxed{A = I^2 R t} \text{ и } \boxed{P = I^2 R}$$

$$\boxed{A = \frac{U^2}{R} \cdot t} \text{ и } \boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

Единицы работы тока (электроэнергии):

1Вт·с (ватт·секунда) = 1Дж
 1Вт·ч (ватт·час) = 3600 Дж
 1гВт·ч (гектоватт·час) = 360000 Дж
 1кВт·ч (киловатт·час) = 3600000 Дж

Закон Джоуля - Ленца

Количество теплоты, которое выделяется в проводнике, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока.

$$\boxed{Q = I^2 R t}$$

Законы электролиза.

1-й закон Фарадея.

Масса вещества, которое выделяется на электродах прямо пропорциональна заряду, который прошёл через электролит.

$$\boxed{m = k \cdot q} \quad k \text{ (кг/Кл) - электрохимический эквивалент}$$

$$\boxed{m = k I \cdot t}$$

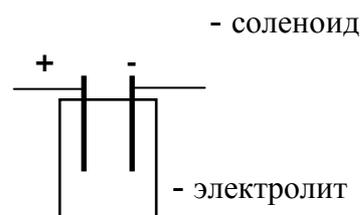
$(q = I \cdot t)$

2-й закон Фарадея

Электрохимические эквиваленты различных веществ прямо пропорциональны химическим эквивалентам.

$$\boxed{k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}}$$

M - молярная масса
n - валентность
F = 96500 Кл/моль - постоянная Фарадея.



Прибор для измерения электроэнергии в киловатт·часах - счётчик электроэнергии.



- К - катод
+ А - анод

Химический эквивалент - это отношение молярной (атомной) массы к валентности.

Зависимость между какой-либо физической величиной и соответствующей молярной величиной выражается алгоритмом:

$$v = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_M} = \frac{q}{q_M} = \frac{N}{N_A} = \dots$$

$$\frac{m}{M} = \frac{q}{q_M}; \quad m = \frac{M}{q_M} q = kq$$

$$\underline{m=kq}$$

$$q_M = e \cdot n \cdot N_A = nF$$

Магнитное поле

Магнитное поле - это один из видов материи.

Оно существует вокруг проводников с электрическим током, вокруг магнитов (естественных и искусственных). Земля имеет магнитное поле.

Магнитное поле изучают при помощи пробного тока и маленькой магнитной стрелки (рис. 117).



Рис. 117

Пробный ток - это замкнутый (небольшого размера) контур. Его форма - виток или рамка.

Параметры магнитного поля.

1. Магнитная индукция - силовая характеристика поля.

Магнитная индукция (\vec{B}) зависит от тока, создающего поле и от свойств среды, в которой находится поле.

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{I \cdot \ell}; \quad \ell - \text{длина проводника}$$

Единица **B**: 1Т (тесла) = 1Н/А·м

2. Напряжённость (\vec{H}) магнитного поля также, как магнитная индукция зависит от тока

$$H \sim \frac{I}{r} \Rightarrow H = \frac{I}{2\pi r}$$

Единица **H**: 1А/м (ампер на метр).

3. Относительная магнитная

проницаемость среды (μ) характеризует свойства среды.

$$\vec{B} = \mu \cdot \mu_0 \vec{H} \quad (\mu_0 -$$

магнитная постоянная).

Если $\mu < 1$, вещество - диамагнетик (газы, вода, органические вещества и др.).

Если $\mu > 1$, вещество - парамагнетик (щелочные металлы, многие соли, молекулярный кислород).

Если $\mu \gg 1$, вещество - ферромагнетик (соединения и сплавы железа, никеля, кобальта).

В магнитном поле рамка с током ориентируется. Нормаль к рамке совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки.



Рис. 118

Опыт показывает, что напряжённость бесконечного прямолинейного проводника в данной точке зависит от силы тока и расстояния до точки.

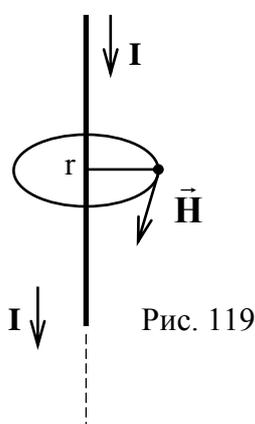


Рис. 119

4.

4. **Магнитный поток** (Φ) или **поток магнитной индукции** - это произведение магнитной индукции, площади, через которую проходит магнитное поле, и косинуса угла между векторами \vec{B} и \vec{n} (рис. 120).

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

Единица Φ : $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Т} \cdot \text{м}^2$ (Вебер = Тесла · квадратный метр).

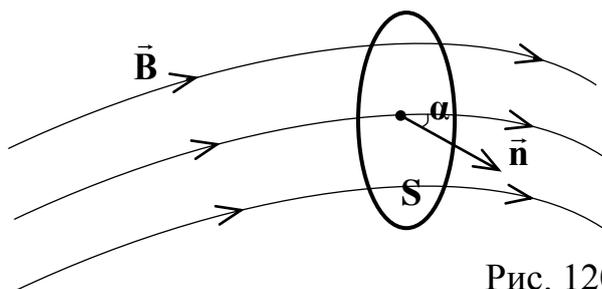


Рис. 120

Явление электромагнитной индукции состоит в том, что можно получить электрический ток с помощью изменяющегося магнитного поля.

Э.д.с. индукции

$$\xi = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Правило Ленца.

Индукционный ток имеет такое направление, при котором его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, который его вызывает.

$$\Delta \Phi = -\xi \cdot \Delta t \Rightarrow 1 \text{ Вб} = 1 \text{ В} \cdot \text{с} \quad (\text{Вебер} = \text{Вольт} \cdot \text{секунда}).$$

Э.д.с. самоиндукции зависит от скорости изменения тока в проводнике.

$$\xi = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}; \quad L -$$

коэффициент пропорциональности, называемый

индуктивностью.

Единица L : 1 Г (Генри).

$$1 \text{ Г} = 1 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{А} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{с}.$$

Индуктивность зависит от формы проводника. Индуктивность прямого проводника мала, а индуктивность катушки тем больше, чем больше у неё витков.

Электрическая цепь, которая состоит из

катушки и конденсатора - это колебательный контур (рис. 121).

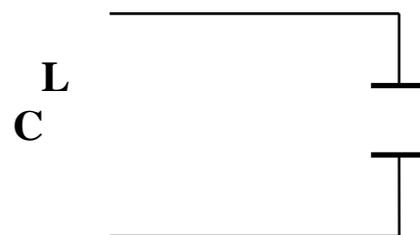


Рис. 121

Он является главной частью любого радиопередатчика и радиоприёмника. В колебательном контуре возникают электромагнитные колебания.

Их период $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$. Колебания являются гармоническими и могут распространяться.

Электромагнитные волны - процесс распространения периодически изменяющегося электромагнитного поля.

Длина волны (λ) - это расстояние, на которое распространяется волна за время равное периоду.

$\lambda = c \cdot T$, где c - скорость электромагнитных волн, или скорость света.

Часть IV. ОПТИКА.

Электромагнитные волны, длина которых лежит в диапазоне $0,4 \cdot 10^{-6} - 0,72 \cdot 10^{-6}$ м, воспринимает орган зрения человека - глаз. Эти волны называют световыми или видимым светом. Оптика изучает природу света.

Источником света являются атомы и молекулы, в которых происходит изменение энергетического состояния электронов. При этом энергия излучается порциями. Эти порции, обладающие свойствами материальных частиц, называют квантами излучения или фотонами.

Свет обладает одновременно двумя свойствами: волновыми и квантовыми. Формула энергии фотона $E = h \cdot \nu$ показывает двойственную природу света. E - энергия фотона (порция). Это квантовая характеристика. ν - частота колебаний. Это волновая характеристика. Скорость света в вакууме 300 000 км/с.

Измерением светового излучения занимается фотометрия.

Поток излучения (Φ) - это величина, измеряемая отношением энергии излучения (W) ко времени излучения (t).

$$\Phi = \frac{W}{t}$$

Сила света (I) - это величина, равная отношению потока излучения (Φ) к телесному углу (ω), в котором распространяется излучение (рис. 122).

 S - точечный источник света
часть поверхности сферы

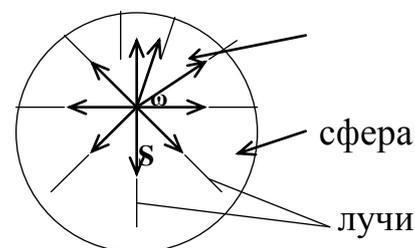


Рис. 122

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \Rightarrow \Phi = I \cdot \omega$$

Полный световой поток:
 $\Phi = 4\pi I$

Освещённость (E) - это величина, равная отношению светового потока (Φ), падающего на поверхность, к площади этой поверхности (S).

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Единицы световых величин:

- 1) сила света - 1кд (кандела) - основная величина;
- 2) световой поток - 1лм (люмен) - производная единица; $1\text{лм} = 1\text{кд} \cdot 1\text{ср}$ (стерадиан)
- 3) освещённость - 1лк (люкс) - производная единица. $1\text{лк} = \frac{1\text{лм}}{1\text{м}^2}$

На границе двух сред наблюдаются явления отражения и преломления света.

Законы отражения света.

1. Падающий ($S0$) и отражённый ($0A$) лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром ($0B$) к отражающей поверхности (MN) в точке падения (0) (рис. 124).

В фотометрии рассматривают точечный источник света. Его размер меньше расстояния распространения света. От точечного источника свет распространяется прямолинейно по всем направлениям. Телесный или объёмный угол измеряется в стерадианах. Полный телесный угол вокруг точечного источника света равен 4π стерадиан.

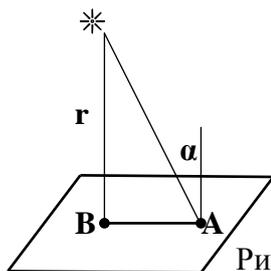


Рис. 123

Освещённость в точке А

$$E_A = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

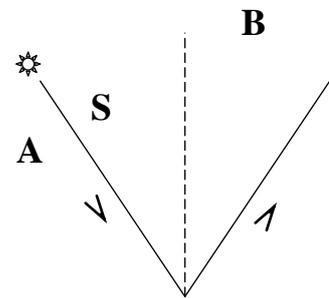
α - угол падения.

Если свет падает перпендикулярно, $\alpha = 0^\circ$

$$E_B = \frac{I}{r^2}$$

Свет отражается полностью от поверхности зеркала. Если свет падает на поверхность воды (или другой

прозрачной среды), часть света отражается а часть проходит дальше, изменяя направление - преломляется.



$\alpha = \beta$ 2.

Угол отражения равен

углу падения.

$$\angle \alpha = \angle \beta$$

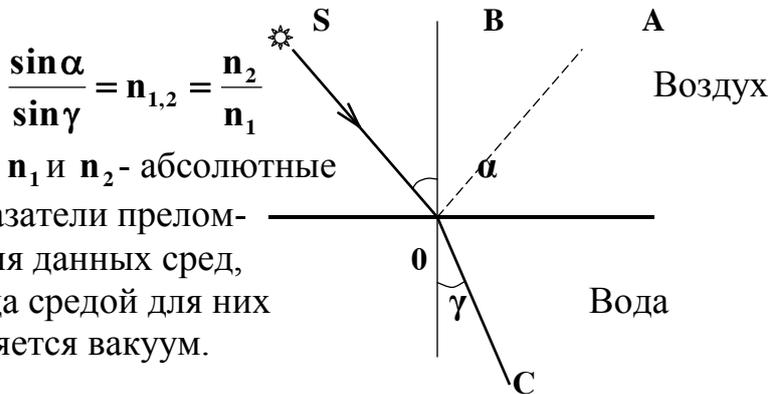
0
MN - зеркало

Рис. 124

Законы преломления света.

1. Падающий ($S0$) и преломлённый ($0C$) лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром ($0B$) к преломляющей поверхности (MN) в точке падения (рис. 125).

2. Отношение синуса угла падения света ($\sin \alpha$) к синусу угла преломления ($\sin \gamma$) для данных двух сред есть величина постоянная. Её называют показателем преломления второй среды относительно первой ($n_{1,2}$).



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{1,2} = \frac{n_2}{n_1}$$

n_1 и n_2 - абсолютные

показатели преломления данных сред, когда средой для них является вакуум.

Рис. 125

Чем больше абсолютный показатель преломления среды (n), тем меньше скорость света (V) в данной среде.

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

Законы отражения и преломления света используют для построения изображений в зеркалах (плоском и сферических) и линзах.

Если луч идёт из среды с бóльшей оптической плотностью в среду с мёньшей оптической плотностью, то наблюдается явление полного отражения.

$n_1 > n_2$, $\alpha < \gamma$, при $\gamma = 90^\circ$

$$\sin \alpha_{\text{предельный}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Показатель преломления зависит от длины световой волны. Это изменение показателя преломления называется дисперсией. В результате дисперсии можно разложить солнечный свет на его составляющие, получить спектр. В спектре имеются семь цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый.

Другие явления (интерференция, дифракция, поляризация) доказывают волновую природу света.

Явление фотоэлектрического эффекта или фотоэффекта доказывает, что свет - это поток фотонов.

Фотоэффект - это явление вырывания электронов из металла при освещении его светом. Энергия фотона расходуется на работу выхода электрона из металла ($A_{\text{вых}}$) и на сообщение электрону кинетической энергии $E_{\text{к}} = \frac{mV^2}{2}$.

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

Условие наблюдения фотоэффекта $h\nu \geq A_{\text{вых}}$.

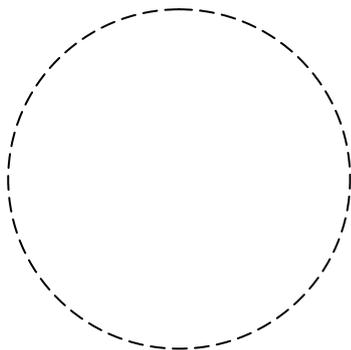
Согласно теории Бора при движении электронов в атоме выполняются следующие постулаты:

1. Атомы могут быть только в стационарных состояниях. В этих состояниях атомы имеют энергии: E_1, E_2, \dots, E_n .
2. Электроны могут двигаться вокруг ядра только по стационарным орбитам. При этом атом не излучает и не поглощает электромагнитные волны.
3. Атом излучает и поглощает электромагнитные волны при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую.

$E_1 - E_2 = h\nu$, где E_1 - энергия одного стационарного состояния;

E_2 - энергия другого стационарного состояния;

ν - частота излучения (рис. 126).



$$E_1 > E_2$$

Рис. 126

Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов. Заряд ядра создают протоны. Число протонов в ядре N_p равно числу электронов на электронной оболочке атома. Оно совпадает с порядковым номером элемента в Периодической системе элементов Менделеева. $N_p = Z$. В Периодической системе атомные массы не целые числа, так как химический элемент - смесь нескольких изотопов. Целое число, самое близкое к значению атомной массы, называется массовым числом M . При этом массой электронов можно пренебречь. Тогда $M = N_p + N_n$ или $M = Z + N_n$. Число нейтронов в ядре определяют по формуле: $N_n = M - Z$. Например, азот ${}^{14}_7\text{N}$ имеет массовое число $M = 14$. В ядре азота 7 протонов и 7 нейтронов. Вокруг ядра движется 7 электронов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть I.

Механика

Кинематика

Динамика

Часть II.

Теплота

Молекулярная физика

Термодинамика

Часть III.

Электромагнетизм

Электростатика

Постоянный электрический ток

Магнитное поле

Часть IV.

Оптика