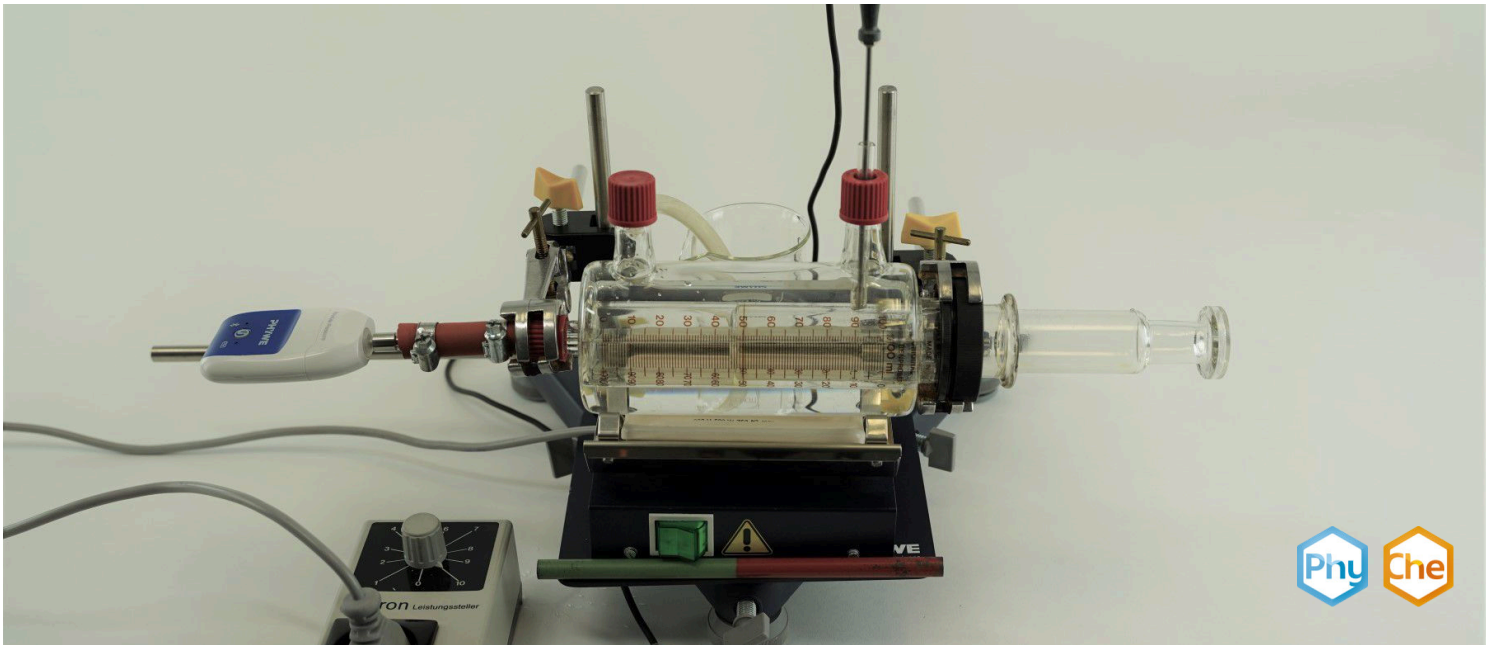
Уравнение состояния идеального газа с использованием интерфейса (Закон Гей -Люссака, Амонтона, Бойля-Мариота)



Физика	Термодинамика	Кинетика и газовые законы
Химия	Общая химия	Стоихиометрия
Химия	Физическая химия	Газовые законы

Уровень сложности	Кол-во учеников	Время подготовки	Время выполнения
средний	-	20 Минут	45+ Минут

This content can also be found online at:

http://localhost:1337/c/6050ec701dbcea00037041f8

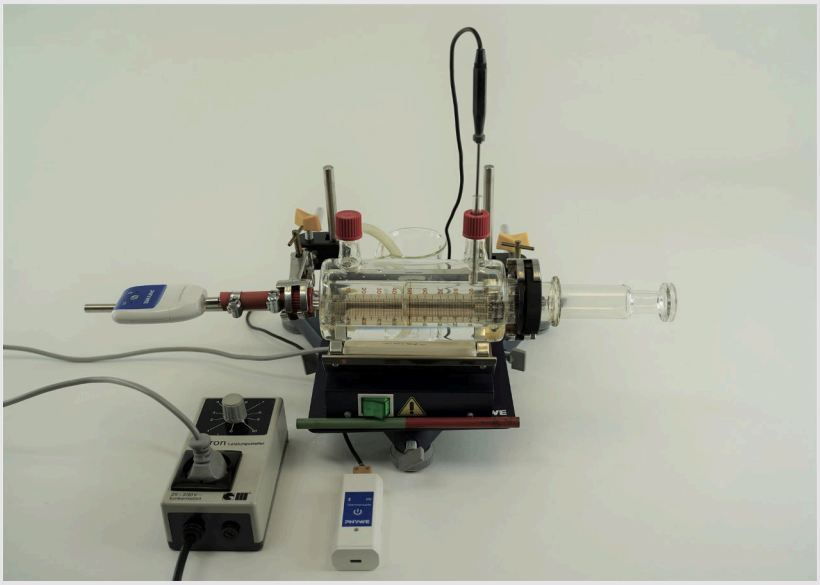
PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

PHYWE

Информация для учителей

Описание

PHYWE



Эта экспериментальная установка включает в себе эксперименты по трем газовым законам, постулированными Робертом Бойлем, Жаком Шарлем, Амадео Авогадро, Гийомом Амонтоном и Жозефом-Луи Гей-Люссаком.

Эти три описанных эксперимента определяют современные законы термодинамики.

Поведение идеального газа описывает уравнение состояния газа, содержащее давление p , температуру T , объём V , количество вещества n , количество частиц N и массу газа m.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Дополнительная информация для учителей (1/2)

PHYWE

предварительные знания

Студенты должны быть знакомы с такими физическими величинами, как давление, температура, масса, объем, и уметь выполнять с ними вычисления. Кроме того, они должны быть знакомы с общей хорошей лабораторной практикой и общими правилами техники безопасности.

Научный принцип

Состояние газа определяется температурой, давлением и количеством вещества. В предельных случаях эти переменные состояния газов связаны через уравнение состояния идеального газа. При изменении состояния в изобарных условиях это уравнение преобразуется в закон Гей-Люссака, в то время как при изохорных условиях оно становится уравнением Амонтона, а в случае изотермического процесса - преобразуется в закон Бойля- Мариотта.

Дополнительная информация для учителей (2/2)

PHYWE

Цель обучения

В этом эксперименте учащиеся знакомятся с различным поведением газов и углубляют свои знания в физических уравнениях. Проходя через различные части с одним и тем же объемом воздуха при изменении внешних воздействий, они знакомятся с соотношением давления, температуры и объема. Это простое уравнение является введение в термодинамику.

Задачи

1. Экспериментально исследуйте справедливость трех газовых законов для постоянного количества газа (воздуха).

2. Рассчитайте универсальную газовую постоянную по полученному соотношению.

3. Рассчитайте коэффициент теплового расширения по результатам измерений в изобарных условиях.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Теория

PHYWE

Рис. 1: Газы присутствуют на каждой планете во Вселенной

Эти три эксперимента демонстрируют закон идеального газа. Несмотря на многочисленные ограничения, этот закон хорошо описывает поведение многих газов при определенных условиях.

Закон идеального газа описывается уравнением, содержащим давление p, температуру T, объем V, количество вещества n, количество частиц N и массу m.

Он определяется как $[p \cdot V = n \cdot R \cdot T]$, с постоянной Авогадро или универсальной газовой постоянной R.

Инструкции по технике безопасности

PHYWE

- При работе с химикатами необходимо надевать соответствующие защитные перчатки, защитные очки и подходящую одежду.
- К этому эксперименту применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.
- Правила работы с опасными веществами приведены в соответствующих паспортах безопасности.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

PHYWE

Подготовка и выполнение работы

Задачи

PHYWE

1. Экспериментально исследуйте справедливость трех газовых законов для постоянного количества газа (воздуха).

2. Рассчитайте универсальную газовую постоянную по полученному соотношению.

3. Рассчитайте коэффициент теплового расширения по результатам измерений в изобарных условиях.

4. Рассчитайте коэффициент линейного расширения по результатам измерений в изохорных условиях.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Набор газовые законы со стеклянным кожухом и Cobra SMARTsens	43022-00	1
2	Регулятор мощности	32288-93	1

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Дополнительное оборудование

PHYWE

Позиция	Материал	Количество
1	ПК с Windows XP® или выше	1

Подготовка (1/3)

PHYWE

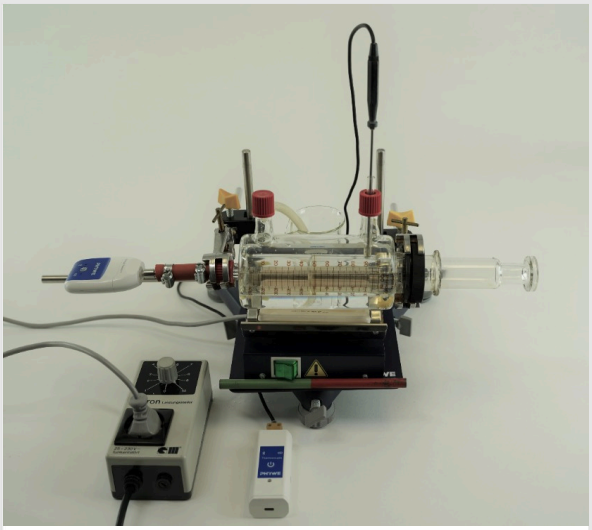


Рис. 2: Экспериментальная установка

- Настройте эксперимент, как показано на рис. 1.
- Подключите термопару Cobra SMARTsense к датчику температуры.
- Включите компьютер и подключите его к термопаре Cobra SMARTsense.
- Запустите measureLAB на Вашем компьютере и на экране выберите эксперимент "PHYWE эксперименты", найдите "P2320162" и щелкните по папке, содержащей этот эксперимент). Все необходимые настройки будут загружены.
- После включения Cobra SMARTsense датчик распознается автоматически.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Подготовка (2/3)

PHYWE

- Установите газовый шприц в стеклянный кожух, как описано в инструкции по эксплуатации, прилагаемой к стеклянному кожуху. Обратите особое внимание на герметичность.
- Поскольку воздух не должен выходить наружу даже при более высоких давлениях, смажьте поршень несколькими каплями всесезонного моторного масла, чтобы стеклянный плунжер был покрыт непрерывной прозрачной пленкой масла на протяжении всего эксперимента (избегайте излишков масла).
- Наполните стеклянный кожух водой через воронку и вставьте стержень магнитной мешалки.
- Подсоедините силиконовую трубку к штуцеру шланга верхней трубчатой втулки стеклянного кожуха так, чтобы жидкость, расширяющаяся при нагревании, могла стекать через трубку в стакан.
- Вставьте термопару и поместите ее как можно ближе к шприцу.

Подготовка (3/3)

PHYWE

- После регулировки начального объема газового шприца точно на 50 мл, подсоедините форсунку газового шприца к датчику Cobra SMARTsense-Абсолютное давление через короткий кусок резиновой трубки. Соединения трубок должны быть как можно короче.
- Закрепите трубки как на форсунке газового шприца, так и на редукционном переходнике с помощью зажимов.
- Перед началом работы необходимо создать рассчитанный канал для объема с ожидаемым максимумом 65, ожидаемым минимумом 50 и параметром вычисления V = индекс + 50, щелкнув мышью и .

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Выполнение работы (1/6) - Закон Бойля-Мариотта

PHYWE

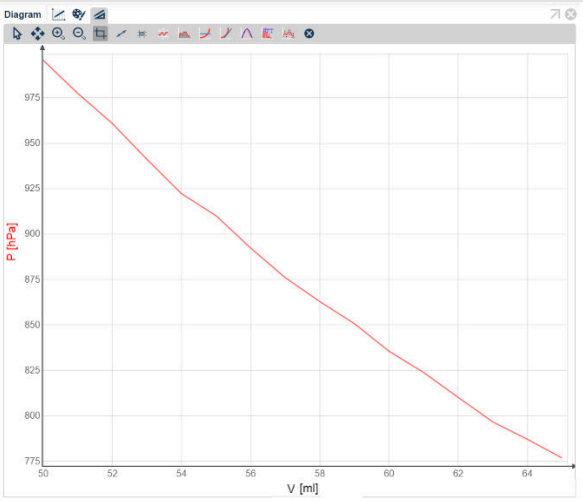


Рис. 3: Зависимость между объемом V и давлением p при постоянной температуре

- Начните измерение с .
- Впоследствии увеличьте заключенное количество воздуха с шагом 1 мл до объема примерно 65 мл.
- Запишите объем газа для каждого шага, нажав на кнопку
- Перемешайте воду в стеклянном кожухе, перемещая стержень магнитной мешалки с помощью стержневого магнита. и облегчите выравнивание давления в газовом шприце, поворачивая плунжер.

Выполнение работы (2/6) - Закон Бойля-Мариотта

PHYWE

- Завершите измерение, нажав
- После завершения работы программа measureLAB представляет график, который показывает соотношение между объемом и давлением при постоянной температуре.
- Чтобы получить график зависимости давления от обратного объема, щелкните символ , чтобы открыть пул данных.
- Теперь можно выполнить некоторые изменения канала, нажав на кнопку Сначала перетащите данные измерений (объем) на измерения, затем перетащите данные в формулу.
- Вернитесь в пул данных и выберите данные измерения для давления и измененного pVT канала . При выборе опции "Диаграмма" , программа measureLAB представит Вам желаемый график, показывающий соотношение между давлением p и величиной 1 / V.
- С помощью программы можно определить наклон графика.

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Выполнение работы (3/6) - закон Гей-Люссака

- Начните измерение с
- Запишите первое значение начальной температуры, нажав
- Включите нагревательный прибор и отрегулируйте регулятор мощности так, чтобы стеклянный кожух медленно нагревался.
- Перемешайте воду в стеклянном кохухе, перемещая стержень магнитной мешалки с помощью стержневого магнита. и обеспечьте выравнивание давления в газовом шприце, поворачивая плунжер.
- После каждого увеличения объема на 1 мл принимайте следующее значение.

Выполнение работы (4/6) - закон Гей-Люссака

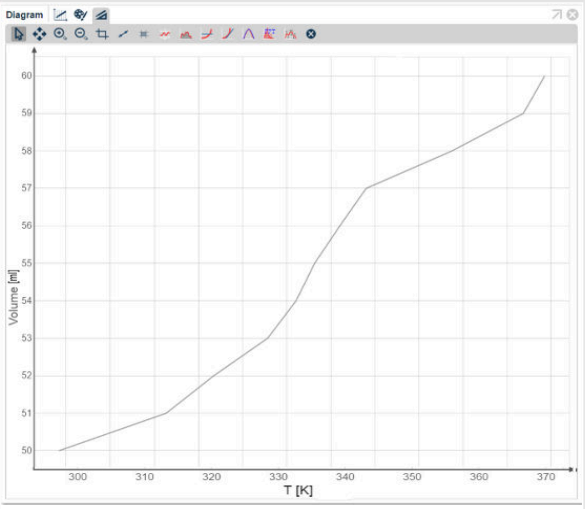


Рис. 4: Зависимость объема V от температуры T при постоянном давлении

- После того, как объем газа достигнет 60 мл, выключите нагреватель и завершите измерение нажав на
- Чтобы получить график зависимости количества pV / T от объема, перейдите в базу данных и нажмите
- Теперь необходимо внести некоторые изменения в канал, переместив данные измерений для объема, температуры и давления в измерения. Затем перетащите данные в формулу
- Перейдите в пул данных и выберите данные измерения для объеиа и Вашего измененного pVT канала . После выбора выберите опцию "Диаграмма", и программа представит Вам желаемый график.

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Выполнение работы (5/6) - Закон Амонтона

- Начните измерение с .
- Затем с помощью регулятора мощности настройте нагревательный прибор на медленный нагрев
- Пемешайте воду в стеклянном кожухе, перемещая стержень магнитной мешалки с помощью стержневого магнита, и облегчите выравнивание давления в газовом шприце, поворачивая плунжер.
- Запишите давление, соответствующее начальной температуре, нажав на кнопку
- После каждого повышения температуры на 5 K быстро вдавливайте плунжер в газовый шприц до тех пор, пока объем газа не будет сжат до исходного объема V = 50 мл, и выберите следующее значение, нажимая на кнопку
- После того, как температура достигнет примерно 370 K или при явной потере воздуха во время сжатия, выключите нагревательный прибор и завершите измерение, нажав

Выполнение работы (6/6) - Закон Амонтона

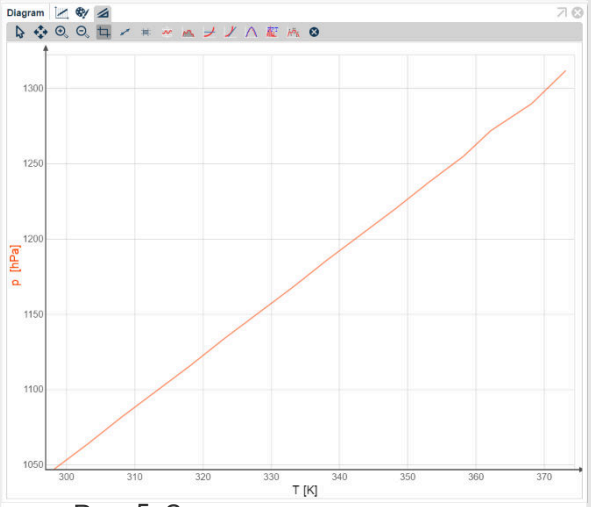


Рис. 5: Зависимость давления p от температуры T при постоянном объеме

- На рисунке слева показан график зависимости давления p от температуры T при постоянном объеме V, представленный программой.
- Чтобы получить график зависимости количества pV/T от T , перейдите в пул данных и нажмите
- Теперь необходимо внести некоторые изменения в канал, переместив данные измерений для объема, температуры и давления в измерения. Затем перетащите данные в формулу
- Перейдите в пул данных выберите данные измерения для температуры Вашего измененного pV/T канала . После выбора выберите "Диаграмма", и программа представит Вам желаемый график.

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Оценка (1/12)

PHYWE

Состояние газа является функцией переменных состояния температуры T , давление p и количество вещества n , которые взаимно определяют друг друга. Таким образом, зависимость давления от температуры, объема и количества вещества описывается полным дифференциалом.

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

Аналогичным образом, для изменения давления p с изменением T, V и n:

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

Оценка (2/12)

PHYWE

Это соотношение упрощается для данного количества вещества (n= const , dn = *0* ; неизменное количество газа в газовом шприце) и изотермического изменения состояния (T = const, dT = *0*) до:

$$dV = (\frac{\delta V}{\delta T})_{T,n} dp \qquad (2.1)$$

и

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

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Оценка (3/12)

PHYWE

Частное производное $(\delta V/\delta p)T, n$ и соответственно $(\delta p/\delta V)T, n$ геометрически соответствует наклону касательной к функции $V = f(p)$ или $p = f(V)$ и, следовательно, характеризует зависимость давления от объема. Степень этой зависимости определяется начальным объемом или начальным давлением. Таким образом, определяют коэффициент объемного сжатия, соотнося его к V или V_0 при $T_0 = 273.15K$.

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

Частное производное $(\delta p/\delta T)V, n$ геометрически соответствует наклону касательной к функции $p = f(T)$ и, таким образом, характеризует зависимость давления от температуры. Степень этой зависимости определяется начальным давлением. Таким образом, определяется тепловой коэффициент напряжения β_0 как мера температурной зависимости, соотнося его к p или p_0 при $T_0 = 273.15K$.

$$\beta_0 = \frac{1}{V_0}\frac{\delta 0}{\delta T}_{p,n} \quad (4)$$

Оценка (4/12)

PHYWE

Частное производное $(\delta V/\delta T)p, n$ геометрически соответствует наклону касательной к функции $V = f(T)$ и, таким образом, характеризует ависимость объема от температуры. Степень этой зависимости определяется начальным объемом. Таким образом, тепловой коэффициент расширения y_0 определяется как мера температурной зависимости объема, соотнося его к V или V_0 при $T_0 = 273.15K$.

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

Для предельного случая идеального газа (достаточно низкие давления, достаточно высокие температуры) соотношение между переменными состояния p, V, T и n описывается уравнением состояния идеального газа:

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

где R - универсальная газовая постоянная

PHYWE
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Оценка (5/12)

PHYWE

Для заданного количества вещества и при изотермических условиях это уравнение переходит в следующие уравнения:

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

Согласно этой зависимости, которая была определена эмпирически Бойлем и Мариоттом, повышение давления сопровождается уменьшением объема и наоборот. Графическое представление функций $V = f(p)$ или $p = f(V)$ приводит к гиперболе (изотерме). Напротив, построение графика зависимости давления p от обратного объёма $1/V$ приводит к прямым линиям, где $p = 0$ при $1/V$. Исходя из наклона этих линейных зависимостей, $(\frac{\delta p}{\delta v^{-1}})_{T,n} = nRT$ (7)

можно экспериментально определить универсальную газовую постоянную R, если известно количество воздуха n. Это значение равно отношению объема V к молярному объёму V_m, $n = \frac{V}{V_m}$ (8), который составляет $V_0 = 22.414 \text{л} \cdot \text{моль}^{-1}$ при нормальных условиях $T_0 = 273.15$ К и $p_0 = 1013.25$ гПа

Оценка (6/12)

PHYWE

Поэтому объем, измеренный в p и T сначала приводится к этим условиям, используя соотношение, полученное из (6):

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

Для предельного случая идеального газа (достаточно низкое давление, достаточно высокая температура), интегрирование дифференциального уравнения, полученного из (1.2) и (4), где β_0 = const, приводит к следующему уравнению:

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

и

$$p = const \cdot T$$

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Оценка (7/12)

PHYWE

Согласно этой зависимости, обнаруженной Чарльзом и Амонтонсом, графическое представление давления как функции температуры приводит к восходящей прямой линии, где $p = 0$ при $T = 0$.

Из (4) и уоавнения состояния идеального газа (6) для наклона этих линейных соотношений верно следующее:

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

Отсюда можно определить тепловой коэффициент натяжения β_0 и универсальную газовую постоянную R для известного начального давления p_0 и известного количества вещества n. Прилагаемое постоянное количество вещества n равно отношению объема V к молярному объёму V_m.

Для предельного случая идеального газа (достаточно низкое давление, достаточно высокая температура) интегрирование дифференциального уравнения, полученного из (1.2) и (5), где y_0 = const, приводит к:

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

Оценка (8/12)

PHYWE

В соответствии с этой зависимостью, обнаруженной Гей-Люссаком, графическое представление объема как функции от температуры обеспечивает восходящие прямые линии, где $V = 0$ при $T = 0$. Из (5) и уравнения состояния идеального закона газа (6) для наклона этих линейных зависимостей справедливо следующее:

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

Отсюда коэффициент теплового расширения γ_0 и универсальная газовая постоянная R могут быть получены экспериментально при известных начальном объёме V_0 и известном количестве вещества n.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Оценка (9/12)

PHYWE

Данные и результаты

Теоретические значения параметров идеального газа

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

$\gamma_0(lit.) = 3.661 \cdot 10^{-3} K^{-1}$

$\beta_0(lit.) = 3.661 \cdot 10^{-3} K^{-1}$

Оценка (10/12)

PHYWE

1. Закон Бойля-Мариотта

Данные, полученные в ходе первого эксперимента, подтверждают справедливость закона Бойля и Мариотта. Из наклона, полученного для $n = 2.086 \text{ммоль}$ и $T = 295.15 K, (\delta p / \delta V^{-1})_{T,n} = 4.6464 \text{кПа/м}^{-3} = 4.6464 \text{Нм}$зависимости между между p и $1/V$ универсальная газовая постоянная может быть рассчитана как $R = 7.547 \text{Нм} \cdot K^{-1}$.

Отклонение от таблмчного значения обусловлено неизбежным отсутствием герметичности при увеличении отклонений от атмосферного давления в результате сжатия или расширения, при этом условие $dn = 0$ нарушается и наблюдаемый наклон $(\delta p / \delta V^{-1})T$ уменьшается по сравнению со значением, измеряемым при постоянном количестве вещества.

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Оценка (11/12)

PHYWE

2. Закон Гей-Люссака

Исследование зависимости между объемом и температурой при постоянном количестве газа $n = 2.23$ м моль , в соответствии с соотношениями (8) и (9), подтверждает справедливость закона Гей-Люссака с линейной зависимостью.

Из соответствующего наклона $(\delta V/\delta T)_{p,n} = 0.18$ мл K и для начального объёма $V_0 = 50$ мл получены следующие значения для универсальной газовой постоянной R и коэффициента теплового расширения γ_0.

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

$\gamma_0(exp.) = 3.04 \cdot 10^{-3} K^{-1}$

Оценка (12/12)

PHYWE

3. Закон Амонтона

Исследование зависимости между давлением и температурой при постоянном количестве вещества газа, рассчитанном по соотношениям (8) и (9), подтверждает справедливость закона Чарльза (Амонтона) с линейной зависимостью, продемонстрированной в третьем эксперименте.

Из соответствующего наклона $(\delta p/\delta T)_{V,n} =$ 3.72 гПа/K и для начального давления $p_0 =$ 1002.2 гПа получены следующие значения для универсальной газовой постоянной R и теплового натяженияβ_0.

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

$\beta_0(exp.) = 3.71 \cdot 10^{-3} K^{-1}$

PHYWE

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de