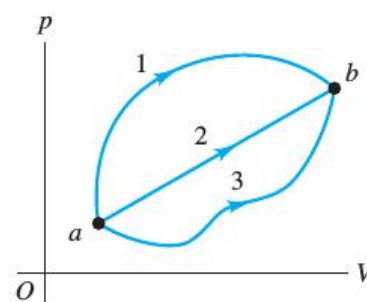
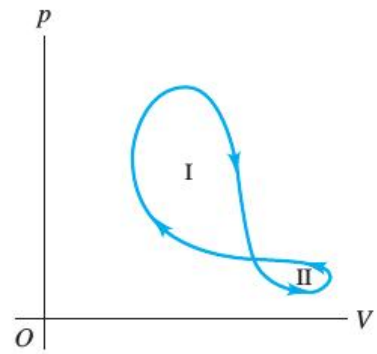


## Práctica N° 10: trabajo, calor y energía interna

- ① Para los siguientes procesos, discuta si el trabajo efectuado por el sistema (definido como un gas que se expande o se contrae) sobre el ambiente es positivo o negativo:
- la expansión de una mezcla aire-gasolina quemada en el cilindro de un motor de automóvil;
  - la apertura de una botella de gaseosa;
  - el llenado de un tanque de buceo con aire comprimido;
  - la abolladura parcial de una botella de agua vacía y cerrada, al conducir descendiendo desde las montañas hacia el nivel del mar.
- ②
- Durante una compresión isotérmica de gas ideal, es preciso extraer una cantidad  $Q$  de calor al gas para mantener la temperatura constante. ¿Cuánto trabajo efectúa el gas durante el proceso?
  - Un gas con comportamiento ideal se expande mientras la presión se mantiene constante. Durante este proceso ¿entra calor al gas o sale de él?
  - Fluye calor  $Q$  hacia un gas monoatómico con comportamiento ideal y el volumen aumenta mientras la presión se mantiene constante. ¿Qué fracción de la energía calorífica se usa para efectuar el trabajo de expansión del gas?
- ③ Las tres trayectorias que se muestran en la figura llevan a un sistema termodinámico desde el estado  $a$  hacia el  $b$ .
- ¿Por cuál trayectoria el trabajo efectuado por el sistema es máximo? ¿Y menor?
  - Si  $U_b > U_a$ , ¿por cuál trayectoria es mayor el valor absoluto  $|Q|$  de la transferencia de calor? En esa trayectoria, ¿el sistema absorbe o desprende calor?



- (a) En cada lazo, I y II, ¿el trabajo neto efectuado por el sistema es positivo o negativo?
- (b) Durante un ciclo completo, ¿el sistema efectúa trabajo positivo o negativo?
- (c) Durante un ciclo completo, ¿entra calor en el sistema o sale de él?
- (d) En cada lazo, I y II, ¿entra calor en el sistema o sale de él?



- 5) Un mol de gas ideal se expande irreversiblemente en contacto con una fuente de calor a  $T = 373\text{K}$  contra una presión exterior constante de  $5\text{atm}$ , partiendo del estado en que la presión termodinámica es de  $10\text{atm}$ , hasta llegar al volumen de equilibrio.
- (a) Calcule el trabajo realizado por el gas.
  - (b) Calcule ahora 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 la variación de energía interna del gas.
- 6) Se tiene un cilindro con un pistón sin rozamiento que contiene  $1\text{m}^3$  de un gas monoatómico ( $\gamma = 5/3$ ) a presión atmosférica ( $1.01 \times 10^5\text{Pa}$ ). Se comprime el gas hasta que el volumen sea  $0.4\text{m}^3$ . Calcule cuánto trabajo se realizó para comprimir este gas:
- (a) Si el proceso es isotérmico reversible.
  - (b) Si el proceso es a presión constante igual a  $P_{ext}$ .
  - (c) Si el proceso es adiabático reversible.
- 7) Calcule el trabajo realizado y el calor absorbido (o entregado) por  $1\text{m}^3$  de gas ideal monoatómico a presión atmosférica cuando se lo somete a los siguientes procesos:
- (a) desde las condiciones iniciales se comprime el gas de manera reversible hasta 20 veces la presión inicial, manteniendo la temperatura constante.
  - (b) desde las condiciones iniciales se calienta el gas a volumen constante hasta 20 veces la presión inicial. Luego se lo lleva reversiblemente, a presión constante, hasta el volumen final del caso anterior.

Realice el diagrama  $p - V$  en cada caso.

- 8) La temperatura de  $5\text{kg}$  de  $\text{N}_2$  gaseoso se eleva desde  $10^\circ\text{C}$  a  $130^\circ\text{C}$ .
- (a) Si se realiza el proceso a presión constante, halle la cantidad de calor necesaria para ello, el incremento de energía interna y el trabajo exterior realizado sobre el gas.

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

Los calores específicos del gas  $N_2$  son:  $C_p = 0.248 \text{kcal/kg K}$ ;  $C_v = 0.177 \text{kcal/kg K}$ .

- 9 Un gas tiene la siguiente ecuación de estado:

$$P = \frac{RT}{V} \left( 1 + \frac{aT}{V} \right)$$

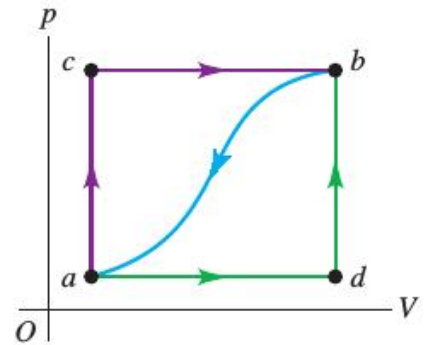
con  $a = \text{cte}$ , siendo su energía interna

$$U(V, T) = U_0(T) - Ra \frac{T^2}{V}$$

- (a) Halle el trabajo entregado por el gas durante una expansión isotérmica reversible desde  $V_0$  a  $3V_0$ .
- (b) Idem, durante una expansión isotérmica 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).

- 10 Cuando un sistema se lleva del estado  $a$  al  $b$  por la trayectoria  $acb$ ,  $90 \text{J}$  de calor entran en el sistema y éste efectúa  $60 \text{J}$  de trabajo.

- (a) ¿Cuánto calor entra en el sistema por la trayectoria  $adb$  si el trabajo efectuado por el sistema es de  $15 \text{J}$ ?
- (b) Cuando el sistema regresa de  $b$  a  $a$  siguiendo la trayectoria curva, el valor absoluto del trabajo efectuado por el sistema es de  $35 \text{J}$ . ¿El sistema absorbe o desprende calor? ¿Cuánto?
- (c) Si  $U_a = 0 \text{J}$  y  $U_d = 8 \text{J}$ , ¿cuánto calor se absorbe en los procesos  $ad$  y  $db$ ?



- 11 Un gas experimenta una transformación que lo lleva de un estado inicial caracterizado por  $P_i, V_i$  a un estado final caracterizado por  $P_f, V_f$ . Discuta 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)  $P_i \neq P_f$ ; la transformación ocurre en forma reversible.
- (b)  $P_i \neq P_f$ ; la transformación ocurre en forma irreversible.
- (c)  $P_i \neq P_f$ ; la transformación ocurre en forma reversible y el sistema está sometido a presión externa variable.

- (d)  $P_i = P_f$ ; la transformación ocurre en forma reversible y el sistema está sometido a una presión exterior constante.
- (e)  $P_i = P_f$ ; la transformación ocurre en forma irreversible y el sistema está sometido a una 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  $H$ .

12 La capacidad calorífica molar a volumen constante de cierto gas con comportamiento ideal es  $C_V$ . Una muestra de este gas ocupa inicialmente un volumen  $V_0$  a una presión  $p_0$  y una temperatura  $T_0$ . El gas se expande isobáricamente a un volumen  $2V_0$  y luego se sigue expandiendo adiabáticamente hasta un volumen final de  $4V_0$ .

- (a) Dibuje una gráfica  $p - V$  para esta sucesión de procesos.
- (b) Calcule el trabajo total efectuado por el gas en esta sucesión de procesos.
- (c) Calcule la temperatura final del gas.
- (d) Determine el valor absoluto  $|Q|$  del calor que entra o sale del gas durante esta sucesión de procesos, e indique la dirección del flujo de calor.

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  $V_A = 2$  litros, la temperatura  $T_A = 300\text{K}$  y la presión  $P_A = 5.5\text{atm}$ . 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:  $P(V, T) = nRTV^{-1} - aV^{-2}$ . La energía interna está dada por:  $U(T, V) = 2.5nRT - aV^{-1}$ .

- (a) ¿Es reversible el camino entre  $A$  y  $B$ ? Justifique su respuesta.
- (b) ¿Cuánto vale  $\Delta U$ ? ¿Por qué?
- (c) Calcule  $T_B$  y  $P_B$ .
- (d) Calcule la variación de entalpía entre  $A$  y  $B$ . ¿Coincide este valor con el calor intercambiado?.
- (e) Calcule los calores específicos del gas.

### Optativos

14 Un mol de gas ideal ( $C_p = 7/2R$ ), inicialmente a  $T_i$  y  $P_i$  se expande adiabática e irreversiblemente contra una presión exterior constante  $P_{ext}$ , hasta que se alcance el volumen de equilibrio.

- (a) Expresé  $W$  y  $\Delta U$  en términos de los datos y el  $V_f$  desconocido. ¿Por qué NO vale  $P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$ ?
- (b) Defina  $\Delta$  tal que  $P_{ext}/P_i = 1 - \Delta$ , y exprese  $T_f$  en términos de  $V_f$  y  $\Delta$ .
- (c) Halle  $V_f$  como función de  $V_i$  y  $\Delta$  y  $T_f$  como función de  $T_i$  y  $\Delta$ .

- (d) Partiendo del mismo estado inicial, se realiza una expansión adiabática reversible hasta un volumen  $V'_f$ , de equilibrio con la  $P_{ext}$ . Halle  $V'_f$  en función de  $V_i$  y  $\Delta$  y  $T'_f$  en función de  $T_i$  y  $\Delta$ .
- (e) Suponga  $\Delta \ll 1$ , y muestre que, a primer orden,  $T_f \approx T'_f$ , y que  $V_f \approx V'_f$ .
- (f) Haga ahora  $\Delta = 0.5$  ( $P_i = 2P_{ext}$ ) y calcule en forma exacta  $V_f$ ,  $V'_f$ ,  $T_f$  y  $T'_f$ , usando (d). Ubique los estados iniciales y finales en un diagrama  $P_{ext} - V$ , y marque los trabajos si  $P_{ext} = 1\text{atm}$  y  $T_i = 273\text{K}$ .

15 Un cilindro vertical de radio  $r$  contiene una cantidad de gas ideal, y está provisto de un pistón con masa  $m$  que puede moverse libremente. El pistón y las paredes del cilindro carecen de fricción, y el cilindro completo se coloca en un baño a temperatura constante. La presión del aire exterior es  $p_0$ . En equilibrio, el pistón está a una altura  $h$  sobre la base del cilindro.

- (a) Calcule la presión absoluta del gas atrapado bajo el pistón cuando está en equilibrio.
- (b) Se tira del pistón para subirlo una distancia corta y después se suelta. Determine la fuerza neta que actúa sobre el pistón cuando su base está a una distancia  $h + \delta h$  sobre la base del cilindro, donde  $\delta h \ll h$ .
- (c) Después de que el pistón se desplaza del equilibrio y se suelta, oscila verticalmente. Calcule la frecuencia de estas pequeñas oscilaciones. Si el desplazamiento no es pequeño, ¿las oscilaciones son armónicas simples?

