

## Лабораторна робота №3 (віртуальна)

### ВИВЧЕННЯ ІЗОПРОЦЕСІВ В ІДЕАЛЬНОМУ ГАЗІ

**Мета роботи:** дослідити ізопроееси в ідеальному газі, закріпити навички роботи з їх графіками й перевірити виконання законів Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля.

**Обладнання:** персональний комп'ютер, лабораторія симуляцій, програмний пакет ORIGIN.

#### Теоретичні відомості

Рівняння Клапейрона-Менделєєва універсальне, воно дає можливість описати будь-який ідеальний газ, що знаходиться в стані термодинамічної рівноваги. Але в природі й техніці досить часто трапляються ситуації, коли змінюються лише два макропараметри, а маса й один з макропараметрів газу є постійними величинами. Тоді говорять про ізопроееси (з грецької «ίσος» [ісос] - рівний, однаковий). Їх є три:

**ізотермічний** ( $T = const$ );

**ізобарний** ( $p = const$ );

**ізохорний** ( $V = const$ ).

Традиційно розпочинають з вивчення й аналізу ізотермічного процесу. Нехай в циліндрі, що знаходиться в термостаті, міститься деяка маса газу під поршнем, який може рухатись, що дозволяє змінювати об'єм газу (рис.1).

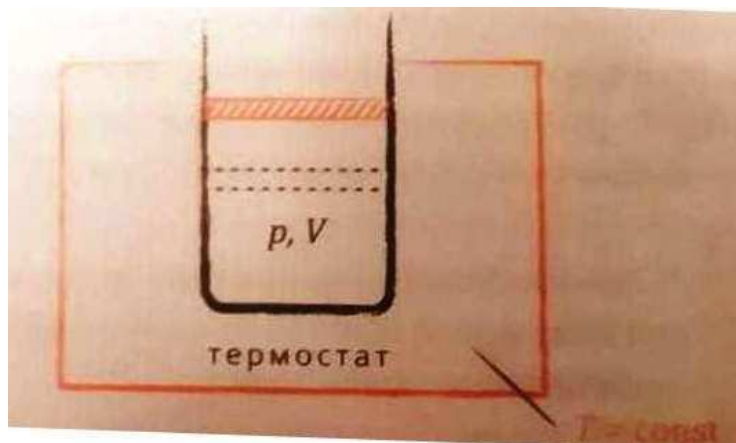


Рис.1.

За таких умов змінюватимуться тиск та об'єм, а маса газу й температура залишатимуться постійними. Запишемо рівняння стану газу в цьому випадку:

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (1)$$

Оскільки кількість молекул газу ( $a$ , отже, й його маса) не змінюватиметься, температура залишається постійною, то у правій частині рівняння в результаті добутку всіх величин міститься константа. Отже,

$$pV = \text{const} \quad (2)$$

Це є один з газових законів (закон Бойля-Маріотта). Його словесне формулювання наступне:

*для даної маси ідеального газу добуток тиску на його об'єм є постійною величиною при незмінній температурі.*

Як бачимо з формули (2), у скільки разів зростає тиск газу, у стільки само разів має зменшуватись його об'єм і навпаки, для того, щоб їхній добуток був постійним. Іншими словами між тиском і об'ємом в цьому разі існує обернено пропорційна залежність.

Досить часто потрібно зобразити графічно процес, що відбувається з газом. В нашому досліді внаслідок руху поршня змінюється об'єм газу, після чого обчислюють його тиск. Тому формулу (2) для теоретичного аналізу краще записати в такому вигляді:

$$p = \frac{\text{const}}{V} \quad (3)$$

З математики відомо, що графіком такого процесу є гіпербола (рис.2). Фізики ж цю криву називають ізотермою. В довільній точці на цій ізотермі температура газу є однаковою.

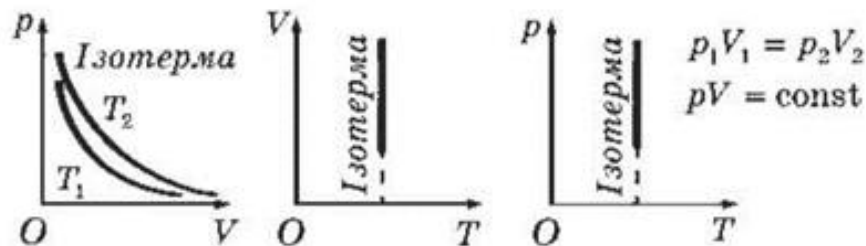


Рис.2. Ізотермічний процес в різних системах координат

Якщо збільшимо температуру газу в  $n$  разів і побудуємо нову ізотерму, то для неї константа буде так само в  $n$  разів більшою, а графік нової ізотерми буде над попереднім ( $T_2 > T_1$ ). Отже, чим більша температура даної маси газу, тим вище на координатній площині ( $p, V$ ) розташовуватиметься її графік.

Під час розв'язування практичних задач найчастіше маємо справу з двома рівноважними станами. Тому закон Бойля-Маріотта (2) в цьому разі записується

$$p_1V_1 = p_2V_2 \quad (4)$$

**Ізобарний процес.** Процес зміни стану термодинамічної системи за сталого тиску називають ізобарним (від грецького слова “барос” – вага). Запишемо рівняння (1) для цього випадку:

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

Звідси випливає, що постійним буде відношення об'єму до температури ідеального газу при незмінних тиску та масі.

$$\frac{V}{T} = \frac{mR}{pM} \quad (5)$$

Ізобарний процес описується законом Гей-Люссака, який є наслідком рівняння стану ідеального стану при  $p = const$  і має вигляд:

$$\frac{V}{T} = const \quad \text{або} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (6)$$

і формулюється так: *для даної маси ідеального газу відношення його об'єму до температури є постійною величиною при незмінному тиску.*

Як приклад, розглянемо ідеальний газ, який міститься при  $0^\circ\text{C}$  ( $273\text{ K}$ ) і опишемо його формулою (6).

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} \quad \text{або} \quad V = V_0 \frac{T}{273} = \alpha V_0 T \quad (7)$$

Таким чином за постійного тиску й незмінної маси ідеального газу його об'єм з підвищенням температури на 1 градус збільшується на  $\alpha = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$  того об'єму, що займав газ за температури  $0^\circ\text{C}$  ( $273\text{ K}$ ).

Як бачимо з формул (6) та (7), збільшення температури веде до збільшення об'єму ідеального газу. Між цими величинами в даному випадку існує прямо пропорційна залежність. Графіком такого процесу є ізобара (рис.3).

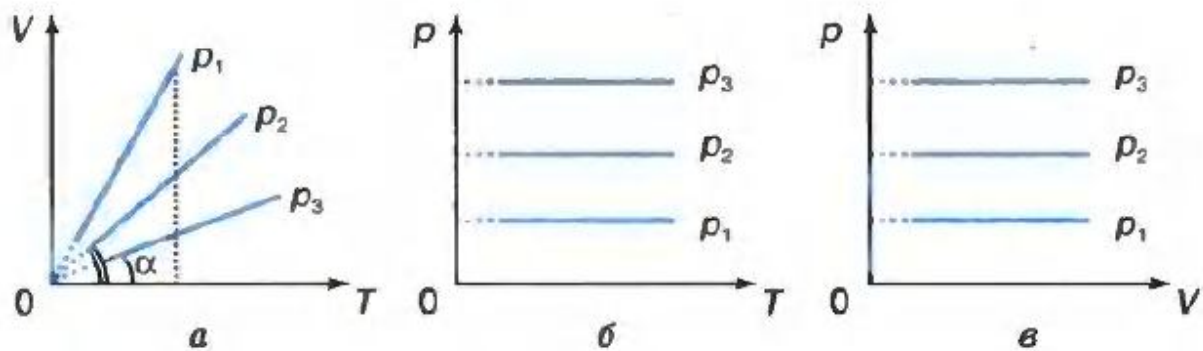


Рис.3. Ізобарний процес в різних системах координат

Чим крутіше вгору здійснюється ізобара (рис. 3а), тим менший тиск ідеального газу (оскільки чим менше значення тиску, тим більшим є значення константи у формулі (5)).

**Ізохорний процес.** Розглянемо випадок, коли об'єм газу не змінюється. З рівняння Клапейрона-Менделєєва випливає, що за цих умов сталим буде відношення тиску газу даної маси до його температури,

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad \text{або} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (8)$$

тобто для даної маси ідеального газу відношення його тиску до температури є постійною величиною при незмінному об'єму – закон Шарля.

Перехід газу за постійного об'єму з 1 рівноважного стану в інший називається ізохорним процесом, графіком якого в координатах  $(p, T)$  є пряма лінія, яку називають ізохорою. Кут нахилу ізохори тим більший, чим менший об'єм газу (рис. 4).

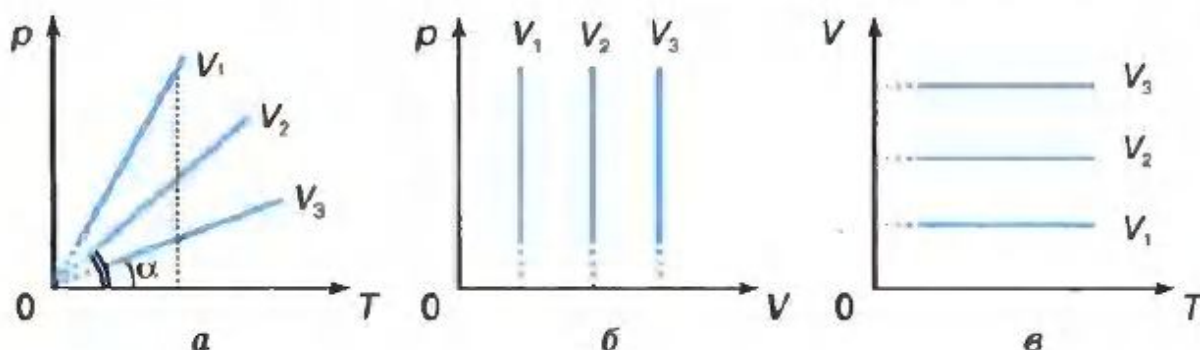


Рис.4. Ізохорний процес в різних системах координат

## Хід роботи

1. Встановити програмний пакет ORIGIN.
2. Відкрити вікно побудови графіків ПП ORIGIN.
3. Перейти у віртуальну лабораторію за посиланням:  
[https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties\\_uk.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_uk.html)
4. Запустити в посудину за допомогою віртуальної помпи деяку кількість певних атомів.
5. На панелі управління «Тримати постійним» зафіксувати значення температури (досл. 1), тиску (досл. 2), об'єму (досл. 3) (*декілька значень для кожної підгрупи задає викладач*).
6. Перемкнути покази манометра в кілопаскалі (**кПа**), а також ввімкнути на панелі керування «Ширина».
7. За допомогою ручки, що міститься ліворуч посудини, привести об'єм до мінімального значення, рухаючи її вправо.
8. Переміщуючи ручку вліво з певним кроком, записувати покази манометра і ширину посудини у вікно побудови графіків (*де ширина посудини буде незалежною змінною, а тиск - залежною*).
9. Пункт 8 повторити 8-12 разів.
10. Побудувати ізотерму за допомогою отриманих даних і ПП ORIGIN.
11. На панелі керування натиснути кнопку перезавантаження.
12. Аналогічно виконати перевірку законів Гей-Люссака (досл. 2) та Шарля (досл. 3).

### Контрольні запитання

1. Що таке ідеальний газ?
2. За яких термодинамічних умов модель ідеального газу добре описує поведінку та властивості реальних газів?
3. Сформулювати закони Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля.
4. Чи вірне твердження, що коефіцієнт термічного розширення  $\alpha$  всіх ідеальних газів є однаковим? Відповідь обґрунтуйте.
5. Як залежать криві ізопроцесів від молярної маси ідеального газу?

6. Чому криві ізопроцесів мають пунктирні продовження біля початку координат?
7. Навести приклади ізопроцесів у природі й техніці.
8. Сформулювати об'єднаний закон ідеального газу.
9. Маємо суміш двох газів, які хімічно взаємодіють між собою. Чи справедливими для них під час реакції будуть газові закони? Відповідь обґрунтуйте.

### Література

1. Якібчук П.М. Молекулярна фізика. Підручник. / П.Якібчук, М.Клим – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2015. – 584 с.
2. Булавін Л.А. Молекулярна фізика / Л.Булавін, Д.Гаврюшенко, В.Сисоєв – Київ: Знання, 2006. – 567с .
3. Воловик П.М. Курс фізики для університетів : навч. посіб. / П.Воловик – К.: Ірпінь, Перун, 2005. – 864 с. – ISBN 966-569-172-4.
4. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики у трьох томах. Том 1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І. Кучерук, І. Горбачук, П. Луцик. – Київ: Техніка, 1999. – 536 с.  
<https://zfft.kpi.ua/images/library/kucheruk1.pdf>
5. Віктор П. Фізика. Молекулярна будова речовини і теплові явища/ П. Віктор. – Київ: Форс Україна, 2021. – 336 с.
6. Віртуальна лабораторна робота "Дослідне підтвердження закону Бойля-Маріотта"  
<https://www.youtube.com/watch?v=iK7HO7sU6TU>