

4. Вызначце колькасць малекул ідэальнага газу, які знаходзіцца ў пасудзіне ёмістасцю  $V = 1,4$  л, калі тэмпература газу  $t = 27$  °С, а ціск  $p = 3,0$  кПа.

5. Вадарод, абсалютная тэмпература якога  $T = 290$  К, а маса  $m = 2,0$  кг, знаходзіцца ў пасудзіне ёмістасцю  $V = 2,0$  м<sup>3</sup>. Вызначце ціск вадароду.

6. Тэмпература паветра, якое знаходзіцца ў пасудзіне,  $t_1 = 24,0$  °С. На колькі градусаў павялічылася тэмпература паветра, калі сярэдняя кінетычная энергія паступальнага руху яго малекул павялічылася ў  $\alpha = 2,00$  раза?

7. Вызначце шчыльнасць азоту, ціск якога  $p = 1,1 \cdot 10^5$  Па і абсалютная тэмпература  $T = 298$  К.



## § 5. Ураўненне стану ідэальнага газу

*Высветлім, як звязаны паміж сабой макраскапічныя параметры ідэальнага газу, якія характарызуюць яго раўнаважны стан: ціск, маса ўсяго газу, адведзены яму аб'ём і тэмпература.*

Стан макраскапічнай сістэмы цалкам вызначаны, калі вядомыя яе макраскапічныя параметры — ціск  $p$ , маса  $m$ , тэмпература  $T$  і аб'ём  $V$ . Ураўненне, якое звязвае параметры дадзенага стану, называюць *ураўненнем стану сістэмы*. Змяненне параметраў стану сістэмы з цягам часу называюць *працэсам*.

Калі пры пераходзе ідэальнага газу з аднаго стану ў другі колькасць яго малекул  $N = \frac{m}{M} N_A$  застаецца пастаяннай, гэта значыць маса і малярная маса газу не змяняюцца, то з ураўненняў  $p = nkT$  і  $n = \frac{N}{V}$  вынікае:

$$p_1 V_1 = NkT_1, \quad p_2 V_2 = NkT_2, \quad (5.1)$$

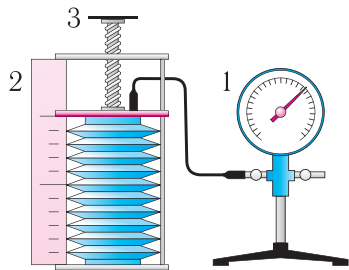
дзе  $k$  — пастаянная Больцмана;  $p_1, V_1, T_1$  — параметры пачатковага стану газу, а  $p_2, V_2, T_2$  — канчатковага. З суадносін (5.1) вынікае, што

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},$$

або

$$\frac{pV}{T} = \text{const.} \quad (5.2)$$

Пры нязменных масе і малярнай масе ідэальнага газу адносіны здабытку яго ціску і аб'ёму да абсалютнай тэмпературы з'яўляюцца велічынёй пастаяннай.



Мал. 18

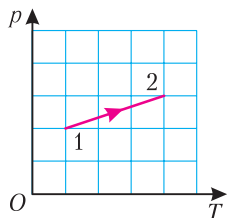
газу ў пасудзіне можна разлічыць з дапамогай лінейкі 2. Тэмпература газу ў пасудзіне роўная тэмпературы навакольнага асяроддзя, і яе можа вымераць тэрмометрам.

Вызначыўшы параметры газу  $p_1$ ,  $V_1$ ,  $T_1$  у пачатковым стане, вылічваюць адносіны  $\frac{p_1 V_1}{T_1}$ . Пасля гэтага змяшчаюць пасудзіну ў гарачую ваду, тым самым змяняючы тэмпературу газу і яго ціск. Верцячы вiнт 3, змяняюць умяшчальнасць пасудзіны. Вымераўшы зноў ціск газу  $p_2$  і тэмпературу  $T_2$ , а таксама разлічыўшы адведзены яму аб'ём  $V_2$ , вылічваюць адносіны  $\frac{p_2 V_2}{T_2}$ . Як паказваюць разлікі, ураўненне стану (5.2) выконваецца ў межах хiбнасцi эксперымента.

Ураўненне стану (5.2) можна прымяняць для газаў пры наступных умовах:

- 1) не вельмі значныя ціскі (пакуль уласны аб'ём усіх малекул газу надзвычай малы ў параўнанні з умяшчальнасцю ёмістасцi, у якой знаходзіцца газ);
- 2) не вельмі нізкія або высокія тэмпературы (пакуль абсалютнае значэнне патэнцыяльнай энергіі міжмалекулярнага ўзаемадзеяння надзвычай малое ў параўнанні з кінетычнай энергіяй цеплавога руху малекул).

### Ад тэорыі да практыкі



Мал. 19

На малюнку 19 прыведзены графік працэсу пераходу ідэальнага газу дадзенай масы са стану 1 у стан 2. Як змяніўся аб'ём газу ў выніку гэтага працэсу?

Паколькі колькасць часціц  $N = \frac{m}{M} N_A$ , то з ураўнення (5.1) вынікае:

$$pV = kN_A \frac{m}{M} T. \quad (5.3)$$

Велічыню, роўную здабытку пастаяннай Больцмана  $k$  і пастаяннай Авагавра  $N_A$ , назвалі *ўніверсальнай газавай пастаяннай  $R$* :

$$R = kN_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}. \quad (5.4)$$

З улікам выразу (5.4) ураўненне (5.3) прыме выгляд:

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (5.5)$$

Паколькі колькасць рэчыва  $\nu = \frac{m}{M}$ , то формулу (5.5) можна запісаць у выглядзе:

$$pV = \nu RT.$$

Ураўненне стану ў выглядзе (5.5) упершыню было атрыманае рускім вучоным Д. І. Мендзялеевым (1834–1907) у 1874 г., таму яго называюць *ураўненнем Клапейрона — Мендзялеева*.

Адзначым, што ўраўненне Клапейрона — Мендзялеева звязвае паміж сабой макраскапічныя параметры канкрэтнага стану ідэальнага газу. Выкарыстоўваючы ўраўненне Клапейрона — Мендзялеева, можна апісаць розныя працэсы, якія адбываюцца ў ідэальным газе.

**Ціск сумесі газаў.** У паўсядзённым жыцці часта даводзіцца мець справу не з адным газам, які складаецца з аднолькавых малекул, а з сумессю некалькіх розных газаў, якія не ўступаюць у хімічныя рэакцыі. Напрыклад, паветра ў пакоі з'яўляецца сумессю азоту, кіслароду, інертных газаў і вадароду, а таксама некаторых іншых газаў.

З прычыны цеплавога руху часціц кожнага газу, што ўваходзіць у састаў газавай сумесі, яны раўнамерна размяркоўваюцца па ўсім аб'ёме, які займае сумесь. Сутыкненні часціц забяспечваюць у сумесі цеплавую раўнавагу.

Кожны газ уносіць свой уклад у сумарны ціск газавай сумесі, ствараючы ціск, які называюць *парцыяльным*.

**Парцыяльны ціск** — ціск газу, які ўваходзіць у састаў газавай сумесі, калі б ён адзін займаў увесь аб'ём, адведзены сумесі, пры той жа тэмпературы.

Сумесь ідэальных газаў лічаць ідэальным газам.



### 3 гісторыі фізікі

Фундаментальныя даследаванні газавых сумесей правёў англійскі вучоны Джон Дальтан (1766–1844). Ім быў сфармуляваны закон незалежнасці парцыяльнага ціску кампанентаў сумесі (1801–1802). У 1802 г. на некалькі месяцаў раней французскага вучонага Жозэфа Гей-Люсака (1778–1850) Дальтан вынайшоў закон цеплавога расшырэння газу, а таксама ўвёў паняцце атамнай вагі.



Пры пастаянных масе і малярнай масе адносіны здабытку ціску ідэальнага газу і яго аб'ёму да абсалютнай тэмпературы з'яўляюцца велічыняй пастаяннай (ураўненне стану ідэальнага газу):

$$\frac{pV}{T} = \text{const}, \quad pV = \frac{m}{M}RT$$

Парцыяльны ціск — ціск газу, які ўваходзіць у састаў газавай сумесі, калі ён адзін займаў увесь аб'ём, адведзены сумесі, пры той жа тэмпературы



1. Што называюць ураўненнем стану ідэальнага газу?
2. Як звязаны параметры ідэальнага газу ва ўраўненні стану?
3. Які ціск называюць парцыяльным?



#### Прыклад рашэння задачы

Балон з газам, ціск якога  $p_1 = 2,84$  МПа, знаходзіўся ў неацпеленым памяшканні, дзе тэмпература паветра  $t_1 = 7$  °С. Пасля таго як некаторая колькасць газу была зрасходавана, балон унеслі ў памяшканне, дзе тэмпература паветра  $t_2 = 27$  °С. Вызначце, якая частка газу была зрасходавана, калі пасля працяглага знаходжання балона ў ацпеленым памяшканні ціск газу ў ім стаў  $p_2 = 1,52$  МПа.

Дадзена:

$$p_1 = 2,84 \text{ МПа} =$$

$$= 2,84 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$T_1 = 280 \text{ К},$$

$$T_2 = 300 \text{ К}$$

$$p_2 = 1,52 \text{ МПа} =$$

$$= 1,52 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1} \text{ — ?}$$

Рашэнне. Калі не прымаць пад увагу цеплавое расшырэнне балона, то яго ёмістасць не змяняецца. Запішам ураўненне Клапейрона — Мендзялеева для пачатковага і канчатковага станаў газу, палічыўшы яго ідэальным:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT_1, \quad p_2 V = \frac{m_2}{M} RT_2,$$

адкуль

$$m_1 = \frac{p_1 VM}{RT_1}, \quad m_2 = \frac{p_2 VM}{RT_2}.$$

Тады

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1} = \frac{VM \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right)}{\frac{VM p_1}{RT_1}} = 1 - \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}.$$

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1} = 1 - \frac{1,52 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 280 \text{ К}}{2,84 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 300 \text{ К}} = 0,50.$$

$$\text{Адказ: } \frac{m_1 - m_2}{m_1} = 0,50.$$



#### Практыкаванне 4

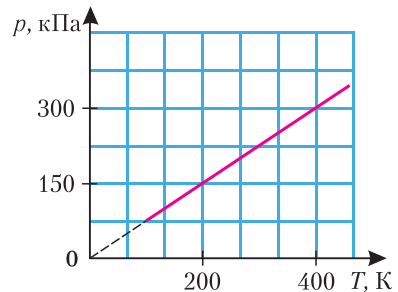
1. Вызначце колькасць рэчыва ідэальнага газу, які знаходзіцца ў пасудзіне ёмістасцю  $V = 480 \text{ см}^3$  пры нармальных умовах (атмасферны ціск  $p_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , тэмпература  $t_0 = 0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

2. На малюнку 20 прыведзены графік залежнасці ціску вадароду, маса якога  $m = 100 \text{ г}$ , ад абсалютнай тэмпературы. Вызначце аб'ём, які займае газ.

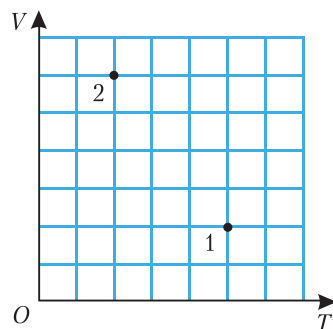
3. Балон ёмістасцю  $V_1 = 15 \text{ л}$ , дзе знаходзіцца газ, ціск якога  $p_1 = 2,0 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , злучылі з пустым балонам ёмістасцю  $V_2 = 5,0 \text{ л}$ . Вызначце ціск газу, які ўстанавіўся ў балонах, калі тэмпература пасля расшырэння газу праз некаторы прамежак часу стала такой, як і да расшырэння.

4. Азот, аб'ём якога  $V_1 = 2,9 \text{ м}^3$ , тэмпература  $T_1 = 293 \text{ К}$  і ціск  $p_1 = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , перавялі ў вадкі стан. Вызначце аб'ём, які займае вадкі азот, калі яго шчыльнасць  $\rho = 0,86 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

5. На малюнку 21 пункты 1 і 2 адпавядаюць розным станам ідэальнага газу пэўнай масы. Вызначце, у колькі разоў адрозніваюцца ціскі газу ў станах 1 і 2.



Мал. 20



Мал. 21

