

Практыкаванне 1

1. Вызначце малярныя масы і масы малекул: а) вады H_2O ; б) вуглякіслага газу CO_2 ; в) аміяку NH_3 ; г) азотнай кіслаты HNO_3 .

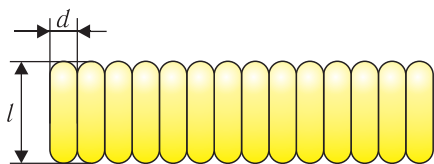
2. У шклянку наліта вада H_2O масай $m = 0,20$ кг. Вызначце колькасць рэчыва і колькасць малекул вады ў шклянцы.

3. Вызначце масу $N = 4,5 \cdot 10^{22}$ малекул серавадароду H_2S .

4. Параўнайце колькасць часціц рэчыва ў алюмініевым і медным кубіках адвольнага аб'ёму. Шчыльнасць алюмінію $\rho_a = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, шчыльнасць медзі $\rho_m = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

5. У сярэбранай пласцінцы $N = 1,0 \cdot 10^{24}$ атамаў. Вызначце аб'ём пласцінкі, калі шчыльнасць серабра $\rho = 10,5 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

6. Англіійскі фізік Джон Уільям Стрэт, лорд Рэлей (1842–1919), прапанаваў такі спосаб ацэнкі памераў малекул: на паверхню вады ў шырокай пасудзіне ён капнуў кроплю аліўкавага алею аб'ёмам $V = 8,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$ і шчыльнасцю $\rho = 9,0 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Кропля расцяклася, утварыўшы плёнку плошчай $S = 0,55 \text{ м}^2$.



Мал. 13

Вызначце па гэтых даных масу і дыяметр малекулы аліўкавага алею, палічыўшы таўшчыню плёнкі роўнай даўжыні цыліндрычных па форме малекул алею (мал. 13). Малярную масу аліўкавага алею палічыце роўнай $M = 0,28 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

7. Вада ў адкрытай пасудзіне выпарылася за прамежак часу $\Delta t = 6,0$ сутак. Вызначце масу вады, якая знаходзілася ў пасудзіне, калі з яе паверхні кожную секунду вылятала ў сярэднім $\langle N_1 \rangle = 5,0 \cdot 10^{18}$ малекул.



§ 3. Макра- і мікрапараметры. Ідэальны газ.

Асноўнае ўраўненне малекулярна-кінетычнай тэорыі ідэальнага газу

Найбольш простым з усіх агрэгатных станаў рэчыва з'яўляецца газападобны. Таму вывучэнне ўласцівасцей рэчываў пачынаюць з газаў. Газ (грэч. *chaos* — хаос) — такі агрэгатны стан рэчыва, калі часціцы,

што яго складаюць, амаль свабодна і хаатычна рухаюцца паміж сутыкненнямі, падчас якіх адбываецца рэзкае змяненне іх скорасці. Тэрмін «газ» прапанаваў на пачатку XVII ст. нідэрландскі хімік Ян Батэст ван Гельмант (1579–1644).

Макра- і мікропараметры. Пры вывучэнні механікі ў 9-м класе вы пазнаёміліся з паняццем «стан механічнай сістэмы цел». Параметрамі гэтага стану з’яўляюцца каардынаты, скорасці або імпульсы цел. У цеплавых працэсах асноўнымі фізічнымі велічынямі, якія характарызуюць стан макраскапічных цел без уліку іх малекулярнай будовы, з’яўляюцца ціск p , аб’ём V і тэмпература T . Гэтыя фізічныя велічыні называюць *макраскапічнымі параметрамі* стану. Да *мікраскапічных параметраў* стану цел адносяць індывідуальныя характарыстыкі малекул: масу асобнай малекулы m_0 , скорасць $\vec{v}$, імпульс $\vec{p}$ і кінетычную энергію E_k яе цеплавога руху.

Адна з галоўных задач малекулярна-кінетычнай тэорыі заключаецца ў вызначэнні сувязі паміж макраскапічнымі і мікраскапічнымі параметрамі.

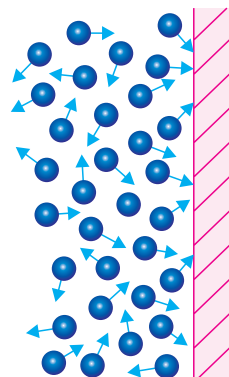
Ідэальны газ. Для тэарэтычнага тлумачэння ўласцівасцей газаў выкарыстоўваюць іх спрощаную мадэль — ідэальны газ.

Ідэальны газ — мадэль газу, якая адпавядае наступным умовам: 1) малекулы газу можна лічыць матэрыяльнымі пунктамі, якія хаатычна рухаюцца; 2) сілы ўзаемадзеяння паміж малекуламі ідэальнага газу практычна адсутнічаюць (патэнцыяльная энергія іх узаемадзеяння роўная нулю); сілы дзейнічаюць толькі падчас сутыкненняў малекул, прычым гэта сілы адштурхвання.

Паводзіны малекул ідэальнага газу можна апісаць, выкарыстаўшы законы Ньютана і ўлічыўшы, што паміж сутыкненнямі малекулы рухаюцца практычна раўнамерна і прамалінейна.

Мадэль ідэальнага газу можна прымяняць у абмежаваным дыяпазоне тэмператур і пры дастаткова малым ціску. Так, напрыклад, уласцівасці вадароду і гелію пры нармальным атмасферным ціску і пакаёвай тэмпературы блізкія да ўласцівасцей ідэальнага газу.

Вывучаючы фізіку ў 7-м класе, вы даведаліся, што ціск газу на сценкі пасудзіны, у якой ён знаходзіцца, як і на любое цела, змешчанае ўнутр пасудзіны, абумоўлены ўдарамі часціц, якія ўтвараюць газ (мал. 14). З прычыны



Мал. 14



хаатычнасці іх руху ўсярэднены па часе ціск газу ў любой частцы пасудзіны аднолькавы, і яго можна вызначыць па формуле

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v^2 \rangle. \quad (3.1)$$

Выраз (3.1) называюць *асноўным ураўненнем малекулярна-кінетычнай тэорыі ідэальнага газу*. Гэтае ўраўненне дазваляе разлічыць макраскапічны параметр ціск p ідэальнага газу праз масу m_0 малекулы, канцэнтрацыю n малекул і сярэднюю квадратычную скорасць іх цеплавога руху, вызначаную па формуле $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$. Формула (3.1) звязвае паміж сабой макра- і мікраскапічныя параметры сістэмы «ідэальны газ».



Залежнасць ціску газу ад сярэдняга значэння квадрата скорасці $\langle v^2 \rangle$ цеплавога руху яго малекул абумоўлена тым, што з павелічэннем скорасці, першае, узрастае імпульс малекулы, а значыць, і сіла ўдару аб сценку. Па-другое, узрастае колькасць удараў, бо малекулы часцей сутыкаюцца са сценамі.

Ад тэорыі да практыкі

У герметычна закрытай пасудзіне знаходзіцца ідэальны газ. Калі частку газу праз клапан выпусціць з пасудзіны, то як змяняцца: а) ціск газу; б) шчыльнасць газу; в) колькасць рэчыва ў пасудзіне?

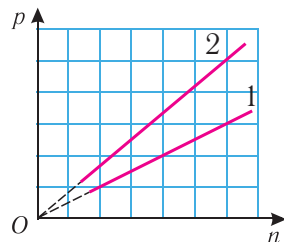
Абазначым праз $\langle E_{\text{к}} \rangle = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2}$ *сярэднюю кінетычную энергію паступальнага руху малекул*. Тады асноўнае ўраўненне малекулярна-кінетычнай тэорыі прыме выгляд:

$$p = \frac{2}{3} n \langle E_{\text{к}} \rangle. \quad (3.2)$$

З выразу (3.2) вынікае, што ціск ідэальнага газу залежыць ад сярэдняй кінетычнай энергіі паступальнага руху яго малекул і іх канцэнтрацыі.

Ад тэорыі да практыкі

На малюнку 15 прыведзены графікі залежнасці ціску ад канцэнтрацыі для двух ідэальных газаў, тэмпературы якіх розныя. У колькі разоў адрозніваюцца сярэднія кінетычныя энергіі паступальнага руху малекул гэтых газаў?



Мал. 15



Ідэальны газ — мадэль газу, якая адпавядае наступным умовам

малекулы газу можна лічыць матэрыяльнымі пунктамі, якія хаатычна рухаюцца

сілы ўзаемадзеяння малекул ідэальнага газу практычна адсутнічаюць (патэнцыяльная энергія іх узаемадзеяння роўная нулю); сілы дзейнічаюць толькі падчас сутыкненняў малекул, прычым гэта сілы адштурхвання

Асноўнае ўраўненне малекулярна-кінетычнай тэорыі ідэальнага газу

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

$$\langle E_k \rangle = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle$$



1. Назавіце істотныя прыкметы паняцця «ідэальны газ».
2. Які механізм узнікнення ціску газу з пункту гледжання малекулярна-кінетычнай тэорыі?
3. Ад чаго залежыць ціск ідэальнага газу?
4. У табліцы прыведзены шчыльнасці газаў пры нармальных умовах:

Газ	вадарод	кісларод	азот	хлор
Шчыльнасць газу ρ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,090	1,43	1,25	3,21

У малекул якога газу сярэдняя квадратычная скорасць паступальнага руху максімальная?

5. У двох пасудзінах знаходзяцца аднолькавыя колькасці малекул ідэальнага газу. У якім выпадку ціскі газу ў пасудзінах будуць аднолькавыя?



Прыклады рашэння задач

Прыклад 1. Балон электрычнай лямпы напоўнены газам, шчыльнасць якога $\rho = 0,90 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Пасля ўключэння лямпы ціск газу ў ёй павялічыўся ад $p_1 = 90 \text{ кПа}$ да $p_2 = 150 \text{ кПа}$. Вызначце, на колькі пры гэтым павялічыўся сярэдні квадрат скорасці цеплага руху малекул газу.

Дадзена:

$$\rho = 0,90 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$p_1 = 90 \text{ кПа} = 9,0 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$p_2 = 150 \text{ кПа} = 1,50 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\Delta \langle v^2 \rangle = ?$$

Рашэнне. Пакажам, што паміж шчыльнасцю ρ газу і канцэнтрацыяй n яго часціц існуе сувязь. Шчыльнасць рэчыва газу роўная адносінам масы да адведзенага яму аб'ёму. Паколькі здабытак масы адной малекулы m_0 і колькасці N малекул роўны масе рэчыва, то:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_0 N}{V} = m_0 n.$$

Тады асноўнае ўраўненне малекулярна-кінетычнай тэорыі можна запісаць у выглядзе: $p = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle$. Значыць, сярэдні квадрат скорасці цеплага руху малекул газу $\langle v^2 \rangle = \frac{3p}{\rho}$. Вызначым змяненне сярэдняга квадрата скорасці цеплага руху малекул газу пасля ўключэння лямпы:

$$\Delta \langle v^2 \rangle = \frac{3p_2}{\rho} - \frac{3p_1}{\rho} = \frac{3}{\rho} (p_2 - p_1).$$

$$\Delta \langle v^2 \rangle = \frac{3}{0,90 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \cdot (1,50 \cdot 10^5 \text{ Па} - 9,0 \cdot 10^4 \text{ Па}) = 2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

$$\text{Адказ: } \Delta \langle v^2 \rangle = 2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Прыклад 2. У пасудзіне ёмістасцю $V = 10 \text{ л}$ знаходзіцца аднаатамны газ, колькасць рэчыва якога $\nu = 2,0 \text{ моль}$ і ціск $p = 6,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Вызначце сярэдняю кінетычную энергію цеплага руху атамаў гэтага газу.

Дадзена:	Рашэнне. З асноўнага ўраўнення малекулярна-кінетычнай тэорыі, запісанага ў выглядзе $p = \frac{2}{3}n\langle E_k \rangle$, вынікае, што $\langle E_k \rangle = \frac{3p}{2n}$. Паколькі канцэнтрацыя атамаў $n = \frac{N}{V}$, а колькасць атамаў газу $N = \nu N_A$, то $\langle E_k \rangle = \frac{3p}{2n} = \frac{3pV}{2N} = \frac{3pV}{2\nu N_A}$.
$V = 10 \text{ л} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ $p = 6,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $\nu = 2,0 \text{ моль}$	
$\langle E_k \rangle = ?$	
	$\langle E_k \rangle = \frac{3 \cdot 6,0 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3}{2 \cdot 2,0 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 7,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$
	Адказ: $\langle E_k \rangle = 7,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$

Практыкаванне 2

1. Вызначце канцэнтрацыю малекул кіслароду, калі сярэдняе значэнне квадрата скорасці іх цеплага руху $\langle v^2 \rangle = 4,9 \cdot 10^5 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$, а ціск газу $p = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

2. У адной з дзвюх аднолькавых пасудзін знаходзіцца кісларод, а ў другой — азот. Колькасць малекул кожнага газу і сярэднія значэнні квадратаў скорасцей іх цеплага руху аднолькавыя. Вызначце ціск азоту, калі ціск кіслароду $p_1 = 32 \text{ кПа}$.

3. Вызначце сярэднюю кінетычную энергію паступальнага руху малекул кіслароду пры нармальных умовах, калі іх канцэнтрацыя $n = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

4. У балоне ёмістасцю $V = 4,0 \text{ л}$ знаходзіцца $N = 8,0 \cdot 10^{25}$ малекул азоту. Вызначце сярэднюю кінетычную энергію паступальнага руху малекул, калі ціск азоту $p = 2,0 \text{ МПа}$.

5. У балоне ёмістасцю $V = 2,5 \text{ м}^3$ знаходзіцца гелій масай $m = 3,0 \text{ кг}$. Вызначце сярэдняе значэнне квадрата скорасці цеплага руху атамаў гелію, калі яго ціск $p = 100 \text{ кПа}$.

6. У колькі разоў зменіцца ціск ідэальнага аднаатамнага газу, калі сярэдняя кінетычная энергія цеплага руху яго атамаў павялічыцца ў $\alpha = 3$ разы, а аб'ём газу паменшыцца ў $\beta = 2$ разы?

