

Идеальный газ в МКТ.  
(количественная теория  
газа)

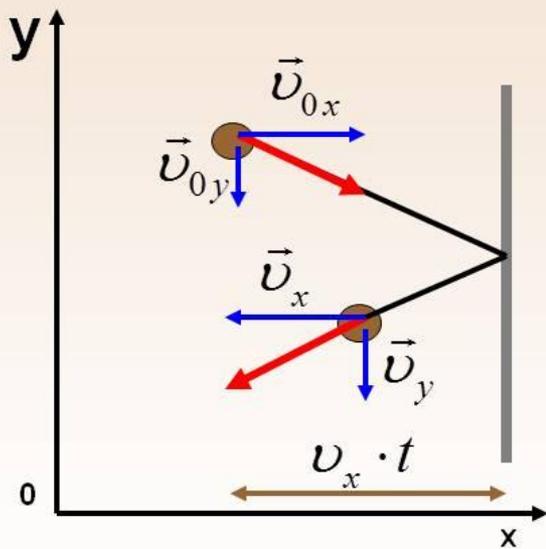
**Идеальный газ** – модель реального газа- газ, взаимодействие между молекулами которого пренебрежительно мало

## **Идеальный газ**

**Идеальный газ – это газ, в котором**

- **Частицы – материальные точки**
- **Частицы взаимодействуют только при соударениях**
- **Удары абсолютно упругие**

# Основное уравнение мкт



$$\Delta P_{x0} = 2m_0 v_x$$

$$N = \frac{1}{2} n V, \quad V = S v_x t$$

$$F_x = \Delta P_x t = N \cdot \Delta P_{0x} t$$

$$F_x = m_0 n v_x^2 S$$

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



$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$$

$p$  – давление идеального газа

$m_0$  – масса частицы газа

$n$  – концентрация частиц

$\overline{v^2}$  – средний квадрат скорости

# Связь давления и средней кинетической энергии

$$p = \bar{p} = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k} \longrightarrow \mathbf{p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}}$$

## Связь давления и плотности

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

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_K}$$

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

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

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

$$M = m_0 N_A$$

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

# Самостоятельная работа

- 1. Сколько моль содержится в 32кг кислорода?**
  - 2. Какова масса 1600моль водорода?**
  - 3. Определите плотность кислорода, если известно, что в объеме 2л находится  $6 \cdot 10^{22}$  его молекул?**
- 1. Какое количество вещества содержится в 100г водорода?**
  - 2. Определите массу 0,5 моль углекислого газа.**
  - 3. Сколько молекул азота находится в сосуде объемом 7л, заполненном азотом, плотность которого  $2\text{кг/м}^3$ ?**

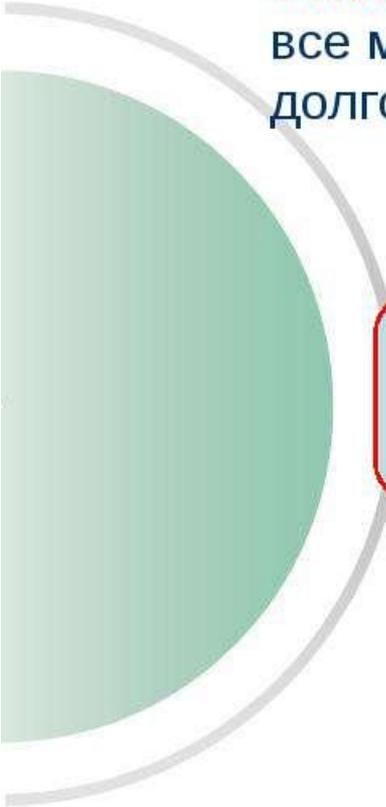
**Макроскопические параметры** – величины, характеризующие состояние макроскопических тел без учета их молекулярного строения



**Микроскопические параметры** – величины, характеризующие состояние каждой отдельной молекулы или атома, входящих в систему



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



**$V, p, t - \text{const}$**



**Температура** характеризует состояние теплового равновесия:  
все тела системы, находящиеся друг с другом в тепловом равновесии, имеют одну и ту же температуру



# Абсолютная температура $T$ (термодинамическая температура)



**Абсолютный нуль температуры** – предельная температура, при которой давление газа обращается в нуль при  $V = \text{const}$  или объем идеального газа стремится к нулю при  $p = \text{const}$ .



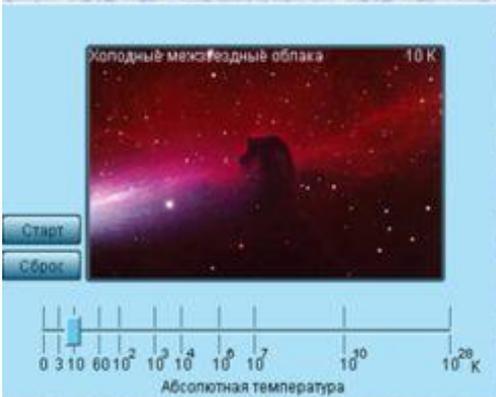
«Это самая низкая температура в природе, та наибольшая или последняя степень холода»

М.В.Ломоносов

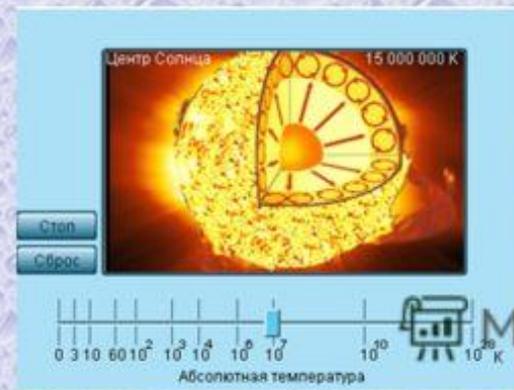
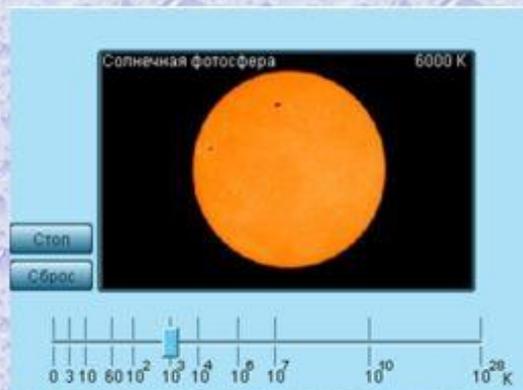
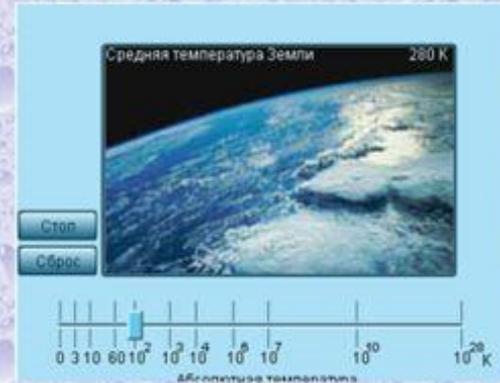


# Абсолютная температура – температура по шкале Кельвина

$t = -273^{\circ}\text{C}$  - абсолютный нуль



$$T = t + 273$$



# Температура- мера средней кинетической энергии

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

*Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре*

$$k=1.38*10^{-23} \text{ Дж/К}$$

**Зависимость давления газа от  
концентрации молекул и  
температуры**

$$p = nkT$$

**Средняя квадратичная скорость движения  
молекул**

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

**474(461).** При какой температуре средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа равна  $6,21 \cdot 10^{-21}$  Дж?

**475(462).** При какой температуре средняя кинетическая энергия молекул одноатомного газа будет в 2 раза больше, чем при температуре  $-73$  °С?

**476(463).** На сколько процентов увеличивается средняя кинетическая энергия молекул газа при увеличении его температуры от  $7$  до  $35$  °С?

**477(464).** Определить среднюю кинетическую энергию молекул одноатомного газа и концентрацию молекул при температуре  $290$  К и давлении  $0,8$  МПа.

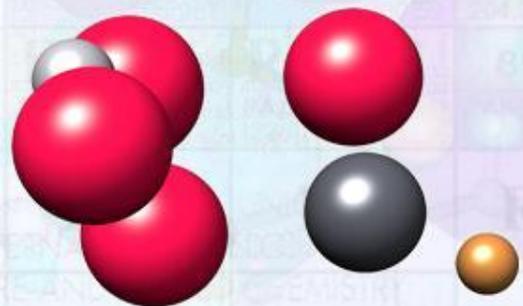
**478(465).** Найти температуру газа при давлении  $100$  кПа и концентрации молекул  $10^{25}$  м<sup>-3</sup>.

**480(469).** Найти среднюю квадратическую скорость молекулы водорода при температуре  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**481(470).** Во сколько раз средняя квадратическая скорость молекул кислорода меньше средней квадратической скорости молекул водорода, если температуры этих газов одинаковы?

**482(471).** При какой температуре средняя квадратическая скорость молекул азота  $830\text{ м/с}$ ?

# Уравнение состояния идеального газа



# Уравнение Менделеева-Клапейрона

устанавливает связь между макропараметрами:  $p$ ,  $T$ ,

$V$

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

$p$  – давление идеального газа

$V$  – объем идеального газа

$m$  – масса газа

$M$  – молярная масса газа

$R$  – универсальная газовая постоянная

$T$  – абсолютная температура

идеального газа

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

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

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

### Задание 1

Используя уравнение состояния идеального газа, вычислите по четырем параметрам, представленным в таблице, пятый, неизвестный параметр

Номер варианта	$m$ , кг	$M$ , кг/моль	$P$ , Па	$V$ , м <sup>3</sup>	$T$ , К
1 вариант	8	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^5$	16,6	?
2 вариант	0,02	$2 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^5$	?	200
3 вариант	64	$32 \cdot 10^{-3}$	?	24,9	300
4 вариант	7	?	$10^5$	8,3	400
5 вариант	?	$44 \cdot 10^{-3}$	$10^7$	0,0249	300

6. В баллоне ёмкостью 40 л находится 2 кг углекислого газа при температуре 17 °С. Определите давление газа.
7. В баллоне ёмкостью 12 л находится водород под давлением 9,8 МПа. Определите массу водорода, если его температура 10 °С.
8. В баллоне ёмкостью 1 л находится 2 моль водорода. Определите давление газа, если температура составляет 400 °С.
9. Определите, какой газ при температуре 10 К и давлении 200 кПа обладает плотностью 5 кг/м<sup>3</sup>
10. Какое количество вещества содержится в газе, если при давлении 200кПа и температуре 240Кего объем равен 40л?

## 7. Закон Дальтона.

Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений  $P$ , входящих в неё газов

$$P_{\text{см}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

( $P_1$  – давление, которое оказывал бы определённый газ из смеси, если бы он занимал весь объём).

$$P_{\hat{m}} = \frac{m_1 RT}{\mu_1 V} + \frac{m_2 RT}{\mu_2 V} = \frac{RT}{V} \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right).$$

# **Газовые законы**

## **Изопроцессы**

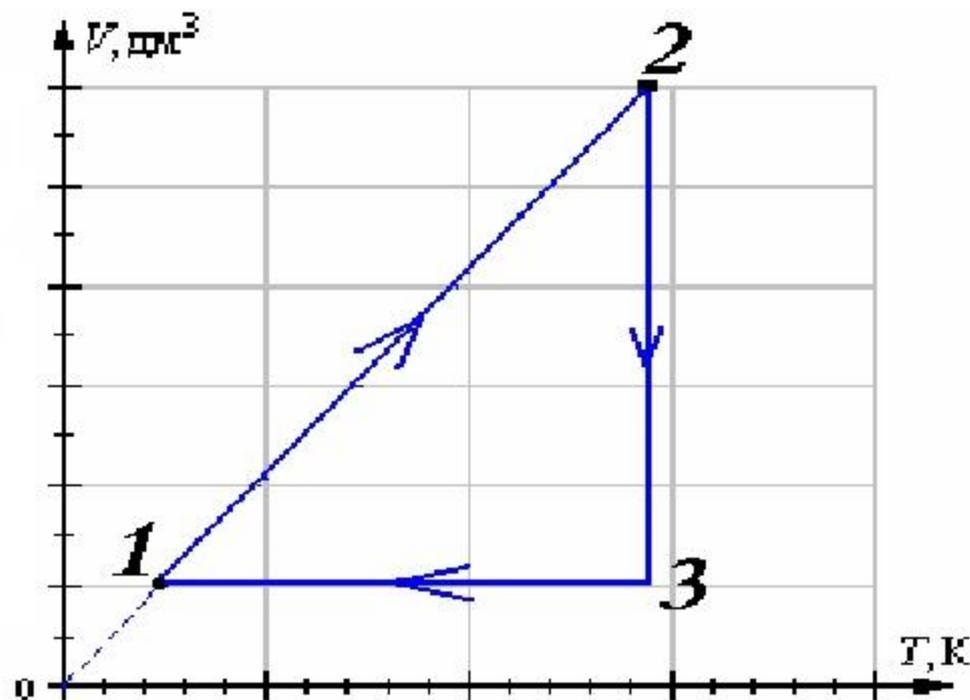
**Изопроцессы** — термодинамические процессы, во время которых количество вещества и один из параметров состояния: давление, объём, температура — остаётся неизменным.

- ***термодинамическим процессом*** называют всякое изменение состояния газа

Название процесса	Постоянный параметр	Формула газового закона	Название газового закона	Графическое представление газового закона
Изотермический	$T$ температура	$p \cdot V = \text{const}$ $p_1 \cdot V_1 =$ $= p_2 \cdot V_2 = \dots$	Бойля – Мариотта	
Изобарный	$p$ давление	$\frac{V}{T} = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots$	Гей-Люссака	
Изохорный	$V$ объём	$\frac{p}{T} = \text{const}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots$	Шарля	

# Задание на построение

На рисунке дан график изменения состояния идеального газа в координатных осях  $V, T$ . Представьте этот процесс на графиках в координатных осях  $(p, V)$  и  $(p, T)$



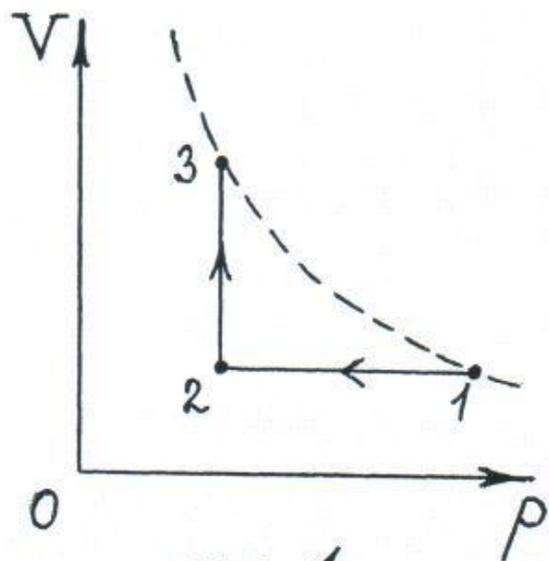


рис. 1.

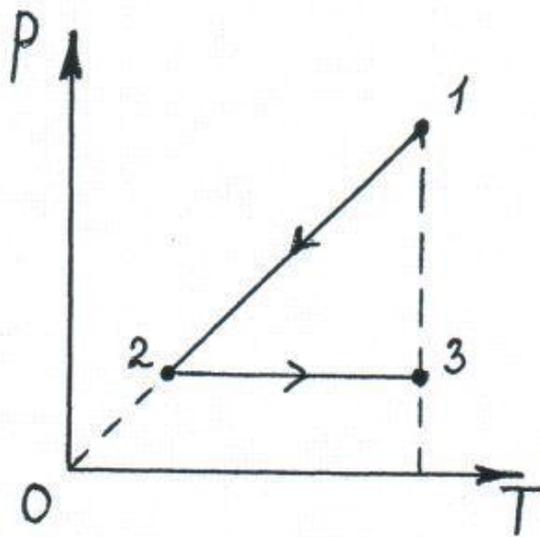


рис. 2.

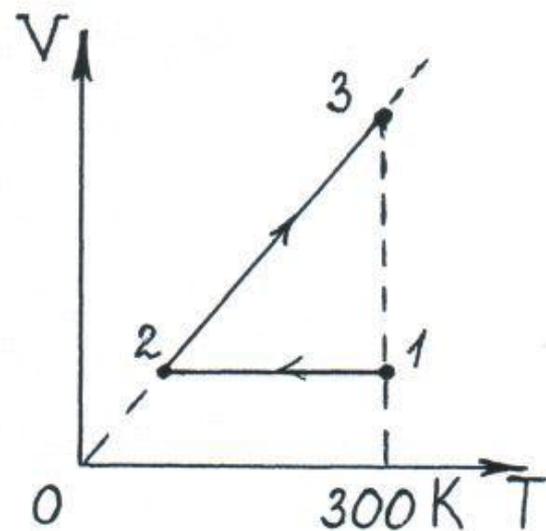


рис. 3.

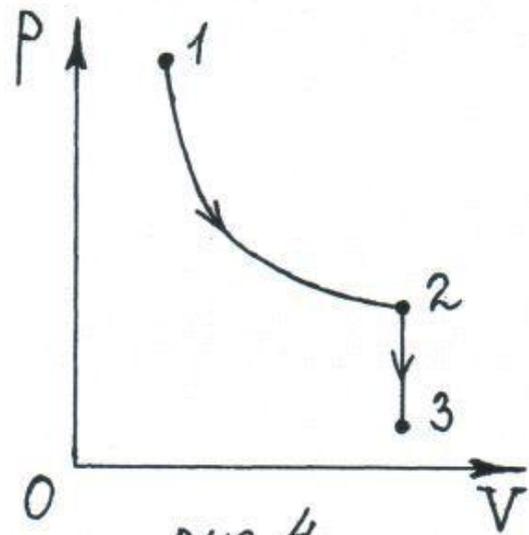


рис. 4.

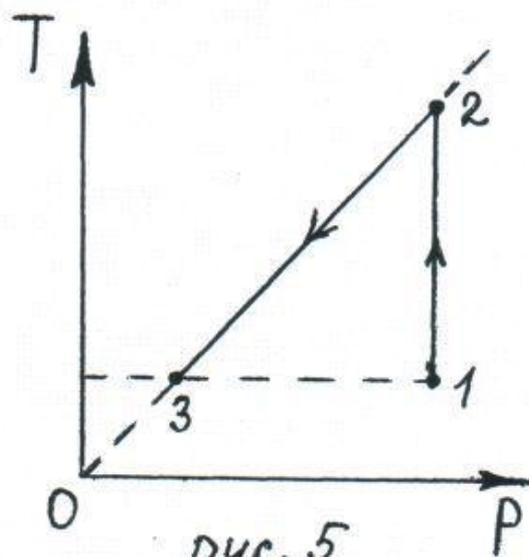


рис. 5.

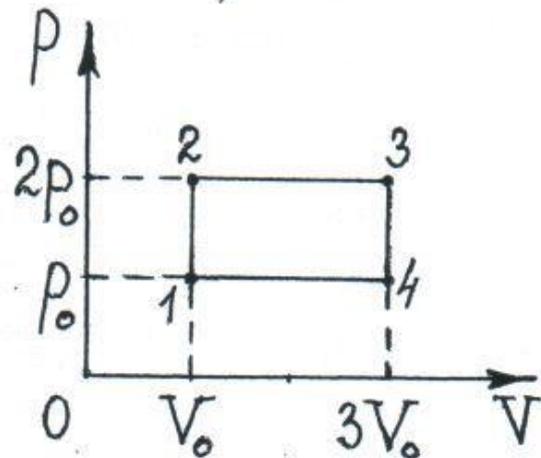


рис. 6.

**511(н).** При сжатии газа его объем уменьшился с 8 до 5 л, а давление повысилось на 60 кПа. Найти первоначальное давление.

**522(512).** Какой объем займет газ при  $77\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если при  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  его объем был 6 л?

**524(н).** При увеличении абсолютной температуры в 1,4 раза объем газа увеличился на  $40\text{ см}^3$ . Найти первоначальный объем.

**531(522).** При температуре  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  давление газа в закрытом сосуде было 75 кПа. Каким будет давление при температуре  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$$

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

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

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

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

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

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

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$p = nkT$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$T = t + 273$$

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

Название процесса	Постоянный параметр	Формула газового закона	Название газового закона	Графическое представление газового закона
Изотермический	T температура	$p \cdot V = \text{const}$ $p_1 \cdot V_1 =$ $= p_2 \cdot V_2 = \dots$	Бойля – Мариотта	
Изобарный	p давление	$\frac{V}{T} = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots$	Гей-Люссака	
Изохорный	V объём	$\frac{p}{T} = \text{const}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots$	Шарля	

1. В баллоне находится 20 моль газа. Сколько молекул газа находится в баллоне?
2. При температуре 320 К средняя квадратичная скорость молекулы кислорода 500 м/с. Определить массу молекулы кислорода.
3. Определить давление, при котором 1 м<sup>3</sup> газа, имеющий температуру 60° С, содержит  $2,4 \cdot 10^{26}$  молекул.

1. Определить массу молекулы кислорода
2. Определить давление водорода, если средняя квадратичная скорость его молекул равна 2550 м/с, а концентрация молекул  $3,6 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .
3. Какой объем при нормальных условиях занимают 5г углекислого газа?

4. В сосуде находится газ под давлением 150 кПа при температуре 23° С. Найти концентрацию молекул
5. Баллон содержит 28 кг кислорода при давлении 770 кПа. Какова масса гелия, занимающего такой же объем при давлении 825 кПа? Температура газов одинакова.
6. Газ изотермически сжимают от объема 0,15 м<sup>3</sup> до объема 0,1 м<sup>3</sup>. При этом давление повысилось на 0,15 МПа. Определить начальное давление газа.
4. Определить среднюю квадратичную скорость молекул водорода при нормальных условиях
5. Некоторая масса газа при давлении 126 кПа и температуре 295 К занимает объем 500 л. Найти объем газа при нормальных условиях.
6. Газ сжат изотермически от 8 до 6 л. Давление при этом возросло на 4 кПа. Каким было первоначальное давление?