

## « Рівняння стану ідеального газу.

### Рівняння Клапейрона. Універсальна газова стала. Ізопроееси»

#### Мета :

**навчальна:** вивести залежність між макроскопічними параметрами( $p, V, T$ ), що характеризують стан газу; ввести поняття ізопроеес, навчити розв'язувати задачі на рівняння стану ідеального газу, ізопроееси;

**розвивальна:** розвивати логічне мислення, уміння аналізувати, робити висновки, вміння застосовувати знання в нестандартних ситуаціях; розвивати пізнавальний інтерес до вивчення фізики;

**виховна:** виховувати охайність, самостійність та акуратність, впевненість в собі та в своїх знаннях.

#### Завдання 1. (дати письмові відповіді на питання)

- Який газ називають ідеальним?
- За яких умов можна вважати близьким до ідеального?
- Що називають тиском газу?
- Якими параметрами характеризується стан газу?

**Завдання 2.** Скласти опорний конспект за темою «Рівняння стану ідеального газу. Рівняння Клапейрона. Ізопроееси».

#### Завдання 3. Розв'язати задачі

1. Знайти масу повітря в аудиторії, якщо її розміри  $10 \times 6 \times 4$  м, молярна маса повітря  $0,029$  кг/ моль, атмосферний тиск  $98,4$  кПа, температура  $10^\circ\text{C}$ .
2. Балон об'ємом  $100$  л містить  $5,76$  кг кисню ( $\text{O}_2$ ). За якої температури виникає небезпека вибуху, якщо балон витримує тиск до  $5 \cdot 10^6$  Па?
3. При нагріванні газу на  $1$  К при сталому тиску його об'єм збільшився удвічі. В якому інтервалі температур відбувалося нагрівання?

На попередніх заняттях ми говорили, що стан газу визначають такі макроскопічні параметри ( $P, V, T$ ). Рівняння, яке пов'язує ці три величини називають рівнянням стану газу.

Рівняння стану дозволяє визначити:

- одну з макроскопічних величин ( $p, V, T$ ), знаючи дві інші;
- перебіг процесів у системі;

- зміну стану системи під час виконання нею роботи або отримання теплоти від тіл, які її оточують.

Лише при тисках у сотні атмосфер відхилення від результатів розрахунків за рівнянням стану ідеального газу стають суттєвими.

- Макроскопічні — параметри, які характеризують стан макроскопічних тіл без урахування їхньої молекулярної будови, називаються макроскопічними параметрами (об'єм- $V$ , тиск- $p$ , температура- $T$ );
- Мікроскопічні — параметри газу, пов'язані з індивідуальними характеристиками молекул, що складають його, називаються мікроскопічними параметрами (маси молекул- $m_0$ , їхні швидкості- $\bar{v}^2$ , концентрація- $n$ )

Мікроскопічні параметри ми записали на попередніх заняттях. Записали зв'язок між тиском та мікроскопічними параметрами газу, тобто основне рівняння МКТ. Але є ще цікавіша формула: це зв'язок між всіма трьома макроскопічними параметрами газу.

Нагадаємо ці параметри

$p$  – тиск ( Па);

$V$  - об'єм ( $m^3$  );

$T$  – температура ( К).

*Рівняння, що пов'язує всі три параметри  $p$ ,  $T$ ,  $V$  газу для певної його маси, - називається **рівнянням стану**.*

Вперше формулювання рівняння стану ідеального газу вивів у першій половині XIX ст., а саме в 1834 році французький вчений Бенуа Клапейрон.

Він взяв тільки той випадок коли маса порції газу постійна, а відповідно й кількість частинок постійна.

Це означає, що стан газу визначається лише двома параметрами ( наприклад  $p$  і  $V$ ,  $p$  і  $T$ ,  $V$  і  $T$ ), третій параметр однозначно визначається двома іншими.

Для певної маси газу добуток тиску газу на його об'єм, ділений на абсолютну температуру газу, є величиною постійною.

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

Якщо газ переводять зі стану 1 у стан 2, то параметри, що характеризують газ у кожному зі станів пов'язаних виразом:

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

Але значення виразу  $\frac{pV}{T}$  не завжди залишається постійним. Надміть шоки: при цьому одночасно збільшиться й тиск, і об'єм повітря в роті, а температура залишиться незмінною (дорівнюватиме температурі тіла).

Значення виразу  $\frac{pV}{T}$  збільшилася. Причина в тому, що збільшилося **число молекул газу**.  $\frac{pV}{T} \sim N$  Це означає, що  $\frac{pV}{T} = kN$

Через деякий час, а саме у 1874 р., вже російський вчений Дмитро Менделєєв дещо узагальнив дане рівняння.

Він зробив ряд виведень. Зараз ми з вами виконаємо теж саме.

Ми вже знаємо, що число молекул  $N$  пов'язане з масою речовини  $m$  та його молярною масою  $M$  співвідношення  $N = \frac{m}{M} N_a$

Підставляючи цей вираз у співвідношення  $\frac{pV}{T} = kN$ , дістаємо

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} k N_a$$

Добуток  $k N_a = R$  - називається **універсальною газовою сталою**.

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

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

$$R = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Рівняння стану ідеального газу набирає вигляду

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R, \text{ або } pV = \frac{m}{M} RT$$

Рівняння встановлює зв'язок між  $p$ ,  $V$ ,  $T$ .

**Дане рівняння має назву *рівняння Менделєєва - Клапейрона*.**

Якщо маса газу і його молярна маса фіксовані, то стан газу визначається трьома макроскопічними параметрами: тиском, об'ємом і температурою. Ці параметри пов'язані один з одним рівнянням стану (рівнянням Менделєєва — Клапейрона).

Термодинамічний процес (або просто процес) — це зміна стану газу з плином часу. В ході термодинамічного процесу змінюються значення макроскопічних параметрів — тиску, об'єму і температури.

Особливий інтерес представляють ізопроцеси — термодинамічні процеси, у яких значення одного з макроскопічних параметрів залишається незмінним. По черзі фіксуючи кожен з трьох параметрів, ми отримаємо три види ізопроцесів.

1. Ізотермічний процес йде при постійній температурі газу:  $T = \text{const}$ .
2. Ізобарний процес йде при постійному тиску газу:  $p = \text{const}$ .
3. Ізохорний процес йде при постійному об'ємі газу:  $V = \text{const}$ .

Ізопроцеси описуються дуже простими законами Бойля — Маріотта, Гей-Люссака і Шарля. Давайте перейдемо до їх вивчення.

### Ізотермічний процес

Нехай ідеальний газ здійснює ізотермічний процес при температурі  $T$ . В ході процесу змінюються лише тиск газу і його об'єм.

Розглянемо два довільних стани газу: в одному з них значення макроскопічних параметрів дорівнюють  $p_1, V_1, T$ , а в другому —  $p_2, V_2, T$ . Ці значення пов'язані рівнянням Менделєєва-Клапейрона

$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= \frac{m}{\mu} RT, \\ p_2 V_2 &= \frac{m}{\mu} RT. \end{aligned}$$

Як ми сказали з самого початку, маса  $m$  і молярна маса  $\mu$  передбачаються незмінними. Тому праві частини виписаних рівнянь рівні. Отже, рівні і ліві частини:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Оскільки два стани газу були вибрані довільно, ми можемо заключити, що в ході ізотермічного процесу добуток тиску газу на його об'єм залишається постійним:

$$pV = \text{const}. \tag{2}$$

Дане твердження називається **законом Бойля — Маріотта**. Записавши закон Бойля — Маріотта у вигляді:

$$p = \frac{\text{const}}{V},$$

можна дати і таке формулювання: в ізотермічному процесі тиск газу обернено пропорційний його об'єму. Якщо, наприклад, при ізотермічному розширенні газу його об'єм збільшується в три рази, то тиск газу при цьому в три рази зменшується.

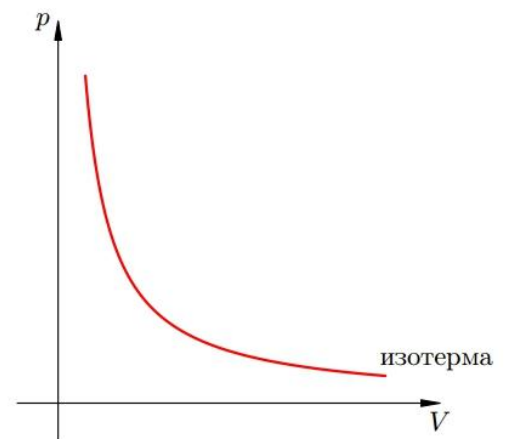
Як пояснити зворотну залежність тиску від об'єму з фізичної точки зору? При постійній температурі залишається незмінною середня кінетична енергія молекул газу, то просто кажучи, не змінюється сила ударів молекул об стінки посудини. При збільшенні об'єма концентрація молекул зменшується, і відповідно зменшується число ударів молекул в одиницю часу на одиницю площі стінки — тиск газу падає. Навпаки, при зменшенні об'єму концентрація молекул зростає, їх удари сипляться частіше і тиск газу збільшується

### Графіки ізотермічного процесу

Взагалі, графіки термодинамічних процесів прийнято зображати у таких системах координат:

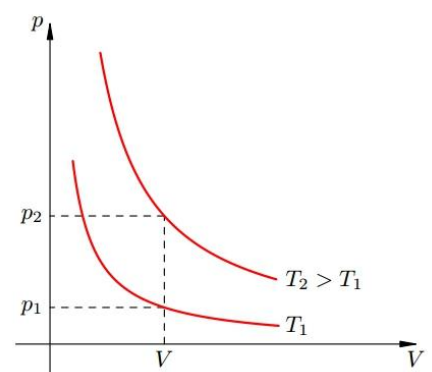
- $pV$ -діаграма: вісь абсцис  $V$ , вісь ординат  $p$ ;
- $TV$ -діаграма: вісь абсцис  $T$ , вісь ординат  $V$ ;
- $pT$ -діаграма: вісь абсцис  $T$ , вісь ординат  $p$ .

Графік ізотермічного процесу називається *ізотермою*. Ізотерма на  $pV$ -діаграмі — це графік обернено пропорційній залежності  $p = \text{const}/V$ . Такий графік є гіперболою (згадайте алгебру — графік функції  $y = k/x$ ). Ізотерма-гіпербола зображена на рис. 1.



Кожна ізотерма відповідає певному фіксованому значенню температури. Виявляється, що чим вище температура, тим вище лежить відповідна ізотерма на  $pV$ -діаграмі.

Справді, розглянемо два ізотермічних процеси, що здійснюються одним і тим же газом (рис. 2). Перший процес йде при температурі  $T_1$ , другий — при температурі  $T_2$ .



## Ізобарний процес

Нагадаємо ще раз, що ізобарний процес — це процес, що проходить при постійному тиску. В ході ізобарного процесу змінюються лише об'єм газу і його температура.

Типовий приклад ізобарного процесу: газ знаходиться під масивним поршнем, який може вільно переміщатися. Якщо маса поршня  $M$  і поперечний переріз поршня  $S$ , то тиск газу весь час постійно і дорівнює:

$$p = p_0 + \frac{Mg}{S},$$

де  $p_0$  — атмосферний тиск.

Нехай ідеальний газ здійснює ізобарний процес при тиску  $p$ . Знову розглянемо два довільних стану газу; на цей раз значення макроскопічних параметрів будуть рівні  $p, V_1, T_1$  і  $p, V_2, T_2$ .

Випишемо рівняння стану:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1,$$
$$pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2.$$

Поділивши їх один на одного, отримаємо:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

В принципі, вже й цього могло б бути достатньо, але ми підемо трохи далі. Перепишемо отримане співвідношення так, щоб в одній частині фігурували тільки параметри першого стану, а в іншій частині — тільки параметри другого стану (іншими словами, «рознесемо індекси» по різним частинам):

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}. \quad (4)$$

А звідси тепер — через довільності вибору станів! — отримуємо **закон Гей-Люссака**:

$$\frac{V}{T} = \text{const}. \quad (5)$$

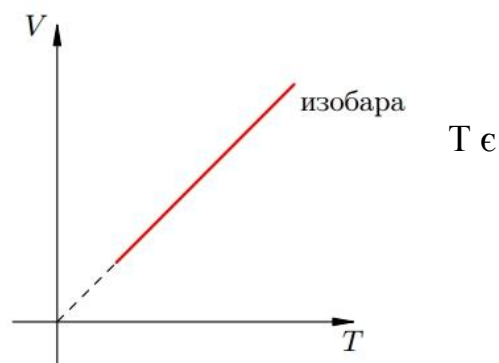
Іншими словами, *при постійному тиску газу його об'єм прямо пропорційний температурі* :

$$V = \text{const} \cdot T. \quad (6)$$

Чому об'єм зростає з ростом температури? При підвищенні температури молекули починають бити сильніше і піднімають поршень. При цьому концентрація молекул падає, удари стають рідше, так що в підсумку тиск зберігає колишнє значення.

### Графіки ізобарного процесу

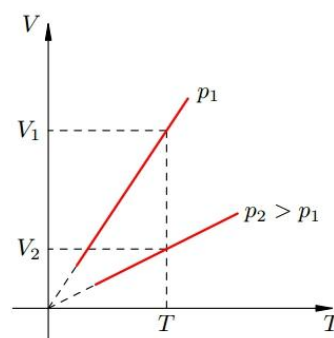
Графік ізобарного процесу називається ізобарою. На  $V$   $T$ -діаграмі ізобара  $V = \text{const} \cdot T$  прямою лінією (рис. 4):



**Рис. 4. Ізобара на  $V$   $T$ -діаграмі**

Пунктирна ділянка графіка означає, що в разі реального газу при досить низьких температурах модель ідеального газу (а разом з нею і закон Гей-Люссака) перестає працювати. Насправді, при зниженні температури частинки газу рухаються повільніше, і сили міжмолекулярної взаємодії роблять все більш істотний вплив на їх рух (аналогія: повільний м'яч легше зловити, ніж швидкий). Ну а при дуже низьких температурах газу зовсім перетворюються в рідині.

Розберемося тепер, як міняється положення ізобари при зміні тиску. Виявляється, що чим більше тиск, тим нижче йде ізобара на  $V$   $T$ -діаграмі. Щоб переконатися в цьому, розглянемо дві ізобари з тисками  $p_1$  і  $p_2$  (рис. 5)



**Рис. 5. Чим нижче ізобара, тим більше тиск**

Зафіксуємо деяке значення температури  $T$ . Ми бачимо, що  $V_2 < V_1$ . Але при фіксованій температурі об'єм тим менше, чим більше тиск (**закон Бойля — Маріотта**). Стало бути,  $p_2 > p_1$ .

### Ізохорний процес

Ізохорний процес, нагадаємо, — це процес, що проходить при постійному об'ємі. При ізохорному процесі змінюються тільки тиск газу і його температура. Ізохорний процес уявити собі дуже просто: це процес, що йде в жорсткій посудині фіксованого об'єму (або в циліндрі під поршнем, коли поршень закріплений).

Нехай ідеальний газ здійснює ізохорний процес в посудині об'ємом  $V$ . Знову-таки розглянемо два довільних стани газу з параметрами  $p_1, V, T_1$  і  $p_2, V, T_2$ . Маємо:

$$p_1 V = \frac{m}{\mu} R T_1,$$
$$p_2 V = \frac{m}{\mu} R T_2.$$

Ділимо ці рівняння один на одного:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Як і при виведенні закону Гей-Люссака, «розносимо» індекси в різні частини:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \quad (7)$$

Зважаючи довільності вибору станів ми приходимо до **закону Шарля**:

$$\frac{p}{T} = \text{const}. \quad (8)$$

Іншими словами, **при постійному об'ємі газу його тиск прямо пропорційний температурі**:

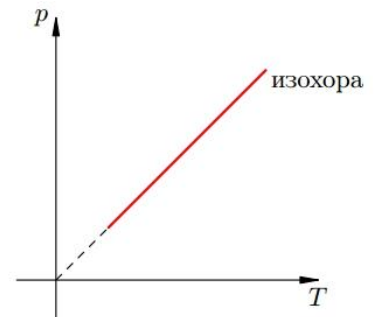


$$p = \text{const} \cdot T. \quad (9)$$

Збільшення тиску газу фіксованого об'єму при його нагріванні — річ абсолютно очевидна з фізичної точки зору. Ви самі це легко поясните.

### Графіки ізохорного процесу

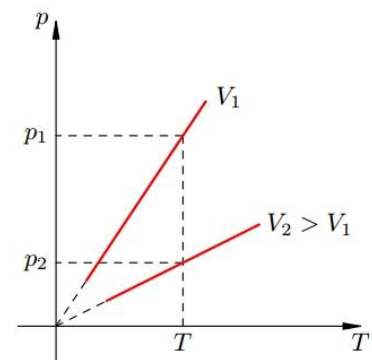
Графік ізохорного процесу називається ізохорою. На  $pT$ -діаграмі ізохора  $p = \text{const} \cdot T$  є прямою лінією (рис. 7):



**Рис. 7. Ізохора на  $pT$ -діаграмі**

Зміст пунктирної ділянки той же: неадекватність моделі ідеального газу при низьких температурах.

Далі, чим більше об'єм, тим нижче йде ізохора на  $pT$ -діаграмі (рис. 8):



**Рис. 8. Чим нижче ізохора, тим більше об'єм**

Доказ аналогічно попередньому. Фіксуємо температуру  $T$  і бачимо, що  $p_2 < p_1$ . Але при фіксованій температурі тиск тим менше, чим більше об'єм (знову закон Бойля — Маріотта). Стало бути,  $V_2 > V_1$ .

**Закони Бойля — Маріотта, Гей-Люссака і Шарля називаються також газовими законами. Ми вивели газові закони з рівняння Менделєєва — Клапейрона. Але історично усе було навпаки: газові закони було встановлено експериментально, і набагато раніше. Рівняння стану з'явилося згодом як їх узагальнення**

## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Для приготування 1 л коктейлю вам потрібно: 4 мг газу за тиску  $p = 831$  Па настоювати у духовці за температури  $127^\circ\text{C}$  (400 K) протягом 1 години.

<p> <math>V=1</math> л  <math>p=831</math> Па  <math>t=127^{\circ}\text{C}</math>  <math>m=4</math> мг </p>	<p> Запишемо  рівняння стану  ідеального газу  <math display="block">pV = \frac{m}{M} RT,</math> виразимо молярну  масу газу  <math display="block">M = \frac{mRT}{pV}</math> Оскільки  температура подана в  градусах Цельсія  переведемо її у  градуси Кельвіна  <math>T=273+t</math> </p>	<p> <math>T=273+127=400</math> К  <math display="block">M = \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot 400 \text{ К} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}{831 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}</math> </p> <p> Згідно з Таблицею Менделєєва,  елемент що має молярну масу 16 є Кисень.  Отже Ірина Анатоліївна любить кисневий  коктейль. </p>
---	--	--

**Задача 2.** У фляжці місткістю 0,5 л є 0,3 л води. Турист п'є воду, міцно притиснувши губи до шийки так, що у фляжку не потрапляє зовнішнє повітря. Скільки води вип'є турист, якщо він може знизити тиск повітря, що залишилося у фляжці, до 80 кПа?

Дано:

$$V_1 = 0,2 \text{ л} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p_1 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па} \quad \text{Процес ізотермічний: } p_1 V_1 = p_2 V_2; \quad V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2}$$

$$p_2 = 8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$\Delta V = ?$$

$$V_2 = \frac{1,01 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{0,8 \cdot 10^5 \text{ Па}} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - \text{новий об'єм повітря.}$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 0,05 \text{ л}$$

**Задача 3.** Всі вміють готувати яєчню. Але не всі знають, що в процесі готування виділяється вуглекислий газ. Якщо маса газу більша ніж  $9 \cdot 10^{-23}$  г, то в шкірі прискорюються процеси старіння. Мене цікавить, чи постарію я швидше якщо буду смажити яєчню?

$$M=44 \text{ г/моль}$$

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

$$m = \frac{M}{N_A} = \frac{44 \text{ г/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}} = 7,3 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

m-?

Цієї маси недостатньо для пошкодження шкіри.

## Задача 4.

Визначити густину кисню, який міститься в балоні об'ємом 10 л під тиском 105 Па та має температуру 17 °С.

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>M = 0,029 \text{ кг/моль}</math></p> <p><math>p = 10^5 \text{ Па}</math></p> <p><math>t = 17^\circ\text{C} \quad T = 290 \text{ K}</math></p> <p><math>V = 10 \text{ л} = 10^{-2} \text{ м}^3</math></p> <p><math>R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}</math></p>	<p><b>Розв'язання:</b></p> $\rho = \frac{m}{V}$ $pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \Rightarrow \rho = \frac{pM}{RT}$ $\rho = \frac{[p] \cdot [M]}{[R] \cdot [T]} = \frac{\frac{\text{Па}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
<p><math>\rho = ?</math></p>	$\rho = \frac{10^5 \cdot 0,029}{8,31 \cdot 290} \approx 1,2 \text{ (кг/м}^3\text{)}$

**Задача 5.** Манометр на балоні із стиснутим газом при температурі 30 °С показав тиск 1,6 МПа, а під час зниження температури до 20 °С – тиск 1,3 МПа. Чи витікав при цих умовах газ з балона?

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>p_1 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Па}</math></p> <p><math>p_2 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Па}</math></p> <p><math>T_1 = 303 \text{ K}</math></p> <p><math>T_2 = 293 \text{ K}</math></p> <p><math>V_1 = V_2 = V</math></p>	<p><b>Розв'язання:</b> Якщо газ не витікав з балона, то <math>T_1 = T_2 = \text{const}</math>, і виконується закон Шарля</p> $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ <p>якщо витікав, – то цей закон не виконується.</p>
<p><math>\frac{T_1}{T_2} = ?</math></p>	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{16}{13} \approx 1,23 \quad ; \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{303}{293} \approx 1,03 \rightarrow$ <p>Газ з балона витікав, оскільки закон Шарля не виконується.</p>

<b>Фізична величина</b>	<b>Позначення величини</b>	<b>Одиниці вимірювання</b>	<b>Формула</b>
Відносна молекулярна маса	$M_r$	-	$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{OC}}$
Кількість речовини	$\nu$	МОЛЬ	$N = \frac{m}{m_0} = \nu \cdot N_a$
Маса молекули речовини	$m_0$	КГ	$m_0 = \rho V_0 = \frac{M}{N_a} = \frac{m}{N}$
Молярна маса речовини	$T$	$\frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$	$M = \frac{m}{\nu} = m_0 \cdot N_a$
Маса речовини	$m$	КГ	$m = m_0 \cdot N$
Стала Авогадро	$n$	МОЛЬ <sup>-1</sup>	$N_a = \frac{M}{m_0} = \frac{N}{\nu}$
Кількість молекул	$N$		$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_a} = \frac{V}{V_M} =$

**Група 1**

речовини			$= \frac{\rho V}{M} = \frac{nV}{N_a}$
Молярний об'єм речовини	$V_M$	$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$	$V_M = \frac{M}{\rho} = \frac{V}{\nu} = \frac{N_a}{n}$
Об'єм речовини	$V$	$\text{м}^3$	$V = \frac{m}{\rho} = \nu \cdot V_M = \frac{N}{n}$
Густина речовини	$\rho$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho = \frac{m}{V}$
Концентрація речовини (молекул)	$N_a$	$\text{м}^{-3}$	$n = \frac{N}{V}$
Тиск газу	$p$	Па	$p = nkT$
Стала Больцмана	$k$	$\frac{\text{м}^3}{\text{МОЛЬ}}$	$k = \frac{p}{nT}$
Температура	$T$	К	$T = 273\text{К} + t$

## Група 1

Фізична величина	Позначення величини	Одиницівимірювання	Формула
Відносна молекулярна маса	$M_r$	-	$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{OC}}$
Кількість речовини	$\nu$	МОЛЬ	$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_a} = \frac{V}{V_M} = \frac{\rho V}{M} = \frac{nV}{N_a}$
Маса молекули речовини	$m_0$	КГ	$m_0 = \rho V_0 = \frac{M}{N_a} = \frac{m}{N}$
Молярна маса речовини	$M$	$\frac{КГ}{МОЛЬ}$	$M = \frac{m}{\nu} = m_0 \cdot N_a$
Маса речовини	$m$	КГ	$m = m_0 \cdot N$
Стала Авогадро	$N_a$	МОЛЬ <sup>-1</sup>	$N_a = \frac{M}{m_0} = \frac{N}{\nu}$
Кількість молекул речовини	$N$		$N = \frac{m}{m_0} = \nu \cdot N_a$
Молярний об'єм речовини	$V_M$	$\frac{М^3}{МОЛЬ}$	$V_M = \frac{M}{\rho} = \frac{V}{\nu} = \frac{N_a}{n}$
Об'єм речовини	$V$	М <sup>3</sup>	$V = \frac{m}{\rho} = \nu \cdot V_M = \frac{N}{n}$
Густина речовини	$\rho$	$\frac{КГ}{М^3}$	$\rho = \frac{m}{V}$
Концентрація речовини (молекул)	$n$	М <sup>-3</sup>	$n = \frac{N}{V}$
Тиск газу	$p$	Па	$p = nkT$
Стала Больцмана	$k$	$\frac{Дж}{К}$	$k = \frac{p}{nT}$
Температура	$T$	К	$T = 273K + t$

## Група 2

### Порівняння властивостей газів, рідин та твердих тіл

№	Характеристика	Газ	Рідина	Тверде тіло
1	Розташування частинок	Складається з хаотично розташованих частинок	Закони Паскаля та Архімеда	Має дальній порядок у розташуванні частинок
2	Характер руху частинок	Коливальний та хаотичний рух	Хаотичний рух	Коливальний рух
3	Текучість	значна	значна	мала
4	Зберігання об'єму	Зберігає об'єм	Зберігає об'єм, погано стискається	Не зберігає об'єм, легко стискається
5	Зберігання форми	Не зберігає	Не зберігає, приймає форму посудини	зберігає
6	Швидкість протікання дифузії	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$
7	Сила взаємодії молекул	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$
8	Виконання законів	Має ближній порядок у розташуванні частинок	Закони Паскаля та Архімеда	Закон Гука

## Група 2

### Порівняння властивостей газів, рідин та твердих тіл

№	Характеристика	Газ	Рідина	Тверде тіло
1	Розташування частинок	Складається з хаотично розташованих частинок	Має ближній порядок у розташуванні частинок	Має дальній порядок у розташуванні частинок
2	Характер руху частинок	Хаотичний рух	Коливальний та хаотичний рух	Коливальний рух
3	Текучість	значна	значна	мала
4	Зберігання об'єму	Не зберігає об'єму, легко стискається	Зберігає об'єму, погано стискається	Зберігає об'єму
5	Зберігання форми	Не зберігає	Не зберігає, приймає форму посудини	зберігає
6	Швидкість протікання дифузії	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$
7	Сила взаємодії молекул	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$
8	Виконання законів	Закони Паскаля та Архімеда	Закони Паскаля та Архімеда	Закон Гука



### Група 3

<b>Фізична величина</b>	<b>Позначення величини</b>	<b>Одиницівимірювання</b>	<b>Формула</b>
Відносна молекулярна маса	$V_M$	-	$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{OC}}$
Кількість речовини	$\nu$	$T = 273K + t$	$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_a} = \frac{V}{V_M} = \frac{\rho V}{M} = \frac{nV}{N_a}$
Маса молекули речовини	$m_0$	Па	$V = \frac{m}{\rho} = \nu \cdot V_M = \frac{N}{n}$
Молярна маса речовини	$M$	$\frac{кг}{МОЛЬ}$	$M = \frac{m}{\nu} = m_0 \cdot N_a$
Маса речовини	$m$	кг	$m = m_0 \cdot N$
Стала Авогадро	$N_a$	МОЛЬ <sup>-1</sup>	$N_a = \frac{M}{m_0} = \frac{N}{\nu}$
Кількість молекул речовини	$N$		$N = \frac{m}{m_0} = \nu \cdot N_a$
Молярний об'єм речовини	$M_r$	$\frac{M^3}{МОЛЬ}$	$V_M = \frac{M}{\rho} = \frac{V}{\nu} = \frac{N_a}{n}$
Об'єм речовини	$V$	М <sup>3</sup>	$m_0 = \rho V_0 = \frac{M}{N_a} = \frac{m}{N}$
Густина речовини	$\rho$	$\frac{кг}{М^3}$	$\rho = \frac{m}{V}$
Концентрація речовини (молекул)	$n$	М <sup>-3</sup>	$n = \frac{N}{V}$
Тиск газу	$p$	кг	$p = nkT$
Стала Больцмана	$k$	$\frac{Дж}{К}$	$k = \frac{p}{nT}$
Температура	$T$	К	МОЛЬ <sup>-1</sup>

### Група 3

Фізична величина	Позначення величини	Одиницівимірювання	Формула
Відносна молекулярна маса	$M_r$	-	$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{OC}}$
Кількість речовини	$\nu$	МОЛЬ	$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_a} = \frac{V}{V_M} = \frac{\rho V}{M} = \frac{nV}{N_a}$
Маса молекули речовини	$m_0$	КГ	$m_0 = \rho V_0 = \frac{M}{N_a} = \frac{m}{N}$
Молярна маса речовини	$M$	$\frac{КГ}{МОЛЬ}$	$M = \frac{m}{\nu} = m_0 \cdot N_a$
Маса речовини	$m$	КГ	$m = m_0 \cdot N$
Стала Авогадро	$N_a$	МОЛЬ <sup>-1</sup>	$N_a = \frac{M}{m_0} = \frac{N}{\nu}$
Кількість молекул речовини	$N$		$N = \frac{m}{m_0} = \nu \cdot N_a$
Молярний об'єм речовини	$V_M$	$\frac{М^3}{МОЛЬ}$	$V_M = \frac{M}{\rho} = \frac{V}{\nu} = \frac{N_a}{n}$
Об'єм речовини	$V$	М <sup>3</sup>	$V = \frac{m}{\rho} = \nu \cdot V_M = \frac{N}{n}$
Густина речовини	$\rho$	$\frac{КГ}{М^3}$	$\rho = \frac{m}{V}$
Концентрація речовини (молекул)	$n$	М <sup>-3</sup>	$n = \frac{N}{V}$
Тиск газу	$p$	Па	$p = nkT$
Стала Больцмана	$k$	$\frac{Дж}{К}$	$k = \frac{p}{nT}$
Температура	$T$	К	$T = 273К + t$

## Група 4

### Порівняння властивостей газів, рідин та твердих тіл

№	Характеристика	Газ	Рідина	Тверде тіло
1	Розташування частинок	Складається з хаотично розташованих частинок	Закони Паскаля та Архімеда	Коливальний рух
2	Характер руху частинок	Коливальний та хаотичний рух	Хаотичний рух	Має дальній порядок у розташуванні частинок
3	Текучість	значна	значна	мала
4	Зберігання об'єму	Не зберігає	Не зберігає, приймає форму посудини	Не зберігає об'єм, легко стискається
5	Зберігання форми	Не зберігає об'єм, легко стискається	Зберігає об'єм, погано стискається	зберігає
6	Швидкість протікання дифузії	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$
7	Сила взаємодії молекул	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$
8	Виконання законів	Має ближній порядок у розташуванні частинок	Закон Гука	Закони Паскаля та Архімеда

## Група 4

### Порівняння властивостей газів, рідин та твердих тіл

№	Характеристика	Газ	Рідина	Тверде тіло
1	Розташування частинок	Складається з хаотично розташованих частинок	Має ближній порядок у розташуванні частинок	Має дальній порядок у розташуванні частинок
2	Характер руху частинок	Хаотичний рух	Коливальний та хаотичний рух	Коливальний рух
3	Текучість	значна	значна	мала
4	Зберігання об'єму	Не зберігає об'єму, легко стискається	Зберігає об'єму, погано стискається	Зберігає об'єму
5	Зберігання форми	Не зберігає	Не зберігає, приймає форму посудини	зберігає
6	Швидкість протікання дифузії	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$	$v_r > v_p > v_t$
7	Сила взаємодії молекул	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$	$F_r < F_p < F_t$
8	Виконання законів	Закони Паскаля та Архімеда	Закони Паскаля та Архімеда	Закон Гука