Física 2 Biólogos y Geólogos - Curso de Verano 2010

Serie 8: Primera Ley de la Termodinámica

1. Se tiene un cilindro con un pistón sin rozamiento que contien e 1 m^3 de gas monoatómico ($\gamma = 5/3$) a presión atmosférica ($1.01.10^5$ N/m^2). Se comprime el gas hasta que el volumen sea 0.4 m^3. ¿Cuánto trabajo se realizó para comprimir este gas?

   (a) Si el proceso es isotérmico.

   (b) Si el proceso es a $P = P_{ext} = cte$.

   (c) Si el proceso es adiabático reversible.

2. Un cilindro en el cual el pistón es sostenido por un resorte, contiene 0.03 m^3 de aire a una presión de 1050 mbar, equilibrada con la presión atmosférica constante de 1050 mbar. El peso del pistón y del resorte pueden considerarse despreciables. En el estado inicial el resorte no ejerce ninguna fuerza sobre el pistón. Entonces se calienta el gas hasta duplicar su volumen. La presión final del gas es 3500 mbar, y durante el proceso el resorte ejerce una fuerza proporcional al desplazamiento del pistón a partir de su posición inicial, siendo la constante de proporcionalidad $k = 10000$ N/m^2. Considerando el gas como sistema, calcular el trabajo total efectuado por el sistema. De este trabajo total, ¿qué porcentaje está hecho contra la atmosféra y cuál contra el resorte?

3. Un buzo sumergido puede respirar con normalidad a grandes profundidades si el aire que se le suministra está a una presión igual a la presión del agua que le rodea. Para suministrar aire a la presión reinante se ha diseñado un aparato autónomo de respiración subacuática (scuba). El aparato consta de un depósito de aire a alta presión (inicialmente por encima de 170 atm), rígido y diatérmico, conectado a una boquilla por medio de un tubo flexible. Un regulador entre el depósito y la boquilla permite al aire entrar en la boca del buzo a una presión igual a la de la del agua que le rodea. La presión a una altura h bajo el agua está dada por la suma de la presión atmosférica y la presión ejercida por la columna de agua, siendo para el caso en que $P_{\text{atm}} = 1$ atm y h en m,

$$P(h) = 1 \text{ atm} + \text{h}\rho\text{g} \backsimeq 1\text{atm} + \text{h}0.1\text{atm/m}$$

   Completar los siguientes cuadros y preguntas de acuerdo a las distintas etapas de inmersión del buzo. Considerar al aire como un gas ideal diatómico, $c_v = 5/2$ R y $c_p = 7/2$ R.

   (a) Antes de inspirar el buzo se encuentra a una profundidad de 10 m, donde la temperatura del agua es de $17°C$. Sus pulmones contienen 4 L de aire a $27°C$ y el tanque (que tiene 10 L de capacidad) tiene una presión de 200 atm.

A 10 m **(Posición inicial)**	**Agua**	**Pulmones**	**Tanque**
Temperatura T(K)			
Presión P(atm)			
Volumen V(L)	——		
Número de moles n	——		

   (b) En estas condiciones se sumerge hasta 15 m donde la temperatura del agua es de $12°C$ (el tanque se equilibra termicamente) de forma que los pulmones sufren una compresión adiabática y reversible durante el descenso.

A 15 m **(Antes de inspirar)**	**Agua**	**Pulmones**	**Tanque**
Temperatura T(K)			
Presión P(atm)			
Volumen V(L)	—		
Número de moles n	—		

(c) Una vez allí inspira cierta cantidad de moles hasta que el aire de los pulmones se equilibra termicamente con el proveniente del tanque, y sus pulmones alcanzan un volumen de 5 L.

A 15 m **(Después de inspirar)**	**Agua**	**Pulmones**	**Tanque**
Temperatura T(K)			
Presión P(atm)			
Volumen V(L)	—		
Número de moles n	—		

(d) ¿Qué trabajo realiza el sistema (pulmones + tanque) sobre el medio (agua) en la inspiración?

(e) ¿Qué volumen adquirirían los pulmones si el buzo ascendiera sin exhalar el aire inspirado hasta la superficie, de forma que sus pulmones sufrieran una expansión adiabática reversible?

4. Calcular el trabajo realizado y el calor absorbido (o entregado) por 1 m^3 de gas ideal a presión atmosférica cuando se lo somete a los siguientes procesos:

   (a) Desde las condiciones iniciales se comprime el gas isotérmicamente hasta 20 veces la presión inicial.

   (b) Desde las condiciones iniciales se calienta el gas a volumen constante 20 veces la presión inicial. Luego se lo lleva reversiblemente, a presión constante, hasta el volumen final del caso anterior.

   (c) Dibuje el diagrama P-V.

5. La temperatura de 5 kg de N_2 gaseoso se eleva desde $10°C$ a $130°C$.

   (a) Si se realiza el proceso a presión constante, halle la cantidad de calor necesaria para ello, el incremento de la energía interna y el trabajo exterior realizado sobre el gas.

   (b) Calcule la cantidad de calor necesario si el proceso se lleva a cabo a volumen constante.

   Los calores específicos del gas N_2 son: $c_p = 0.248$ kcal/(kg°K); $c_p = 0.177$ kcal/(kg°K).

6. Un gas experimenta una transformación que lo lleva de un estado inicial caracterizado por P_0, V_0 a un estado final caracterizado por P_f, V_f. ¿En cuáles de los siguientes casos la variación de entalpía es igual al calor absorbido por el gas durante la transformación? Justifique analizando detalladamente cada caso:

   (a) $P_0 \neq P_f$; la transformación ocurre en forma reversible.

   (b) $P_0 \neq P_f$; la transformación ocurre en forma irreversible.

   (c) $P_0 \neq P_f$; la transformación ocurre en forma reversible y el sistema está sometido a presión externa variable.

   (d) $P_0 = P_f$; la transformación ocurre en forma reversible y el sistema está sometido a presión exterior constante.

   (e) $P_0 = P_f$; la transformación ocurre en forma irreversible y el sistema está sometido a presión exterior constante.

   (f) Verifique sus respuestas anteriores para el caso de un gas ideal, imaginando cada uno de los procesos y realizando el cálculo de Q y H.

7. Un mol de gas ideal se expande en contacto con una fuente de calor a $T = 373$ K contra una presión exterior constante de 5 atm, partiendo del estado en que la presión es de 10 atm, hasta llegar al volumen de equilibrio.

   (a) Calcule el trabajo realizado por el gas.

   (b) Calcule ese trabajo en el caso en que el gas se expanda reversiblemente.

   (c) Calcule el calor recibido por el gas, de la fuente, en cada caso.

   (d) Calcule ΔU y ΔH, y compare ΔH con el calor en cada caso.

8. Diez moles de un gas ideal ($\gamma = 5/3$), que se encuentran inicialmente a $27°C$ y 760 mmHg, se comprimen a la mitad del volumen inicial.

   (a) Calcule Q, W, ΔU y ΔH del sistema cuando el proceso se realiza isotérmicamente.

   (b) Calcule Q, W, ΔU y ΔH del sistema cuando el proceso se realiza adiabáticamente.

9. Se tienen 3 moles de un gas ideal que se expande isotérmicamente desde $P_0 = 5$ atm hasta $P_f = 3$ atm a temperatura $T = 0°C$.

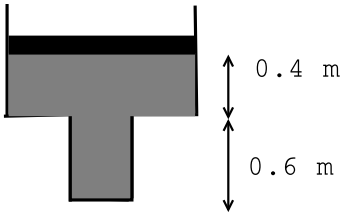
   (a) ¿Cuántas calorías absorbe el gas?

   (b) ¿Cuánto vale ΔH?

10. Se tienen 200 g de un gas ideal que se encuentran confinados en un cilindro como el de la figura, provisto de un émbolo de peso despreciable que se desplaza sin rozamiento. El área mayor del cilindro es de 1 m^2 y el área menor es de 0.5 m^2. La presión externa es constante e igual a 3.10^5 N/m^2. Inicialmente, el sistema se encuentra en equilibrio con el medio y la temperatura inicial de todo el sistema es de 700 K. El gas se deja enfriar por transmisión de calor al medio.

    (a) Halle la temperatura del gas cuando el émbolo llega al escalón suponiendo que en ese punto la presión del gas coincide con la presión exterior. Calcule el trabajo para esta parte del proceso.

    (b) Luego del proceso descripto en a), se coloca el recipiente en contacto con una fuente de 223 K, y se deja que alcance el nuevo estado de equilibrio. Calcule ahora W, ΔV y ΔH para este segundo proceso ($c_v = 0.3$ cal/g°C).



11. Suponga un mol de gas ideal encerrado en un cilindro provisto de un pistón, inicialmente trabado en un volumen $V_1 = 2$ L. El cilindro se halla en contacto térmico con una mezcla de 2 kg de agua y 2 kg de hielo. Se sabe que cada vez que la fuente entrega 80 cal al gas, congela 1 g de agua.

    (a) ¿A qué temperatura se halla inicialmente el gas? Tomará ésta el mismo valor luego de que el gas realice una expansión? ¿Por qué?

    (b) Halle el estado final de la fuente de calor, (es decir, la masa de hielo presente) luego de que el gas se haya expandido reversiblemente hasta $V_2 = 10$ L.

    (c) Idem, si el gas se expande desde el mismo estado inicial del gas, y la fuente hasta el mismo estado final para el gas, pero esta vez de forma irreversible, contra una presión exterior de 1 atm.

12. Un cilindro de volumen $V = 9$ L, cerrado en sus dos extremos, contiene una mezcla de 10 moles de N_2 y 8 moles de O_2 que pueden considerarse gases ideales. Un pistón diatérmico y semipermeable, permeable al N_2 e impermeable al O_2, está inicialmente en un extremo y es desplazado de modo que deja atrás de sí un volumen $V_1 = 5$ L que contiene únicamente N_2. Un segundo pistón diatérmico y semipermeable, permeable al O_2 e impermeable al N_2 está al comienzo en el otro extremo y es desplazado de modo que deja detrás de sí un volumen $V_2 = 4$ L que contiene solamente O_2.

(a) Los desplazamientos se realizan isotérmicamente a $27°C$. Calcular el trabajo realizado por el sistema.

(b) Si se destrabaran los pistones, ¿se moverían? Justifique.

(c) Se fijan los pistones en la posición del punto a) y se reviste al cilindro de paredes adiabáticas, luego a través de una resistencia colocada en el interior del cilindro se le suministra calor al sistema durante 10 minutos. ¿Cuál es la temperatura final del sistema y cuánto varía la energía interna del mismo?

(d) ¿Cuál es la variación de entalpía del O_2 y del N_2 durante el proceso descripto en c)?

Datos: $I_{\text{resistencia}} = 5$ A, $V_{\text{resistencia}} = 2$ V, tomar $c_{\text{VO}_2} = c_{\text{VN}_2} = 5/2\text{R}$.

13. Un mol de gas se halla encerrado en un cilindro provisto de un pistón. El cilindro y el pistón son adiabáticos. En el estado inicial el pistón se halla trabado. El volumen es $V_A = 2$ L, la temperatura $T_A = 300$ K y la presión $P_A = 5.5$ atm. El gas se expande contra una presión nula. Cuando el volumen llega a $V_B = 2V_A$, se traba nuevamente el pistón. La ecuación de estado del gas es:

$$\text{P(V, T)} = \frac{\text{nRT}}{\text{V}} - \frac{\text{a}}{\text{V}^2}.$$

La energía interna del gas está dada por $\text{U(T, V)} = 2.5\text{nRT} - \frac{\text{a}}{\text{V}}$.

(a) ¿Es reversible el camino entre A y B? Justifique su respuesta.

(b) ¿Cuánto vale ΔU? ¿Por qué?

(c) Calcule T_B y P_B.

(d) Calcule ΔH_{AB}. ¿Coincide este valor con el calor intercambiado?

(e) Calcule c_v.

14. Un gas tiene una ecuación de estado $\text{P} = \frac{\text{RT}}{\text{V}}(1 + \frac{\text{aT}}{\text{V}})$, con $\text{a} = \text{cte}$. Su energía interna responde a la ecuación $\text{U(T, V)} = \text{U}_0\text{(T)} - \text{Ra}\frac{\text{T}}{\text{V}^2}$.

(a) Halle el trabajo entregado por el gas durante una expansión isotérmica desde V_0 a $3V_0$.

(b) Idem, durante una expansión en contacto con una sola fuente y contra una presión exterior constante P_{ext} menor que $P(3V_0, T)$ desde V_0 hasta $3V_0$.

(c) Halle la variación de energía interna del gas y los calores absorbidos en los casos a) y b).

15. Se tiene un mol de gas de Van der Waals $(\text{P} + \frac{\text{a}}{\text{V}^2})(\text{V} - \text{b}) = \text{RT}$, para el cual $\text{U} = \text{c}_\text{v}\text{T} - \text{a/V} + \text{cte}$ que se expande de V_0 a $2V_0$ contra $\text{P}_{\text{ext}} = \text{P}_0 = \text{cte}$ en un baño térmico de temperatura T_0. Calcular las variaciones de entropía del gas, la fuente y el universo indicando en cada caso si son positivas, nulas o negativas. Comparar con un gas ideal.