**Фізика 10**

**Урок 59 Рівняння стану ідеального газу. Ізопроцеси**

**Мета уроку:**

**Навчальна:** Формувати уявлення учнів про ізопроцеси, формувати знання щодо газових законів і вміння застосовувати їх для розв'язування задач, будувати й аналізувати графіки ізопроцесів.

**Розвивальна.** З метою розвитку мислення розвивати вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; пояснювати подібні матеріали; виявляти аналогії; розкривати загальне і конкретне; встановлювати закономірності.

**Виховна.** Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

**Тип уроку:** урок засвоєння нових знань.

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

**Хід уроку**

**I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП**

**II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ**

Як пов'язані між собою тиск, об'єм і температура?

Хто проводив дослідження, щоб пов'язати параметри, які визначають стан газу?

**III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ**

**1. Рівняння стану ідеального газу**

$$p = nkT \qquad n = \frac{N}{V} \qquad => \qquad pV = NkT \qquad N = \frac{m}{M}N_{\text{А}}$$

$$pV = \frac{m}{M}N_{\text{А}}kT$$

**Універсальна газова стала $(R)$ – це добуток числа Авогадро $N_{\text{А}}$ на сталу Больцмана $k$.**

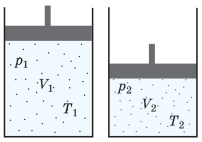
$$R = N_{\text{А}}k = 6,02\cdot10^{23}\ \text{моль}^{-1}\cdot1,38\cdot10^{-23}\ \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,31\ \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

**Рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона):**

$$pV = \frac{m}{M}RT \qquad \text{або} \qquad pV = \nu RT$$

Назване на честь російського хіміка й фізика Дмитра Івановича Менделєєва (1834–1907) і французького фізика Бенуа Поля Еміля Клапейрона (1799–1864).

**2. Рівняння Клапейрона**




Для кожного стану запишемо рівняння Менделєєва – Клапейрона:

$$p_1V_1 = \frac{m}{M}RT_1 \qquad p_2V_2 = \frac{m}{M}RT_2$$

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{m}{M}R \qquad \frac{p_2V_2}{T_2} = \frac{m}{M}R$$

**Рівняння Клапейрона:**

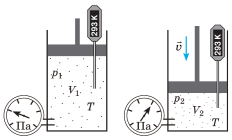
$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \qquad => \qquad \frac{pV}{T} = const$$

*Для даного газу деякої маси відношення добутку тиску на об'єм до температури газу є незмінним.*

**3. Ізопроцеси**

**Ізопроцес – це процес, у ході якого один із макроскопічних параметрів (тиск, об'єм, температура) даного газу деякої маси залишається незмінним.**

**4. Ізотермічний процес. Закон Бойля-Маріотта**




**Ізотермічний процес – процес змінювання стану даного газу деякої маси, що відбувається за незмінної температури.**

Якщо повільно опускати поршень, температура газу під поршнем буде лишатися незмінною і дорівнюватиме температурі навколишнього середовища. Тиск газу при цьому буде збільшуватися.

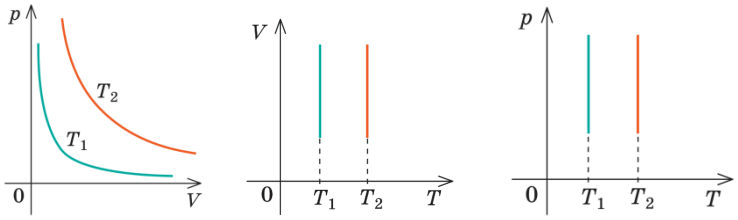
$$\frac{p_1V_1}{T} = \frac{p_2V_2}{T} \qquad => \qquad p_1V_1 = p_2V_2$$

**Закон Бойля-Маріотта: Для даного газу деякої маси добуток тиску газу на його об'єм є незмінним, якщо температура газу не змінюється:**

$$p_1V_1 = p_2V_2 \qquad \text{або} \qquad pV = const = \frac{m}{M}RT$$

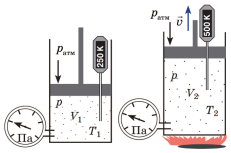
Цей закон незалежно один від одного відкрили ірландський фізик і хімік Роберт Бойль (1627–1691) у 1662 р. і французький фізик Едм Маріотт (1620–1684) у 1676р.

*Ізотерми – це графіки ізотермічних процесів* $(T_1 < T_2)$.




**5. Ізобарний процес. Закон Ґей-Люссака**

**Ізобарний процес – процес змінювання стану даного газу деякої маси, що відбувається за незмінного тиску.**




Якщо газ перебуває під важким поршнем масою $M$ і площею $S$, який може переміщуватися практично без тертя, то в разі збільшення температури об'єм газу буде збільшуватися, а тиск газу лишатиметься незмінним і дорівнюватиме $p = p_{\text{атм}} + \frac{Mg}{S}$

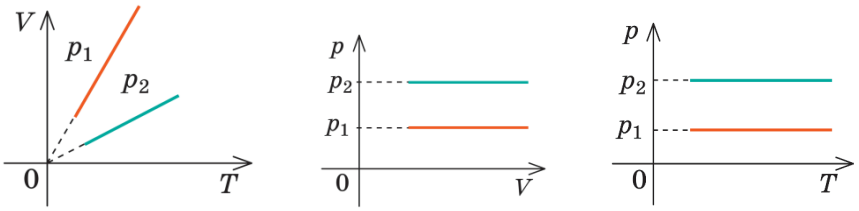
$$\frac{pV_1}{T_1} = \frac{pV_2}{T_2} \qquad => \qquad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

**Закон Ґей-Люссака: Для даного газу деякої маси відношення об'єму газу до температури є незмінним, якщо тиск газу не змінюється:**

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad \text{або} \qquad \frac{V}{T} = const = \frac{m}{M} \bullet \frac{R}{p}$$

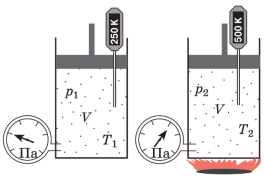
Цей закон експериментально встановив у 1802 р. французький фізик Жозеф Луї ҐейЛюссак (1778–1850).

*Ізобари – це графіки ізобарних процесів* $(p_2 > p_1)$.




**6. Ізохорний процес. Закон Шарля**

**Ізохорний процес – процес змінювання стану даного газу деякої маси, що відбувається за незмінного об'єму.**



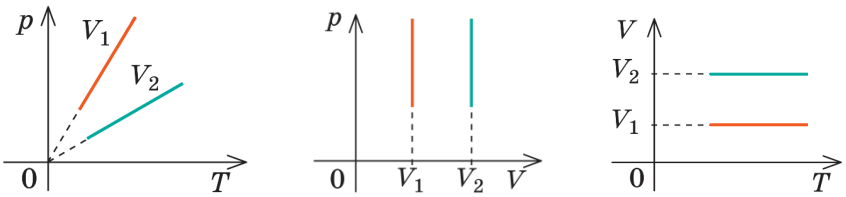

Якщо газ перебуває в циліндрі під закріпленим поршнем, то зі збільшенням температури тиск газу теж збільшуватиметься. Дослід показує, що в будь-який момент часу відношення тиску газу до його температури буде незмінним.

$$\frac{p_1V}{T_1} = \frac{p_2V}{T_2} \qquad => \qquad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

**Закон Шарля: Для даного газу деякої маси відношення тиску газу до його температури є незмінним, якщо об'єм газу не змінюється:**

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \qquad \text{або} \qquad \frac{p}{T} = const = \frac{m}{M} \bullet \frac{R}{V}$$

Цей закон установив у 1787 р. французький учений Александр Сезар Шарль (1746–1823).
*Ізохори – це графіки ізохорних процесів* $(V_2 > V_1)$.




**IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ**

1. Який тиск стиснутого повітря, що міститься в балоні ємністю 20 л за 12 °С, якщо маса цього повітря 2 кг?

***Дано:***

$V = 20$ л $= 2 \cdot 10^{-2}$ м$^3$

$T = 12$ °С $= 285$ К

$m = 2$ кг

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

$M = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

$p$ – ?

***Розв'язання***

Рівняння Менделєєва – Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad => \quad p = \frac{mRT}{MV}$$

$$p = \frac{2 \cdot 8,31 \cdot 285}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-2}} \approx 8,2 \cdot 10^6 \text{ (Па)}$$

***Відповідь:*** $p \approx 8,2$ МПа.

2. Газ за тиску 0,2 МПа і температури 15 °С має об'єм 5 л. Визначте об'єм газу цієї маси за нормальних умов.

***Дано:***

$p_1 = 0,2$ МПа $= 2 \cdot 10^5$ Па

$T_1 = 15$ °С $= 288$ К

$V_1 = 5$ л $= 5 \cdot 10^{-3}$ м$^3$

$p_2 = 10^5$ Па

$T_2 = 0$°С $= 273$ К

$V_2$ – ?

***Розв'язання***

Рівняння Клапейрона:

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

$$V_2 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 273}{10^5 \bullet 288} \approx 9,5 \cdot 10^{-3} \left(\text{м}^3\right)$$

***Відповідь:*** $V_2 \approx 9,5$ л.

3.

Визначте густину водню за температури 127 °С і тиску 831 кПа.

***Дано:***

$T = 127$ °С $= 400$ К

$p = 831$ кПа

$= 8,31 \cdot 10^5$ Па

***Розв'язання***

$$M_r\left(H_2\right) = 2 \text{ а. о. м.} \qquad M = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Рівняння Менделєєва – Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT \qquad \rho = \frac{m}{V} \quad => \quad \rho = \frac{pM}{RT}$$

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

$\rho\ -\ ?$

$$\rho = \frac{8{,}31\cdot10^{5}\cdot2\cdot10^{-3}}{8{,}31\cdot400} = 0,5\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$$

***Відповідь:*** $\rho = 0,5\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

4. У приміщені об'ємом 100 м$^3$ після роботи обігрівача температура повітря збільшилася від 17 °С до 22 °С. Яка маса повітря, що вийшло з кімнати? Атмосферний тиск $10^5$ Па.

***Дано:***

$V = 10^2\ \text{м}^3$

$T_1 = 17\ ℃ = 290\ \text{К}$

$T_2 = 22\ ℃ = 295\ \text{К}$

$p = 10^5\ \text{Па}$

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

$M = 29\cdot10^{-3}\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

$\Delta m\ -\ ?$

***Розв'язання***

Запишемо рівняння Менделєєва – Клапейрона для двох станів повітря:

$$pV = \frac{m_1}{M}RT_1 \quad => \quad m_1 = \frac{pVM}{RT_1}$$

$$pV = \frac{m_2}{M}RT_2 \quad => \quad m_2 = \frac{pVM}{RT_2}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{pVM}{RT_1} - \frac{pVM}{RT_2} = \frac{pVM}{R}\bullet\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\Delta m = \frac{10^5\bullet10^2\cdot29\cdot10^{-3}}{8{,}31}\bullet\left(\frac{1}{290} - \frac{1}{295}\right)\approx2\ (\text{кг})$$

***Відповідь:*** $\Delta m\approx2$ кг.

## V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

***Бесіда за питаннями***

*1. Які макроскопічні параметри пов'язує рівняння стану ідеального газу?*

*2. Дайте означення ізопроцесу.*

*3. Який процес називають ізотермічним? Сформулюйте закон, що характеризує цей процес.*

*4. Який процес називають ізобарним? Сформулюйте закон, що характеризує цей процес. Опишіть дослід, за допомогою якого можна встановити цей закон.*

*5. Який процес називають ізохорним? Сформулюйте закон, що характеризує цей процес. Опишіть дослід, за допомогою якого можна встановити цей закон.*

## VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 30, Вправа № 30 (1, 2)

***Додаткові задачі***

1. Густина деякої газоподібної речовини за температури 10 °С й нормального атмосферного тиску дорівнює 2,5 кг/м$^3$. Визначте молярну масу цієї речовини.

***Дано:***

$T = 10\ ℃ = 283\ \text{К}$

$\rho = 2,5\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$p = 760$ мм рт. ст. $= 10$

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

$M\ -\ ?$

***Розв'язання***

$$760\ \text{мм рт. ст.} = 760\cdot133,3\ \text{Па}\approx10^5\ \text{Па}$$

Рівняння Менделєєва – Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT \qquad \rho = \frac{m}{V} \qquad => \qquad M = \frac{\rho RT}{p}$$

$$M = \frac{2{,}5\cdot8{,}31\cdot283}{10^5}\approx59\cdot10^{-3}\left(\frac{\text{кг}}{\text{моль}}\right)$$

***Відповідь:*** $M\approx59\cdot10^{-3}\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

2. Яка кількість речовини міститься в газі, якщо за температури 240 К і під тиском 200 кПа його об'єм дорівнює 40 л?

***Дано:***

$T = 240$ К

$p = 200$ кПа

$= 2{\cdot}10^5$ Па

$V = 40$ л $= 4{\cdot}10^{-2}$ м$^3$

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

$\nu - ?$

***Розв'язання***

Рівняння Менделєєва – Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT \qquad \nu = \frac{m}{M} \qquad => \qquad pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{pV}{RT} \qquad \nu = \frac{2{\cdot}10^5{\cdot}4{\cdot}10^{-2}}{8{,}31{\cdot}240} \approx 4\ (\text{моль})$$

***Відповідь:*** $\nu \approx 4$ моль.

3. Пробірку, перевернуту догори дном, занурили у воду на деяку глибину. Яка концентрація повітря у пробірці на глибині 3 м? Температура води та повітря однакові й дорівнюють 20 °С. Атмосферний тиск – 760 мм рт. ст.

***Дано:***

$h = 3$ м

$T = 20$ °С $= 293$ К

$p_а = 10^5$ Па

$\rho = 10^3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

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

$g = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$n' - ?$

***Розв'язання***

Рівняння Менделєєва – Клапейрона:

$$pV = \nu RT \qquad pV = const \qquad p_1V_1 = p_2V_2$$

$$p = nkT \qquad n = \frac{p}{kT}$$

$$n = \frac{N}{V} \qquad => \qquad V = \frac{N}{n} = \frac{NkT}{p}$$

$$p_а \bullet \frac{NkT}{p_а} = \left(p_а + \rho gh\right) \bullet \frac{N}{n'} \qquad n' = \frac{p_а + \rho gh}{kT}$$

$$n' = \frac{10^5 + 10^3{\cdot}10{\cdot}3}{1{,}38{\cdot}10^{-23}{\cdot}293} \approx 3,2{\cdot}10^{21}\ \left(\text{м}^{-3}\right)$$

***Відповідь:*** $n' \approx 3,2{\cdot}10^{21}$ м$^{-3}$.