

Д. О. Піменов¹, Г. О. Шишкін²

Бердянський державний педагогічний університет

e-mail: ¹dopimenov@gmail.com, ²ur3qugs@gmail.com; ORCID: ¹0000-0002-5654-5515, ²0000-0003-2617-6699

МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ГАЗОВИХ ЗАКОНІВ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Для опису газових законів використовують образні фізичні та математичні моделі явищ та процесів, що вивчаються. Глибоке розуміння фізики неможливе без формування у здобувачів освіти вміння читати та будувати графіки залежностей між фізичними величинами, зокрема термодинамічними. Наявність графічних ілюстрацій процесів, які представлені у будь-яких термодинамічних координатах, сприяє підвищенню наочності та пізнавального інтересу. Наше дослідження присвячене проблемі формування у студентів-фізиків та учнів старших класів закладів середньої освіти вміння читати, будувати та перебудовувати графіки термодинамічних залежностей у будь-які термодинамічні координати на основі використання цифрових технологій. У роботі використовували авторську комп'ютерну програму для імітаційного моделювання процесів, що відбуваються в газах. Результати дослідження представлені у вигляді графіків та таблиць. Зміни параметрів газу з одночасним знаходженням відповідних математичних залежностей дає можливість здобувачам освіти наглядно представляти взаємозв'язки між фізичними величинами. В сучасних умовах такі імітаційні моделі є ефективним засобом навчання фізики як при аудиторній, так і при дистанційній формах навчання.

Ключові слова: цифрові технології, газові закони, імітаційне моделювання, віртуальне освітнє середовище, навчальний експеримент, графічні завдання, дистанційне навчання.

Сучасне суспільство вимагає від системи освіти підвищення якості фізичної освіти молоді, як необхідної умови її розвитку. Підвищення якості знань неможливе без розвитку пізнавального інтересу студентів [5]. Пізнавальний інтерес до вивчення фізики є важливим мотивом навчання. Проведені нами дослідження показали, що на розвиток мотивації суттєво впливають ті джерела інформації, які використовують здобувачі освіти. Здобувачі освіти все частіше у якості джерела інформації використовують сучасні інтернет ресурси та інші цифрові джерела [12].

У сучасних умовах, для підвищення якості засвоєння знань з фізики необхідно особливу увагу приділяти цифровим технологіям навчання. Проблеми використання цифрових технологій при вивченні фізичних явищ і процесів, розв'язанні фізичних задач розглянуті в роботах [10; 15; 16; 17]. Питанням використання цифрових технологій при вивченні газових законів присвячені роботи [2; 9]. Методика проведення віртуальних лабораторних робіт розглянута в роботі [14].

Вчені та методисти підкреслюють важливу роль фізичних моделей у формування якісних знань. Запропоновано етапи формування у здобувачів освіти різних типів моделей [1], методів імітаційного комп'ютерного моделювання [9] при вивченні термодинаміки.

До цифрових технологій можна віднести віртуальні освітні середовища та комп'ютеризовані фізичні експерименти на реальних об'єктах. Проведення реальних фізичних експериментів можливе лише на аудиторних заняттях, при наявності відповідного обладнання. Віртуальне освітнє середовище можна з успіхом використовувати на заняттях в аудиторіях, при організації самостійної та дистанційної форм навчання в умовах карантину. У віртуальних середовищах фізичні явища та процеси вивчаються та досліджуються шляхом імітаційного комп'ютерного моделювання. Разом з тим питанням використання імітаційного комп'ютерного моделювання газових процесів при дистанційній та аудиторній формах навчання не було предметом спеціального дослідження.

Метою дослідження була розробка методики вивчення газових законів при аудиторній та дистанційній формах навчання на основі сучасних цифрових технологій.

Сучасні світові зміни в усіх сферах людської діяльності призводять до суттєвих змін в освіті. У теперішній час істотно на освітній процес впливають цифровізація та карантинні обмеження діяльності закладів освіти в умовах пандемії. Як наслідок карантинних обмежень посилюється популярність використання дистанційних форм навчання, основою якої є самостійна робота людини, яка навчається [11]. Такі умови навчання вимагають: від студента навичок самоорганізації, від викладачів – володіння методиками організації освітнього процесу на основі сучасних цифрових технологій та дистанційних платформ навчання (LMS Moodle, Zoom), від адміністрації освітніх закладів – створення комфортних умов для безперешкодного доступу до навчання. Таким чином, цифрові технології та дистанційні форми навчання стають сучасними трендами в освіті.

В умовах цифровізації освіти, при організації експериментального навчання фізики, можна ефективно використовувати цифровий вимірювальний комплекс LabQuest 2 або цифрові прилади на основі апаратно-програмної платформи Arduino [10]. Практика показала, що така методика застосування цифрових технологій при вивченні газових законів є більш досконалою ніж традиційна [3; 8]. Вимірювання фізичних величин відбувається за допомогою датчиків у ручному режимі та результати записуються у таблицю [13]. Обробка результатів відбувається окремо від вимірювальних приладів, наприклад в Excel. На основі отриманих експериментальних даних, шляхом екстраполювання, студенти обчислюють аналітичні залежності, зовнішній вигляд яких повинен бути подібний газовим законам. Проводити такі заняття можливо лише при аудиторній формі організації освітнього процесу, коли можлива безпосередня взаємодія студента і обладнання. Така взаємодія є необхідним чинником для успішного вивчення фізики. Але, при дистанційній

формі навчання формування практичних навичок роботи з обладнанням неможливе.

У таких умовах при вивченні фізики значне місце займають віртуальні освітні середовища. Це такі відкриті системи, в рамках яких на основі застосування технологій віртуальної реальності забезпечується ефективне інтерактивне самонавчання. Під інтерактивним навчанням розуміють процес взаємодії людини і комп'ютера у діалоговому режимі у експертних навчальних системах.

Віртуальне освітнє середовище є типовим творчим середовищем саморозвитку відкритої та активної людини, якій притаманні активність, висока самооцінка, а також свобода міркувань. Студенти не повинні пасивно сприймати готові факти, закони, поняття, судження. Віртуальне середовище занурює студента в ситуації, які вимагають самостійного рішення проблемних завдань. Такі ситуації виникають у процесі імітаційного комп'ютерного моделювання.

Сутність імітаційного комп'ютерного моделювання полягає у знаходженні кількісних і якісних результатів із залученням наявної імітаційної моделі. Модель реалізується певною комп'ютерною програмою чи пакетом програм, що імітує поведінку складної системи з потрібною точністю. Такою складною системою є термодинамічна система. Термодинамічна система є об'єктом вивчення у термодинаміці, для опису властивостей якої використовують макроскопічні термодинамічні параметри: тиск p , об'єм V , температура T , внутрішня енергія U , ентропія S . Процес зміни таких параметрів називають термодинамічним [7].

Для ефективного засвоєння знань з термодинаміки розроблено авторське віртуальне освітнє середовище «Термодинамічні системи». Запропоноване середовище дає можливість студентам самостійно ставити перед собою завдання та вирішувати їх, перевіряти достовірність отриманих результатів, робити фізичні інтерпретації результатів моделювання. Студент може в певному обсязі змінити умову задачі для відповіді на питання типу: «Що буде, якщо...?» для оцінки стратегії поведінки термодинамічної системи в різних ситуаціях. Ці питання є найбільш корисними, оскільки вони сприяють найбільш глибокому розумінню сутності явища або процесу [9].

Для імітації ізопроцесів у газах існують комп'ютерні моделі у програмному комплексі «Відкрита фізика» [4]. Запропоноване програмне забезпечення дозволяє моделювати лише один ізопроцес при заданих тиску, об'єму, температурі. Серед варіантів графічного представлення термодинамічних координат не має: залежностей ентропії S ; ентальпії H ; вільної енергії Гельмгольца F ; енергії Гібса G ; внутрішньої енергії U від P , V , T параметрів. Отримання таких залежностей дозволяє аналізувати напрям перебігу термодинамічного процесу безпосередньо на графіках. Напрямок перебігу процесу характеризує прагнення системи до рівноважного стану [6]. У програмі не має можливос-

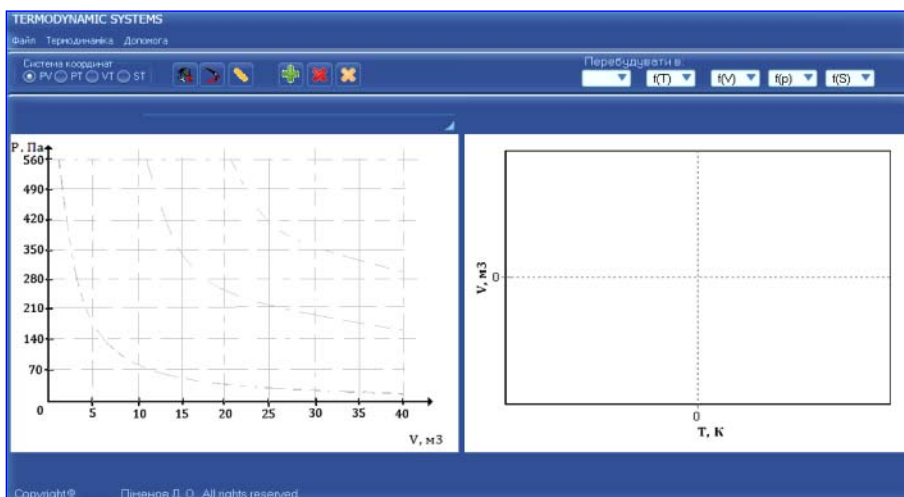


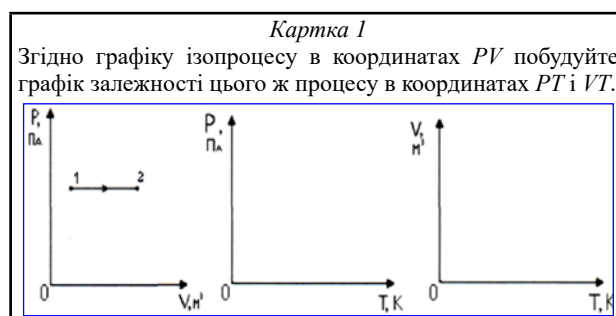
Рис. 1. Інтерфейс авторського освітнього середовища «Термодинамічні системи»

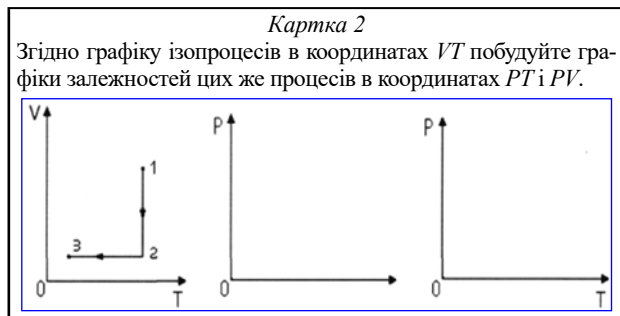
ті перебудови графіків у будь-які термодинамічні координати, оскільки при розв'язанні графічних задач виникає необхідність у накладенні декількох графіків та їх перебудові у будь-які термодинамічні координати. Реальний процес із газом не завжди є ізопроцесом. Завдання, де змінюються усі три P , V , T параметри, виконати у програмі «Відкрита фізика» неможливо.

Вивчення газових законів ми пропонуємо проводити на основі авторського програмного засобу «Термодинамічні системи» (рис. 1).

Як метод моделювання графічного зображення процесу, що відбувається в газах, можна запропонувати досить простий та зручний спосіб, який реалізується за допомогою маніпулятора миші наступним чином. Користувач, рухаючи його з затисненою лівою кнопкою в обраній ним системі координат, моделює графічне зображення процесу, що відбувається в газах. Такий метод дозволяє досить легко та зручно створювати графічні зображення як ізопроцесів, так і довільних процесів із ідеальними та реальними газами. Передбачена можливість їх перебудови у будь-які термодинамічні координати, представити їх у вигляді залежностей термодинамічних потенціалів (внутрішня енергія U , ентропія S) від термодинамічних параметрів (тиску p , об'єму V , температури T).

При вивченні газових законів доцільно розв'язувати графічні задачі. Для формування навичок розв'язання задач можна запропонувати певну систему графічних завдань на газові закони. До таких завдань ми пропонуємо включати побудову та перебудову термодинамічних процесів у будь-які термодинамічні координати. При виконанні графічного завдання студент повинен письмово надати фізичну інтерпретацію отриманих графіків. Приклад завдань, які пропонуються студентами у вигляді персональних карток:





У закладах вищої та середньої освіти вивчають газові закони Бойля-Маріотта, Шарля, Гей-Люссака. Ці закони описують процеси, які відбуваються з ідеальним газом. Ідеальним газом називається газ, у якому не враховується взаємодія молекул між собою [7]. Із газом можуть відбуватися як ізопроцеси, так і довільні процеси. Стан газу та його зміна визначається трьома термодинамічними параметрами: p , V і T . Рівняння, яке зв'язує макроскопічні параметри ідеального газу, тобто тиск, об'єм і температуру для довільної маси є рівнянням Клапейрона-Менделєєва.

$$PV = \nu RT. \quad (1)$$

Рівняння стану газу для ізопроцесів легко отримати з рівняння Клапейрона, вважаючи один з параметрів сталою величиною.

Для встановлення початкових параметрів у програмі використовується діалогове вікно (рис. 2) з можливістю обрати тип газу (одноатомний, двоатомний), кількість речовини, ідеальний або реальний газ, початкові значення ентропії та внутрішньої енергії.

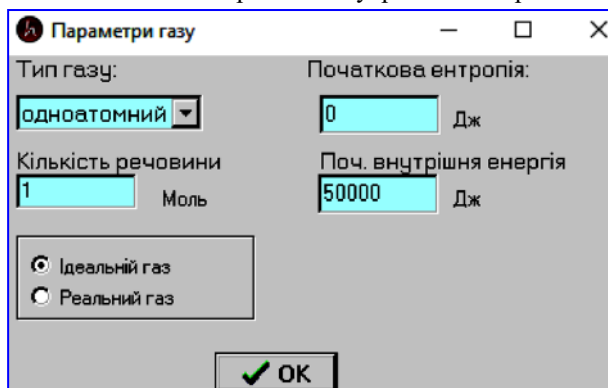


Рис. 2. Діалогове вікно встановлення початкових параметрів газу

Ізотермічний процес. Якщо в рівнянні стану (1) вважати $T = \text{const}$, права частина рівняння буде величиною сталою:

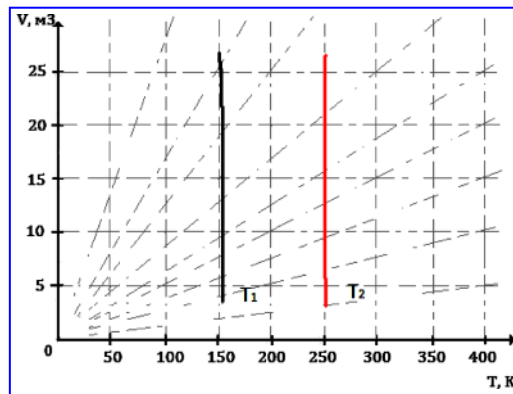
$$pV = \text{const}. \quad (2)$$

Закон Бойля-Маріотта, або рівняння стану ідеального газу при ізотермічному процесі, означає добуток тиску даної маси газу на об'єм, що його займає газ за сталої температури, є величиною сталою.

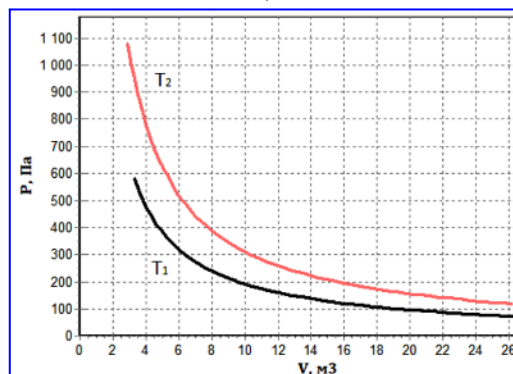
Розглянемо графічну інтерпретацію закону Бойля-Маріотта у програмі «Термодинамічні системи». Створимо ізотермічний процес (рис. 3а). Для цього скористуємося спеціальною кнопкою розташованою на панелі інструментів кнопкою. Переведемо його у PV , PT системи координат. Отримуємо графіки на рисунках 3б, 3в.

У PV координатах графічно залежність між тиском і об'ємом газу за сталої температури зображують добре відомою з курсу математики гіперболою.

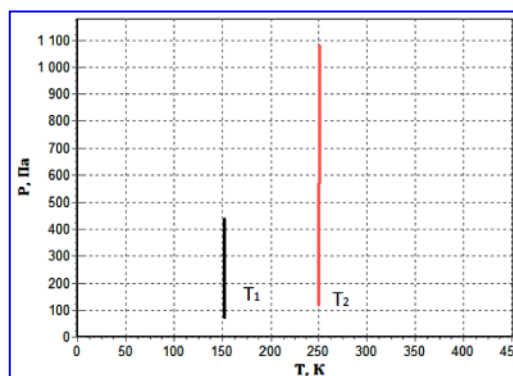
Кожному значенню температури відповідає своя крива (рис. 3б). Ці криві називають ізотермами (кривими однакових температур). Чим вища температура, за якої відбувається процес, тим вище розташована ізотерма ($T_1 < T_2$). У системах координат pT (рис. 3в) і VT (рис. 3а) ізотермічний процес зображується прямою, паралельною відповідно осі p або V . Ці прямі є також ізотермами. Третій параметр (V або p) не зберігає вздовж них сталою значення.



а)



б)



в)

Рис. 3. Ізотерми у PV PT VT системах координат

Ізохорний процес. Розглянемо випадок, коли об'єм V газу залишається сталим. З рівняння Клапейрона випливає, що за цих умов сталим буде відношення тиску газу до його температури – закон Шарля:

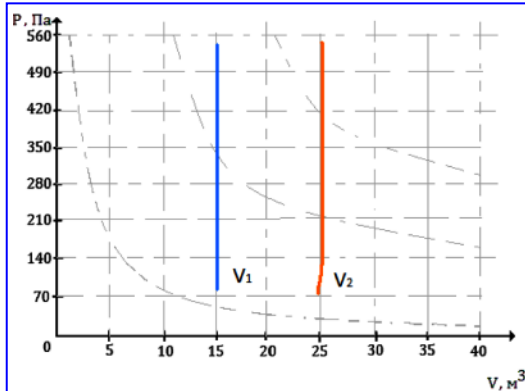
$$p/T = \text{const}, \quad (3)$$

за сталою об'єму тиск газу прямо пропорційний його абсолютній температурі.

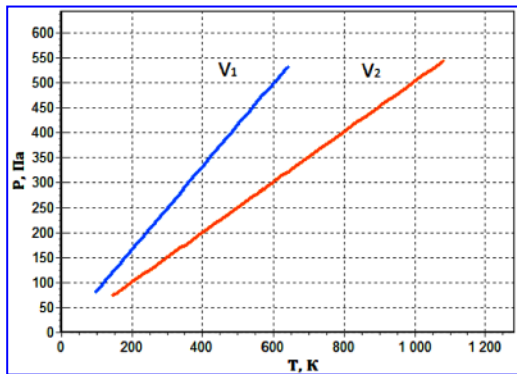
Змодельований процес у PV системі (рис. 4а), переведемо програмно у PT , VT системи координат (рис. 4б, 4в).

Перехід газу з одного стану в інший за сталою об'єму називають *ізохорним процесом*. Графік цього

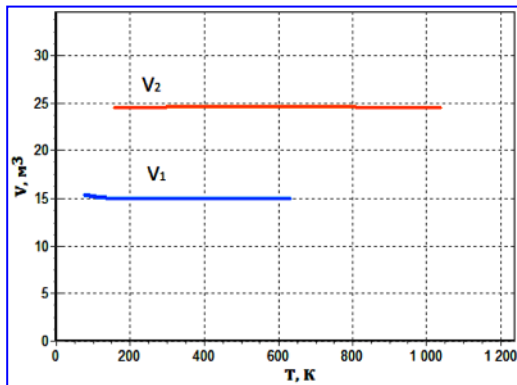
процесу в координатах p, T – пряма лінія, продовження якої проходить через початок координат (рис. 4б); її називають *ізохорою*. Кут нахилу ізохори до осі температур тим більший, чим менший об'єм. У системах координат pV і VT ізохора має вигляд прямої, паралельної осі p або відповідно T (рис. 4а, 4в).



а)



б)



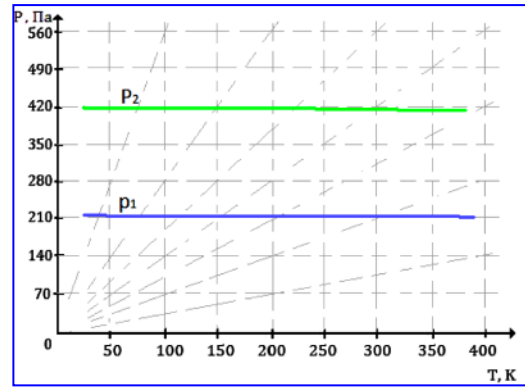
в)

Рис. 4. Ізохори у pT, pV, VT системах координат

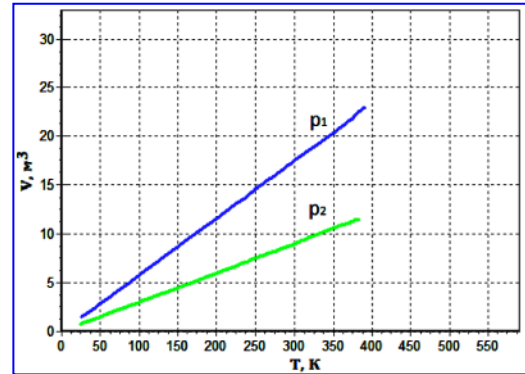
Ізобарний процес. З рівняння Клапейрона випливає, що у випадку, при якому сталим є тиск p , відношення об'єму газу до температури буде сталим.

$$V/T = \text{const.} \quad (4)$$

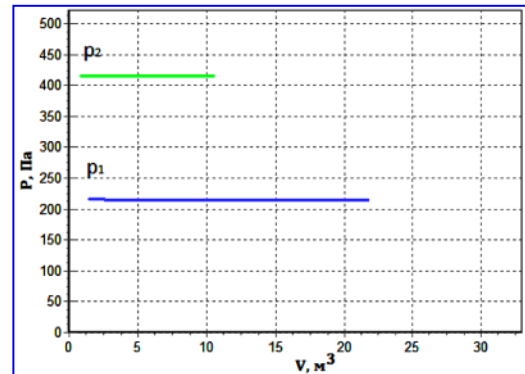
За незмінної маси газу і сталого тиску об'єм газу прямо пропорційний абсолютній температурі – закон Гей-Люссака. Перехід газу з одного стану в інший за сталого тиску називають *ізобарним процесом*. Графічно такий процес в координатних осях V, T зображується прямою, продовження якої проходить через початок координат, – *ізобарою*. Кут її нахилу до осі температур залежить від тиску газу: чим більший тиск, тим менший кут нахилу (на рисунку 5б маємо $p_2 > p_1$).



а)



б)



в)

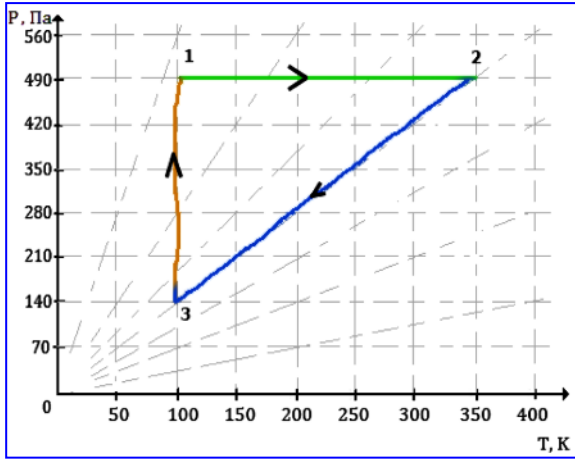
Рис. 5. Ізобари у VT, pT, pV системах координат

Отже, за однієї і тієї самої температури газ займати-ме тим більший об'єм, чим менший його тиск. На діаграмах з координатними осями p, T або p, V ізобари мають вигляд прямих, паралельних осі T чи осі V (рис. 5а, 5в).

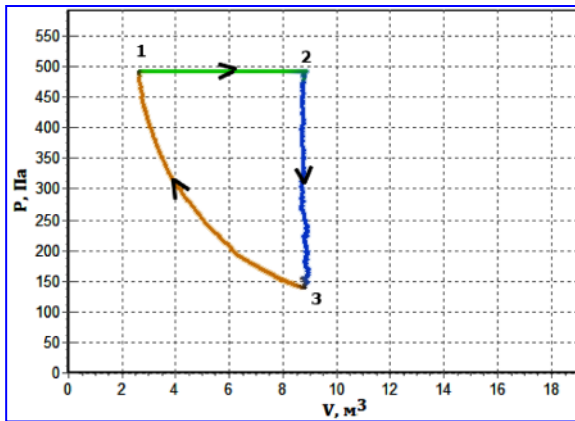
Таким чином, можна перекоонатися, що основні газові закони (Бойля-Маріотта, Гей-Люссака і Шарля) – це окремі випадки рівняння Клапейрона.

Корисними для аналізу зміни стану газу є завдання, у яких послідовність процесів зміни стану заданої маси газу в одній системі координат, потрібно відобразити у інших термодинамічних системах координат [3, с. 118] (рис. 6).

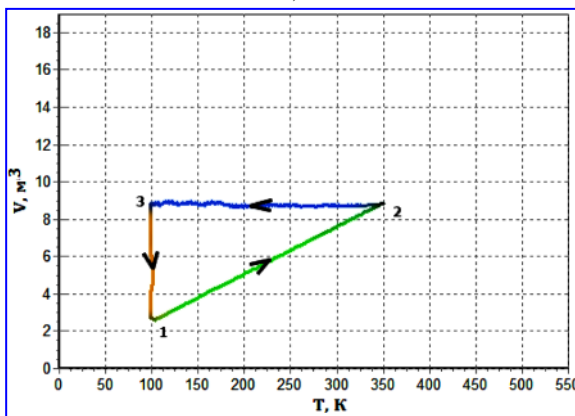
При виконанні аналогічних завдань студенти повинні вміти читати та будувати графіки. Існують завдання, у яких змінюються усі три макроскопічних параметрів газу: тиск p , об'єм V та температура T . Наприклад газ переходить зі стану 1 у стан 2 [3, с. 119] (рис. 7). Маса газу при цьому не змінюється. Необхідно порівняти об'єми газу у цих двох станах. Відповідь на це питання можна знайти за допомогою програми «Термодинамічні системи».



а)



б)



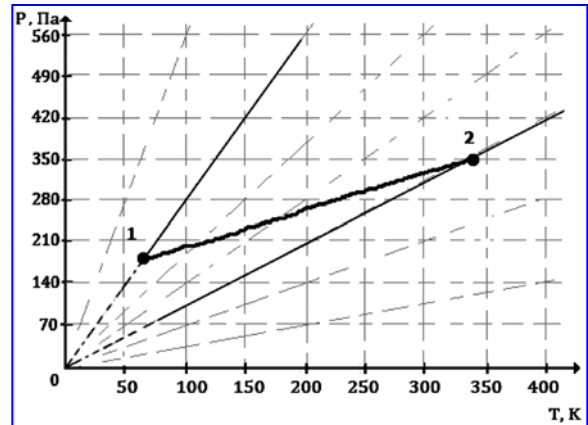
в)

Рис. 6. Послідовність зміни термодинамічних процесів

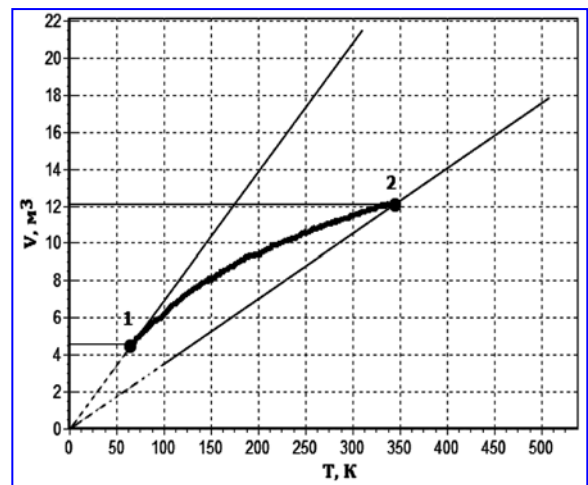
Побудуємо у програмі «Термодинамічні системи» процес зображений на *рисунку 7а* та перебудуємо його у *VT* та *PV* систему. На *рисунку 7г* бачимо, значення всіх термодинамічних параметрів у вигляді таблиці. На *рисунках 7б, 7в* бачимо, що стан 1 характеризується меншим об'ємом ніж стан 2. Чому?

Виконуючи дане завдання студент повинен відповісти на ряд запитань: «Залежність яких величин зображена на графіку?», «Який характер цієї залежності?», «Який процес ілюструє дана залежність?». Для виконання цих завдань необхідні ізохори, які проходять через *точки 1* та *2* (*рис. 7*). Студентам вже відомо, що чим ближче ізохора до осі *T* на графіку *PT*, тим більшим є об'єм. Роблять висновок: термодинамічному стану *1* відповідає менший об'єм, ніж стану *2*. З *рисунку 7б* видно, що *точки 1* та *2* лежать на різних

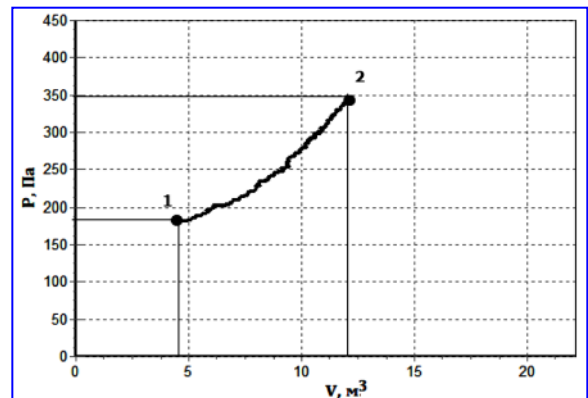
ізобарах, отже тиск у цих точках повинен відрізнятися. Відомо, що чим ближче ізобара до осі *T* у системі *VT*, тим більшим є тиск. Тиск у стані *2* є більшим (*рис. 7б, 7в*).



а)



б)



в)

Інформація			
Тнакс = 338,00 К	Тмин = 66,00 К	1) P=182,00000000 Па V=4,52027470 м³ T=66,00 К	
Унакс = 12,140766 м³	Умин = 4,520275 м³	2) P=182,00000000 Па V=4,5202750 м³ T=68,00 К	
Рнакс = 350,00 Па	Рмин = 182,00 Па	3) P=182,00000000 Па V=4,79423080 м³ T=70,00 К	
Унакс = 0,00 Дж	Умин = 0,00 Дж	4) P=182,00000000 Па V=5,01399780 м³ T=74,00 К	
Qнакс = 0,00 Дж	Qмин = 0,00 Дж	5) P=184,00000000 Па V=5,01399780 м³ T=74,00 К	
Qнакс = 0,00 Дж	Qмин = 0,00 Дж	6) P=184,00000000 Па V=5,08084240 м³ T=75,00 К	
Qнакс = 0,00 Дж	Qмин = 0,00 Дж	7) P=186,00000000 Па V=5,22725810 м³ T=78,00 К	
Qнакс = 0,00 Дж	Qмин = 0,00 Дж	8) P=186,00000000 Па V=5,29427420 м³ T=79,00 К	
Qнакс = 0,00 Дж	Qмин = 0,00 Дж		
1) U=50823,13 Дж H=51645,82 Дж S=64,79 Дж G=47369,37 Дж F=46546,68 Дж			
2) U=50848,07 Дж H=51695,69 Дж S=65,42 Дж G=47247,46 Дж F=46399,84 Дж			
3) U=50873,01 Дж H=51745,56 Дж S=66,02 Дж G=47124,32 Дж F=46251,77 Дж			
4) U=50897,96 Дж H=51795,44 Дж S=66,60 Дж G=47000,00 Дж F=46102,52 Дж			
5) U=50922,90 Дж H=51845,31 Дж S=67,09 Дж G=46881,25 Дж F=45950,84 Дж			
6) U=50945,37 Дж H=51870,25 Дж S=67,35 Дж G=46816,19 Дж F=45893,30 Дж			
7) U=50972,79 Дж H=51945,06 Дж S=68,09 Дж G=46634,33 Дж F=45662,06 Дж			
8) U=50995,26 Дж H=51969,99 Дж S=68,35 Дж G=46570,26 Дж F=45595,52 Дж			

г)

Рис. 7. Газовий процес у *PT*, *VT*, *PV* системах координат

Висновки. Запропонована методика вивчення газових законів базується на імітаційному комп'ютерному моделюванні, на основі якого розроблена комп'ютерна програма «Термодинамічні системи», яку можна використовувати для виконання завдань, пов'язаних з побудовою графіків для процесів, що відбуваються в газах. Методичне і практичне значення розробленої програми полягає в тому, що її можна застосовувати для проведення віртуального або чисельного експерименту, для виконання конкретних теоретичних розрахунків, при демонстраціях на уроках фізики в закладах середньої освіти та у вищих навчальних закладах в режимі on-line і off-line навчання.

Під час проведення дистанційних занять у Zoom викладач може пояснювати навчальний матеріал використовуючи програму «Термодинамічні системи» з ввімкненою демонстрацією екрану свого комп'ютера. Під час аудиторних занять викладач може працювати на інтерактивній дошці, імітуючи процеси в газах у програмі «Термодинамічні системи». У сучасних умовах цифровізації та карантинних обмежень доцільно поєднувати або чередувати дистанційну форму навчання з аудиторною.

Список використаних джерел:

1. Зикова К.М., Шишкін Г.О. Фізичні моделі та їх формування в системі профільного навчання. *Наукові записки РВВ КДПУ ім. В. Винниченка*. Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 1. С. 67-73.
2. Зикова К.М., Шишкін Г.О. Формування предметної компетентності при вивченні газових законів з використанням ІКТ. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський: К-ПНУ ім. Івана Огієнка, 2020. Вип. 26. С. 60-63. DOI: <https://doi.org/10.326626/2307-4507.2020-26.60-63>
3. Каменецкий С.Е., Пуршышева Н.С., Носова Т.И. и др. Теория и методика обучения физике в школе: частные вопросы : учеб. пособ. / под ред. С.Е. Каменецкого. Москва: Академия, 2000. 384 с.
4. Козел С.М. Ліцензований навчальний CD-диск: комп'ютерний курс «Открытая физика 1.1» / под ред. С.М. Козела. CD «Открытая физика», ТОВ «ФИЗИ-КОН», 1996–2001. 1 електрон. опт. диск (CD-ROM).
5. Косоков І.Г., Шишкін Г.О. Практико-орієнтовані задачі з фізики в навчальному процесі загальноосвітньої школи. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету*. Чернігів, 2017. Вип. 146. С. 144-147.
6. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Теоретическая физика : учеб. пособ. для вузов. В 10 т. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. Т. V: Статистическая физика. Ч. I. 616 с.
7. Матвеев А.Н. Молекулярная физика : учеб. пособ. Москва: Высшая школа, 1981. 400 с.
8. Пастернак Н.В. Методика викладання фізики: навчальні експерименти. Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 106 с.
9. Піменов Д.О., Сосницька Н.Л. Дослідження стану термодинамічної системи на основі імітаційного комп'ютерного моделювання. *Наукові записки*. Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2014. Вип. 5. Ч. 2. С. 160-165.
10. Рябко А.В., Толмачов В.С. Автоматизація установок для лабораторного практикума з молекулярної фізики з використанням апаратно-програмної платформи Arduino. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2019. Вип. 6. С. 70-80. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2019.6.7080>
11. Хассон В. Дж. Критерії якості дистанційної освіти. *Вища освіта*. 2004. № 1. С. 92-99.
12. Шишкін Г.О., Зикова К.М. Аналіз джерел здобуття інформації учнями при вивченні фізики. *Наукові записки РВВ КДПУ ім. В. Винниченка*. Кропивницький, 2018. Вип. 168. С. 292-294.
13. Яникова Наталия. Проверяем газовые законы в цифровой лаборатории. *Ассоциация «Национальное общество технологий в образовании» (Ассоциация «НОТО»)*. URL: <https://novator.team/post/693> (дата звернення 04.10.2021).
14. Finkelstein N.D., Adams W.K., Keller C.J., Kohl P.B., Perkins K.K., Podolefsky N.S. & LeMaster R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: a study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Phys. Rev. Spec. Top. – Phys. Educ. Res.*, 1. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>
15. Gregorcic B. & Bodin M. (2017). Algodoo: a tool for encouraging creativity in physics teaching and learning. *Phys. Teach.*, 55, 25–8. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.4972493>
16. Keller C.J., Finkelstein N.D., Perkins K.K. & Pollock S.J. (2006). Assessing the effectiveness of a computer simulation in conjunction with tutorials in introductory physics in undergraduate physics recitations. *AIP Conf. Proc.* 818. 109–12. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2177035>
17. Shyshkin G.A., Bandurov S.O. Digital electronics in an educational experiment in physics. *European science review*. Vienna, 2014. № 9-10. Pp. 84-87.

D. O. Pimenov, G. O. Shyshkin

Berdiansk State Pedagogical University

METHODS OF STUDYING GAS PROCESSES BASED ON MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES

The figurative physical and mathematical models of phenomena and processes which are studying are using for describe the gas laws. The deep understanding of physics is impossible without formation the ability of students to read and build graphs of dependencies between physical quantities, in particular thermodynamic ones. The presence of graphic illustrations of processes, which are presented in any thermodynamic coordinates, is contributes to increase the cognitive interest. Our research is devoted to the problem of forming in physics students and senior students of secondary education institutions the ability to read, build and rebuild graphs of thermodynamic dependences into any thermodynamic coordinates based on the using of digital technologies. The author's computer program was used in the work to simulate processes in gases which provides the results of the research in the form of graphs and tables. The changes of gas parameters with the simultaneous finding of the corresponding mathematical dependencies makes it possible for students to visualize the relationship between physical quantities. In the modern conditions such simulation models are an effective means of teaching physics both in classroom and distance learning.

Key words: digital technologies, gas laws, simulation modeling, virtual educational environment, educational experiment, graphic tasks, distance learning.

Отримано: 17.10.2021