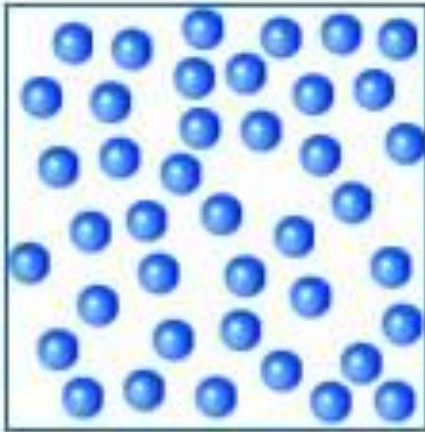


# *Температура.*



# повторение



$V$   
 $T$   
 $p$   
 $n$

$m$  – масса газа

$V$  – объём газа

$T$  – температура газа

$p$  – давление газа

$n$  – концентрация

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_K$$

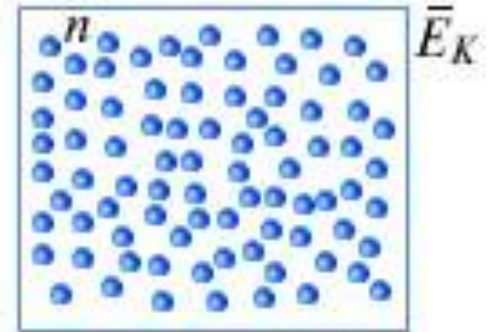
$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{m}{m_0 V} \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} \cdot \bar{v}^2$$

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



$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_K$$

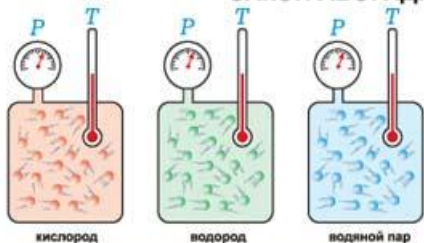
Основное уравнение МКТ  
идеального газа

# 3

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

### КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА

#### ЗАКОН АВОГАДРО



В равных объемах любых газов при одинаковых условиях содержится одинаковое количество молекул

#### МОЛЬ

Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг

1 моль любого вещества содержит примерно  $6,022 \cdot 10^{23}$  атомов или молекул

#### Молярная масса

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

$$m = M \cdot \nu$$

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

$M$  — молярная масса, кг/моль

$m$  — масса вещества, кг

$\nu$  — количество вещества, моль

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

$$N = N_A \cdot \nu$$

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

$N$  — число атомов или молекул вещества

$\nu$  — постоянная Авогадро

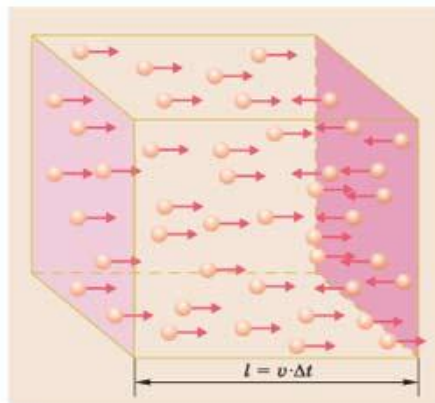
$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>

# 5

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

### ДАВЛЕНИЕ ГАЗА

#### ДАВЛЕНИЕ ПОТОКА ЧАСТИЦ



$$F \Delta t = N m \Delta v$$

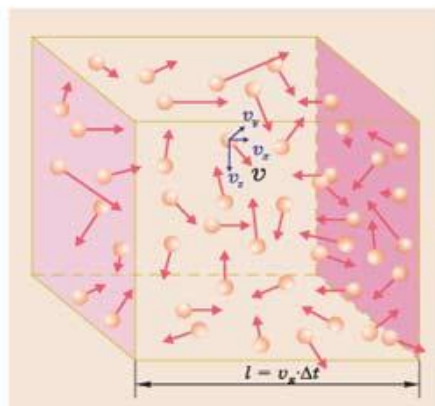
$$N = n S v \Delta t$$

$$\Delta v = 2v$$

$$F = 2 n m S v^2$$

$$p = \frac{F}{S} = 2 n m v^2$$

#### ДАВЛЕНИЕ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА



$$N = \frac{1}{2} n S v_x \Delta t$$

$$p = n m v_x^2$$

$$\bar{v}_x = \bar{v}_y = \bar{v}_z$$

$$3 \bar{v}_x^2 = \bar{v}^2, \bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$$

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

$$\bar{E} = \frac{m \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

# *Температура.*

## Температура и тепловое равновесие.

1. Макроскопические параметры – величины, относящиеся не к отдельным молекулам, а ко всем молекулам в целом.

*$V, p, t^\circ$  - макроскопические параметры.*

*температура  $t^\circ$  характеризует  
степень нагретости тела.*

*Для измерения  
температуры используют  
термометр.*



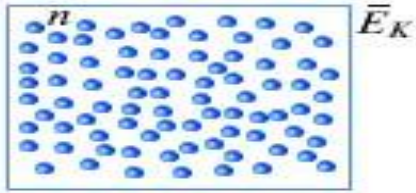
**Тепловое равновесие** – это состояние, при котором все макроскопические параметры остаются неизменными сколь угодно долго.

т.е в системе не меняется  $V, p, t^\circ$  .



***температура характеризует состояние теплового равновесия системы тел: все тела системы находятся друг с другом в тепловом равновесии, имеют одну и ту же температуру.***

при тепловом равновесии  
средние кинетические энергии  
молекул всех газов одинаковы.



$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$$

Основное уравнение МКТ  
идеального газа

$$n = N / V \quad p V / N = 2 / 3 E \quad N = m / M N_A$$

Если  $E_k$  одинакова для всех газов, то величина  
 $p$  должна быть т.ж. одинаковой для всех  
газов.

$$p_{H_2} V_{H_2} / N_{H_2} = p_{He} V_{He} / N_{He} = p_{O_2} V_{O_2} / N_{O_2} = \Theta_0$$

$$\Theta_0 = 3,76 * 10^{-21} \text{ Дж}$$

*температура тающего льда*

$$\Theta_{100} = 5,14 * 10^{-21} \text{ Дж}$$

*температура кипения воды.*



$\Theta = \kappa T$  – абсолютная температура.

$$p V / N = \kappa T \quad (*)$$

по (\*) вводится температурная шкала, не зависящая от вещества.

Предельную температуру, при которой  $p$  идеального газа обращается в нуль при фиксированном объеме или при которой  $V$  идеального газа стремится к нулю при неизменном давлении, называют **Абсолютным нулем температуры.**

Наименьшая температура по абсолютной шкале – это абсолютный нуль. При такой температуре  $p=0$ , что согласно МКТ возможно, если средняя кинетическая энергия молекулы равна нулю.

Таким образом при температуре абсолютного нуля прекращается тепловое движение частиц вещества. Ниже этой температуры быть уже не может.

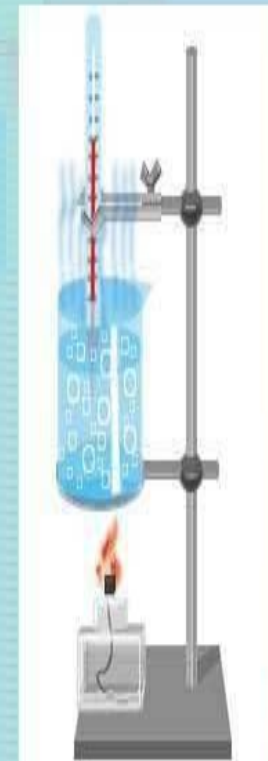


Опытным путем было установлено, что при постоянном объеме и температуре давление газа прямо пропорционально его концентрации.

Объединяя экспериментально полученные зависимости давления от температуры и концентрации, получаем уравнение:

$$p = nkT,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана.



$$T = 373 \text{ K}$$

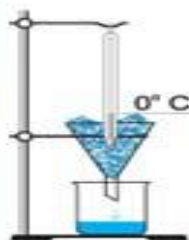


# 4

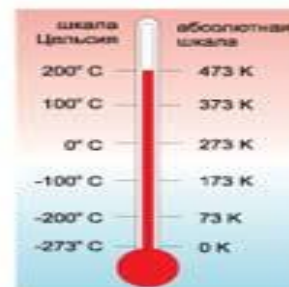
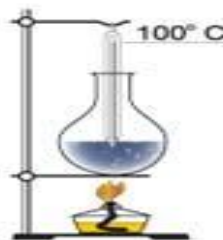
# ТЕМПЕРАТУРА



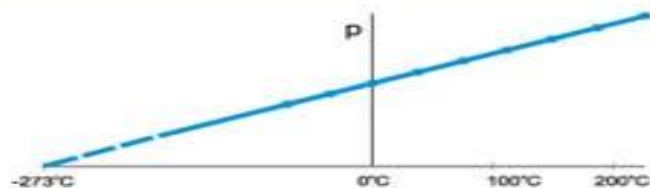
Термоскоп Галилея



Опорные точки температурной шкалы Цельсия



Сравнение шкалы по Цельсию с абсолютной шкалой

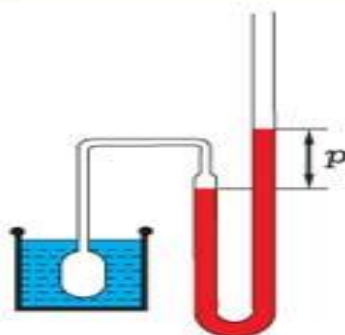


Зависимость давления газа при постоянном объеме от температуры по Цельсию

$$T = t + 273,15$$

$$t = T - 273,15$$

$$0 \text{ K} = -273,15^\circ \text{C}$$



Газовый термометр

Связь абсолютной температуры  $T$  идеального газа с его давлением  $p$

$$p = nkT$$

Связь абсолютной температуры  $T$  идеального газа со средней кинетической энергией  $E$  молекул

$$E = \frac{3}{2} kT$$

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

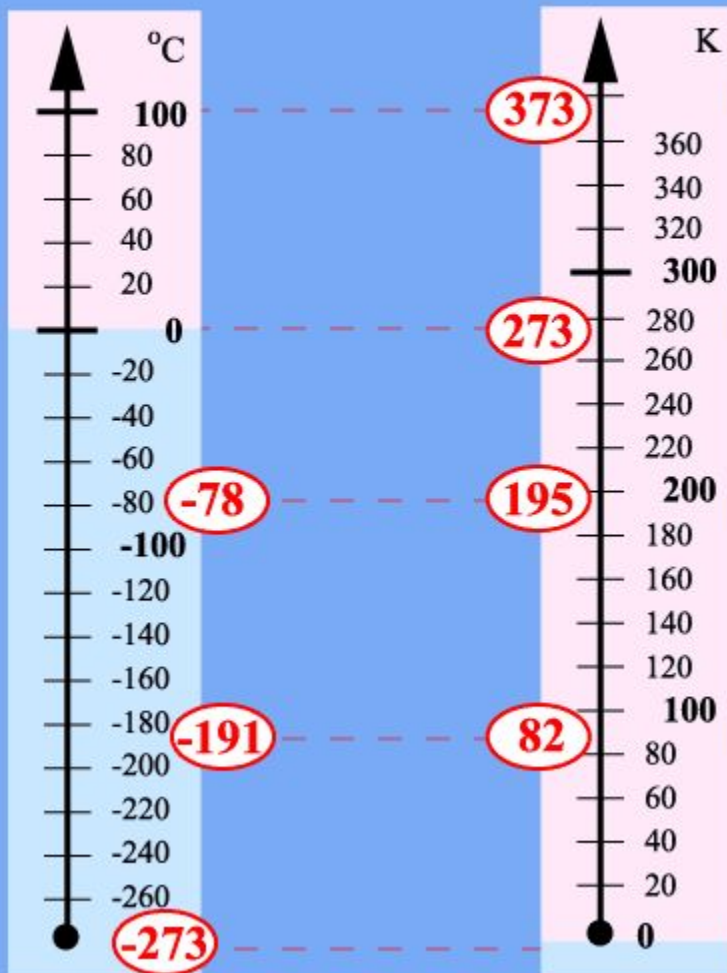
При температуре  $T = 1\text{K}$  средняя кинетическая энергия теплового движения частицы  $E = 2,07 \cdot 10^{-23}$  Дж

# Шкала Цельсия

# Термодинамическая шкала

$$t = T - 273$$

$$T = t + 273$$



*кипение воды*



*плавление льда*



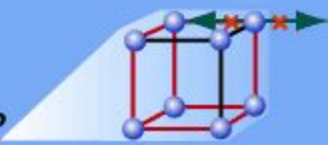
*сухой лед (CO<sub>2</sub>)*



*жидкий воздух*



*абсолютный ноль*



# 10. ШКАЛА ТЕМПЕРАТУР

ШКАЛА ФАРЕНГЕЙТА

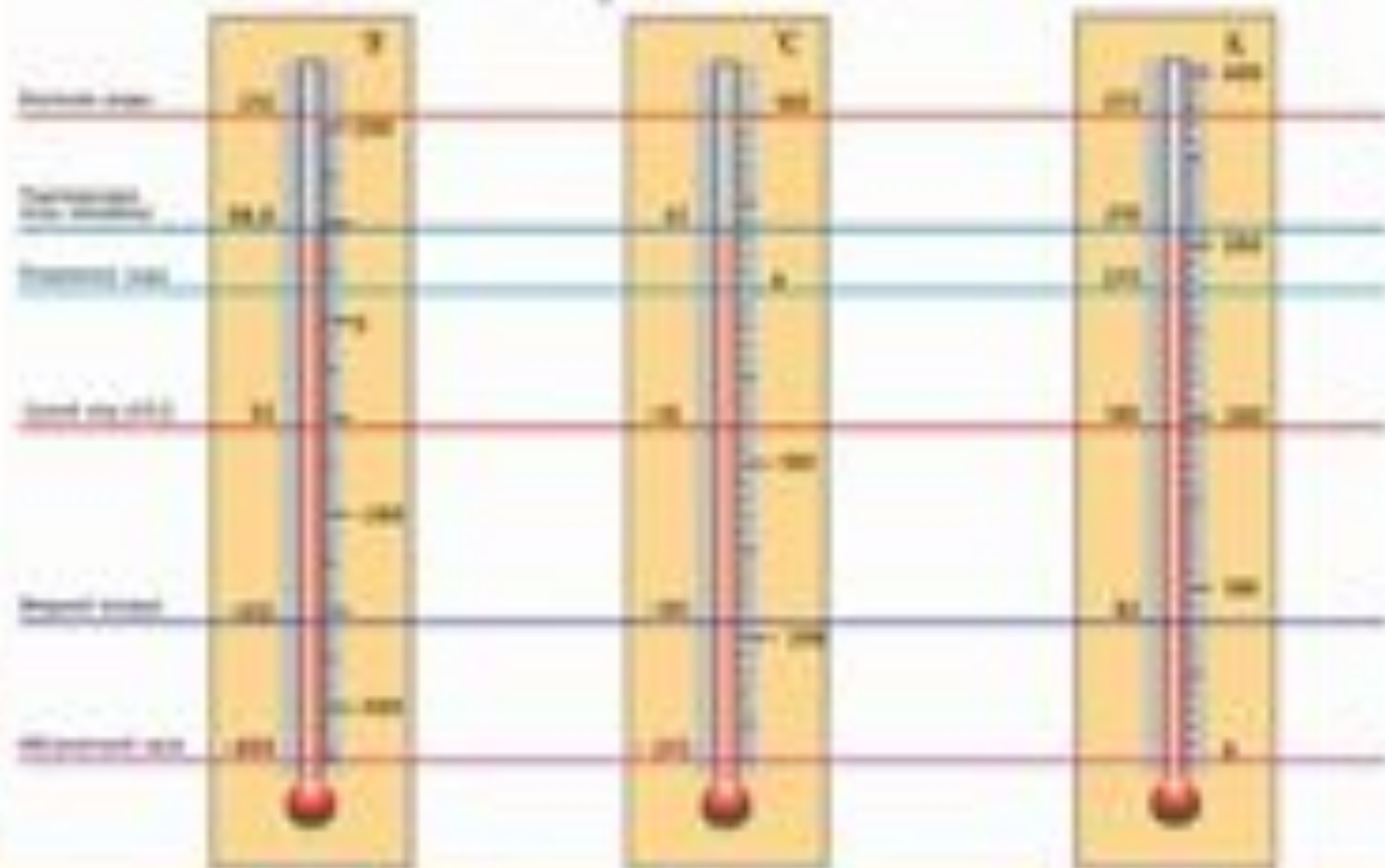
$$t_F = t_C + 32$$

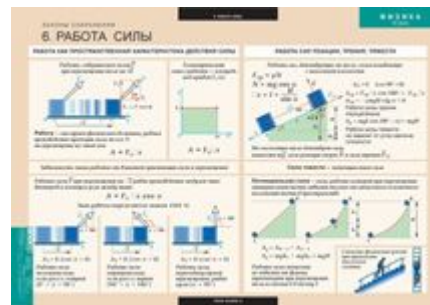
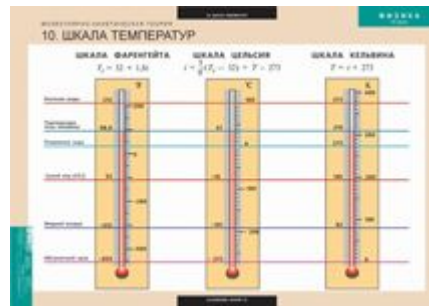
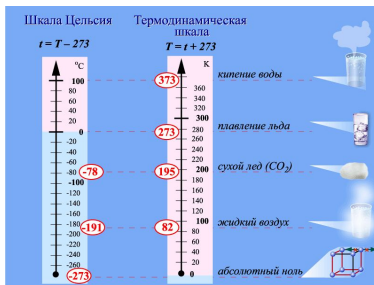
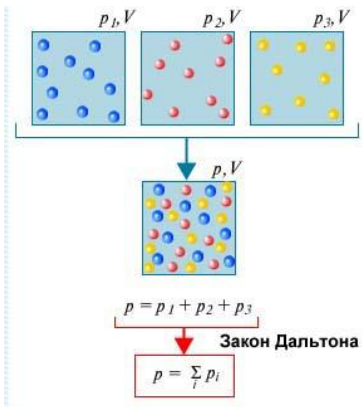
ШКАЛА ЦЕЛЬСИЯ

$$t = \frac{5}{9}(t_F - 32) + 273$$

ШКАЛА КЕЛЬВИНА

$$T = t + 273$$





$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_K$$

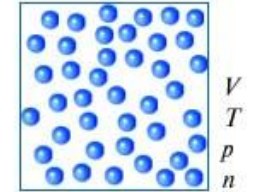
$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

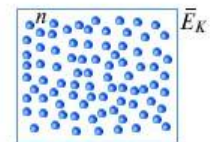
$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{m}{m_0 V} \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} \cdot \bar{v}^2$$

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



$m$  – масса газа  
 $V$  – объём газа  
 $T$  – температура газа  
 $p$  – давление газа  
 $n$  – концентрация



$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_K$$

Основное уравнение МКТ  
идеального газа

Наименьшая температура по абсолютной шкале – это абсолютный нуль. При такой температуре  $p=0$ , что согласно МКТ возможно, если средняя кинетическая энергия молекулы равна нулю.

Таким образом при температуре абсолютного нуля прекращается тепловое движение частиц вещества. Ниже этой температуры быть уже не может.

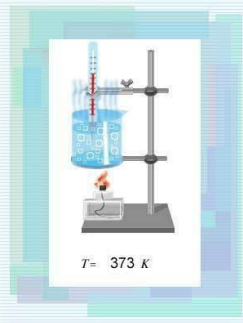


Опытным путем было установлено, что при постоянном объеме и температуре давление газа прямо пропорционально его концентрации.

Объединяя экспериментально полученные зависимости давления от температуры и концентрации, получаем уравнение:

$$p = nkT,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана.



$$T = 373 \text{ K}$$



### 3 КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА

**ЗАКОН АВОГАДРО**

В равных объемах любых газов при одинаковых условиях содержится одинаковое количество молекул.

**МОЛЬ**  
Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

1 моль любого вещества содержит примерно  $6,022 \cdot 10^{23}$  атомов или молекул.

**Молярная масса**

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

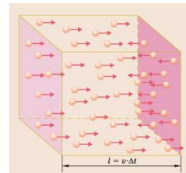
$M$  — молярная масса, кг/моль  
 $m$  — масса вещества, кг  
 $\nu$  — количество вещества, моль

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

$N_A$  — число атомов или молекул вещества  
 $N$  — количество вещества, моль  
 $\nu$  — постоянная Авогадро  
 $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль $^{-1}$

### 5 ДАВЛЕНИЕ ГАЗА

#### ДАВЛЕНИЕ ПОТОКА ЧАСТИЦ



$$F \Delta t = N m \Delta v$$

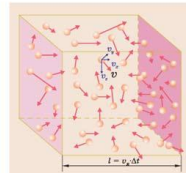
$$N = n S v \Delta t$$

$$\Delta v = 2v$$

$$F = 2 n m S v^2$$

$$p = \frac{F}{S} = 2 n m v^2$$

#### ДАВЛЕНИЕ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА



$$N = \frac{1}{2} n S v_x \Delta t$$

$$p = n m v_x^2$$

$$\bar{v}_x = \bar{v}_y = \bar{v}_z$$

$$3 \bar{v}_x^2 = \bar{v}^2, \bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$$

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

$$\bar{E} = \frac{m \bar{v}^2}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

### 3 КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА

**ЗАКОН АВОГАДРО**

В равных объемах любых газов при одинаковых условиях содержится одинаковое количество молекул.

**МОЛЬ**  
Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

1 моль любого вещества содержит примерно  $6,022 \cdot 10^{23}$  атомов или молекул.

**Молярная масса**

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

$M$  — молярная масса, кг/моль  
 $m$  — масса вещества, кг  
 $\nu$  — количество вещества, моль

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

$N_A$  — число атомов или молекул вещества  
 $N$  — количество вещества, моль  
 $\nu$  — постоянная Авогадро  
 $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль $^{-1}$

## 6 МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$$pV = \nu N_A k T$$

$R$  — молярная газовая постоянная  
 $R = k N_A$   
 $R = 8,31$  Дж моль $^{-1}$  К $^{-1}$

**ИЗОПРОЦЕССЫ**

**Изотермический процесс**

$T = const$   
 $pV = const$  — закон Бойля-Мариотта

**Изохорный процесс**

$V = const$   
 $\frac{p}{T} = const$  — закон Шарля  
 $p = p_0 \alpha T$   $\alpha = 1/273,15$  К $^{-1}$

**Изобарный процесс**

$p = const$   
 $\frac{V}{T} = const$  — закон Гей-Люссака  
 $V = V_0 \alpha T$   $\alpha = 1/273,15$  К $^{-1}$

### 4 ТЕМПЕРАТУРА

Термоскоп Галилея

Опорные точки температурной шкалы Цельсия

Сравнение шкалы по Цельсию с абсолютной шкалой

200° C	473 K
100° C	373 K
0° C	273 K
-100° C	-73 K
-200° C	-73 K
-273° C	0 K

Зависимость давления газа при постоянном объеме от температуры по Цельсию

$$T = t + 273,15$$

$$t = T - 273,15$$

$$0 \text{ K} = -273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Газовый термометр

Связь абсолютной температуры  $T$  идеального газа с его давлением  $p$

$$p = nkT$$

Связь абсолютной температуры  $T$  идеального газа со средней кинетической энергией  $\bar{E}$  молекул

$$\bar{E} = 3/2 kT$$

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

При температуре  $T = 1$  К средняя кинетическая энергия теплового движения частицы  $\bar{E} = 2,07 \cdot 10^{-21}$  Дж



V (Длина, Образующая) =		Площадь (Объем) круга	
d =	Диаметр	r =	Радиус
a =	Образующая	S =	Площадь
r =	$\frac{d}{2}$	S =	$\pi r^2$
S =	$\pi r^2$	V =	$\pi r^2 h$
V =	$\pi r^2 h$		

