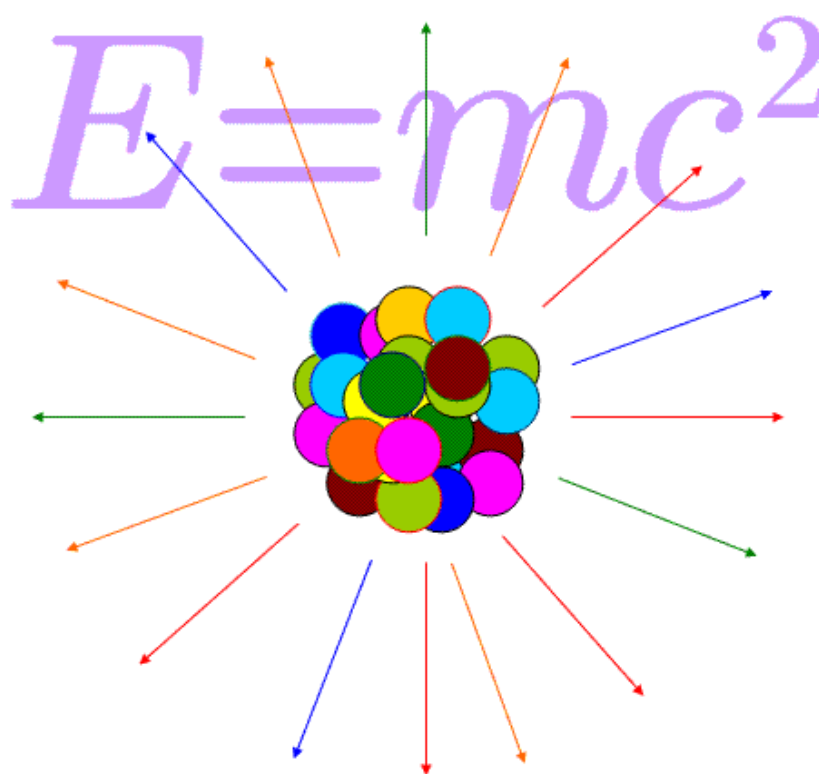


Высшее государственное учебное заведение Украины  
"Украинская медицинская стоматологическая академия"

*Подготовительное отделение  
для иностранных граждан*

## **СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ**

Кинематика. Динамика.  
Молекулярная физика и термодинамика.  
Электродинамика



Полтава – 2017

Печатается по решению Центральной методической комиссии ВГУЗУ «УМСА» (протокол №1 от 15.09.16).

**Составитель:** преподаватель физики подготовительного отделения для иностранных граждан **Явор Виолетта Анатольевна.**

**Рецензент:** и.о. зав. кафедрой медицинской информатики, медицинской и биологической физики, к. пед. наук, доцент **Силкова Елена Викторовна.**

### Предисловие

Данное пособие предназначено для самостоятельной аудиторной и внеаудиторной работы иностранных студентов подготовительных факультетов/отделений. В пособии представлены основные физические величины заглавных тем, единицы их измерения, краткие справочные материалы и основные формулы по главным темам программы дисциплины «Физика» для подготовительных факультетов медико-биологического профиля, примеры решения типовых задач. Тексты содержат много схематических рисунков, графиков, схем.

Работа по представленному пособию поможет студентам качественно подготовиться к занятиям, текущему, промежуточному и итоговому контролю по физике.

### СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие		<b>2</b>
Раздел 1	Механика. Кинематика	<b>3</b>
	Примеры решения задач по теме «Кинематика»	<b>7</b>
Раздел 2	Механика. Динамика (I)	<b>11</b>
	Примеры решения задач по теме «Механика. Динамика (I)»	<b>15</b>
Раздел 3	Механика. Динамика (II)	<b>18</b>
	Примеры решения задач по теме «Механика. Динамика (II)»	<b>23</b>
Раздел 4	Молекулярная физика и термодинамика	<b>28</b>
	Примеры решения задач по теме «Молекулярная физика и термодинамика»	<b>34</b>
Раздел 5	Электродинамика	<b>36</b>
	Примеры решения задач по теме «Электродинамика»	<b>42</b>
Приложения		<b>45</b>

**Чтобы успешно написать контрольную работу по физике студент должен знать:**

- 1) символы физических величин и их название
- 2) единицы измерения физических величин;
- 3) физические формулы и законы для данного раздела физики.

## I. МЕХАНИКА. КИНЕМАТИКА

**Кинематика** – раздел механики, в котором изучают движение тел без рассмотрения причин движения (геометрические свойства движения тел).

### Физические величины и основные единицы их измерения

Символы	Название физической величины	Единица измерения	Название единиц измерения
$S$ (эс)	путь, расстояние	м	метр
$V$ (вэ)	скорость	м/с	метр в секунду
$t$ (тэ)	время	с	секунда
$x$ (икс)	координата	м	метр
$x_0$	начальная координата	м	метр
$V_x$	проекция вектора скорости	м/с	метр в секунду
$V_0$	начальная скорость	м/с	метр в секунду
$V_{cp}$	средняя скорость	м/с	метр в секунду
$a$	ускорение	м/с <sup>2</sup>	метр в секунду в квадрате
$a_x$	проекция вектора ускорения	м/с <sup>2</sup>	метр в секунду в квадрате
$h$ (аш)	высота	м	метр
$g$ (же)	ускорение свободного падения	м/с <sup>2</sup>	метр в секунду в квадрате
$T$ (тэ)	период (вращения)	с	секунда
$\nu$ (ню)	частота	с <sup>-1</sup>	секунда в минус первой степени
$n$ (эн)	число оборотов	размерности не имеет	-----
$\omega$ (омега)	угловая скорость	рад/с	радиан в секунду
$R$ (эр)	радиус траектории	м	метр
$V$ (вэ)	линейная скорость	м/с	метр в секунду
$a_n$	нормальное ускорение	м/с <sup>2</sup>	метр в секунду в квадрате

### ЗАПИСЬ ЗАДАЧ В СИМВОЛАХ, ИХ АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ

- 1) Условие задачи, которое записано словами, нужно записать в символах и числах (**Дано**).
- 2) Вопрос в задаче определяют слова: **найти, определить, чему равно?** и другие. Вопрос записывают символом со знаком вопроса. (**h-?, T-?**)
- 3) При решении задач по теме «Кинематика» важно сделать рисунок:
  - показать координатную ось,

- положение тела в начальный момент движения,
- направление движения,
- направление векторных характеристик движения.

Сделать анализ условия задачи, рисунка и определить вид движения.

4) В решении задачи нужно записать вид движения; формулу, необходимую для данного вида движения; получить формулу физической величины, которая есть вопросом задачи; подставить в эту формулу числа в системе СИ и вычислить результат.

5) Записать ответ данной задачи.

### ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Единицы длины:  $1\text{ м}=100\text{ см}$ ;  $1\text{ м}=1000\text{ мм}$ ;  
 $1\text{ см}=0,01\text{ м}$ ;  $1\text{ мм}=0,001\text{ м}$   
 $1\text{ км}=1000\text{ м}$ .

Единицы времени:  $1\text{ ч}=60\text{ мин}=3600\text{ с}$ ;  
 $1\text{ мин}=60\text{ с}$ .

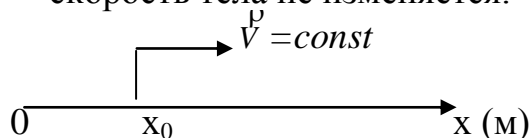
Единицы скорости:  $1\text{ м/с}=100\text{ см/с}=0,001\text{ км/с}$

$$1\text{ км/ч} = \frac{1}{3,6} \text{ м/с} \approx 0,28\text{ м/с}$$

$$36\text{ км/ч}=10\text{ м/с}; \quad 54\text{ км/ч}=15\text{ м/с}; \quad 72\text{ км/ч}=20\text{ м/с}.$$

### Виды механического движения

1. **Прямолинейное равномерное движение** – это движение, при котором скорость тела не изменяется.



$Ox$  – координатная ось;

$x_0$  – начальная координата;

$V = const$  (константа) – скорость постоянная (скорость не изменяется);

$\vec{V}$  – вектор скорости;

$V$  – модуль скорости;

$V_x$  – проекция вектора скорости на ось  $Ox$ .

$[V] = \text{м/с}$  – единица измерения скорости – метр в секунду;

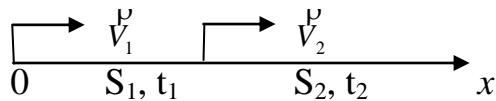
$[V] = \text{км/ч}$  – единица измерения скорости – километр в час.

$$1 \text{ км/ч} = \frac{1000}{3600} = \frac{10}{36} = \frac{5}{18} \approx 0,28 \text{ м/с}$$

### Уравнения движения:

- $\vec{V} = const, V = \frac{S}{t}$  – скорость равна отношению пути ко времени;
- $S = Vt$  – путь равен произведению скорости на время;
- $x = x_0 + V_x t$  – уравнение координаты

2. **Неравномерное движение** – это движение, при котором скорость тела в процессе движения изменяется.



Неравномерное движение характеризуется мгновенной и средней скоростью.

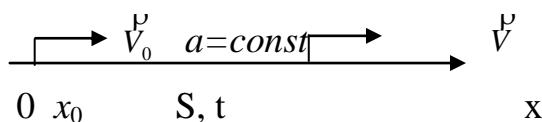
**Мгновенная скорость** – это скорость в данной точке траектории или в данный момент времени.

**Средняя скорость** характеризует скорость тела на всём участке пути. Средняя скорость равна отношению суммы путей к сумме времени движения.

$$V_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{t_1 + t_2}$$

### 3. Ускорение. Равноускоренное движение.

**Ускорение** – это векторная физическая величина, которая характеризует изменение скорости движения за единицу времени.



$$a = \frac{V - V_0}{t}$$

$\vec{a}$  – вектор ускорения;

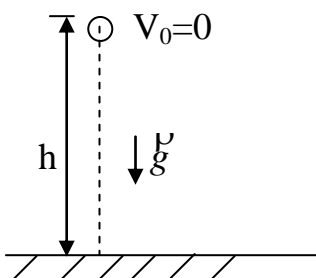
$a$  – модуль вектора ускорения;

$[a] = \text{м/с}^2$  – единица измерения ускорения – метр в секунду в квадрате;

**Равноускоренное движение** – это движение с постоянным ускорением ( $a = \text{const}$ ).

**Уравнения движения:**

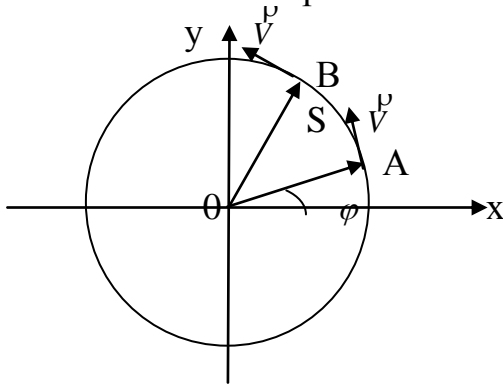
1.  $V = V_0 + at$  – уравнение скорости;
  2.  $S = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$  – уравнение пути;
  3.  $X = X_0 + V_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2$  – уравнение координаты.
4. **Свободное падение** – это падение тел в вакууме без начальной скорости с ускорением свободного падения ( $g$ )  
 $g$  – ускорение свободного падения;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$   
 $h$  – высота падения;



**Уравнения движения:**

1.  $V = gt$  – уравнение скорости;
2.  $h = \frac{1}{2} gt^2$

5. **Равномерное движение по окружности** – это криволинейное движение с постоянной скоростью.



$$V = \text{const}, \quad \vec{V} \neq \text{const}, \quad S_{AB} = Vt$$

**Характеристики вращательного движения:**

$$\nu \text{ (ню)} - \text{частота}; \quad [\nu] = \text{с}^{-1}$$

$$T - \text{период}; \quad [T] = \text{с};$$

$$\omega \text{ (омега)} - \text{угловая скорость} \quad [\omega] = \text{рад/с}$$

$$\omega = 2\pi\nu \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$V - \text{линейная скорость}; \quad [V] = \text{м/с};$$

$$V = \frac{2\pi R}{T} \quad V = 2\pi R\nu - \text{формулы линейной скорости}$$

$$R - \text{радиус окружности}; \quad [R] = \text{м};$$

$$a_n - \text{нормальное (центростремительное) ускорение}; \quad [a_n] = \text{м/с}^2;$$

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

### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «КИНЕМАТИКА»

**Задача 1.** Искусственный спутник Земли движется по орбите со скоростью  $V = 8 \text{ км/с}$ . Какой путь он пролетит за время  $t = 1,5 \text{ мин}$ ?

<p><b>Дано:</b>  <math>V = 8 \text{ км/с} = 8000 \text{ м/с}</math>  <math>t = 1,5 \text{ мин} = 90 \text{ с}</math>  <math>S = ?</math></p>	<p><b>Решение</b>                  Это равномерное движение. Уравнение пути: <math>S = Vt</math>                  Подставим числа: <math>S = 8000 \cdot 90 = 720000 \text{ (м)}</math>  <b>Ответ: <math>S = 72 \cdot 10^4 \text{ м}</math>; <math>S = 720 \text{ км}</math>.</b></p>
--	--

**Задача 2.** Уравнения зависимости координаты от времени для двух тел имеют вид:  $x_1 = 1 + 2t$  (м),  $x_2 = 1 - 3t$  (м)

По уравнениям определить: 1) начальную координату  $x_0$  (м),  
 2) проекцию вектора скорости  $V_x$  (м/с),  
 3) координату каждого тела через  $t = 10 \text{ с}$  от начала движения.

<p><b>Дано:</b>  <math>x_1 = 1 + 2t</math> (м)  <math>x_2 = 1 - 3t</math> (м)  <math>t = 10 \text{ с}</math>  <math>x_1, x_2</math> (при <math>t = 10 \text{ с}</math>) - ?</p>	<p><b>Решение</b>                  Это равномерное движение. Уравнение зависимости координаты от времени <math>x = \varphi(t)</math> имеет вид: <math>x = x_0 + V_x t</math>.                  Сравнивая это уравнение с данными уравнениями найдём:  <b>Ответ: 1) <math>x_{01} = 1 \text{ м}</math>, <math>x_{02} = 1 \text{ м}</math>;                  2) <math>V_{x1} = 2 \text{ м/с}</math>, <math>V_{x2} = -3 \text{ м/с}</math>;                  3) <math>x_1 = 1 + 2 \cdot 10 = 21 \text{ м}</math>, <math>x_2 = 1 - 3 \cdot 10 = 29 \text{ м}</math></b></p>
---	--

**Задача 3.** Из городов А и В, расстояние между которыми 250 км, навстречу друг другу выехали два автомобиля. Их скорости 60 км/ч и 40 км/ч соответственно.

Составить уравнения движения каждого автомобиля и определить через сколько времени и где они встретятся?

**Дано:**

**Решение**

Рисунок:  $A \xrightarrow{V_1} \qquad V_2 \xleftarrow{B}$

$S_{AB}=250\text{км}$

$V_1=60\text{км/ч}$

$V_2=40\text{км/ч}$

$x_1=\varphi(t), x_2=\varphi(t)-?$

$t-? \quad X_{\text{встр.}}-?$

Это равномерное движение. Уравнение зависимости координаты от времени  $x=x_0 + V_x t$  (км).

Составим уравнения движения автомобилей:

$x_{01}=0\text{км}, \quad x_{02}=250\text{км}, \quad V_{x1}=60\text{км/ч}, \quad V_{x2}=-40\text{км/ч}$

$x_1=60 t$  (км);  $x_2=250-40t$  (км).

Условие встречи:  $x_1=x_2, \Rightarrow 60t=250-40t, \quad 100t=250 \quad t = \frac{250}{100} = 2,5\text{ч}$

$X_{\text{встр.}}=x_1(\text{при } t=2,5\text{ч})=60 \cdot 2,5=150\text{км.}$

**Ответ:**  $t=2,5\text{ч}, \quad X_{\text{встр.}}=150\text{км}$  от города А.

**Задача 4.** Через время  $t_1=2\text{с}$  от начала движения автомобиль имел скорость  $V_1=5\text{м/с}$ . Определить скорость автомобиля через время  $t_2=10\text{с}$  от начала движения, если движение – равноускоренное.

Рисунок:  $V_0 \xrightarrow{\quad} | \quad V_1 \xrightarrow{\quad} \qquad | \quad V_2 \xrightarrow{\quad}$   
 $t=2\text{с} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad t=10\text{с}$

**Дано:**

**Решение**

$t_1=2\text{с}$

$V_0=0\text{м/с}$

$V_1=5\text{м/с}$

$V_2=?$

При равноускоренном движении тело движется с ускорением  $a$ .

Уравнение скорости  $V=V_0+a t$ .

Тогда  $V_1= a t_1, \quad 5=2a, \quad a = \frac{5}{2} \text{ м/с}^2 = 2,5\text{м/с}^2$

$V_2= a t_2, \quad V_2=2,5 \cdot 10=25\text{м/с.}$

**Ответ:**  $V_2=25\text{м/с.}$

**Задача 5.** Поезд двигался со скоростью  $V_0=72\text{км/ч}$ . За  $150\text{м}$  от светофора он начал торможение с ускорением  $a=2\text{м/с}^2$ . Вычислить время торможения и расстояние до светофора в момент остановки.

Рисунок:  $V_0^V \xrightarrow{\quad} \quad | \quad a \xrightarrow{\quad} \quad \quad \quad \quad | \quad V^V$   
 $S=150\text{м}$

**Дано:**

**Решение**

$V_0=72\text{км/ч}=20\text{м/с}$

$a=2\text{м/с}^2$

$S_1=150\text{м}$

$V=0$

$t-? \quad \Delta S-?$

Это равнозамедленное движение.

Уравнение скорости :  $V=V_0+a_x t, \quad a_x = -2\text{м/с}^2$

Тогда  $0=20 - 2t,$

$t = \frac{20}{2} = 10\text{с.}$

$\Delta S=S_1 - S_2, \quad S_2=V_0 t + a_x t^2/2,$

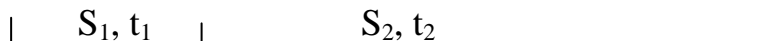
$S_2=20 \cdot 10 - 100 = 100\text{м},$

$\Delta S = 150 - 100 = 50\text{м}$

**Ответ:**  $t=10\text{с}, \quad \Delta S=50\text{м.}$

**Задача 6.** Первые 4км пути автобус проехал за 12минут, а следующие 12км - за 18минут. Определить среднюю скорость движения автобуса на всём пути в км/ч и в м/с.

Рисунок:



**Дано:**

$$S_1 = 4 \text{ км}$$

$$t_1 = 12 \text{ мин} = \frac{12}{60} = 0,2 \text{ ч}$$

$$S_2 = 12 \text{ км}$$

$$t_2 = 18 \text{ мин} = \frac{18}{60} = 0,3 \text{ ч}$$

$$\underline{V_{\text{cp}} = ? \text{ (км/ч, м/с)}}$$

**Решение**

Это неравномерное движение, средняя скорость

которого равна:  $V_{\text{cp}} = \frac{S_1 + S_2}{t_1 + t_2}$

$$V_{\text{cp}} = \frac{4 + 12}{0,2 + 0,3} = \frac{16}{0,5} = 32 \text{ км/ч}$$

$$V_{\text{cp}} = \frac{32}{3,6} = 8,8 \text{ м/с}$$

**Ответ:**  $V_{\text{cp}} = 32 \text{ км/ч} = 8,8 \text{ м/с}$ .

**Задача 7.** Тело падает с высоты  $h$  и в момент падения на землю имеет скорость  $V = 36 \text{ м/с}$ . С какой высоты и сколько времени падало тело? (Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ ).

**Дано:**

$$V_0 = 0$$

$$= 10 \text{ м/с}^2$$

$$V = 36 \text{ м/с}$$

$$\underline{h - ? \quad t - ?}$$

**Решение**

Это свободное падение тела, поэтому высота падения  $h$   $g$  равна:

$h = g t^2 / 2$ , а скорость равна  $V = g t$ .

$$t = \frac{V}{g} = \frac{36}{10} = 3,6 \text{ (с)}$$

$$h = \frac{1}{2} g t^2 = 0,5 \cdot 10 \cdot 3,6^2 = 75 \text{ (м)}$$

**Ответ:**  $t = 3,6 \text{ с}$ ,  $h = 75 \text{ м}$

**Задача 8.** Тело бросили вертикально вверх со скоростью  $V_0 = 30 \text{ м/с}$ . На какой высоте и через сколько времени скорость тела уменьшится в три раза? (Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ ).

**Дано:**

$$V_0 = 30 \text{ м/с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$\underline{V = V_0 / 3}$$

$$\underline{h - ? \quad t - ?}$$

**Решение**

Это движение тела, брошенного вертикально вверх, поэтому

$$V = V_0 - g t$$

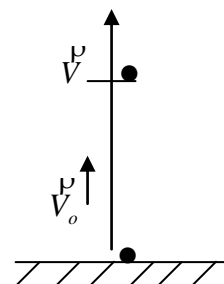
$$h = V_0 t - 0,5 g t^2$$

$$V = V_0 / 3 = 30 / 3 = 10 \text{ (м/с)}$$

$$t = \frac{V - V_0}{g} = \frac{10 - 30}{10} = -2 \text{ (с)}$$

$$h = 30 \cdot 2 - 0,5 \cdot 10 \cdot 2^2 = 60 - 20 = 40 \text{ (м)}$$

**Ответ:**  $t = 2 \text{ с}$ ,  $h = 40 \text{ м}$





**Задача 9.** Поезд движется по криволинейной траектории радиусом 1000м с постоянной по модулю скоростью 72км/ч. Чему равно нормальное ускорение поезда?

<b>Дано:</b>	<b>Решение</b>
$R=1000\text{м}$	Это криволинейное равномерное движение
$V=72 \text{ км/ч}=20 \text{ м/с}$	$a_n = \frac{V^2}{R} = \frac{20^2}{1000} = \frac{400}{1000} = 0,4(\text{м/с}^2)$
$a_n=?$	<b>Ответ: <math>a_n=0,4\text{м/с}^2</math></b>

**Задача 10.** Угловая скорость вращения колеса  $\omega=20\pi$  рад/с. Определить период вращения и число оборотов колеса за 1 минуту.

<b>Дано:</b>	<b>Решение</b>
$\omega=20\pi \text{ с}^{-1}$	Это равномерное вращение точки по окружности
$\pi=3,14$	$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$
$t=1\text{мин}=60\text{с}$	$T = \frac{2 \cdot 3,14}{20 \cdot 3,14} = 0,1(\text{с})$
$T=?, n=?$	$T = \frac{t}{n} \Rightarrow n = \frac{t}{T} = \frac{60}{0,1} = 600 (\text{оборотов})$
	<b>Ответ: <math>T=0,1\text{с}; n=600 \text{ оборотов}</math></b>

## II. МЕХАНИКА. ДИНАМИКА (I)

Символы (обозначение в формулах)	Название физической величины (наименование)	Единица измерения	Название единиц измерения
$m$ (эм)	масса	кг	килограмм
$V$ (вэ)	объём	$m^3$	метр в кубе
$\rho$ (ро)	плотность	$кг/м^3$	килограмм на метр кубический
$a$	ускорение	$м/с^2$	метр в секунду в квадрате
$g$ (же)	ускорение свободного падения	$м/с^2$	метр в секунду в квадрате
$F$ (эф)	сила, сила тяжести	Н	Ньютон
$F_{уп}$	сила упругости	Н	Ньютон
$F_{тр}$	сила трения	Н	Ньютон
$N$ (эн)	сила реакции опоры	Н	Ньютон
$P$ (пэ)	вес тела	Н	Ньютон
$p$ (пэ)	импульс тела	$кгм/с$	килограмм-метр в секунду
$r$ (эр)	расстояние между телами	м	метр
$V$ (вэ)	скорость	$м/с$	метр в секунду
$\Delta V$ (дельта вэ)	изменение скорости	$м/с$	метр в секунду
$t$ (тэ)	время	с	секунда
$x$ (икс)	деформация тела (смещение)	м	метр
$G$ (же)	гравитационная постоянная	$G=6,67 \cdot 10^{-11}$ $Нм^2/кг^2$	
$k$ (ка)	коэффициент упругости (жёсткости пружины)	Н/м	Ньютон на метр
$\mu$ (мю) –	коэффициент трения	размерности не имеет	

### ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Единицы массы:  $1кг=1000г$ ;  $1т=1000кг$ .

Единицы объема:  $1м^3$

Единицы силы:  $1Н=1кг \cdot м/с^2$ ,  $1кН=1000Н$ ,

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ДИНАМИКИ

**Инерция** – явление сохранения скорости равномерного прямолинейного движения тела (или его состояния покоя), если на тело не действуют силы.

**Инертность тела** – свойство тел по-разному изменять свою скорость при взаимодействиях.

**Масса** – величина, являющаяся мерой инертности тела.

$[m]=кг$  – единица измерения массы – килограмм.

**Сила** – физическая величина, которая является мерой взаимодействия тел и приводит к изменению скорости.

$[F]=Н$  – единица измерения силы – ньютон,  $F=ma$ .

## Законы Ньютона

**I (первый) закон Ньютона:** В инерциальных системах отсчёта тела, покоящиеся или движущиеся равномерно и прямолинейно, не изменяют своего состояния, если на них не действуют силы.

$$\Sigma \vec{F} = 0 \Rightarrow V = \text{const}$$

**II (второй) закон Ньютона:** Ускорение тела пропорционально вызывающей его силе и обратно пропорционально массе тела.

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

**III (третий) закон Ньютона:** Два тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной прямой, разными по модулю и противоположными по направлению.

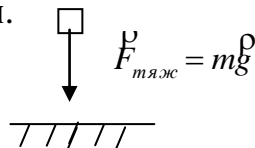
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

**Закон всемирного тяготения:** Между любыми телами возникает сила гравитационного притяжения, прямо пропорциональная произведению масс и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad G - \text{гравитационная постоянная,}$$
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$$

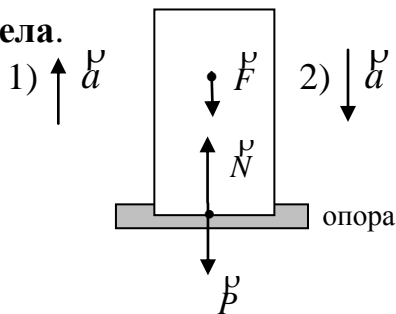
## ОСНОВНЫЕ СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

**Сила тяжести.**



**Сила тяжести** – это сила, с которой все тела притягиваются Землей.

**Вес тела.**



**Вес тела** сила, с которой тело действует на подвес или опору.

1) Если опора движется вверх с ускорением  $\vec{a}$ , то вес тела увеличивается

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

2) Если опора движется вниз с ускорением  $\vec{a}$ , то вес тела уменьшается

$$P = m(g - a), \text{ если } a = g, \text{ то } P = 0.$$

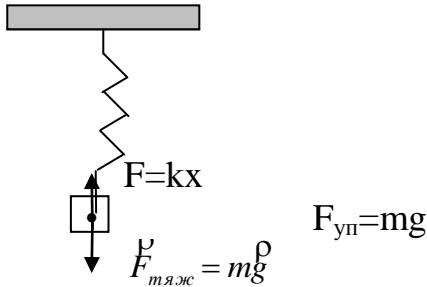
**Сила упругости.**

**Сила упругости** – это сила, которая возникает в результате деформации тела и направлена в сторону, противоположную перемещению частиц тела.

**Закон Гука.** Сила упругости  $F_{упр}$  при упругой деформации прямо пропорциональна смещению  $x$ :

$$F_{упр} = -kx$$

$x$  - смещение (величина деформации)  
 $k$  - коэффициент упругости  
 (коэффициент жесткости тела)

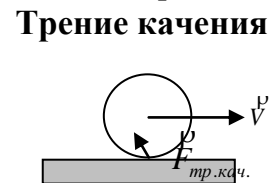
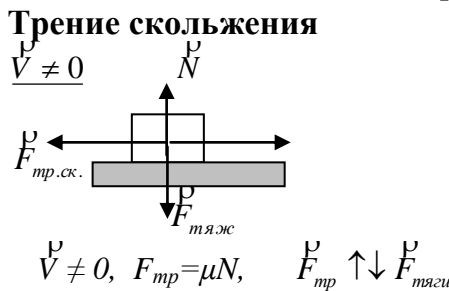
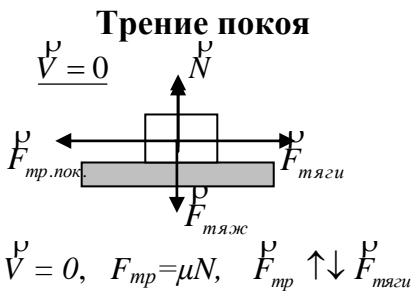


**Сила трения.**

**Сила трения** – это сила, которая возникает при перемещении одного тела по поверхности другого тела, и препятствует этому перемещению.

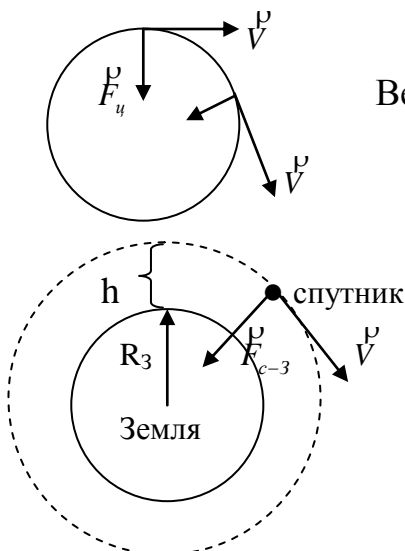
$$F_{тр} = \mu N$$

$\mu$  - коэффициент трения;  
 $N$  - сила реакции опоры



**Центростремительная сила.**

Равномерное движение по окружности – это вид криволинейного движения. Вектор скорости  $V$  направлен по касательной к окружности, а равнодействующая всех приложенных к телу сил  $F_u$  направлена к центру окружности. Это **центростремительная сила**.



Сила сообщает телу **центростремительное** (нормальное) ускорение  $a_u$ .

Вектор ускорения направлен к центру окружности.

$$a_u = \frac{V^2}{R} = \omega^2 R \quad F_u = \frac{mV^2}{R} = m\omega^2 R$$

Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите под воздействием гравитационной

силы  $F_{c-3}$ :

$$F_{c-3} = G \frac{mM_3}{(R+h)^2}$$

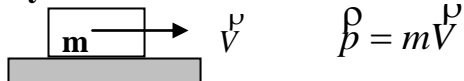
Сила сообщает спутнику центростремительное ускорение:

$$a_u = \frac{V^2}{R_3 + h}$$

Скорость спутника не зависит от его массы, а определяется только его высотой над Землей:  $V = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3 + h}}$ , если  $h \leq R_3$ , то  $V = \sqrt{gR_3}$ ,  $V=8\text{км/с}$

### Импульс.

**Импульс тела** является количественной характеристикой движения тела.

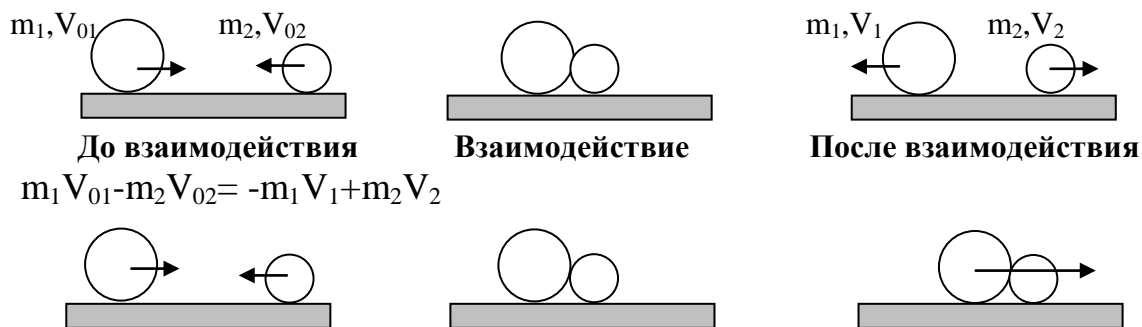


Физическая величина  $\vec{F} \cdot t$  называется **импульсом силы**.

Изменение импульса тела  $\Delta(m\vec{V})$  равно импульсу силы  $\vec{F}\Delta t$ , которая действует на это тело:  $\Delta(m\vec{V}) = \vec{F}\Delta t \Rightarrow \Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$

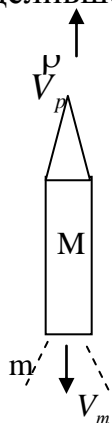
**Закон сохранения импульса:** в изолированной (замкнутой) системе векторная сумма импульсов тел до взаимодействия равна векторной сумме тел после взаимодействия. Это означает, что сумма импульсов системы (например, из двух тел) до взаимодействия равна сумме импульсов после взаимодействия.

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$



$$m_1V_{01} - m_2V_{02} = (m_1 + m_2)V$$

На законе сохранения импульса основан принцип реактивного движения: если от тела с определенной скоростью отделяется какая-то часть, то само тело начинает двигаться в сторону, противоположную направлению движения отделившейся части. Движение ракеты – это пример реактивного движения.



Скорость движения ракеты вычисляют по формуле:

$$\vec{V}_p = -\frac{m\vec{V}_m}{M}$$

$M$  – масса ракеты;

$m$  – масса выброшенных газов;

$V_m$  – скорость вытекания топлива.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ДИНАМИКА I»

**Задача 1.** Какой объем воды находится в сосуде, если на него действует сила тяжести 500Н? Плотность воды  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:	Решение
$F_{\text{тяж}}=500\text{Н}$	Формула силы тяжести: $F_{\text{тяж}}=mg, \Rightarrow m = \frac{F_{\text{тяж}}}{g} = \frac{mg}{g}$
$g=10 \text{ м/с}^2$	Формула объёма: $V = \frac{m}{\rho}$
$\rho=1000 \text{ кг/м}^3$	$m = \frac{500}{10} = 50 \text{ (кг)} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{50}{1000} = 0,05(\text{м}^3)$
<b>V-?</b>	<b>Ответ:</b> $V=0,05\text{м}^3$

**Задача 2.** Вес тела равен 100Н. Чему будет равен вес данного тела при подъеме с ускорением 2 м/с<sup>2</sup>

Дано:	Решение
$P_0=100\text{Н}$	Зная вес тела, вычислим его массу:
$g=10 \text{ м/с}^2$	$P_0=mg \quad \Rightarrow \quad m = \frac{P_0}{g} = \frac{mg}{g} \quad m = \frac{100}{10} = 10 \text{ (кг)}$ ;
$a=2 \text{ м/с}^2$	При подъеме тела с ускорением $a$ вес вычисляем по формуле <b><math>P=m(g+a)</math></b>
<b>P - ?</b>	$P=10 \cdot (10+2) = 120 \text{ (Н)}$ <b>Ответ:</b> $P=120\text{Н}$

**Задача 3.** Тело массой 10кг перенесли с поверхности Земли на Луну. Ускорение свободного падения на Луне  $1,75\text{м/с}^2$ . Как при этом изменится вес тела?

Дано:	Решение
$m=10\text{кг}$	Вычислим вес тела на Земле и на Луне:
$g_3 \approx 10\text{м/с}^2$	$P_3 = mg_3 \quad \Rightarrow \quad P_3 = 10 \cdot 10 = 100(\text{Н}),$
$g_L \approx 1,75\text{м/с}^2$	$P_L = mg_L \quad \Rightarrow \quad P_L = 10 \cdot 1,75 = 17,5(\text{Н}),$
$\frac{P_3}{P_L} - ?$	Вес тела на Луне уменьшился. Найдем отношение $\frac{P_3}{P_L}$ :
	$\frac{P_3}{P_L} = \frac{100}{17,5} \approx 5,7(\text{раза}).$

**Ответ:** вес тела уменьшится в 5,7 раза.

**Задача 4.** Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч и начинает торможение. Коэффициент трения 0,3. Какой путь пройдет автомобиль до полной остановки?

Дано:	Решение
$V_0=72\text{км/ч}=20\text{м/с}$	Тело движется под действием силы трения:
$\mu=0,3$	$F_{\text{тр}} = \mu mg = ma \quad \Rightarrow \quad a = \mu g \quad \Rightarrow \quad a = 0,3 \cdot 10 = 3(\text{м/с}^2)$
$V=0$	$V^2 - V_0^2 = -2aS$
$g \approx 10\text{м/с}^2$	$S = \frac{V^2 - V_0^2}{-2a} \quad S = \frac{0 - 20^2}{-2 \cdot 3} = \frac{400}{6} = 66,7(\text{м})$
<b>S-?</b>	<b>Ответ:</b> $S=66,7 \text{ м}$

**Задача 5.** К пружине, коэффициент упругости которой  $10^4 \text{ Н/м}$ , подвесили груз массой  $50 \text{ кг}$ . Найти величину деформации пружины.

Дано:	Решение
$k=10^4 \text{ Н/м}$	По закону Гука сила упругости $F_{\text{упр.}}=kx$
$m=50 \text{ кг}$	Сила упругости равна силе тяжести (III закон Ньютона):
$g=10 \text{ м/с}^2$	$F_{\text{упр.}}=F_{\text{тяж}}$
$x=?$	$mg=kx \Rightarrow x=\frac{mg}{k} \quad x=\frac{50 \cdot 10}{10^4}=\frac{5}{10^2}=5 \cdot 10^{-2}=0,05(\text{м})$

**Ответ:** величина деформации  $5 \text{ см}$

**Задача 6.** Человек равномерно тянет груз по горизонтальной поверхности с силой, которая направлена под углом  $60^\circ$  к направлению движения. Сила трения равна  $50 \text{ Н}$ . Найти силу тяги.

Дано:	Рисунок	Решение
$\gamma=60^\circ$		Движение равномерное, поэтому
$a=0$		$F_{\text{тяги}} \cdot \cos \gamma = F_{\text{тр.}}$ (I закон Ньютона)
$F_{\text{тр.}}=50 \text{ Н}$		$F_{\text{тяги}} = \frac{F_{\text{тр.}}}{\cos \gamma}$
$F_{\text{тяги}}=?$		$F_{\text{тяги}} = \frac{50}{\cos 60^\circ} = \frac{50}{0,5} = 100(\text{Н})$

**Ответ:**  $F_{\text{тяги}}=100 \text{ Н}$

**Задача 7.** Автобус массой  $3$  тонны начинает движение от остановки и за  $10 \text{ с}$  проходит путь  $0,2 \text{ км}$ . Найти силу тяги мотора автобуса.

Дано:	Решение
$m=3 \text{ т}=3000 \text{ кг}$	Движение автобуса равноускоренное.
$V_0=0$	Уравнение пути: $S=at^2/2, \Rightarrow a=\frac{2S}{t^2}$
$t=10 \text{ с}$	$a=\frac{2 \cdot 200}{10^2}=4(\text{м/с}^2)$
$S=0,2 \text{ км}=200 \text{ м}$	Силу тяги находим по II закону Ньютона:
$F_{\text{тяги}}=?$	$F_{\text{тяги}}=ma \quad F_{\text{тяги}}=3 \cdot 10^3 \cdot 4=12 \cdot 10^3(\text{Н})=12 \text{ кН}$

**Ответ:**  $F_{\text{тяги}}=12 \text{ кН}$

**Задача 8.** Автомобиль массой  $1,5$  тонны движется равноускоренно. На расстоянии  $0,2 \text{ км}$  до полной остановки скорость автомобиля была  $36 \text{ км/ч}$ . Найти силу торможения.

Дано:	Решение
$m=1,5 \text{ т}=1500 \text{ кг}$	Движение равнозамедленное.
$S=0,2 \text{ км}=200 \text{ м}$	Уравнение скорости: $V=V_0 - at$
$V_0=36 \text{ км/ч}=10 \text{ м/с}$	Уравнение пути: $S=V_0 t - 1/2 at^2 \Rightarrow V^2 - V_0^2 = -2aS$
$V=0$	Найдем ускорение торможения:
$F_{\text{торм}}=?$	$a=\frac{V^2 - V_0^2}{-2S} \quad a=\frac{0 - 100}{-2 \cdot 200} = \frac{100}{400} = 0,25(\text{м/с}^2)$
	Силу торможения находим по II закону Ньютона:
	$F_{\text{торм}}=ma \quad F_{\text{торм}}=1500 \cdot 0,25=375(\text{Н})$

**Ответ:**  $F_{\text{торм}}=375 \text{ Н}$

**Задача 9.** Тело массой 2кг начинает движение под действием силы тяги 10Н. Найти скорость тела через 3с и путь, пройденный телом за это время.

**Дано:**

**Решение**

$$V_0=0$$

$$F_{\text{тяги}}=10\text{Н}$$

$$m=2\text{кг}$$

$$t=3\text{с}$$

$$V=? \quad S=?$$

Движение равноускоренное. Найдем ускорение по II закону

$$\text{Ньютона: } F_{\text{тяги}}=ma \Rightarrow a = \frac{F_{\text{тяги}}}{m} \quad a = \frac{10}{2} = 5(\text{м/с}^2)$$

$$\text{Уравнение скорости: } V=at, \quad V=5 \cdot 3=15(\text{с})$$

$$\text{Уравнение пути: } S=1/2 at^2 \quad S=1/2 \cdot 5 \cdot 3^2=22,5(\text{м})$$

$$\text{Ответ: } V=15\text{с}; \quad S=22,5\text{м}$$

**Задача 10.** Вагон массой 60тонн, который движется со скоростью 3м/с, догнал другой вагон массой 80тонн, который двигался со скоростью 2м/с. Найти скорость движения двух вагонов после сцепки.

**Дано:**

**Решение**

$$m_1=60\text{т}=6 \cdot 10^4\text{кг}$$

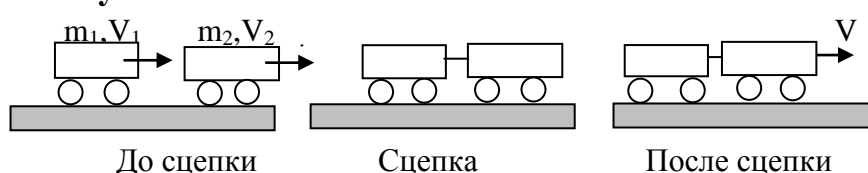
$$m_2=80\text{т}=8 \cdot 10^4\text{кг}$$

$$V_1=3\text{м/с}$$

$$V_2=2\text{м/с}$$

$$V=?$$

**Рисунок**



**Решение:**

Закон сохранения импульса для этой системы тел:

$$\text{в векторной форме: } m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = (m_1 + m_2) \vec{V}$$

$$\text{в скалярной форме: } m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V$$

$$V = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2} \quad V = \frac{60000 \cdot 3 + 80000 \cdot 2}{60000 + 80000} = \frac{34}{14} = 2,43(\text{м/с})$$

$$\text{Ответ: } V=2,43 \text{ м/с}$$

**Задача 11.** Ракета поднялась на высоту 800км над поверхностью Земли. Как изменилась сила притяжения ракеты над Землей? Радиус Земли 6400км.

**Дано:**

**Решение**

$$h=800\text{км}=8 \cdot 10^5\text{м}$$

$$R_3=6400\text{км}=64 \cdot 10^5\text{м}$$

$$\frac{F_{np1}}{F_{np2}} = ?$$

$$\text{Сила притяжения у поверхности Земли: } F_{np1} = G \frac{mM_3}{R_3^2}$$

$$\text{Сила притяжения на высоте } h: F_{np2} = G \frac{mM_3}{(R_3 + h)^2}$$

$$\frac{F_{np1}}{F_{np2}} = \frac{(R_3 + h)^2}{R_3^2};$$

$$\frac{F_{np1}}{F_{np2}} = \frac{(64 \cdot 10^5 + 8 \cdot 10^5)^2}{(64 \cdot 10^5)^2} = \frac{5184 \cdot 10^{10}}{4096 \cdot 10^{10}} = 1,266$$

Сила притяжения на высоте 800км уменьшилась в 1,27 раза (на 21%).

$$\text{Ответ: } \frac{F_{np1}}{F_{np2}} \approx 1,27$$



### III. МЕХАНИКА. ДИНАМИКА (II)

Символы (обозначение в формулах)	Название физической величины (наименование)	Единица измерения	Название единиц измерения
<b>m</b> (эм)	масса	кг	килограмм
<b>S</b> (эс)	путь (перемещение)	м	метр
<b>F</b> (эф)	сила	Н	ньютон
<b>A</b> (а)	работа	Дж	джоуль
<b>N</b> (эн)	мощность	Вт	ватт
$\eta$ (эта)	КПД (коэффициент полезного действия)	%	проценты
<b>E<sub>к</sub></b>	кинетическая энергия	Дж	джоуль
<b>E<sub>п</sub></b>	потенциальная энергия	Дж	джоуль
<b>g</b> (же)	ускорение свободного падения	м/с <sup>2</sup>	метр в секунду в квадрате
<b>h</b> (аш)	высота	м	метр
<b>T</b> (тэ)	период колебаний	с	секунда
<b>l</b> (эль)	длина нити	м	метр
<b>k</b> (ка)	коэффициент упругости (жёсткости) пружины	Н/м	ньютон на метр
<b>A</b>	амплитуда колебаний	м	метр
<b><math>\omega</math></b> (омега)	циклическая частота	рад/с, с <sup>-1</sup>	секунда в минус первой степени
$\varphi_0$ (фи)	начальная фаза	рад	радиан
$\lambda$ (лямбда) –	длина волны	м	метр
$\nu$ (ню) –	частота	с <sup>-1</sup>	секунда в минус первой степени
<b>M</b> (эм)	момент силы	Н·м	ньютон на метр
<b>d</b>	плечо силы	м	метр
<b>P</b>	давление	Н/м <sup>2</sup>	ньютон на метр в квадрате
<b>S</b>	площадь	м <sup>2</sup>	метр в квадрате
$\rho$ (ро)	плотность жидкости	кг/м <sup>3</sup>	килограмм на метр в кубе
<b>V</b> (вэ)	объём тела	м <sup>3</sup>	метр в кубе

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ДИНАМИКИ

#### Механическая работа.

**Механическая работа** – это физическая величина, которая характеризует действие силы на отрезке пути.

Механическая работа – это скалярная величина, равная произведению силы, перемещения тела и косинуса угла между ними.

$$A = F S \cos \alpha$$

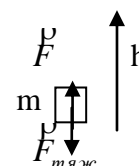
[A]=Дж – единица измерения работы – джоуль. Дж=Н·м

Работа может быть:

- положительной ( $0 < \angle \alpha < 90^\circ$ ),
- равной нулю ( $\angle \alpha = 90^\circ$ ),
- отрицательной ( $\angle \alpha > 90^\circ$ ).

Работа против действия силы тяжести:  $A = F_{\text{тяж}} h = mgh$ ,

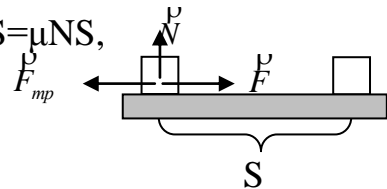
$h$  – высота, на которую поднимают тело массой  $m$ .



Работа против действия силы трения:  $A = F_{\text{тр}} S = \mu N S$ ,

$\mu$  – коэффициент трения,

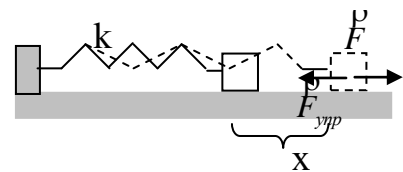
$N$  – сила реакции опоры.



Работа против действия силы упругости:  $A = -\frac{kx^2}{2}$

$k$  – коэффициент упругости пружины,

$x$  – величина деформации пружины



### Мощность. КПД.

**Мощность** – физическая величина, равная отношению работы к промежутку времени, за который она совершена.

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

$[N] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}$  – единица измерения мощности – ватт

Один ватт – это такая мощность, когда за 1 секунду выполняется (совершается) работа в 1 джоуль.

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = \frac{1 \text{ кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^3}$$

Мощность при равномерном движении равна скалярному произведению силы на среднюю скорость движения.

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot V_{\text{ср}}$$

Мощность – это характеристика машин и механизмов.

**Коэффициент полезного действия (КПД)** – это величина, равная отношению полезной работы (мощности) к полной работе (мощности), которую совершает двигатель.

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} = \frac{N_{\text{полезн}}}{N_{\text{полн}}}$$

КПД ( $\eta$  (эта)) выражают в процентах (%).

КПД всегда меньше единицы (меньше 100%).  $\eta < 1$ ;  $\eta < 100\%$ .

В технике используют внесистемные единицы работы: ватт-час (Вт·ч), киловатт-час (кВт·ч).  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .

### Энергия.

**Механическая энергия тела** (системы тел) – это скалярная физическая величина, которая характеризует механическое состояние тела (системы тел) и изменение которой равно механической работе, которую тело (система тел) может совершить.

$$A = \Delta E = E - E_0 \quad E - \text{начальная энергия; } E_0 - \text{конечная энергия}$$

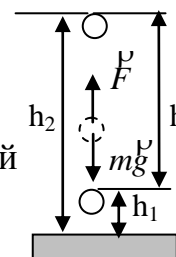
$[E] = \text{Дж}$  – единица измерения энергии – джоуль

Есть два вида механической энергии – кинетическая энергия и потенциальная энергия.

**Потенциальная энергия** – энергия взаимодействия тел (определяется взаимным положением тел или частей тела).

Потенциальная энергия тела массой  $m$ , поднятого над Землей на высоту  $h$ :

$$E_n = mgh.$$



Работа силы тяжести равна изменению потенциальной энергии тела, взятому с противоположным знаком:

$$A = mgh \cos 180^\circ = -mg(h_2 - h_1)$$

Работа определяет изменение энергии, а не саму энергию.

Потенциальная энергия упруго деформированной пружины с коэффициентом упругости  $k$ :

$$E_n = \frac{kx^2}{2}, \quad x - \text{величина деформации.}$$

Работа силы упругости равна изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком:

$$A = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right).$$

**Кинетическая энергия** – это энергия движения.

$$E_k = \frac{mV^2}{2}$$

Если на тело действует сила, то оно движется с ускорением (скорость изменяется от  $V_1$  до  $V_2$ ). Работа, совершаемая силой, идёт на изменение энергии движения тела:

$$A = FS = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} = \Delta E_k$$

**Полная механическая энергия** – это сумма потенциальной и кинетической энергий.

$$E = E_k + E_n$$

Если несколько тел в замкнутой системе взаимодействуют только силами тяготения и силами упругости, то для этой системы выполняется закон сохранения энергии.

**Закон сохранения энергии:** в замкнутой системе тел полная механическая энергия – это величина постоянная.

$$E_k + E_n = \text{const}$$

### Основные понятия статики.

**Статика** – часть механики, в которой изучают условия равновесия тел под действием приложенных сил.

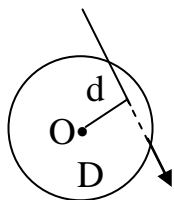
**Равновесие** – это состояние покоя или равномерного прямолинейного движения тела (или материальной точки).

**Момент силы  $M$**  – это величина, которая характеризует вращающее действие силы.

$$[M] = \text{Н} \cdot \text{м} - \text{единица измерения момента} - \text{ньютон на метр.}$$

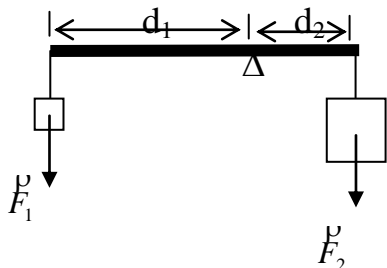
**Плечо силы ( $d$ )** – это наименьшее расстояние (перпендикуляр) от оси вращения (т.О) до линии действия силы.

$$M = F \cdot d$$



Момент силы считают положительным, если сила вращает (поворачивает) тело по часовой стрелке и отрицательным – если против часовой стрелки

### Условия равновесия тел:



- 1) геометрическая сумма всех сил, которые действуют на тело, равна нулю:

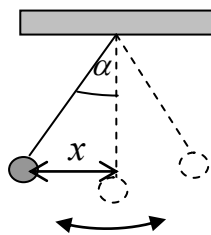
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = 0 \quad \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$$

- 2) алгебраическая сумма моментов всех сил, которые действуют на тело, равна нулю

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0$$

### Механические колебания.

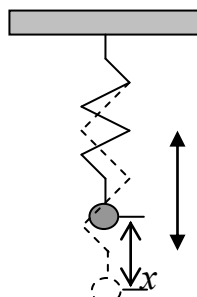
**Колебания** – это периодические (повторяющиеся) отклонения системы от положения равновесия.



#### Математический маятник

(Колебания происходят под действием силы тяжести)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ - период колебаний математического маятника, (l – длина нити)}$$



#### Пружинный маятник

(Колебания происходят под действием силы упругости)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ - период колебаний пружинного маятника, (k – жесткость пружины)}$$

### Характеристики колебаний

**Период колебаний T** – это время одного полного колебания.

[T]=с – единица измерения периода – секунда.

**Частота колебаний nu** – количество колебаний в единицу времени.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\nu] = \text{Гц} \text{ – единица измерения частоты – герц. } 1 \text{ Гц} = \text{с}^{-1}.$$

**Циклическая частота w** – количество колебаний за время 2pi секунд.

$$w = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad [w] = \text{рад/с} \text{ – единица измерения – радиан в секунду.}$$

**Смещение x** – абсолютное отклонение от положения равновесия или координата в данный момент времени.

**Амплитуда A** – максимальное смещение системы от положения равновесия.

## Гармонические колебания

**Гармонические колебания** – это колебания, при которых некоторые их характеристики изменяются со временем по закону синуса или косинуса.

### Уравнение гармонических колебаний:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (\omega t + \varphi_0) - \text{фаза}; \quad \varphi_0 - \text{начальная фаза.}$$

Примеры уравнений гармонических колебаний:

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0) - \text{координаты};$$

$$V = V_0 \sin(\omega t + \varphi_0) - \text{скорости};$$

$$a = a_0 \sin(\omega t + \varphi_0) - \text{ускорения.}$$

## Механические волны

**Волна** – процесс распространения колебаний в пространстве.

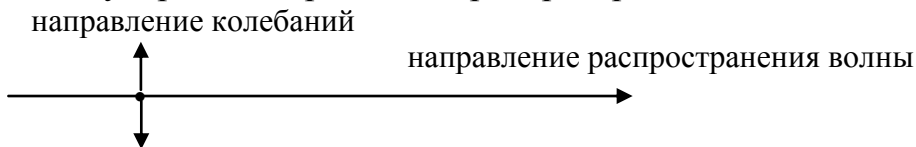
**Механические волны** – это процесс распространения колебаний в упругой среде.

**Продольные волны** – частицы среды колеблются в направлении распространения волны.



Продольные волны распространяются в твердых, жидких и газообразных средах.

**Поперечные волны** – частицы среды колеблются в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.



Поперечные волны распространяются в твердых средах.

## Характеристики волны

**Период колебаний  $T$**  – время одного колебания.

**Длина волны  $\lambda$**  – это расстояние между ближайшими точками, колеблющимися в одной фазе (расстояние, на которое распространяется волна за период).

**Частота колебаний  $\nu$**  – количество колебаний в единицу времени.

**Скорость волны  $V$**  – скорость распространения колебаний в пространстве. Скорость распространения волны зависит от свойств физической среды.

$$\lambda = VT = \frac{V}{\nu} = \frac{2\pi V}{\omega}, \quad \nu = \frac{1}{T}$$

Процесс распространения продольных волн в упругой среде называется звуковыми колебаниями.

**Звук** – это та часть звуковых колебаний, которую воспринимают органы слуха (это механические колебания в диапазоне частот от 20 Гц до 20000 Гц). Скорость звука в воздухе при 0°C равна 331 м/с.

## Давление

**Давление  $P$**  – это скалярная физическая величина, равная отношению модуля силы  $F$ , которая действует перпендикулярно к поверхности, на площадь этой поверхности  $S$ :

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

$[P]=\text{Па}$  – единица измерения давления – паскаль,  $1\text{Па}=\text{Н}/\text{м}^2=\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}^2$

**Закон Паскаля** – жидкость или газ передают внешнее давление одинаково по всем направлениям.

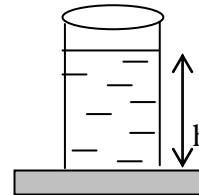
**Гидростатическое давление** – это давление, которое создается весом столба жидкости.

$$P = \rho gh,$$

$\rho$  – плотность жидкости,

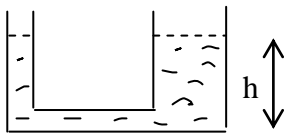
$h$  – глубина (высота столба жидкости)

Давление жидкости на дно сосуда  $P = \rho gh$ .



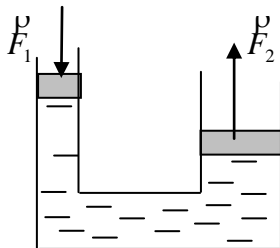
Давление жидкости на боковую поверхность (стенки) сосуда  $P = \frac{\rho gh}{2}$ .

## Сообщающиеся сосуды



При любой форме сосудов, в которых содержится однородная жидкость, поверхности жидкости устанавливаются на одном уровне.

**Гидравлическая машина** – это устройство, работа которого основана на сообщающихся сосудах различного диаметра, заполненных однородной жидкостью.



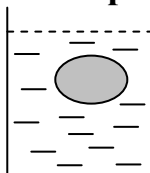
$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

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

## Закон Архимеда

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

**Сила Архимеда  $F_A$ :**



$$F_A = \rho g V_m$$

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости,

$V_m$  – объём части тела, погруженной в жидкость

## Атмосферное давление

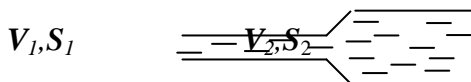
Давление атмосферы (смеси газов над поверхностью Земли) на  $1\text{м}^2$  поверхности Земли, называется атмосферным давлением.

Нормальное атмосферное давление  $P = 10^5 \text{Па}$ .

## Уравнение Бернулли

Уравнение Бернулли описывает связь скорости течения жидкости с давлением:  $P + \frac{\rho V^2}{2} = const$  - давление больше там, где скорость движения жидкости меньше, и наоборот: давление меньше там, где скорость движения жидкости больше.

Скорость потока в трубе обратно пропорциональна площади поперечного сечения  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1}$



## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ДИНАМИКА II»

**Задача 1.** Электровоз движется со скоростью 54 км/ч. На каком расстоянии он остановится после выключения двигателя, если коэффициент трения равен 0,05? (Ускорение свободного падения принять равным  $g=10\text{м/с}^2$ ).

<b>Дано:</b>	<b>Решение</b>
$V_0=54\text{км/ч}=15\text{м/с}$	Работа равна изменению кинетической энергии $A=\Delta E_k$
$V=0$	$\Delta E_k = \frac{mV_0^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = \frac{mV_0^2}{2}$
$\mu=0,05$	Механическая работа $A=F \cdot S \Rightarrow F \cdot S = \frac{mV_0^2}{2}$
$g=10\text{м/с}^2$	Сила трения $F=\mu mg \Rightarrow \mu mg S = \frac{mV_0^2}{2}$
$S=?$	$S = \frac{mV_0^2}{2\mu mg} = \frac{V_0^2}{2\mu g} \Rightarrow S = \frac{15^2}{2 \cdot 0,05 \cdot 10} = 225(\text{м})$
	<b>Ответ: <math>S=225\text{м}</math></b>

**Задача 2.** Железное тело в керосине имеет вес 24Н. Определить вес железа в воздухе.

<b>Дано:</b>	<b>Решение</b>
$P_{кер}=24\text{Н}$	Вес тела в воздухе $P_{возд} = P_{кер} + F_{Арх} \quad P_{возд} = mg = \rho_{ж\text{ел}} Vg$
$\rho_{кер}=800\text{кг/м}^3$	Сила Архимеда
$\rho_{ж\text{ел}}=7,8 \cdot 10^3\text{кг/м}^3$	$F_{Арх} = \rho_{кер} g V, \quad V - \text{объем погруженного тела}$
$P_{возд}=?$	$\rho_{ж\text{ел}} Vg = P_{кер} Vg$
	Объем тела $V = \frac{P_{кер}}{g(\rho_{ж\text{ел}} - \rho_{кер})}$
	$P_{возд} = \rho_{ж\text{ел}} g \cdot \frac{P_{кер}}{g(\rho_{ж\text{ел}} - \rho_{кер})} = \frac{\rho_{ж\text{ел}} P_{кер}}{\rho_{ж\text{ел}} - \rho_{кер}}$
	$P_{возд} = \frac{7,8 \cdot 10^3 \cdot 24}{7,8 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 10^3} = 26,74(\text{Н})$
	<b>Ответ: <math>P_{возд}=26,74\text{Н}</math></b>

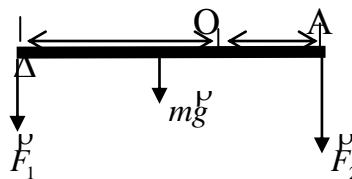
**Задача 3.** Стержень массой 30кг, длиной 1,8м находится в равновесии под действием двух сил, равных 10Н и 50Н. Где находится опора?

**Дано:**

$m=30\text{кг}$   
 $l=1,8\text{м}$   
 $F_1=10\text{Н}$   
 $F_2=50\text{Н}$   
 $x(\text{АО})=?$

**Решение**

Относительно точки опоры О силы  $F_1$ ,  $mg$  и  $F_2$  создают вращающие моменты:



$$M=mgx$$

$$M_1=F_1(l/2+x)$$

$$M_2=F_2(l/2-x)$$

Условие равновесия стержня относительно точки опоры:

$$-M_1 - M + M_2 = 0$$

$$-F_1(l/2+x) - mgx + F_2(l/2-x) = 0$$

$$-10(0,9+x) - 30x + 50(0,9-x) = 0 \quad | :10$$

$$-0,9 - x - 3x + 4,5 - 5x = 0$$

$$-9x + 3,6 = 0$$

$$x = 0,4$$

**Ответ:  $x=0,4\text{м}$ . Расстояние ОА равно 40см.**

**Задача 4.** Скорость течения воды в широкой трубе 1,5м/с при гидростатическом давлении 25кПа. Найти гидростатическое давление воды в узкой трубе, диаметр которой в 2 раза меньше, чем диаметр широкой трубы.

**Дано:**

$V_1=1,5\text{м/с}$   
 $P_1=25\text{кПа}=25 \cdot 10^3\text{Па}$   
 $\frac{d_1}{d_2} = 2$   
 $\rho=10^3\text{кг/м}^3$

**Решение**

В стационарном потоке жидкости скорость обратно пропорциональна площади поперечного сечения потока:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1}, \text{ где } S = \frac{\pi d^2}{4} - \text{площадь поперечного сечения трубы,}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \cdot d_1^2}{d_2^2} = V_1 \cdot 2^2 = 1,5 \cdot 4 = 6(\text{м/с})$$

Уравнение Бернулли для потока жидкости:

$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} \Rightarrow P_2 = P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} - \frac{\rho V_2^2}{2}$$

$$P_2 = P_1 + \frac{\rho}{2}(V_1^2 - V_2^2)$$

$$P_2 = 25 \cdot 10^3 + 500(1,5^2 - 6^2) = 25 \cdot 10^3 + 500 \cdot (2,25 - 36) = 25000 - 16875 = 8125 = 8,125(\text{кПа})$$

**Ответ:  $P_2=8,125\text{кПа}$**

**Задача 5.** Волна с частотой колебаний 12кГц распространяется в железе со скоростью 4842м/с. Найти длину волны.

**Дано:**

$\nu=12\text{кГц}=12 \cdot 10^3\text{Гц}$   
 $V=4842\text{м/с}$   
 $\lambda=?$

**Решение**

$$\text{Длина волны } \lambda = VT \quad T = \frac{1}{\nu} \Rightarrow \lambda = \frac{V}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{4842}{12 \cdot 10^3} = 0,4035(\text{м})$$

**Ответ:  $\lambda=0,4035\text{м}$**



**Задача 6.** Пружину длиной 30см сжали до 22см. Найти потенциальную энергию пружины, если известно, что для её сжатия на каждый сантиметр нужна сила  $5 \cdot 10^5$ Н.

**Дано:**  
 $l_0=30\text{см}=0,3\text{м}$   
 $l=22\text{см}=0,22\text{м}$   
 $\Delta x=1\text{см}=0,01\text{м}$   
 $\Delta F=5 \cdot 10^5\text{Н}$   
 **$E_n$ -?**

**Решение**  
 Сила упругости (закон Гука)  $F_{\text{упр}}=kx$  или  $\Delta F=k\Delta x$ ,  
 тогда  $k = \frac{\Delta F}{\Delta x}$ .  $k = \frac{5 \cdot 10^5}{10^{-2}} = 5 \cdot 10^7 \text{ Н / м}$   
 Потенциальная энергия пружины равна:  $E_n = \frac{k(l_0 - l)}{2}$   
 $E_n = \frac{5 \cdot 10^7 \cdot (0,3 - 0,22)}{2} = \frac{5 \cdot 10^7 \cdot 0,08}{2} = 2 \cdot 10^7 = 20 \text{ МДж}$

**Ответ:  $E_n=20\text{МДж}$**

**Задача 7.** Найти длину математического маятника, который совершил 100 колебаний за 5 минут 14 секунд в точке Земли, для которой  $g=9,8\text{м/с}^2$ .

**Дано:**  
 $n=100\text{колебаний}$   
 $t=5\text{мин } 14\text{с}=314\text{с}$   
 $g=9,8\text{м/с}^2$   
 **$l$ -?**

**Решение**  
 Период колебаний математического маятника:  
 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$   $T=\frac{t}{n}$   $\pi=3,14$   
 Выразим  $l$ :  $l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} = \frac{t^2 g}{4\pi^2 n^2}$   
 $l = \frac{314^2 \cdot 9,8}{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 100^2} = 2,45\text{(м)}$

**Ответ:  $l=2,45\text{м}$**

**Задача 8.** На какую высоту насос, полезная мощность которого  $2 \cdot 10^3$ кВт, может поднять  $400\text{м}^3$  воды за 1 минуту?

**Дано:**  
 $t=1\text{мин}=60\text{с}$   
 $V=400\text{м}^3$   
 $N_{\text{полезн}}=2 \cdot 10^3\text{кВт}=2 \cdot 10^6\text{Вт}$   
 $\rho=1000\text{кг/м}^3$   
 **$h$ -?**

**Решение**  
 $N_{\text{полезн}} = \frac{A}{t}$   $A=mgh$   $m=V\rho$   $\Rightarrow$   $h = \frac{N_{\text{полезн}} \cdot t}{V\rho g}$   $h = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 60}{400 \cdot 1000 \cdot 10} = 30\text{(м)}$

**Ответ:  $h=30\text{м}$**

**Задача 9.** Найти гидростатическое давление и силу давления, которые действуют на стекло часов на глубине 50м, если площадь стекла часов  $3,5\text{см}^2$ . Плотность воды  $10^3\text{кг/м}^3$ .

**Дано:**  
 $h=50\text{м}$   
 $S=3,5\text{см}^2=3,5 \cdot 10^{-4}\text{м}^2$   
 $P_{\text{атм}}=10^5\text{Па}$   
 $\rho_{\text{воды}}=10^3\text{кг/м}^3$   
 $g=10\text{м/с}^2$   
 **$P_{\text{гидр}}$ -?,  $F$ -?**

**Решение**  
 Гидростатическое давление на глубине  $h$ :  $P_{\text{гидр}}=\rho gh$   
 $P_{\text{гидр}}=10^3 \cdot 10 \cdot 50=5 \cdot 10^5\text{(Па)}$   
 Формула давления  $P = \frac{F}{S} \Rightarrow F=PS$ , где  $P = P_{\text{атм}} + P_{\text{гидр}}$   
 $P=10^5+5 \cdot 10^5=6 \cdot 10^5\text{(Па)}$   
 $F=6 \cdot 10^5 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4}=210\text{(Н)}$

**Ответ:  $P_{\text{гидр}}=5 \cdot 10^5\text{Па}$ ,  $F=210\text{Н}$**

**Задача 10.** На малый поршень гидравлического пресса действует сила 50Н. При этом малый поршень опускается на 25см, а большой поднимается на 5см. Какая сила действует на большой поршень? Какую работу выполняет большой поршень?

**Дано:**

$$F_1=50\text{Н}$$

$$h_1=25\text{см}=0,25\text{м}$$

$$h_2=5\text{см}=0,05\text{м}$$

$$F_2=? \text{ А-?}$$

**Решение**

Соотношение между силами, которые действуют на поршни (закон Паскаля)

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}, \quad \text{где } S - \text{ площадь поршня}$$

Объём жидкости, которую вытесняет малый поршень, равен объёму поднятия жидкости под большим поршнем:  $V_1=V_2$

$$S_1 h_1 = S_2 h_2 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{h_2}{h_1} \quad F_2 = \frac{F_1 \cdot h_1}{h_2}$$

$$F_2 = \frac{50 \cdot 0,25}{0,05} = 250(\text{Н})$$

Работа силы  $F_2$  на отрезке перемещения  $h_2$ :  $A = F_2 \cdot h_2$

$$A = \frac{F_1 \cdot h_1}{h_2} \cdot h_2 = F_1 \cdot h_1, \quad A = 50 \cdot 0,25 = 12,5(\text{Дж})$$

**Ответ:  $F_2=250\text{Н}$ ,  $A=12,5\text{Дж}$**

#### IV. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Символы (обозначение в формулах)	Название физической величины (наименование)	Единица измерения	Название единиц измерения
$m_0$ (эм)	Масса молекулы	кг	килограмм
$M$ (эм)	Молярная масса	кг/моль	килограмм на моль
$N_A$	Число Авогадро	моль <sup>-1</sup>	$N_A=6,02 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
$N$ (эн)	Число молекул		
$n_0$ (эн)	Концентрация молекул	м <sup>-3</sup>	метр в минус третьей степени
$V$ (вэ)	Средняя квадратичная скорость	м/с	метр в секунду
$P$ (пэ)	Давление	Па	паскаль
$T$ (тэ)	Абсолютная температура	К	кельвин
$R$ (эр)	Газовая постоянная	Дж/моль·К	джоуль на моль-кельвин
$k$ (ка)	Постоянная Больцмана	Дж/К	$R=k \cdot N_A$ ; $R=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
$V$ (вэ)	Объём газа	м <sup>3</sup>	метр кубический
$m$ (эм)	Масса газа	кг	килограмм
$E_k$	Средняя кинетическая энергия молекул	Дж	джоуль
$U$ (у)	Внутренняя энергия	Дж	джоуль
$\Delta U$ (дельта у)	Изменение внутренней энергии	Дж	джоуль
$Q$ (кю)	Количество теплоты	Дж	джоуль
$A$ (а)	Работа газа	Дж	джоуль
$c$ (цэ)	Удельная теплоёмкость вещества	Дж/кг·К	джоуль на килограмм-кельвин
$\eta$ (эта)	Коэффициент полезного действия	%	проценты
$\rho$	Абсолютная влажность	г/м <sup>3</sup>	грамм на метр в кубе
$\rho_{\text{нас}}$	Количество насыщенного пара при данной температуре	г/м <sup>3</sup>	грамм на метр в кубе
$B$	Относительная влажность	%	проценты
$\sigma$ (сигма)	Поверхностное натяжение жидкости	Н/м	ньютон на метр
$l$ (эль)	Длина контура поверхности жидкости	м	метр
$h$ (аш)	Высота подъёма жидкости в капилляре	м	метр
$r$ (эр)	Радиус капилляра	м	метр
$\sigma$ (сигма)	Механическое напряжение	Н/м <sup>2</sup>	ньютон на метр в квадрате
$S$ (эс)	Площадь	м <sup>2</sup>	метр квадратный
$l_0$ (эль нулевое)	Начальная длина	м	метр
$\Delta l$ (дельта эль)	Абсолютное удлинение	м	метр
$\xi$ – (эпсилон)	Относительное удлинение	%	проценты
$E$	Модуль упругости (Юнга)	Н/м <sup>2</sup>	ньютон на метр в квадрате
$\sigma_{\text{пр}}$	Предел прочности	Н/м <sup>2</sup>	ньютон на метр в квадрате

## МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ (МКТ)

**Молекулярно-кинетическая теория (МКТ)** – это научная теория, которая объясняет тепловые явления, физические свойства тел и веществ в различных агрегатных состояниях на основе их молекулярного строения, взаимодействия и движения частиц.

### Основные положения МКТ:

1. Все тела состоят из атомов и молекул.
2. Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.
3. Атомы и молекулы взаимодействуют между собой. (Между атомами и молекулами действуют силы взаимодействия – притяжения и отталкивания).

**Диффузия** и **броуновское движение** объясняются молекулярным строением веществ и являются обоснованиями молекулярно-кинетической теории.

**Закон Авогадро:** в равных объёмах при одинаковой температуре и давлении все газы содержат одинаковое число молекул.

**Давление газа** на стенки сосуда объясняется ударами молекул о стенки.

Линейные размеры атомов и молекул представляют собой величину порядка  $10^{-10}$  м.

Массы молекул выражаются очень маленькими числами. Например:  $m_{H_2} = 3,34 \cdot 10^{-27}$  кг,  $m_{H_2O} = 30 \cdot 10^{-27}$  кг.

**Количество вещества** – отношение числа молекул в данном теле к числу атомов в 12 г углерода

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad [\nu] = \text{моль} - \text{единица измерения количества вещества} - \text{моль}.$$

**Моль** – количество вещества, которое содержит столько молекул, сколько атомов содержится в углероде массой 12 г.

**Число Авогадро  $N_A$**  – число молекул или атомов в 1 моле вещества:

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

$$N = \frac{m}{M} N_A, \quad N - \text{число молекул}$$

**Молярная масса  $M$**  – это масса вещества в количестве 1 моль:  $M = m_0 \cdot N_A$   
 $m_0$  – масса одной молекулы.

$[M] = \text{кг/моль}$  – единица измерения молярной массы – кг/моль.

При нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объём, равный 22,4 л.

**Идеальный газ** – это такая модель газа, в которой не учитывают размеры молекул, их взаимодействие, а столкновение молекул рассматривают как абсолютно упругий удар.

Основное уравнение МКТ устанавливает связь между макропараметром – давлением ( $P$ ) и микропараметрами газа – массой молекул ( $m_0$ ), их числом в единице объёма ( $n_0$ ) и средней кинетической энергией молекулы ( $E_k$ ).

$$P = \frac{1}{3} m_0 V^2 n_0 = \frac{2}{3} E_k n_0 - \text{основное уравнение МКТ}$$

$$E_k = \frac{mV^2}{2}$$

Основное уравнение МКТ можно записать в виде:

$P = n_0 k T$ , (k – постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К, T – абсолютная температура,  $n_0$  – концентрация молекул в единице объёма  $n_0 = \frac{N}{V}$ ).

[T]=K – единица измерения абсолютной температуры – кельвин

$$T = (273 + t^{\circ}) \text{K}$$

**Абсолютный нуль** – это температура, при которой давление идеального газа при постоянном объёме равно нулю.

Температура  $t = -273^{\circ}\text{C}$  – это нуль шкалы Кельвина.

Средняя кинетическая энергия молекул:  $E_k = \frac{3}{2} kT$ .

Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул:

$$V = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \text{ где } R = k \cdot N_A - \text{молярная газовая постоянная,}$$

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

**Параметры состояния газа** – это физические величины P, T и V.

P – давление газа, T – температура газа, V – объём газа.

**Уравнение состояния идеального газа**  $\frac{PV}{T} = \text{const}$ .

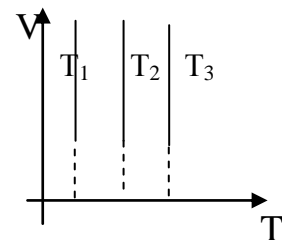
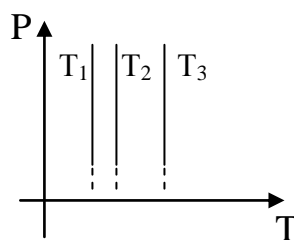
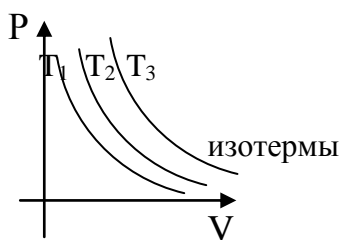
**Уравнение Клапейрона-Менделеева**  $PV = \frac{m}{M} RT$ .

### Газовые законы

**Изопроцессы** – это процессы, при которых один из параметров системы (P, T или V) не изменяется.

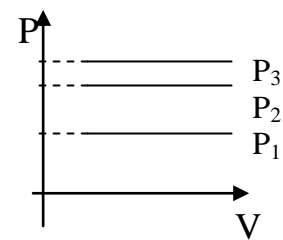
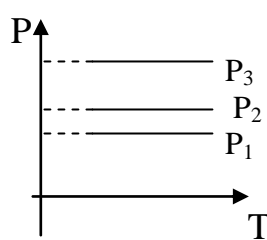
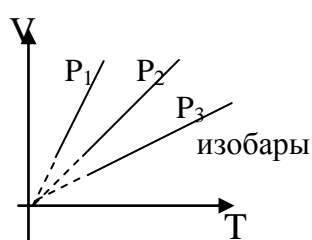
**Изотермический процесс** – это процесс изменения состояния газа при постоянной температуре ( $T = \text{const}$ ).

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



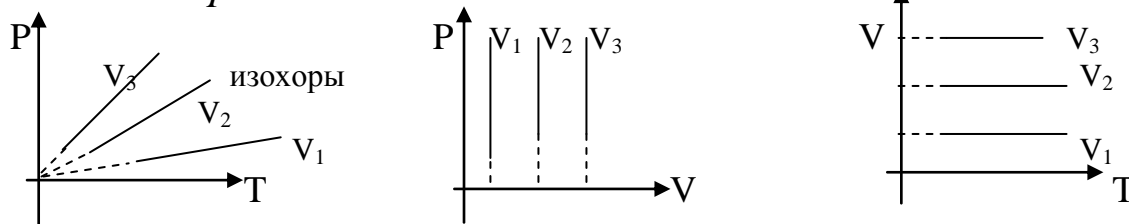
**Изобарический процесс** – это процесс изменения состояния газа при постоянном давлении ( $P = \text{const}$ ).

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



**Изохорический процесс** – это процесс изменения состояния газа при постоянном объёме ( $V = \text{const}$ ).

$$\frac{P}{T} = \text{const} - \text{закон Шарля}$$



**Термодинамика** – это раздел физики, в котором изучают тепловые явления в газах, жидкостях, в твердых телах на основе превращения энергии из одного вида в другой.

**Внутренняя энергия (U)** – сумма кинетической энергии ( $E_k$ ) теплового хаотического движения молекул и потенциальной энергии ( $E_p$ ) их взаимодействия.

$$U = E_k + E_p$$

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$$

[U]=Дж – единица измерения внутренней энергии – джоуль

Изменить внутреннюю энергию можно двумя способами:

- 1) при совершении работы (сжатие или расширение газа);
- 2) при теплообмене (нагревание или охлаждение газа).

$\Delta U$  – изменение внутренней энергии

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T$$

[ $\Delta U$ ]=Дж – единица измерения изменения внутренней энергии – джоуль.

**Количество теплоты Q** – это количественная мера изменения внутренней энергии тела при теплообмене (энергия, которую тело отдает или получает в процессе теплообмена).

[Q]=Дж – единица измерения количества теплоты – джоуль.

$Q = cm\Delta T$  – количество теплоты, необходимое для нагревания (охлаждения) тела.

$c$  – удельная теплоёмкость,  $c = \frac{Q}{m\Delta T}$ ;  $C = mc$  – теплоёмкость.

[ $c$ ]=Дж/кг·К – единица измерения удельной теплоёмкости – джоуль на килограмм-кельвин.

**Первое начало термодинамики:**  $Q = \Delta U + A$

$A$  – работа расширения газа.

- 1) при изотермическом расширении ( $T = \text{const}$ ,  $\Delta U = 0$ ):  $Q = A$ ;
- 2) при изобарическом расширении  $Q = \Delta U + A$ ;  $A = P\Delta V$ , где  $\Delta V$  – изменение объёма.
- 3) при изохорном нагревании ( $V = \text{const}$ ,  $A = 0$ ):  $Q = \Delta U$
- 4) при адиабатическом процессе ( $Q = 0$ ):  $A = -\Delta U$

Первый закон термодинамики - это закон сохранения и превращения энергии:

- количество теплоты ( $Q$ ), переданное газу, идёт на увеличение его внутренней энергии ( $\Delta U$ ) и на работу ( $A$ ), совершенную газом.

$$Q = \Delta U + A$$

В изолированной термодинамической системе изменение внутренней энергии происходит только в процессе теплообмена  $\Delta U = Q$ :

$$Q_{\text{отданное}} = Q_{\text{полученному}} \cdot \text{— уравнение теплового баланса}$$

- количество теплоты, отданное телами ( $Q_{\text{отданное}}$ ), внутренняя энергия которых уменьшается, равно количеству теплоты, полученному телами ( $Q_{\text{полученному}}$ ), внутренняя энергия которых увеличивается.

$Q = \lambda m$  – количество теплоты, необходимое для плавления тела массой  $m$

$\lambda$  – удельная теплота плавления,  $\lambda = \frac{Q}{m}$ ;

$[\lambda] = \text{Дж/кг}$  – единица измерения удельной теплоты плавления – джоуль на килограмм.

$Q = r m$  – количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости массой  $m$  (парообразования).

$r$  – удельная теплота парообразования,  $r = \frac{Q}{m}$ ;

$[r] = \text{Дж/кг}$  – единица измерения удельной теплоты парообразования – джоуль на килограмм.

$Q = q m$  – количество теплоты, выделяемое при сгорании тела массой  $m$

$q$  – удельная теплота сгорания,  $q = \frac{Q}{m}$ ;

$[q] = \text{Дж/кг}$  – единица измерения удельной теплоты сгорания – джоуль на килограмм.

**Тепловая машина** – устройство, в котором тепловая энергия превращается в механическую работу.

$\eta$  – коэффициент полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% \quad \eta < 1$$

$Q_1$  – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя;

$Q_2$  – количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику;

$T_1$  – температура нагревателя;

$T_2$  – температура холодильника.

### **Жидкости и твердые тела**

Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется **парообразованием**.

Испарение и кипение – это два вида парообразования.

**Кипение** – это процесс парообразования внутри объёма жидкости. В процессе кипения температура жидкости не изменяется.

**Испарение** – это процесс парообразования, который происходит при любой температуре. Испарение происходит только с поверхности жидкости.

Быстрота испарения зависит от величины площади поверхности, от температуры и от движения воздуха над поверхностью жидкости.

**Динамическое равновесие** – состояние, при котором число молекул, вылетающих из жидкости (парообразование) в единицу времени, равно числу молекул, возвращающихся в жидкость (конденсация) за то же время.

**Насыщенный пар** – пар, который находится в динамическом равновесии со своей жидкостью. Давление насыщенного пара  $P_{\text{нас}}$  зависит только от температуры.

**Точка росы** – температура, при которой водяной пар становится насыщенным.

**Ненасыщенный пар** – пар, давление которого ниже давления насыщенного пара  $P < P_{\text{нас}}$ .

**Абсолютная влажность воздуха** – количество водяного пара в  $1\text{ м}^3$  воздуха, выраженное в граммах (это плотность водяного пара в воздухе).

**Относительная влажность воздуха (В)** – отношение давления пара, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного пара при той же температуре, выраженное в процентах.

$$B = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$$

### **Поверхностное натяжение**

Работа, которую нужно произвести для образования единицы площади поверхностного слоя жидкости (при постоянной температуре) называется **поверхностным натяжением**.

$$\sigma = \frac{A}{S} \quad [\sigma] = \text{Дж/м}^2 \quad - \quad \text{единица измерения поверхностного натяжения} - \text{джоуль на метр в квадрате.}$$

$S$  – площадь поверхностного слоя.

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad [\sigma] = \text{Н/м} - \text{единица измерения поверхностного натяжения} - \text{ньютон на метр.}$$

$l$  – длина контура поверхностного слоя.

$$\text{Высота подъема жидкости в капилляре } h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad [h] = \text{м.}$$

( $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $\rho$  – плотность жидкости;  $r$  – радиус капилляра).

**Механическое напряжение** – физическая величина, равная отношению модуля силы упругости к площади поперечного сечения.

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S} \quad [\sigma] = \text{Н/м}^2 - \text{единица измерения механического напряжения} - \text{ньютон на метр квадратный.}$$



Относительное изменение длины тела при деформации (относительное удлинение) – мера деформации.  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ .  $\varepsilon$  не имеет размерности.

**Закон Гука:** механическое напряжение  $\sigma$  прямо пропорционально относительной деформации  $\varepsilon$ .  $\sigma = E\varepsilon$  - закон Гука;  $E$  – модуль Юнга,

$$E = \frac{\sigma}{\Delta l}$$

### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ

#### «МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА»

**Задача 1.** Сколько молекул воздуха находится в комнате, размеры которой  $8\text{ м} \times 6\text{ м} \times 4\text{ м}$  при температуре  $295\text{ К}$  и давлении  $10^5\text{ Па}$ ?

**Дано**

**Решение**

$$V = 192\text{ м}^3$$

Число молекул  $N = \nu \cdot N_A$ ,  $\nu = \frac{m}{M}$  - число молей.

$$T = 295\text{ К}$$

Уравнение Клапейрона-Менделеева:  $PV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow$

$$P = 10^5\text{ Па}$$

$PV = \nu RT$ .  $R$  – универсальная газовая постоянная

$$M = 29 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$$

$$R = N_A \cdot k, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Дж/К}$$

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

$$PV = \nu N_A kT \quad \text{или} \quad PV = NkT$$

$$N = ?$$

$$N = \frac{PV}{kT} \quad N = \frac{10^5 \cdot 192}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 295} = 0,47 \cdot 10^{28} \text{ (молекул)}$$

**Ответ:  $0,47 \cdot 10^{28}$  молекул**

**Задача 2.** В цилиндре при температуре  $293\text{ К}$  находится  $2\text{ кг}$  воздуха. Какую работу совершит газ при изобарном нагревании воздуха до  $393\text{ К}$ ?

**Дано**

**Решение**

$$T_1 = 293\text{ К}$$

Работа газа  $A$  при изобарном расширении в цилиндре под

$$m = 2\text{ кг}$$

$$\text{поршнем } A = \frac{m}{M} R \Delta T, \quad R = 8,31\text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$$

$$M = 29\text{ кг/моль}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1.$$

$$T_2 = 393\text{ К}$$

$$\Delta T = 393 - 293 = 100\text{ (К)}$$

$$P = \text{const}$$

$$A = \frac{2 \cdot 8,31 \cdot 100}{29 \cdot 10^{-3}} = 57 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

$$A = ?$$

**Ответ:  $A = 57\text{ кДж}$**

**Задача 3.** Какая средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа, если его давление  $20\text{ кПа}$ , а концентрация молекул равна  $3 \cdot 10^{25}\text{ м}^{-3}$ ?

**Дано**

**Решение**

$$P = 20\text{ кПа} = 2 \cdot 10^4\text{ Па}$$

$$\text{Основное уравнение МКТ: } p = n_0 kT \Rightarrow T = \frac{p}{n_0 k}$$

$$n_0 = 3 \cdot 10^{25}\text{ м}^{-3}$$

Средняя кинетическая энергия молекул

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

$$E_k = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} k \frac{p}{n_0 k} = \frac{3}{2} \frac{p}{n_0}$$

$$E_k = ?$$

$$E_k = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^4}{2 \cdot 3 \cdot 10^{25}} = 10^{-21} \text{ (Дж)}$$

**Ответ  $E_k = 10^{-21}\text{ Дж}$**

**Задача 4.** В калориметр, в котором было 0,2 кг воды при температуре 20°C, долили 0,3 кг воды, температура которой 80°C. В калориметре установилась температура 50°C. Чему равна теплоёмкость калориметра?

**Дано**  
 $m_1=0,2\text{кг}$   
 $t_1=20^\circ\text{C}$   
 $c_1=4200\text{Дж/кг}\cdot\text{K}$   
 $m_2=0,3\text{кг}$   
 $t_2=80^\circ\text{C}$   
 $t=50^\circ\text{C}$   
 $C_3=?$

**Решение**

Уравнение теплового баланса:  $Q_2=Q_1+Q_3$

$$m_2c_1(t_2 - t) = m_1c_1(t - t_1) + C_3(t - t_1)$$

$$C_3 = \frac{m_2C_1(t_2 - t) - m_1C_1(t - t_1)}{(t - t_1)}$$

$$C_3 = \frac{0,3 \cdot 4200 \cdot (80^\circ - 50^\circ) - 0,2 \cdot 4200 \cdot (50^\circ - 20^\circ)}{50^\circ - 20^\circ} = 420 (\text{Дж} / \text{K})$$

**Ответ:  $C_3=420\text{Дж/К}$**

**Задача 5.** Определить абсолютную и относительную влажность воздуха, если температура паров воды в воздухе 18°C, а температура точки росы 8°C.

**Дано**  
 $t_1=18^\circ\text{C}$   
 $t_{\text{т.р.}}=8^\circ\text{C}$   
 $\rho_{\text{нас.}}(\text{при } 18^\circ)=15,4\text{г/м}^3$   
 $\rho_{\text{нас.}}(\text{при } 8^\circ)=8,3\text{г/м}^3$   
 $\rho - ? \quad \text{В} - ?$

**Решение**

Абсолютная влажность воздуха – это плотность насыщенного пара воды при температуре точки росы

$$\rho = \rho_{\text{нас.}}(\text{при } 8^\circ) = 8,3\text{г/м}^3$$

Найдём относительную влажность В:

$$\text{В} = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас.}}(\text{при } 18^\circ)} \cdot 100\% ; \quad \text{В} = \frac{8,3}{15,4} \cdot 100\% = 53,8\%$$

**Ответ:  $\rho=8,3\text{г/м}^3 \quad \text{В}=53,8\%$**

**Задача 6.** В баллоне ёмкостью 6л находится газ массой 0,1кг под давлением 10МПа при температуре 17°C. Определите молярную массу газа. Какой это газ?

**Дано**  
 $V=6\text{л}=6 \cdot 10^{-3}\text{м}^3$   
 $m=0,1\text{кг}$   
 $P=10\text{МПа}=10^7\text{Па}$   
 $t=17^\circ\text{C}, T=290\text{К}$   
 $M=?$

**Решение**

$$\text{Уравнение Клапейрона-Менделеева } PV = \frac{m}{M} RT$$

$$\Rightarrow M = \frac{mRT}{PV} \quad M = \frac{0,1 \cdot 8,31 \cdot 290}{10^7 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 40,16 \cdot 10^{-4} (\text{кг/моль})$$

$M=4 \cdot 10^{-4}\text{кг/моль}$ . Молярная масса  $4 \cdot 10^{-4}\text{кг/моль}$  соответствует гелию.

**Ответ: Гелий.  $M_{\text{He}}=4 \cdot 10^{-4}\text{кг/моль}$ .**

**Задача 7.** Водяной пар в колбе при температуре 25°C и давлении 20мм рт.ст. охладили до 10°C. Каким стало давление пара?

**Дано**  
 $t_1=25^\circ\text{C} / T_1=298\text{К}$   
 $P_1=20\text{мм рт.ст.}/P_1=1,33 \cdot 10^3\text{Па}$   
 $t_2=10^\circ\text{C} / T_2=283\text{К}$   
 $V=\text{const}$   
 $P_2=?$

**Решение**

Это изохорный процесс ( $V=\text{const}$ ).

$$\text{Закон Шарля } \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1}$$

$$P_2 = \frac{1,33 \cdot 10^3 \cdot 283}{298} = 1263 (\text{Па}), \quad P_2 = 9,5\text{мм рт.ст.}$$

**Ответ:  $P_2=9,5\text{мм рт.ст.}$   
 $P_2=1263\text{ Па}$**

**Задача 8.** Температура нагревателя тепловой машины  $117^{\circ}\text{C}$ , а холодильника  $27^{\circ}\text{C}$ . Количество теплоты, которое получает тепловая машина от нагревателя  $60\text{кДж}$ . Вычислить КПД тепловой машины и количество теплоты, которое забирает холодильник.

<b>Дано</b>	<b>Решение</b>
$t_1=117^{\circ}\text{C}, T=390\text{K}$	КПД тепловой машины $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
$t_2=27^{\circ}\text{C}, T=300\text{K}$	$\eta = \frac{390 - 300}{390} \approx 0,23$
$Q_1=60\text{кДж}=6 \cdot 10^4\text{Дж}$	$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow Q_2 = Q_1 - \eta Q_1 = Q_1(1 - \eta)$
<b><math>\eta - ? \quad Q_2 - ?</math></b>	$Q_2 = 6 \cdot 10^4(1 - 0,23) = 6 \cdot 10^4 \cdot 0,77 = 4,62 \cdot 10^4 \text{ (Дж)}$
	<b>Ответ: <math>\eta=0,23</math> <math>Q_2=46,2 \cdot \text{кДж}</math></b>

**Задача 9.** Чему равно абсолютное удлинение стального стержня длиной  $5\text{м}$  и площадью поперечного сечения  $80\text{мм}^2$  под действием силы  $1,96\text{кН}$ ?

<b>Дано</b>	<b>Решение</b>
$l_0=5\text{м}$	Закон Гука при упругой деформации стержня под действием силы $F$ : $\sigma = E \varepsilon$ . ( $E=20,6 \cdot 10^{10}\text{Н/м}^2$ - модуль упругости стали). Механическое напряжение $\sigma = \frac{F}{S}$
$S=80\text{мм}^2=8 \cdot 10^{-5}\text{м}^2$	Относительное удлинение $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \rightarrow \frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$
$F=1,96\text{кН}=1,96 \cdot 10^3\text{Н}$	Абсолютное удлинение $\Delta l = \frac{Fl_0}{SE}$
$E=20,6 \cdot 10^{10}\text{Н/м}^2$	$\Delta l = \frac{1,96 \cdot 10^3 \cdot 5}{8 \cdot 10^{-5} \cdot 20,6 \cdot 10^{10}} = 0,059 \cdot 10^{-2} \text{ (м)} = 0,59 \text{ (мм)}$
<b><math>\Delta l - ?</math></b>	<b>Ответ: <math>\Delta l=0,59\text{мм}</math></b>

**Задача 10.** На какую высоту поднимется вода в капиллярной трубке с внутренним диаметром  $1,5\text{мм}$ , если коэффициент поверхностного натяжения воды  $0,072\text{Н/м}$ ?

<b>Дано</b>	<b>Решение</b>
$d=1,5\text{мм}=1,5 \cdot 10^{-3}\text{м}$	Высота подъёма жидкости $h$ в капиллярной трубке:
$\sigma=0,072\text{Н/м}$	$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$
$\rho=1000\text{кг/м}^3$	Радиус капилляра $r = \frac{d}{2} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$
$g=10\text{м/с}^2$	$h = \frac{2 \cdot 0,072}{1000 \cdot 10 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3}} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$
<b><math>h - ?</math></b>	<b>Ответ: <math>h=9,8\text{мм}</math></b>

## V. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Раздел физики, который изучает электромагнитные взаимодействия, называется **электродинамикой**.

Символы (обозначение в формулах)	Название физической величины (наименование)	Единица измерения	Название единиц измерения
<b>q</b> (кю)	Электрический заряд	Кл	кулон
<b>r</b> (ер)	Расстояние между зарядами	М	метр
<b>ε</b> (епсилон)	Диэлектрическая проницаемость		
<b>ε<sub>0</sub></b> (епсилон)	Электрическая постоянная	Ф/м	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$
<b>F</b> (эф)	Сила	Н	ньютон
<b>E</b> (и)	Напряженность	В/м	вольт на метр
<b>φ</b> (фи)	Потенциал	В	вольт
<b>Δφ</b> (дельта фи)	Разность потенциалов	В	вольт
<b>d</b> (дэ)	Расстояние	М	метр
<b>A</b> (а)	Работа	Дж	джоуль
<b>U</b> (у)	Напряжение	В	вольт
<b>C</b> (цэ)	Электрическая ёмкость	Ф	фарад
<b>S</b> (эс)	Площадь, площадь поперечного сечения	м <sup>2</sup>	метр в квадрате
<b>W</b> (дабл вэ)	Энергия	Дж	джоуль
<b>I</b> (ай)	Сила тока	А	ампер
<b>t</b> (тэ)	Время	С	секунда
<b>e</b> (и)	Абсолютное значение электрона	Кл.	$ e  = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
<b>V</b> (вэ)	Скорость	м/с	метр в секунду
<b>j</b> (джей)	Плотность тока	А/м <sup>2</sup>	ампер на метр квадратный
<b>ε</b> (ЭДС)	Электродвижущая сила	В	вольт
<b>R</b> (эр)	Сопротивление	Ом	ом
<b>ρ</b> (ро)	Удельное сопротивление	Ом·м	ом –метр
<b>σ</b> (сигма)	Удельная электропроводность	(Ом·м) <sup>-1</sup>	ом-метр в минус первой степени
<b>α</b> (альфа)	Температурный коэффициент	К <sup>-1</sup>	кельвин в минус первой степени
<b>r</b> (эр)	Внутреннее сопротивление	Ом	ом
<b>P</b> (пэ)	мощность	Вт	ватт
<b>Q</b> (кю)	Количество теплоты	Дж	джоуль

### Электрические заряды

**Электромагнитное взаимодействие** – это взаимодействие между телами или частицами, которые обладают электрическими зарядами.

**Электрический заряд q** – это физическая величина, которая характеризует способность тел или частиц вступать в электромагнитное взаимодействие.

[q]=Кл – единица измерения величины электрического заряда – кулон.

В природе существуют два вида электрических зарядов – положительный и отрицательный. Заряды одинакового знака (-/-, +/+) отталкиваются, а заряды

противоположного знака (-/+, +/-) притягиваются. Носителями электрического заряда являются электрон и протон.

Электрический заряд протона и электрона называется **элементарным зарядом**. Электрический заряд протона и электрона по абсолютному значению равен  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .

**Закон сохранения электрического заряда:** в замкнутой системе при любых взаимодействиях тел алгебраическая сумма электрических зарядов всех тел остается постоянной.

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

Тела, в которых электрические заряды свободно перемещаются, называются **проводниками**. (Металлы, растворы солей и кислот – это проводники). Тела, в которых электрические заряды не могут свободно перемещаться, называются **диэлектриками**. (Стекло, эбонит, вода – это диэлектрик).

**Закон Кулона:** силы взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональны произведению их зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними. Сила направлена вдоль линии, соединяющей заряды.

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} - \text{электрическая постоянная.}$$

В системе СИ коэффициент  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ;  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$

**Закон Кулона в диэлектрике:**  $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$  или  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2}$ .

$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды.

**Диэлектрическая проницаемость среды  $\epsilon$**  – это физическая величина, которая показывает во сколько раз сила взаимодействия зарядов в данной среде меньше, чем в вакууме. Диэлектрическая проницаемость среды – безразмерная величина. Для вакуума  $\epsilon = 1$ .

### Электрическое поле.

Электрический заряд окружён электрическим полем, которое действует на электрические заряды.

**Напряженность электрического поля  $\vec{E}$**  – это силовая характеристика электрического поля.

Напряженность электрического поля  $\vec{E}$  - это векторная величина, равная отношению силы, с которой поле действует на пробный электрический заряд, к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad [E] = \text{Н/Кл} = \text{В/м}$$

**Принцип суперпозиции полей.** Напряженность электрического поля  $\vec{E}$ , которая создается несколькими электрическими зарядами, равна векторной сумме напряженностей каждого заряда в отдельности.

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

**Работа. Потенциал. Разность потенциалов.**

**Работа  $A$**  по перемещению электрического заряда  $q$  в однородном электрическом поле  $\mathbf{A}=\mathbf{qEd}$

$d$  – расстояние между точками перемещения.

Работа не зависит от формы траектории.

**Потенциал  $\varphi$**  – это энергетическая характеристика электрического поля, равная отношению работы, которую совершают электрические силы при перемещении положительного заряда  $q_0$  из данной точки в бесконечность к величине этого заряда.

$$\varphi = \frac{A}{q_0} \quad [\varphi]=1\text{Дж}/1\text{Кл}=1\text{В (вольт)}$$

При перемещении заряда из точки 1 в точку 2 электрическое поле совершает работу  $A = A_1 - A_2 = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q\Delta\varphi$

$\Delta\varphi$  – это **разность потенциалов**.  $[\Delta\varphi]=1\text{Дж}/1\text{Кл}=1\text{В (вольт)}$

$[\Delta\varphi]=\text{В (вольт)}$  – единица измерения разности потенциалов – вольт.

Разность потенциалов называют напряжением и обозначают  $U$ .  $\Delta\varphi = U$

$[U]=\text{В}$  – единица измерения напряжения – вольт.

$$E = \frac{U}{d} \quad d - \text{расстояние между двумя точками поля с потенциалами } \varphi_1 \text{ и } \varphi_2$$

**Электроёмкость.**

**Электроёмкость проводника  $C$**  – это физическая величина, равная отношению заряда тела  $q$  к его потенциалу  $\varphi$ .

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad [C]=\text{Кл}/\text{В}=\text{Ф} - \text{единица измерения электроёмкости} - \text{фарад.}$$

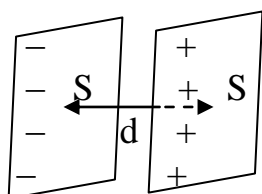
$C=4\pi\epsilon\epsilon_0R$  Электроёмкость уединённого шара (который находится далеко от других зарядов) прямо пропорциональна его радиусу и зависит от среды, в которой он находится

**Конденсатор.**

Система двух параллельных плоских пластин, которые имеют заряды противоположных знаков и разделены диэлектриком, называется **плоским конденсатором**.

Пластины называются обкладками конденсатора.

**Емкость плоского конденсатора**



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

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;

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

$d$  – расстояние между обкладками;

$S$  – площадь каждой пластины.

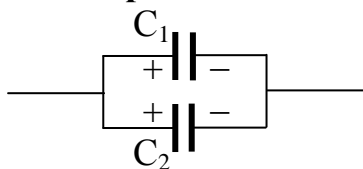
Энергия  $W$  электростатического поля конденсатора

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

**Соединение конденсаторов.**

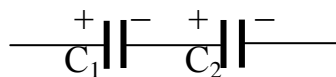
Конденсаторы соединяют в батареи параллельно или последовательно.

**Параллельное соединение**



$$C = C_1 + C_2$$

**Последовательное соединение**



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Энергия  $W$  заряженного конденсатора  $W = \frac{q\varphi}{2} = \frac{C\varphi^2}{2}$

**Электрический ток.**

**Электрический ток** – это упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.

Условия существования электрического тока:

- наличие свободных заряженных частиц;
- наличие электрического поля, т.е. разности потенциалов.

**Сила тока  $I$**  - это физическая величина, равная величине заряда  $q$ , который переносится через поперечное сечение проводника за время  $t$ .

$$I = \frac{q}{t} \quad [I] = \frac{Кл}{с} = А - \text{единица измерения силы тока – ампер.}$$

Если сила тока и его направление не изменяются с течением времени, то такой ток называется **постоянным**.

$e$  – абсолютное значение заряда электрона;

$n_0$  – концентрация свободных зарядов в проводнике;

$I = n_0 V S e$   $V$  – средняя скорость упорядоченного движения электронов

$S$  – площадь поперечного сечения проводника.

**Плотность тока  $j$**  – равна отношению силы тока  $I$  к площади поперечного сечения проводника  $S$ .

$$|j| = \frac{I}{S} \quad [j] = А/м^2 - \text{единица измерения плотности тока –}$$

ампер на метр в квадрате.

**Сторонние силы** – это любые силы, кроме кулоновских, которые действуют на заряд. (Это силы которые действуют на заряд со стороны источников тока – гальванических элементов, аккумуляторов, генераторов).

**Электродвижущая сила (ЭДС) —  $\mathcal{E}$**  — это физическая величина, равная отношению работы  $A$ , совершаемой сторонними силами при перемещении положительного заряда вдоль замкнутого контура, к заряду  $q$ .

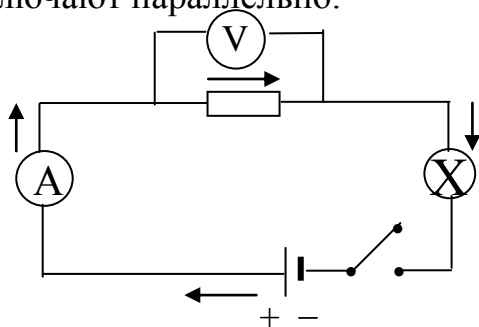
$$\mathcal{E} = \frac{A_{cm}}{q} \quad [\mathcal{E}] = \text{Дж/А} \cdot \text{с} = \text{В} - \text{единица измерения ЭДС} - \text{вольт.}$$

**Напряжение  $U$**  на участке цепи — это физическая величина, численно равная работе сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда вдоль этого участка цепи.

$$U = \frac{A}{q} \quad [U] = \text{В} - \text{единица измерения напряжения} - \text{вольт.}$$

**Электрическая цепь** состоит из источника тока, потребителя электрической энергии и выключателя, которые соединены проводниками.

Для измерения силы тока используют амперметр, который подключают последовательно. Для измерения напряжения используют вольтметр, который подключают параллельно.



Сила тока  $I$  в потребителе прямо пропорциональна напряжению  $U$ . Коэффициент пропорциональности называется электропроводностью. Величина, обратная электропроводности, называется **сопротивлением** проводника  $R$ .

**Сопротивление проводника  $R$**  — это физическая величина, которая характеризует электрические свойства проводника препятствовать прохождению тока через проводник.

**Закон Ома для участка цепи:** сила тока  $I$  прямо пропорциональна напряжению  $U$  и обратно пропорциональна сопротивлению  $R$  участка цепи.

$$I = \frac{U}{R} \quad [R] = \text{В/А} = \text{Ом} - \text{единица измерения сопротивления} - \text{ом.}$$

Сопротивление проводника  $R$  прямо пропорционально его длине  $l$  и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$ .

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \rho - \text{удельное сопротивление. } [\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м} - \text{единица измерения удельного сопротивления} - \text{ом на метр.}$$

Величина, обратная удельному сопротивлению  $\rho$ , называется **удельной электропроводностью  $\sigma$** .  $\sigma = \frac{1}{\rho}$



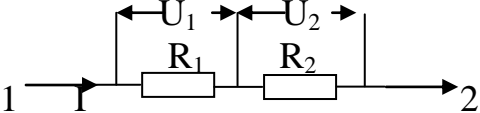
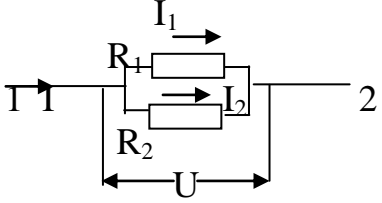
Сопротивление и электропроводность проводников зависят от температуры.

$$R = R_0(1 + \alpha t^0), \quad R_0 - \text{сопротивление проводника при } 0^0\text{C};$$

$$R - \text{сопротивление проводника при } t^0\text{C};$$

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

### Соединение проводников.

Последовательное соединение	Параллельное соединение
	
1. Сила тока на участке 1-2 одинакова $I = \text{const}$ .	1. Сила тока равна сумме токов $I = I_1 + I_2$
2. Падение напряжения на участке 1-2 равно сумме падений напряжений $U = U_1 + U_2$	2. Падение напряжения на участке 1-2 одинаково $U = \text{const}$
3. Общее сопротивление участка 1-2 равно сумме отдельных сопротивлений $R = R_1 + R_2$	3. Электрическое сопротивление участка 1-2 равно сумме электрических сопротивлений проводников $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

**Закон Ома для полной цепи:** сила тока в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи.

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

### Работа и мощность тока.

**Работа А** постоянного тока на участке цепи равна произведению  $U$  напряжения на концах этого участка на силу тока  $I$  и на время  $t$  его прохождения:

$$A = UI t \quad [A] = \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \text{Дж} - \text{единица измерения работы} - \text{джоуль.}$$

**Мощность Р** постоянного тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах участка на силу тока:

$$P = UI \quad [P] = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт} - \text{единица измерения мощности} - \text{ватт.}$$

### Закон Джоуля-Ленца.

Электрический ток, проходящий по проводнику, нагревает проводник.

**Закон Джоуля-Ленца:** количество теплоты  $Q$ , выделяемой в проводнике, пропорционально силе тока, времени его прохождения и напряжению на концах проводника:

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

**ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ  
«ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»**

**Задача 1.** На расстоянии 5см две частицы, которые имеют одинаковые по величине заряды, притягиваются в воздухе одна к другой с силой 20мН. Определить заряды частиц.

**Дано**  
 $r = 5\text{см} = 0,05\text{м}$   
 $q_1 = q_2 = q$   
 $F = 20\text{мН} = 20 \cdot 10^{-3}\text{Н}$   
 $\Omega = 1$   
 **$q_1 - ?$   $q_2 - ?$**

**Решение**

По закону Кулона  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2}$  или  $F = k \frac{q^2}{\epsilon r^2}$ ,

где  $k = 9 \cdot 10^9 \text{Н} \cdot \text{м} / \text{Кл}^2 \rightarrow q = \sqrt{\frac{F \epsilon r^2}{k}}$

$$q = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \cdot 10^{-4}}{9 \cdot 10^{-9}}} = 0,74 \cdot 10^{-9} (\text{Кл}) = 0,74 (\text{нКл})$$

**Ответ:  $q_1 = + 0,74 \text{нКл}$  ;  $q_2 = - 0,74 \text{нКл}$**

**Задача 2.** С каким ускорением движется электрон в поле, напряженность которого равна 10кВ/м?

**Дано**  
 $E = 10\text{кВ/м} = 10^4 \text{В/м}$   
 $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{Кл}$   
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{кг}$   
 **$a - ?$**

**Решение**

На электрон в электрическом поле действует сила  $F = Eq_e$ .

Эта сила сообщает электрону ускорение  $a = \frac{F}{m_e}$

$$a = \frac{Eq_e}{m_e} \quad a = \frac{10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}} = 1,76 \cdot 10^{15} (\text{м} / \text{с}^2)$$

**Ответ:  $a = 1,76 \cdot 10^{15} \text{м/с}^2$**

**Задача 3.** При перемещении заряда в электрическом поле совершена работа 4Дж. Определить величину заряда, если разность потенциалов между точками перемещения 100В.

**Дано**  
 $A = 4\text{Дж}$   
 $\Delta\phi = 100\text{В}$   
 **$q - ?$**

**Решение**

Работа по перемещению электрического заряда в электрическом поле равна:  $A = q\Delta\phi \rightarrow q = \frac{A}{\Delta\phi}$

$$q = \frac{4}{100} = 0,04 (\text{Кл})$$

**Ответ:  $q = 0,04 \text{Кл}$**

**Задача 4.** Считая Землю шаром радиусом 6400км, определить её заряд. м\с

**Дано**  
 $R = 6400\text{км} = 64 \cdot 10^5 \text{м}$   
 $\phi = 100\text{В}$   
 $\epsilon = 1$   
 **$q - ?$**

**Решение**

Электрическая емкость шара равна:

$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$ , где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2$

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

$$q = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 64 \cdot 10^5 = 7,1 \cdot 10^{-2} (\text{Кл})$$

**Ответ:  $q = 7,1 \cdot 10^{-2} \text{Кл}$**

**Задача 5.** Какая скорость упорядоченного движения свободных электронов в медном проводнике при силе тока 1А, если площадь поперечного сечения проводника 1мм<sup>2</sup>, а концентрация электронов 8,5·10<sup>28</sup>м<sup>-3</sup>?

**Дано**  
 $I=1\text{А}$   
 $S=1\text{мм}^2=10^{-6}\text{м}^2$   
 $n_0=8,5\cdot 10^{28}\text{м}^{-3}$   
 $e=1,6\cdot 10^{-19}\text{Кл}$   
 $v=?$

**Решение**  
 Согласно электронной теории сила тока в проводнике  
 $I=en_0VS \rightarrow$   

$$v = \frac{1}{1,6\cdot 10^{-19} \cdot 8,5\cdot 10^{28} \cdot 10^{-6}} = 0,074\cdot 10^{-3}(\text{м/с})$$

**Ответ:  $v=0,074\cdot 10^{-3}\text{м/с}$**

**Задача 6.** Определить массу железного проводника, площадь поперечного сечения которого 2мм<sup>2</sup>, а электрическое сопротивление 6Ом. Удельное сопротивление железа 0,1Ом·мм<sup>2</sup>/м.

**Дано**  
 $S=2\text{мм}^2=2\cdot 10^{-6}\text{м}^2$   
 $R=6\text{Ом}$   
 $\rho=0,1\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$   
 $=0,1\cdot 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$   
 $d=7,8\cdot 10^3\text{кг/м}^3$   
 $m=?$

**Решение**  
 Масса  $m=dV$ , где  $V=l\cdot S$ ,  $d$  – плотность железа  
 Сопротивление  $R=\rho\frac{l}{S} \rightarrow l=\frac{RS}{\rho}$   

$$V = \frac{RS^2}{\rho} \quad m=d\frac{RS^2}{\rho}$$
  

$$m = \frac{7,8\cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 4\cdot 10^{-12}}{0,1\cdot 10^{-6}} = 1,87(\text{кг})$$

**Ответ:  $m=1,87\text{кг}$**

**Задача 7.** За какое время через поперечное сечение проводника прошел электрический заряд 100Кл при силе тока 25мА?

**Дано**  
 $q=100\text{Кл}$   
 $I=25\text{мА}=25\cdot 10^{-3}\text{А}$   
 $t=?$

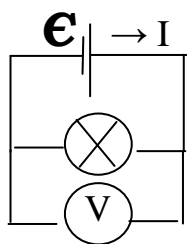
**Решение**  
 Сила тока  $I=\frac{q}{t} \rightarrow t=\frac{q}{I}$   

$$t = \frac{100}{25\cdot 10^{-3}} = 4\cdot 10^3(\text{с})=66\text{мин } 40\text{с}$$

**Ответ:  $t=66\text{мин } 40\text{с}$**

**Задача 8.** ЭДС источника тока равна 5В. К источнику тока подсоединили лампу, сопротивление которой 12Ом. Найти напряжение на лампе, если внутреннее сопротивление источника тока 0,5Ом.

**Дано**  
 $\mathcal{E}=5\text{В}$   
 $R=12\text{Ом}$   
 $r=0,5\text{Ом}$   
 $U=?$



**Решение**  
 Закон Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$   
 Закон Ома для участка цепи  $I = \frac{U}{R}$   

$$\frac{U}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \rightarrow U = \frac{\mathcal{E}R}{R+r} =$$

**Ответ:  $U=4,08\text{В}$**

**Задача 9.** По проводнику сопротивлением 1,5 Ом в течение 4 с проходит заряд 12 Кл. Какую работу совершает электрический ток, который проходит по проводнику?

**Дано**  
R=1,5 Ом  
t=4 с  
q=12 Кл  
A - ?

**Решение**

Работа электрического тока равна:  $A=IUt$

$$\text{Сила тока } I = \frac{q}{t} \rightarrow I = \frac{12}{4} = 3(\text{А})$$

$$\text{Напряжение } U=IR \rightarrow U=3 \cdot 1,5=4,5(\text{В})$$

$$A=3 \cdot 4,5 \cdot 4=54(\text{Дж})$$

**Ответ: A=54 Дж**

**Задача 10.** В обмотке двигателя, сопротивление которой 0,75 Ом, сила тока 20 А. Какое количество теплоты выделяется этой обмоткой за 1 минуту работы двигателя?

**Дано**  
R=0,75 Ом  
I=20 А  
t=1 мин=60 с  
Q - ?

**Решение**

Количество теплоты, которое выделяется в проводнике при прохождении электрического тока, определяют по закону Джоуля-Ленца:  $Q=I^2Rt$

$$Q=20^2 \cdot 0,75 \cdot 60=17000(\text{Дж})=17(\text{кДж})$$

**Ответ: Q=17 кДж**

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Значение постоянной
Скорость распространения электромагнитных волн (скорость света) в вакууме ( в свободном пространстве)	$c$	299 792 458 м/с
Элементарный заряд (заряд электрона)	$e$	$1,602\ 19 \times 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_e$	$9,109\ 53 \times 10^{-31}$ кг
Масса покоя нейтрона	$m_n$	$1,674\ 95 \times 10^{-27}$ кг
Масса покоя протона	$m_p$	$1,672\ 65 \times 10^{-27}$ кг
Постоянная Больцмана	$k$	$1,381 \times 10^{-23}$ Дж/К
Газовая постоянная (молярная)	$R$	8,314 Дж/(моль К)
Гравитационная постоянная	$G$	$6,672 \times 10^{-11}$ Нм <sup>2</sup> /кг
Постоянная Планка	$h$	$6,626 \times 10^{-34}$ Дж с
Постоянная Фарадея	$F$	9 648 4,56 Кл/моль
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях ( $t=0$ оС, $p=101,325$ кПа)	$V_m$	$2,241 \times 10^{-2}$ м <sup>3</sup> /моль
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,022 \times 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Температурный коэффициент объемного расширения газов		$1/273,16$ К <sup>-1</sup> = $0,00364$ К <sup>-1</sup>
Абсолютный нуль температуры	$T_0$	0 К = -273,15 °С
Температура замерзания воды (плавления льда)		0 °С=273,15 К
Атомная единица массы	$u$	$1,660\ 57 \times 10^{-27}$ кг
Электрон-вольт	$eV$	$1,602 \times 10^{-19}$ Дж
Нормальное атмосферное давление	$P_{атм н}$	101 325 Па
Скорость звука в воздухе при нормальных условиях	$c$	331,5 м/с
Ускорение свободного падения (нормальное)	$g_n$	$9,806\ 65$ м/с <sup>2</sup>

## Греческий алфавит

буква	греческое название	русское название	звук <sup>a</sup>	буква	греческое название	русское название	звук
Α α	άλφα	альфа	[a]	Ν ν	νι	ни	[н]
Β β	βήτα	вита	[в]	Ξ ξ	ξι	кси	[кс]
Γ γ	γάμμα	гамма	[г]	Ο ο	όμικρον	омикрон	[o]
Δ δ	δέλτα	дельта	[ð]	Π π	πι	пи	[п]
Ε ε	έψιλον	эпсилон	[э]	Ρ ρ	ρω	ро	[р]
Ζ ζ	ζήτα	зита	[з→ж]	Σ σ, ς	σίγμα	сигма	[с→ш]
Η η	ήτα	ита	[и]	Τ τ	ταυ	таф	[т]
Θ θ	θήτα	фита	[θ]	Υ υ	ύψιλον	ипсилон	[и]
Ι ι	ιώτα	йота	[и]	Φ φ	φι	фи	[ф]
Κ κ	κάππα	каппа	[κ]	Χ χ	χι	хи	[х]
Λ λ	λάμβδα	лямбда	[л]	Ψ ψ	ψι	пси	[пс]
Μ μ	μι	ми	[м]	Ω ω	ωμέγα	омега	[o]

## Латинский алфавит

<b>Aa</b>	[eɪ]	[эй]	<b>Nn</b>	[en]	[эн]
<b>Bb</b>	[bi:]	[би]	<b>Oo</b>	[əu]	[оу]
<b>Cc</b>	[si:]	[си]	<b>Pp</b>	[pi:]	[пи]
<b>Dd</b>	[di:]	[ди]	<b>Qq</b>	[kju:]	[кью]
<b>Ee</b>	[i]	[и]	<b>Rr</b>	[ɑ:]	[а:]
<b>Ff</b>	[ef]	[эф]	<b>Ss</b>	[es]	[эс]
<b>Gg</b>	[dʒi:]	[джи]	<b>Tt</b>	[ti:]	[ти]
<b>Hh</b>	[eɪtʃ]	[эйч]	<b>Uu</b>	[ju:]	[ю]
<b>Ii</b>	[aɪ]	[ай]	<b>Vv</b>	[vi:]	[ви]
<b>Jj</b>	[dʒeɪ]	[джей]	<b>Ww</b>	[ˈdʌb(ə)ju:]	[дабл-ю]
<b>Kk</b>	[keɪ]	[кей]	<b>Xx</b>	[eks]	[экс]
<b>Ll</b>	[el]	[эл]	<b>Yy</b>	[waɪ]	[уай]
<b>Mm</b>	[em]	[эм]	<b>Zz</b>	[zed]	[зед]

### Множители и приставки к названиям единиц

приставка	обозначение	множитель	пример
экса	Э	$10^{18}$	Расстояние в метрах, которое свет проходит за сто лет
пета	П	$10^{15}$	Десять расстояний от Земли до Солнца в миллиметрах
тера	Т	$10^{12}$	Возраст египетских пирамид в секундах
гига	Г	$10^9$	Среднее время жизни человека в секундах
мега	М	$10^6$	12 дней в секундах
кило	к	$10^3$	1000 метров составляют 1 км
гекто	г	$10^2$	Длина футбольного поля в метрах
деци	д	$10^{-1}$	Ширина ладони в метрах
санти	с	$10^{-2}$	Диаметр карандаша в метрах
милли	м	$10^{-3}$	Размеры небольшой мошки в метрах
микро	мк	$10^{-6}$	Порядок длины волны света в метрах
нано	н	$10^{-9}$	Размеры молекул масла в метрах
пико	п	$10^{-12}$	Период колебания молекул в секундах
фемто	ф	$10^{-15}$	Размер протона в метрах
атто	а	$10^{-18}$	Время в секундах, за которое свет проходит расстояние, равное размеру атома