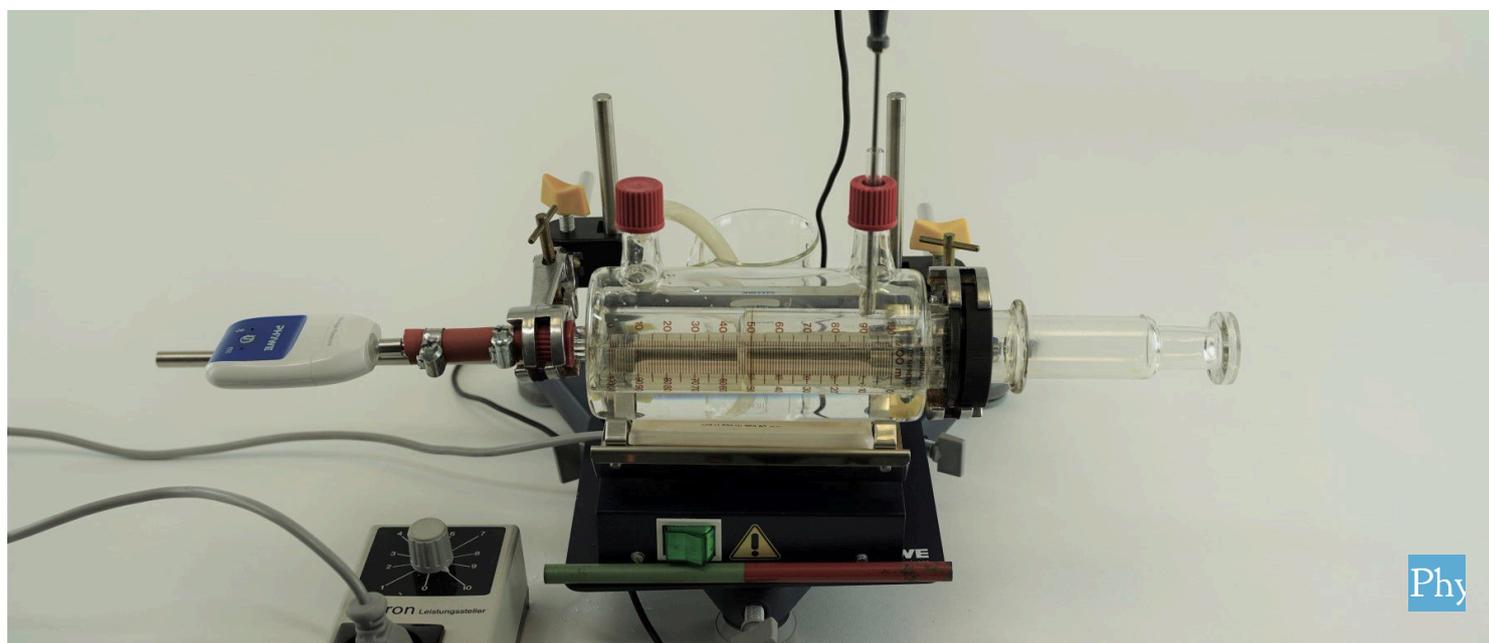


Ecuación de estado de los gases ideales (leyes de los gases: Gay-Lussac, Amontons, Boyle)



Física

Termodinámica / Termodinámica

La teoría del gas cinético y las leyes del gas

Química

Química General

Estequiometría

Química

Fisicoquímica

Leyes de los Gases



Nivel de dificultad

medio



Tamaño del grupo

1



Tiempo de preparación

20 minutos



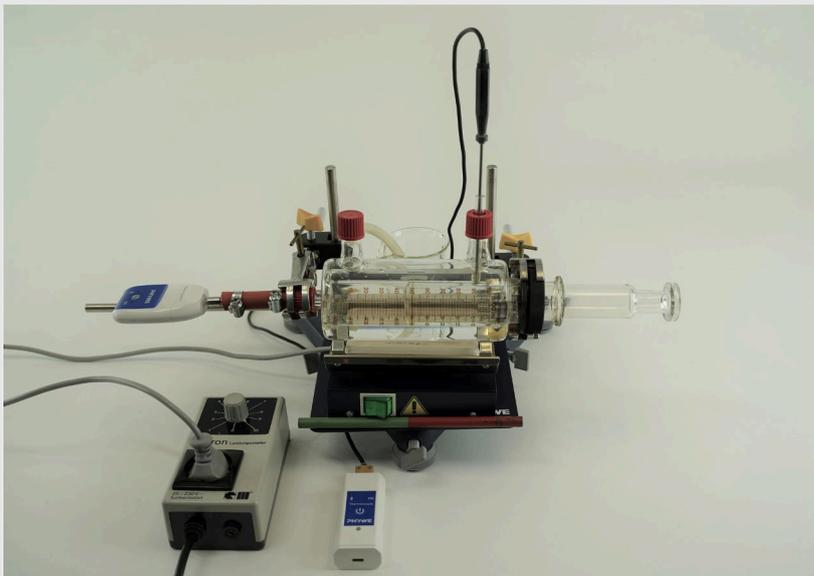
Tiempo de ejecución

45+ minutos

PHYWE
excellence in science

Información para el profesor

Aplicación

PHYWE
excellence in science

Este montaje experimental combina la experimentación de las tres leyes de los gases postuladas por Robert Boyle, Jacques Charles, Amadeo Avogadro, Guillaume Amontons y Joseph-Louis Gay-Lussac.

Estos tres experimentos descritos definen las leyes modernas de la termodinámica.

La ley de los gases ideales describe una ecuación que contiene la presión P , temperatura T , volumen V cantidad de sustancia n , recuento de partículas N y la masa m .

Información adicional para el profesor (1/2)

PHYWE
excellence in science

Conocimiento previo

Los estudiantes tienen que estar familiarizados con unidades como la presión, la temperatura, la masa y el volumen y pueden realizar cálculos con ellas. Además, tienen que estar familiarizados con las buenas prácticas generales de laboratorio y las normas generales de seguridad en el laboratorio.



Principio

El estado de un gas viene determinado por la temperatura, la presión y la cantidad de sustancia. Para el caso límite de los gases ideales, estas variables de estado están relacionadas mediante la ley de los gases ideales. Para un cambio de estado en condiciones isobáricas, esta ecuación se convierte en la primera ley de Gay-Lussac, mientras que en condiciones isocóricas se convierte en la de Amontons y, en el caso del control del proceso isotérmico, en la ley de Boyle y Mariotte.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE
excellence in science

Objetivo

En este experimento, los alumnos se familiarizan con los diferentes comportamientos de los gases y profundizan sus conocimientos en las ecuaciones físicas. Al pasar por las diferentes partes con el mismo volumen de aire mientras se cambian las influencias externas, llegan a conocer la correlación de la presión, la temperatura y el volumen. Es una simple introducción en la termodinámica.



Tareas

1. Investigar experimentalmente la validez de las tres leyes de los gases para una cantidad constante de gas (aire).
2. Calcular la constante universal de los gases a partir de la relación obtenida.
3. Calcular el coeficiente de dilatación térmica a partir de los resultados de las mediciones en condiciones isobáricas.

Principio

PHYWE
excellence in science

Fig. 1: Los gases están presentes en todos los planetas del universo

Estos tres experimentos demuestran la ley de los gases ideales. A pesar de las múltiples limitaciones, esta ley es una buena aproximación al comportamiento de muchos gases en muchas condiciones determinadas.

La ley de los gases ideales describe una ecuación que contiene la presión P , la temperatura T , el volumen V , la cantidad de sustancia n , el número de partículas N y la masa m . Se define como

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

con la constante de Avogadro o de los gases ideales R .

Instrucciones de seguridad

PHYWE
excellence in science

- Cuando manipule productos químicos, debe usar guantes de protección adecuados, gafas de seguridad y ropa apropiada.
- Para este experimento se aplican las instrucciones generales para la experimentación segura en las clases de ciencias.
- Para los compuestos H y P, consultar la ficha de datos de seguridad del producto químico correspondiente.



Montaje y ejecución

Tareas

1. Investigar experimentalmente la validez de las tres leyes de los gases para una cantidad constante de gas (aire).
2. Calcular la constante universal de los gases a partir de la relación obtenida.
3. Calcular el coeficiente de dilatación térmica a partir de los resultados de las mediciones en condiciones isobáricas.
4. Calcular el coeficiente de tensión térmica a partir de los resultados de las mediciones en condiciones isocóricas.

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	Set Leyes de Gases con Camisa de Vidrio	43003-88	1
2	Cobra SMARTsense - Termopar, -200 ... +1200 °C (Bluetooth + USB)	12938-01	1
3	SONDA D.IMMERSION, -50/400 C	13615-03	1
4	Cobra SMARTsense - Presión absoluta, 20 ... 400 kPa (Bluetooth + USB)	12905-01	1
5	measureLAB, Software para mediciones y evaluaciones	14580-61	1
6	REGULADOR DE POTENCIA, 230 V	32286-93	1
7	Tubo de vidrio, l= 80 mm, 10 unidades	36701-65	1
8	ABRAZAD.P.MANGAS DE 8-12MM DIAM	41000-00	2
9	TUBO DE SILICONA, DIAM.INT. 7 MM	39296-00	1
10	Varilla de acero inoxidable, 18/8, 250 mm	02031-00	1
11	Varilla de acero inoxidable, 18/8, 500 mm	02032-00	1
12	Nuez	02043-00	4
13	Adaptador Luer Lock macho, a tubo, d = 8 mm para Cobra SMARTsense Absolute Pressure	39284-00	1
14	Soporte para Cobra SMARTsense	12960-00	2
15	Cargador USB para Cobra SMARTsense y Cobra 4	07938-99	2

Material adicional

PHYWE
excellence in science

Posición	Material	Cantidad
1	PC con Windows XP® o superior	1

Montaje (1/3)

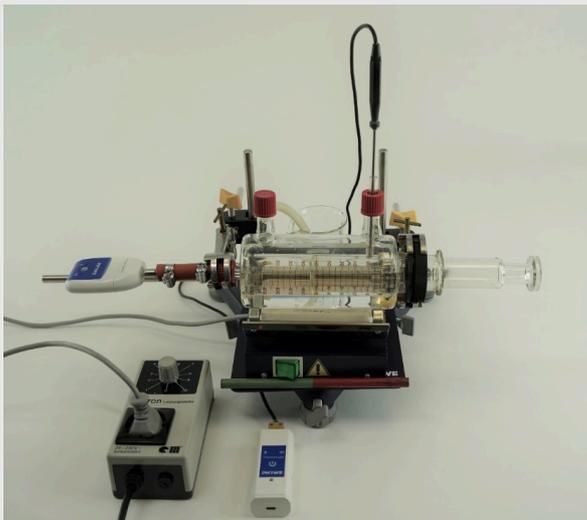
PHYWE
excellence in science

Fig. 2: Experimento montado

- Preparar el experimento como se muestra en la Fig. 1.
- Conectar el termopar Cobra SMARTsense con la sonda de temperatura.
- Iniciar el PC y conectar con el termopar Cobra SMARTsense.
- Iniciar el software "measureLAB"  el ordenador y elija el experimento en la pantalla de inicio (\ "PHYWE experiments", busque \ "P2320162", y haga clic en la carpeta que contiene este experimento). Se cargarán todos los preajustes necesarios.
- Después de encender el Cobra SMARTsense, el sensor se reconoce automáticamente.

Montaje (2/3)

PHYWE
excellence in science

- Instalar la jeringa de gas en la camisa de vidrio como se describe en las instrucciones de uso suministradas con la camisa de vidrio. Prestar especial atención a la estanqueidad.
- Como excepción, ya que no se debe permitir la salida de aire incluso a presiones más elevadas, lubricar el émbolo con unas gotas de aceite de motor multigrado, de modo que el émbolo de vidrio quede cubierto por una película clara e ininterrumpida de aceite durante todo el experimento; pero evite el exceso de aceite.
- Llenar la camisa de vidrio con agua a través del embudo e introduzca una barra agitadora magnética.
- Conectar un tubo de silicona a la boquilla de la manga tubular superior de la camisa para que el líquido del baño que se expande al calentarse pueda fluir a través del tubo hacia un vaso de precipitados.
- Introducir el termopar y colocarlo lo más cerca posible de la jeringa.

Montaje (3/3)

PHYWE
excellence in science

- Después de ajustar el volumen inicial de la jeringa de gas a exactamente 50 ml, conecte la boquilla de la jeringa de gas a Cobra SMARTsense Absolute Pressure mediante un trozo corto de tubo de goma. Mantener las conexiones de los tubos lo más cortas posible.
- Asegurar el tubo en la boquilla de la jeringa de gas y en el adaptador reductor con abrazaderas de manguera.
- Antes de empezar, hay que crear un canal calculado para el Volumen con el máximo previsto de 65, el mínimo previsto de 50 y el término de cálculo $V = \text{índice} + 50$ haciendo clic en y .  

Ejecución (1/6) - Ley de Boyle y Mariotte

PHYWE
excellence in science

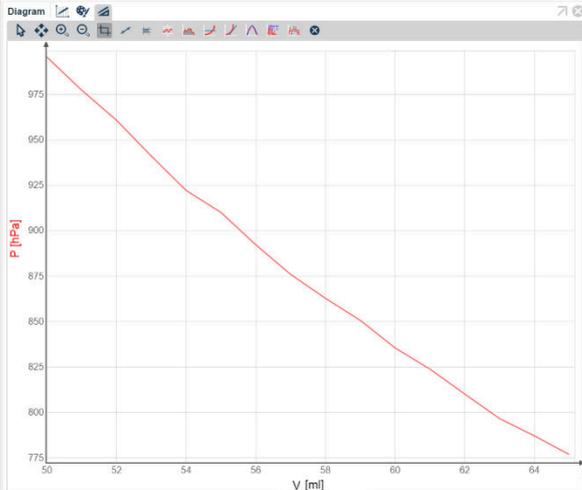


Fig. 3: Correlación entre el volumen V y la presión p a temperaturas constantes

- Iniciar la medición con .
- A continuación, expanda la cantidad de aire incluida en pasos de 1 ml hasta un volumen de aproximadamente 65 ml.
- Registrar el volumen de cada paso haciendo clic en .
- Mezclar el agua en la camisa de vidrio moviendo la barra agitadora magnética con la ayuda de una barra magnética y facilite el equilibrio de la presión en la jeringa de gas girando el émbolo.

Ejecución (2/6) - Ley de Boyle y Mariotte

PHYWE
excellence in science

- Finalizar la medición pulsando .
- Tras la finalización, el software measureLAB presenta un gráfico que muestra la correlación entre el volumen y la presión como temperatura constante.
- Para obtener el gráfico de la presión frente al volumen recíproco, haga clic en el símbolo  para abrir el conjunto de datos.
- Ahora se puede realizar algunas modificaciones en el canal haciendo clic en . En primer lugar, arrastrar y soltar los datos de la medida (volumen) a las medidas, y luego arrastrar y suelta los datos en tu fórmula. .
- Volver al conjunto de datos  y seleccionar los datos de medición de la presión y su canal modificado pVT. Una vez seleccionado, elegir la opción 'Diagrama' y el software le presentará el gráfico deseado que muestra la correlación entre la presión p y la cantidad 1/V.

Ejecución (3/6) - Ley de Gay-Lussac

- Iniciar la medición con . 
- Registrar el primer valor de la temperatura inicial haciendo clic en . 
- Encender el aparato de calefacción y ajustar el regulador de potencia para que la camisa de vidrio se caliente lentamente.
- Mezclar el agua en la camisa de vidrio moviendo la barra agitadora magnética con la ayuda de una barra magnética y facilite el equilibrio de la presión en la jeringa de gas girando el émbolo.
- Después de cada aumento de 1 ml de volumen, tome el siguiente valor.

Ejecución (3/6) - Ley de Gay-Lussac

- Iniciar la medición con . 
- Registrar el primer valor de la temperatura inicial haciendo clic en . 
- Encender el aparato de calefacción y ajustar el regulador de potencia para que la camisa de vidrio se caliente lentamente.
- Mezclar el agua en la camisa de vidrio moviendo la barra agitadora magnética con la ayuda de una barra magnética y facilite el equilibrio de la presión en la jeringa de gas girando el émbolo.
- Después de cada aumento de 1 ml de volumen, tome el siguiente valor.

Ejecución (4/6) - Ley de Gay-Lussac

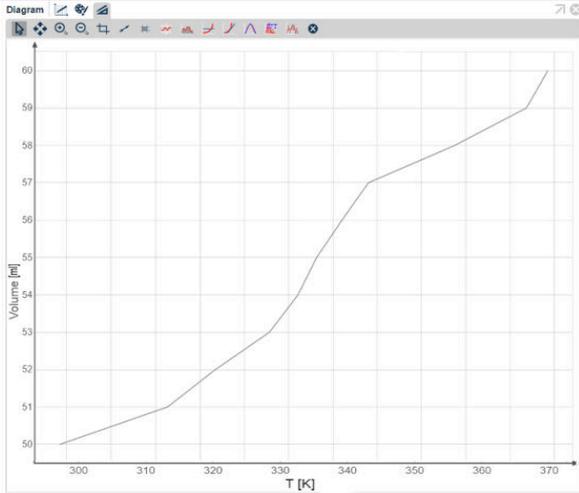


Fig. 4: Dependencia del volumen V de la temperatura T a presión constante

- Cuando el volumen de gas haya alcanzado los 60 ml, apague el aparato de calefacción y finalizar la medición pulsando
- Para obtener el gráfico de la cantidad pV/T frente al volumen, vaya al conjunto de datos y haga clic en
- Ahora se pueden realizar algunas modificaciones en el canal, arrastrar y soltar los datos de medición de volumen, temperatura y presión a las mediciones. Posteriormente, arrastre y suelte los datos a la fórmula
- Vaya al grupo de datos y seleccione los datos de medición del volumen y su canal modificado pVT . Una vez seleccionados, elija la opción "Diagrama" y el software le presentará el gráfico deseado.

Ejecución (5/6) - Ley de Amontons

- Iniciar la medición con
- A continuación, ajustar el aparato de calefacción a un calentamiento lento con el regulador de potencia.
- Mezclar el agua en la camisa de vidrio moviendo la barra agitadora magnética con la ayuda de una barra magnética y facilite el equilibrio de la presión en la jeringa de gas girando el émbolo.
- Registrar la presión correspondiente a la temperatura inicial haciendo clic en
- Después de cada aumento de temperatura de 5 K, empujar el émbolo rápidamente en la jeringa de gas hasta que el volumen de gas se comprima hasta el volumen inicial de $V = 50$ ml y tomar el siguiente valor haciendo clic en
- Después de que la temperatura haya alcanzado aproximadamente 370 K o si hay una pérdida evidente de aire durante la compresión, apagar el aparato de calentamiento y finalizar la medición pulsando

Ejecución (6/6) - Ley de Amontons

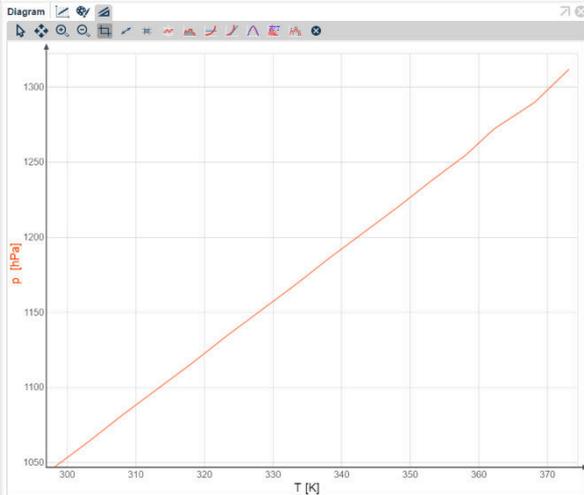


Fig. 5: Dependencia de la presión p con la temperatura T a volumen constante

- La figura de la izquierda muestra el gráfico de la dependencia de la presión p con la temperatura a volumen constante tal y como lo presenta el programa.
- Para tener el gráfico de la cantidad pV/T frente a la temperatura, vaya al grupo de datos  haga clic en .
- Ahora puede realizar algunas modificaciones en el canal, arrastre y suelte los datos de medición de volumen, temperatura y presión a las mediciones. Posteriormente, arrastre y suelte los datos a la fórmula.
- Vaya al grupo de datos  y seleccione los datos de medición de la temperatura y su canal  modificado pVT . Una vez seleccionados, elija la opción 'Diagrama' y el software le presentará el gráfico deseado.

Resultados (1/12)

El estado de un gas es una función de las variables de estado temperatura T , la presión p y la cantidad de sustancia n que se determinan recíprocamente. Así, la dependencia de la presión de las variables de temperatura, volumen y cantidad de sustancia se describe mediante el diferencial total.

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

Análogamente, lo siguiente es cierto para el cambio de presión con T , V y n :

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

Resultados (2/12)

Esta relación se simplifica para una cantidad determinada de sustancia ($n = \text{const.}$, $dn = 0$ cantidad de gas encerrada en la jeringa de gas) y el cambio de estado isotérmico ($T = \text{const.}$, $dT = 0$) a

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

y

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

Resultados (3/12)

El cociente diferencial parcial $(\delta V / \delta p)_{T,n}$ resp. $(\delta p / \delta V)_{T,n}$ corresponde geoméricamente a la pendiente de una tangente a la función $V = f(p)$ o $p = f(V)$ y, por tanto, caracteriza la dependencia mutua de la presión y el volumen. El grado de esta dependencia viene determinado por el volumen inicial o la presión inicial. Así, se define el coeficiente de compresibilidad cúbica refiriéndolo a V o V_0 en $T_0 = 273.15K$.

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

El cociente diferencial parcial $(\delta p / \delta T)_{V,n}$ corresponde geoméricamente a la pendiente de una tangente a la función $p = f(T)$ y, por tanto, caracteriza la dependencia de la presión con respecto a la temperatura. El grado de esta dependencia viene determinado por la presión inicial. Por lo tanto, se define el coeficiente térmico de tensión β_0 como medida de la dependencia de la temperatura refiriéndola a p o p_0 en $T_0 = 273.15K$.

$$\beta_0 = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_{p,n} \quad (4)$$

Resultados (4/12)

El cociente diferencial parcial $(\delta V / \delta T)_{p,n}$ corresponde geoméricamente a la pendiente de una tangente a la función $V = f(T)$ y caracteriza así la dependencia mutua del volumen y la temperatura. El grado de esta dependencia viene determinado por el volumen inicial. El coeficiente térmico y_0 de expansión se define, por tanto, como una medida de la dependencia de la temperatura del volumen, refiriéndola a V_0 en $T_0 = 273.15K$

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

Para el caso límite de un gas ideal (presiones suficientemente bajas, temperaturas suficientemente altas), la correspondencia entre las variables de estado p, V, T y n se describe por la ley de los gases ideales:

$$pV = nRT (6)$$

con R como la constante universal de los gases

Resultados (5/12)

Para los casos de cantidad constante de sustancias y control del proceso isotérmico esta ecuación se transforma en las siguientes ecuaciones:

$$pV \text{ (6.1) y } p(6.2)$$

Según esta correlación, determinada empíricamente por Boyle y Mariotte, un aumento de presión va acompañado de una disminución de volumen y viceversa. La representación gráfica de las funciones $V = f(p)$ o $p = f(V)$ En cambio, el trazado de la presión p contra el volumen recíproco $1/V$ resulta en líneas rectas donde a $p = 0$ en $1/V$. A partir de la pendiente de estas relaciones lineales,

$$\left(\frac{\delta p}{\delta v^{-1}} \right)_{T,n} = nRT (7)$$

es posible determinar la constante de los gases R experimentalmente cuando la cantidad constante de aire encerrado n es conocido. Es igual al cociente del volumen V y el volumen molar $V_m, n = \frac{V}{V_m}$ (8) que es $V_0 = 22.414l \cdot mol^{-1}$ en $T_0 = 273.15K$ y $p_0 = 1013.25hPa$ en condiciones normales.

Resultados (6/12)

Un volumen medido en p y T por lo tanto, se reduce primero a estas condiciones utilizando la relación obtenida de (6):

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

Para el caso límite de un gas ideal (presión suficientemente baja, temperatura suficientemente alta), la integración de una ecuación diferencial resultante de (1.2) y (4), donde $\beta_0 = \text{const.}$, produce

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

y

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

Resultados (7/12)

Según esta correlación, descubierta por Charles y Amontons, la presentación gráfica de la presión en función de la temperatura da como resultado una línea recta ascendente donde $p = 0$ en $T = 0$.

A partir de (4) y de la ley de los gases ideales (6) se cumple lo siguiente para la pendiente de estas relaciones lineales

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

A partir de ahí, el coeficiente de tensión térmica β_0 y la constante universal de los gases R puede determinarse para una presión inicial conocida p_0 y una cantidad conocida de sustancia n . La cantidad constante de sustancia adjunta n es igual al cociente del volumen V y el volumen molar V_m .

Para el caso límite de un gas ideal (presión suficientemente baja, temperatura suficientemente alta), la integración de una ecuación diferencial resultante de (1.2) y (5), donde $y_0 = \text{constante}$, se obtiene

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

Resultados (8/12)

Según esta correlación, descubierta por Gay-Lussac, la presentación gráfica del volumen en función de la temperatura proporciona una línea recta ascendente donde $V = 0$ para $T = 0$. A partir de (5) y de la ley de los gases ideales (6) se cumple lo siguiente para la pendiente de estas relaciones lineales:

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

A partir de ahí, el coeficiente de dilatación térmica γ_0 y la constante universal de los gases R son accesibles experimentalmente para un volumen inicial conocido V_0 y una cantidad conocida de sustancia n .

Resultados (9/12)

Datos y resultados

Los valores teóricos para un gas ideal son

$$R(\text{lit.}) = 8.31441 \text{ Nm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} = \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

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

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

Resultados (10/12)

PHYWE
excellence in science

1. La ley de Boyle y Mariotte

Los datos obtenidos en el primer experimento confirman la validez de la ley de Boyle y Mariotte. A partir de la pendiente obtenida para $n = 2.086 \text{ mmol}$ y $T = 295.15 \text{ K}$, $(\delta p / \delta V^{-1})_{T,n} = 4.6464 \text{ kPa/m}^{-3} = 4.6464 \text{ Nm}$ de la correlación linealizada entre p y $1/V$ la constante universal de los gases puede calcularse como $R = 7.547 \text{ Nm} \cdot \text{K}^{-1}$.

La desviación del valor de la literatura se debe a la inevitable falta de estanqueidad al gas con el aumento de la desviación de la presión atmosférica por compresión o expansión, por lo que la condición $dn = 0$ se viola y la pendiente observada $(\delta p / \delta V^{-1})_T$ disminuye en comparación con el valor medible con una cantidad constante de sustancia.

Resultados (11/12)

PHYWE
excellence in science

2. Ley de Gay-Lussac

La investigación de la correlación entre el volumen y la temperatura con una cantidad constante de gas de $n = 2.23 \text{ mmol}$ calculado según las relaciones (8) y (9), confirma la validez de la primera ley de Gay-Lussac, con una relación lineal.

A partir de la pendiente correspondiente $(\delta V / \delta T)_{p,n} = 0.18 \text{ ml/K}$ y para el volumen inicial $V_0 = 50 \text{ ml}$ se obtienen los siguientes valores para la constante universal de los gases R y el coeficiente de dilatación térmica γ_0 .

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

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