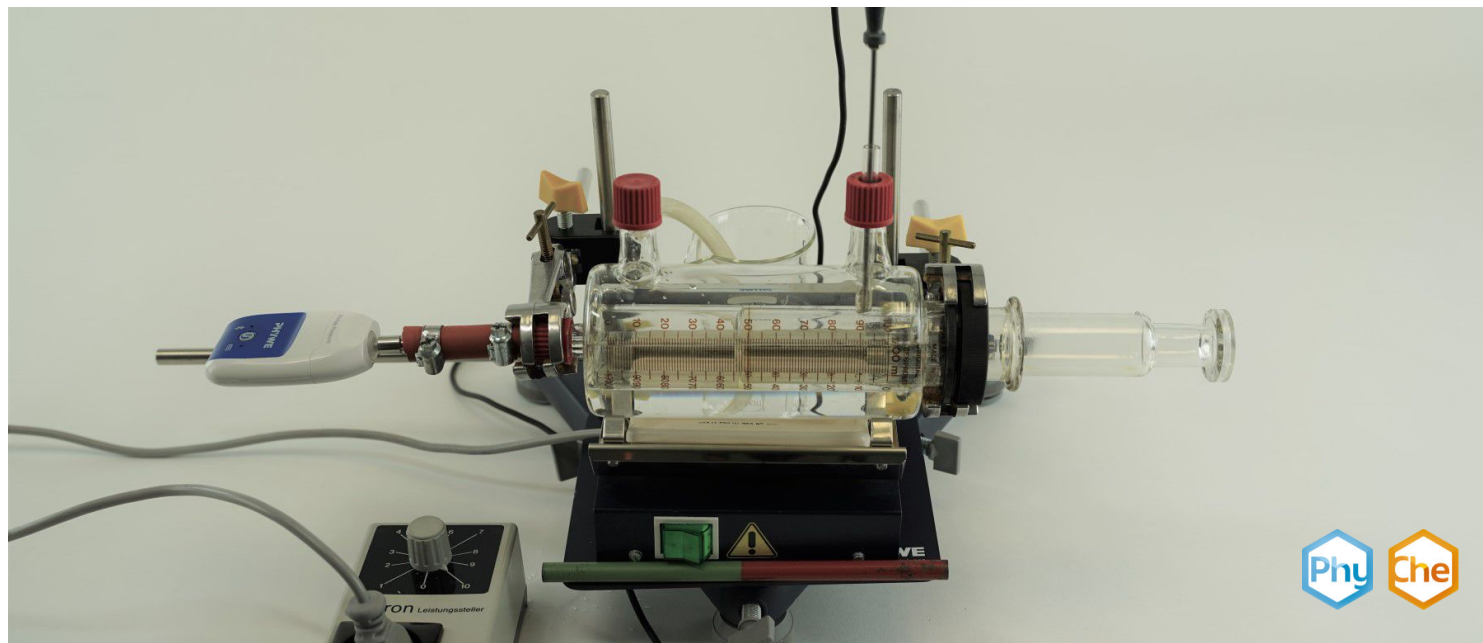


Рівняння стану ідеального газу з використанням інтерфейсу (Закон Гей-Люссака, Амонтона, Бойля-Маріота)



Physics

Thermodynamics

Kinetic gas theory & gas laws

Chemistry

General Chemistry

Stoichiometry

Chemistry

Physical chemistry

Gas laws



Рівень складності

середній



Розмір групи

-



Час підготовки

20 хвилини



Час виконання

45+ хвилини

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/64e210986545cd0002ce0737>

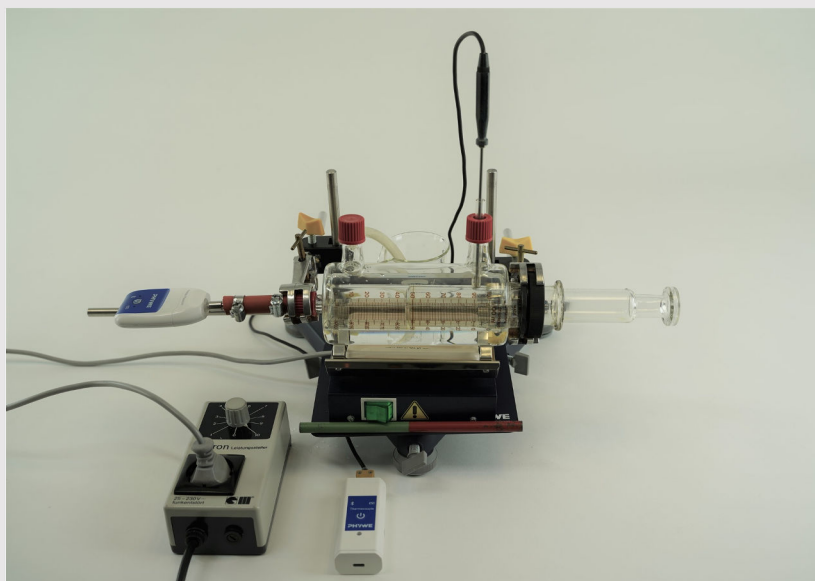
PHYWE

Інформація для вчителів



Опис

PHYWE



Ця експериментальна установка включає в себе експерименти за трьома газовими законами, постульованими Робертом Бойлем, Жаком Шарлем, Амадео Авогадро, Гійомом Амонтоном і Жозефом-Луї Гей-Люссаком.

Ці три описані експерименти визначають сучасні закони термодинаміки.

Поведінку ідеального газу описує рівняння стану газу, що містить тиск p , температуру T , об'єм V , кількість речовини n , кількість частинок N і масу газу m .

Додаткова інформація для вчителів (1/2)

PHYWE

попередні знання



Студенти повинні бути знайомі з такими одиницями, як тиск, температура, маса та об'єм, і вміти виконувати з ними розрахунки. Вони також повинні знати загальні правила належної лабораторної практики та загальні правила безпеки в лабораторії.

Науковий принцип



Стан газу визначається температурою, тиском і кількістю речовини. У граничних випадках ці змінні стану газів пов'язані через рівняння стану ідеального газу. У разі зміни стану в ізобарних умовах це рівняння перетворюється на закон Гей-Люссака, тоді як за ізохорних умов воно стає рівнянням Амонтонна, а в разі ізотермічного процесу - перетворюється на закон Бойля-Маріотта.

Додаткова інформація для вчителів (2/2)

PHYWE

Мета навчання



У цьому експерименті студенти знайомляться з різною поведінкою газів і поглиблюють свої знання про фізичні рівняння. Проходячи через різні частини з однаковим об'ємом повітря при зміні зовнішніх впливів, вони дізнаються про взаємозв'язок між тиском, температурою та об'ємом. Це просте рівняння є введенням у термодинаміку.

Завдання



1. Експериментально дослідіть справедливості трьох газових законів для постійної кількості газу (повітря).
2. Визначте універсальну газову сталу.
3. Обчисліть коефіцієнт теплового розширення за результатами вимірювань в ізобарних умовах.
4. Обчисліть коефіцієнт лінійного розширення за результатами вимірювань в ізохорних умовах.

Теорія

PHYWE



Гази існують на кожній планеті у Всесвіті

Ці три експерименти ілюструють закон ідеального газу. Незважаючи на численні обмеження, цей закон добре описує поведінку багатьох газів за різних умов.

Закон ідеального газу описується рівнянням, що містить тиск p , температуру T , об'єм V , кількість речовини n , кількість частинок N і масу m .

Він визначається як $[p \cdot V = n \cdot R \cdot T]$, з постійною Авогадро N_A або універсальною газовою сталою R .

Інструкції з техніки безпеки

PHYWE



- Під час роботи з хімічними речовинами слід вдягати відповідні захисні рукавички, захисні окуляри та відповідний одяг.
- До цього експерименту застосовуються загальні інструкції щодо безпечного проведення експериментів під час викладання природничих наук.
- Правила роботи з небезпечними речовинами наведено у відповідних паспортах безпеки.

PHYWE



Підготовка та виконання роботи

Завдання

PHYWE

1. Експериментально дослідіть справедливість трьох газових законів для постійної кількості газу (повітря).
2. Визначте універсальну газову сталу.
3. Обчисліть коефіцієнт теплового розширення за результатами вимірювань в ізобарних умовах.
4. Обчисліть коефіцієнт лінійного розширення за результатами вимірювань в ізохорних умовах.

Обладнання

PHYWE

Позиція	Матеріал	Пункт №.	Кількість
1	Набір "Газові закони зі скляним кожухом" і Cobra SMARTsens	43022-00	1
2	Регулятор потужності	32288-93	1

Додаткове обладнання

PHYWE

Позиція	Матеріал	Кількість
1	ПК з Windows XP® або вище	1

Підготовка (1/3)

PHYWE

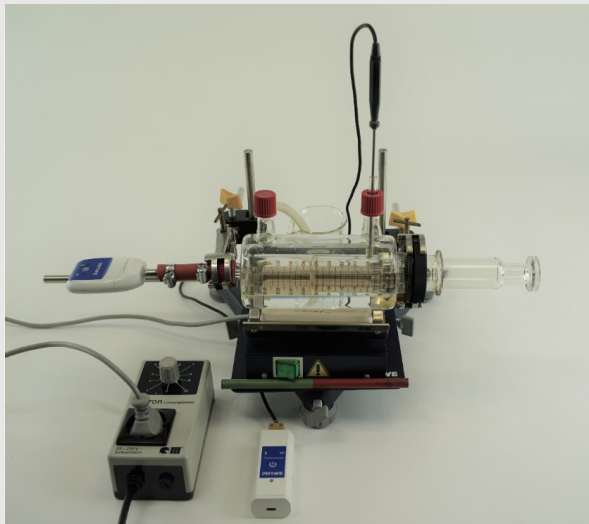


Рис. 2: Експериментальна установка

- Зберіть експериментальну установку (рис. 1).
- Підключіть термодатчик Cobra SMARTsense до датчика температури.
- Увімкніть комп'ютер і підключіть його до термодатчика Cobra SMARTsense.
- Запустіть програмне забезпечення measureLAB  на Вашому комп'ютері та на екрані виберіть експеримент "PHYWE експерименти", знайдіть "P2320162" і клацніть на папці, що містить цей експеримент. Після цього будуть завантажені всі необхідні попередні налаштування.
- Після увімкнення Cobra SMARTsense датчик розпізнається автоматично.

Підготовка (2/3)

PHYWE

- Встановіть газовий шприц у скляний кожух, як описано в інструкції з експлуатації, що додається до скляного кожуха. Зверніть особливу увагу на герметичність.
- Оскільки повітря не повинне виходити назовні навіть при підвищеному тиску, змастіть поршень кількома краплями всесезонного моторного мастила, щоб скляний поршень (плунжер) був вкритий тонкою прозорою плівкою мастила впродовж усього експерименту (уникайте надлишків мастила).
- Наповніть скляний кожух водою через лійку і вставте стрижень магнітної мішалки.
- Приєднайте силіконову трубку до штуцера (ніпеля) верхньої втулки скляного кожуха так, щоб рідина, що розширюється під час нагрівання, могла стікати через трубку в склянку.
- Вставте термодатчик і помістіть її якомога ближче до шприца.

Підготовка (3/3)

PHYWE

- Після встановлення початкового об'єму газового шприца точно на 50 мл, під'єднайте насадку газового шприца до датчика Cobra SMARTsense-Абсолютний тиск (Cobra SMARTsense Absolute Pressure) за допомогою невеликого шматка гумової трубки. З'єднання трубок мають бути якомога коротшими.
- Закріпіть трубки як на насадці газового шприца, так і на редукційному переходнику за допомогою затискачів.
- Перед початком роботи необхідно створити розрахований канал для об'єму - з очікуваним максимумом 65 мл, очікуваним мінімумом 50 мл і параметром обчислення $V = \text{індекс} + 50$, клацнувши мишею



Виконання роботи (1/6) - Закон Бойля-Маріотта

PHYWE

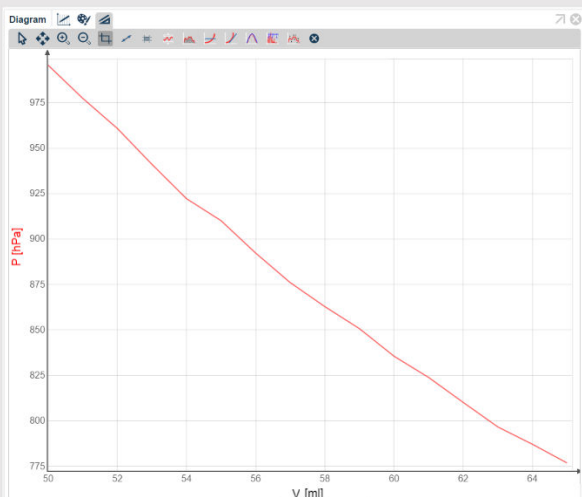


Рис. 3: Залежність між об'ємом V і тиском p при постійній температурі T

- Почніть вимірювання з
- Збільшуйте об'єм повітря з кроком в 1 мл до об'єму приблизно 65 мл.
- Запишіть об'єм газу для кожного кроку, натиснувши на кнопку
- Перемішайте воду в скляній оболонці, рухаючи магнітну мішалку за допомогою стрижневого магніту, і забезпечте вирівнювання тиску в газовому шприці, повертаючи поршень (плунжер).

Виконання роботи (2/6) - Закон Бойля-Маріотта

PHYWE

- Зупиніть вимірювання, натиснувши 
- Після завершення вимірювання програмне забезпечення measureLAB відображає графік, що показує співвідношення між об'ємом і тиском при постійній температурі.
- Щоб відобразити тиск по відношенню до відповідного об'єму, натисніть на іконку , щоб відкрити пул даних.
- Тепер можна виконати деякі зміни каналу, натиснувши на кнопку . Спочатку перетягніть дані вимірювань (об'єм) на вимірювання, потім перетягніть дані у формулу.
- Поверніться в пул даних  і виберіть дані вимірювання для тиску і зміненого pVT каналу. При виборі опції "Діаграма", програма measureLAB надасть Вам бажаний графік, що показує співвідношення між тиском p і величиною $1/V$.
- За допомогою програми можна визначити нахил графіка.

Виконання роботи (3/6) - закон Гей-Люссака

- Почніть вимірювання з 
- Запишіть перше значення початкової температури, натиснувши 
- Увімкніть нагрівач і відрегулюйте регулятор потужності так, щоб скляний кожух нагрівався повільно.
- Перемішайте воду в скляному кокусі, рухаючи стрижень магнітної мішалки за допомогою стрижневого магніту і забезпечте вирівнювання тиску в газовому шприці, повертаючи поршень (плунжер).
- Після кожного збільшення об'єму на 1 мл відміряйте наступне значення.

Виконання роботи (4/6) - закон Гей-Люссака

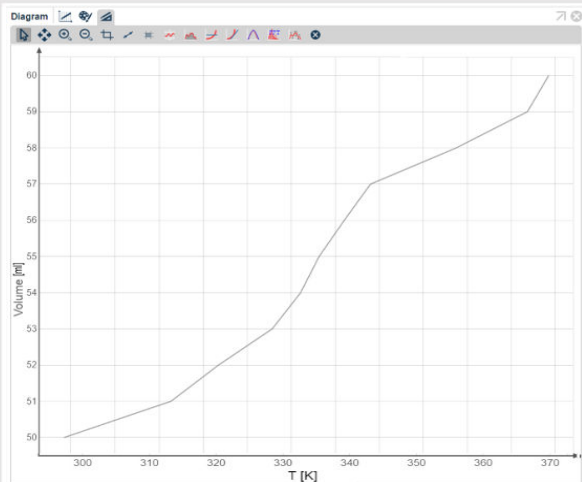


Рис. 4: Залежність об'єму V від температури T при постійному тиску p

- Після того, як об'єм газу досягне 60 мл, вимкніть нагрівач і завершіть вимірювання, натиснувши на 
- Щоб отримати графік залежності величини pV/T від об'єму, перейдіть до пулу даних  і натисніть на 
- Тепер необхідно внести деякі зміни в канал, перемістивши дані вимірювань для об'єму, температури і тиску в вимірювання. Потім перетягніть дані у формулу
- Перейдіть до пулу даних  і виберіть дані вимірювання для об'єму та Вашого зміненого pVT каналу. Після вибору виберіть опцію "Діаграма", і програма представить Вам бажаний графік.

Виконання роботи (5/6) - Закон Амонтона

- Почніть вимірювання з 
- Потім встановіть нагрівач на повільне нагрівання за допомогою регулятора потужності.
- Перемішайте воду в скляному кожусі, рухаючи стрижень магнітної мішалки за допомогою стрижневого магніту, і полегшіть вирівнювання тиску в газовому шприці, повертаючи поршень (плунжер).
- Запишіть тиск, що відповідає початковій температурі, натиснувши на кнопку 
- Після кожного підвищення температури на 5 K швидко вдавлюйте плунжер у газовий шприц доти, доки об'єм газу не буде стиснутий до початкового об'єму $V = 50$ мл, та виберіть наступне значення, натискаючи на кнопку 
- Після того, як температура досягне приблизно 370 K або за явної втрати повітря під час стиснення, вимкніть нагрівальний прилад і завершіть вимірювання, натиснувши 

Виконання роботи (6/6) - Закон Амонтона

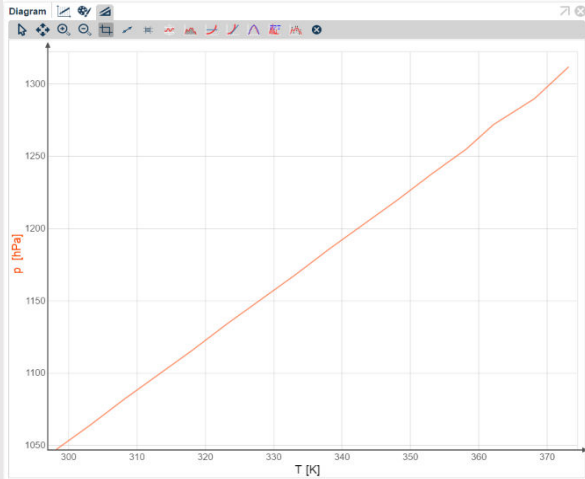


Рис. 5: Залежність тиску p від температури T при постійному об'ємі V

- На рисунку ліворуч показано графік залежності тиску від p від температури T при постійному об'ємі V , представлений програмою.
- Щоб отримати графік залежності величини pV/T від T , перейдіть у пул даних  і натисніть .
- Тепер необхідно внести деякі зміни в канал, перемістивши дані вимірювань для об'єму, температури і тиску в вимірювання. Потім перетягніть дані у формулу
- Перейдіть у пул даних  і виберіть дані вимірювання для температури та зміненого pV/T каналу. Після вибору виберіть "Діаграма", і програма представить Вам бажаний графік.

Оцінка (1/12)

Стан газу є функцією змінних стану температури T , тиску p і кількості речовини n , які є взаємно залежними. Таким чином, залежність тиску від змінних температури, об'єму та кількості речовини описується повним диференціалом.

$$dV = \left(\frac{\delta V}{\delta T}\right)_{p,n} dT + \left(\frac{\delta V}{\delta p}\right)_{T,n} dp + \left(\frac{\delta V}{\delta n}\right)_{T,V} dn \quad (1.1)$$

Аналогічним чином, для зміни тиску p зі зміною T , V и n :

$$dp = \left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_{V,n} dT + \left(\frac{\delta p}{\delta V}\right)_{T,n} dV + \left(\frac{\delta p}{\delta n}\right)_{T,V} dn \quad (1.2)$$

Оцінка (2/12)

PHYWE

Це співвідношення спрощується для даної кількості речовини ($n = \text{const}$, $dn = 0$; незмінна кількість газу в газовому шприці) та ізотермічної зміни стану ($T = \text{const}$, $dT = 0$) до:

$$dV = \left(\frac{\delta V}{\delta p}\right)_{T,n} dp \quad (2.1)$$

і

$$dp = \left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_{V,n} dT \quad (2.2)$$

Оцінка (3/12)

PHYWE

Часткова похідна $(\delta V / \delta p)_{T,n}$ і відповідно $(\delta p / \delta V)_{T,n}$ геометрично відповідає нахилу дотичної до функції $V = f(p)$ або $p = f(V)$ і, отже, характеризує залежність тиску від об'єму. Ступінь цієї залежності визначається початковим об'ємом або початковим тиском. Таким чином, визначають коефіцієнт об'ємного стиснення, співвідносячи його до V або V_0 при $T_0 = 273.15\text{K}$

$$X_0 = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\delta V}{\delta p}\right)_{T,n} \quad (3)$$

Часткова похідна $(\delta p / \delta T)_{V,n}$ геометрично відповідає тангенсу кута нахилу дотичної до функції $p = f(T)$ і, таким чином, характеризує залежність тиску від температури. Ступінь цієї залежності визначається початковим тиском. Таким чином, визначається тепловий коефіцієнт напруження β_0 як міру температурної залежності, помноживши його p або p_0 при $T_0 = 273.15\text{K}$

$$\beta_0 = \frac{1}{V_0} \frac{\delta p}{\delta T}_{p,n} \quad (4)$$

Оцінка (4/12)

PHYWE

Часткова похідна $(\delta V / \delta T)_{p,n}$ геометрично відповідає нахилу дотичної до функції $V = f(T)$ і, таким чином, характеризує залежність об'єму від температури. Ступінь цієї залежності визначається початковим об'ємом. Таким чином, тепловий коефіцієнт розширення y_0 визначається як міра температурної залежності об'єму, співвідносячи його до V або V_0 при $T_0 = 273.15\text{K}$

$$y_0 = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_{p,n} \quad (5)$$

Для граничного випадку ідеального газу (достатньо низькі тиски, достатньо високі температури) співвідношення між змінними стану p, V, T и n описується рівнянням стану ідеального газу:

$$pV = nRT \quad (6)$$

де R - універсальна газова стала

Оцінка (5/12)

PHYWE

Для заданої кількості речовини та за ізотермічних умов це рівняння переходить у такі рівняння:

$$pV = \text{const} \quad (6.1) \quad \text{і} \quad T = \text{const} \quad (6.2)$$

Згідно з цією залежністю, яка була визначена емпірично Бойлем і Маріоттом, підвищення тиску супроводжується зменшенням об'єму і навпаки. Графічне представлення функцій $V = f(p)$ або $p = f(V)$ призводить до гіперболи (ізотерми). Навпаки, побудова графіка залежності тиску p від зворотного об'єму $1/V$ призводить до прямих ліній, де $p = 0$ при $1/V = 0$. Виходячи з нахилу цих лінійних залежностей

$$\left(\frac{\delta p}{\delta (1/V)} \right)_{T,n} = nRT \quad (7)$$

можна експериментально визначити універсальну газову сталу R , якщо відома кількість повітря n . Це значення дорівнює відношенню об'єму V до молярного об'єму V_m , $n = \frac{V}{V_m}$ (8), який становить $V_0 = 22.414\text{л} \cdot \text{моль}^{-1}$ за нормальних умов $T_0 = 273.15\text{K}$ і $p_0 = 1013.25\text{гПа}$

Оцінка (6/12)

PHYWE

Тому об'єм V , виміряний за допомогою p и T спочатку зводиться до цих умов за допомогою співвідношення з (6):

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{pV}{T} \quad (9)$$

Для граничного випадку ідеального газу (достатньо низький тиск, достатньо висока температура), інтегрування диференціального рівняння, отриманого з (1.2) і (4), де $\beta_0 = \text{const}$, призводить до такого рівняння:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T} \quad (10.1)$$

та

$$p = \text{const} \cdot T$$

Оцінка (7/12)

PHYWE

Згідно з цією залежністю, виявленою Жаком Шарлем і Гійомом Амонтоном, залежність тиску від температури представляє собою зростаючу пряму лінію, де $p = 0$ при $T = 0$.

З (4) і рівняння стану ідеального газу (6) випливають наступні результати для нахилу цих лінійних залежностей:

$$\left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_{V,n} = p_0 \beta_0 = \frac{nR}{V} \quad (11)$$

Це дає коефіцієнт теплового напруження β_0 та універсальну газову сталу R для відомого початкового тиску p_0 і відомої кількості речовини n , (кількість речовини n дорівнює відношенню об'єму V до молярного об'єму V_m).

Для граничного випадку ідеального газу (достатньо низький тиск, достатньо висока температура) інтегрування диференціального рівняння, отриманого з (1.2) і (5), де $y_0 = \text{const}$, призводить до:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} \quad (12.1) \text{ и } V = \text{const} \cdot T \quad (12.2)$$

Оцінка (8/12)

PHYWE

Згідно з цією залежністю, відкритою Гей-Люссаком, графічне представлення об'єму як функції температури дає похилу пряму лінію, де $V = 0$ при $T = 0$. З (5) і рівняння стану закону ідеального газу (6) випливає, що нахил цих лінійних залежностей є наступним:

$$\left(\frac{\delta V}{\delta T}\right) = V_0 \gamma_0 = \frac{nR}{p} \quad (13)$$

Звідси коефіцієнт теплового розширення γ_0 та універсальна газова стала R можуть бути отримані експериментально за відомих початкового об'єму V_0 і відомій кількості речовини n .

Оцінка (9/12)

PHYWE

Дані та результати

Табличні (довідкові) значення параметрів ідеального газу:

$$R(\text{табл.}) = 8.31441 \text{ Нм} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} = 8.31441 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$$

$$\gamma_0(\text{табл.}) = 3.661 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$$

$$\beta_0(\text{табл.}) = 3.661 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$$

Оцінка (10/12)

PHYWE

1. Закон Бойля-Маріотта

Дані, отримані під час першого експерименту, підтверджують справедливість закону Бойля і Маріотта. З нахилу, отриманого для $n = 2.086$ ммоль та $T = 295.15$ K, $(\delta p / \delta V^{-1})_{T,n} = 4.6464 \text{ кПа/м}^{-3} = 4.6464 \text{ Нм} \cdot \text{м}^{-3}$ та залежності між p та $1/V$ універсальна газова стала може бути розрахована як $R = 7.547 \text{ Нм} \cdot \text{К}^{-1}$.

Відхилення від табличного значення зумовлене неминучою відсутністю герметичності під час збільшення відхилень від атмосферного тиску внаслідок стиснення або розширення, при цьому умова $dn = 0$ порушується і спостережуваний нахил $(\delta p / \delta V^{-1})T$ зменшується порівняно зі значенням, вимірюваним за постійної кількості речовини.

Оцінка (11/12)

PHYWE

2. Закон Гей-Люссака

Дослідження залежності між об'ємом і температурою при постійній кількості газу $n = 2.23$ ммоль, розрахованій за співвідношеннями (8) і (9), підтверджує справедливість першого закону Гей-Люссака з лінійною залежністю.

З відповідного нахилу $(\delta V / \delta T)_{p,n} = 0.18 \text{ мл К}$ і для початкового об'єму $V_0 = 50$ мл отримуємо наступні значення для універсальної газової сталої R і коефіцієнта теплового розширення γ_0 .

$$R(\text{експ.}) = 8.07174 \text{ Нм} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$$

$$\gamma_0(\text{експ.}) = 3.04 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$$

Оцінка (12/12)

PHYWE

3. Закон Амонтона

Дослідження залежності між тиском і температурою при сталому об'ємі газу, розрахованому за співвідношеннями (8) і (9), підтверджує справедливність закону Шарля (Амонтона) з лінійною залежністю, доведеною в третьому експерименті.

З відповідного нахилу $(\delta p / \delta T)_{V,n} = 3.72 \text{ гПа/К}$ і початкового тиску $p_0 = 1002.2 \text{ гПа}$ отримано такі значення для універсальної газової сталої R і теплового напруження β_0 .

$$R(\text{експ.}) = 8.34 \text{ Нм} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$$

$$\beta_0(\text{експ.}) = 3.71 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$$