

Guía 9: Segundo Principio de la Termodinámica - Máquinas Térmicas y Entropía

1) Un mol de gas ideal ($C_v = \frac{3}{2} R$) realiza el siguiente ciclo:

AB) Se expande contra una presión exterior constante, en contacto térmico con una fuente de calor a 300°K , desde $V_A = 10$ litros hasta el volumen de equilibrio con la presión externa, $V_B = 20$ litros.

BC) Se traba el volumen en 20 litros, y se pone el gas en contacto térmico con una fuente de calor a 200°K hasta llegar al equilibrio.

CD) Manteniéndolo en contacto térmico con esta última fuente, se lo comprime reversiblemente hasta volver al volumen inicial.

DE) Trabando el volumen en 10 litros, se pone el gas en contacto térmico con la fuente a 300°K , hasta llegar al equilibrio.

- Calcule el trabajo entregado por el gas en cada etapa del ciclo.
- Calcule el trabajo total entregado. ¿Varió la energía interna del gas respecto del valor inicial al completarse el ciclo? En base a su respuesta, indique el calor absorbido por el gas durante el ciclo.
- Calcule el calor total que entregó cada una de las fuentes. ¿Cuál perdió calor? ¿Cuál lo ganó?
- Calcule la eficiencia del ciclo, definida como $\varepsilon = W/Q_1$, donde Q_1 es el calor total absorbido de la fuente a 300°K .
- Calcule la variación de entropía del gas en cada ciclo, la variación de entropía de las fuentes y la variación de entropía del universo.

Resp. a) $W_{AB}=12.3 \text{ atm l}$; $W_{BC}=W_{DA}=0$, $W_{CD}=-11.4 \text{ atm l}$; b) $Q=22.3 \text{ cal}=0.92 \text{ atm l}$;

c) $Q^{\text{caliente}}=24.6 \text{ atm l}$, $Q^{\text{fría}}=-23.7 \text{ atm l}$; d) $\varepsilon=0.037$

2) Se tiene una máquina térmica reversible que opera según el ciclo de Carnot entre dos fuentes de calor a temperaturas T_1 y T_2 , siendo $T_1 > T_2$. Si dicha máquina toma 500 kcal de la fuente a temperatura T_1 y entrega un trabajo equivalente a 300 kcal , ¿qué cantidad de calor se entrega a la fuente fría y cuánto vale la eficiencia (rendimiento) de dicha máquina?

Resp: 200 kcal y $\varepsilon=0.6$

3) Si una máquina de Carnot opera entre dos fuentes de la misma naturaleza, entregando un trabajo equivalente a 500 kcal y devolviendo a la fuente fría 300 kcal , ¿cuál es la relación entre las temperaturas absolutas de dichas fuentes?

Resp: $T_{\text{caliente}}/T_{\text{fría}}=2.67$

4) Supóngase una máquina de Carnot operando entre dos fuentes de la misma naturaleza.

- Si se quiere obtener un trabajo con una eficiencia del 6% y se cuenta con una fuente fría cuya temperatura es de 300°K , ¿a qué temperatura deberá estar la fuente caliente?
- Si con la misma máquina y las mismas fuentes, se quiere obtener un trabajo equivalente de 100 kcal , ¿cuánto vale el calor extraído de la fuente caliente, y cuánto vale el calor entregado a la fuente fría?

Resp: a) $T_{\text{caliente}}=46 \text{ }^\circ\text{C}$; b) $Q_{\text{extraído}}=1667 \text{ kcal}$, $Q_{\text{entregado}}=1567 \text{ kcal}$

- 5) Supóngase tener una máquina de Carnot operando como refrigerador, entre las temperaturas de 277 K y 300 K.
- ¿Cuánto vale su eficiencia?
 - Si se desean extraer 200 calorías de la fuente fría, ¿qué cantidad de trabajo habrá que entregarle y qué cantidad de calor se entrega a la fuente caliente?

Resp: a) 12; b) $|W|=16.6$ cal, $|Q|=216.6$ cal

- 6) Una máquina reversible lleva 1 mol de gas ideal monoatómico ($C_V = 3R/2$, $\gamma = 5/3$) a través del ciclo ABCDA, con las siguientes características en cada una de las etapas:

AB: Es una expansión isotérmica hasta duplicar el volumen $V_B = 2V_A$, con $V_A = 2$ litros

BC: Es una expansión adiabática hasta disminuir la temperatura a la mitad $T_C = T_B/2$

CD: Es una compresión hasta $V_D = V_A$ a presión constante.

DA: Se cierra el ciclo a volumen constante, aumentando la presión hasta $P_A = 16,2$ atm

- Grafique cualitativamente el diagrama P – V correspondiente.
- Calcule el calor absorbido por el gas, el cambio de energía interna y el trabajo efectuado por el gas en cada uno de los procesos y en el ciclo completo.
- Indique si este ciclo corresponde a una máquina térmica o frigorífica. Calcular su eficiencia.

Resp: b) AB: $Q=548$ cal, $W=548$ cal; BC: $Q=0$, $W=592.5$; CD: $Q=-812.5$ cal, $W=-322$ cal; DA: $Q=1080$ cal, $W=0$; c) $W_{total}=818.4$ cal, es una máquina térmica. Recibe $Q=1628$ cal y la eficiencia es $\epsilon=0.5$

- 7) Se tiene un gas que evoluciona en un proceso adiabático
- ¿Cuánto vale la variación de entropía si el proceso es reversible?
 - ¿Cómo es la variación de entropía en el proceso fuera irreversible, siendo diferentes los estados inicial y final?

Resp: a) $\Delta S=0$ b) $\Delta S>0$

- 8) Supóngase tener 1kg. de hielo a -20°C al que se le entrega calor hasta llevarlo a agua líquida a 20°C . Si la capacidad calorífica específica del hielo en esas condiciones es $0,5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ y la del agua es $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ y el calor latente de fusión del hielo es 80 cal/g
- Calcule la variación de entropía del agua en este proceso.
 - Si el proceso se dio libremente en un ambiente a 20°C constante, calcule la variación de entropía del universo. ¿Fue un proceso reversible o irreversible? Análizelo en relación al segundo principio de la termodinámica.

Resp: a) 402 cal/K ; b) $26.5 \text{ cal/K}>0$, proceso irreversible

- 9) Un cilindro térmicamente aislado cerrado por ambos extremos está provisto de un pistón sin rozamiento, conductor de calor y que divide al cilindro en dos partes. Inicialmente se sujeta al pistón en el centro, quedando a un lado 1 litro de gas ideal a 300°K y 2 atm. de presión, y al otro

Física 2 ByG / primer cuatrimestre de 2018 / Chernomoretz

lado 1 litro de gas ideal a 300°K y 1 atm. de presión. Se libera el pistón, alcanzando el equilibrio de presión y temperatura en una nueva posición. Halle la presión y la temperatura finales, y la variación de entropía.

Resp: $P_f=1.5 \text{ atm}$, $T_f=300 \text{ K}$, $\Delta S=5.7 \cdot 10^{-4} \text{ atm l/K}$

10) Se pone en contacto 1 kg de agua a 0 °C con una fuente a 100 °C.

- Calcule la variación de entropía del universo cuando el agua alcanza la temperatura de la fuente.
- Calcule la variación de entropía del universo si el agua se pone primero en contacto con una fuente a 50°C, y luego de alcanzada esta temperatura, se la pone en contacto con la fuente de 100°C.
- Calcule la variación de energía interna del agua y de las fuentes.

Resp: a) 44 cal/K; b) 23 cal/K; c) $\Delta U_{\text{agua}}=100 \text{ kcal}$, $\Delta U_{\text{fuente}}= -100 \text{ kcal}$, $\Delta U_{\text{U}}=0$

11) Un recipiente de tapa y paredes adiabáticas que contiene una masa de 1 kg de hielo a 0°C se pone en contacto a través de su base, diatérmica, con una fuente térmica de 100°C hasta que toda el agua se ha convertido en vapor a 100°C.

- ¿Cuál ha sido la variación de entropía del agua, cuál la de la fuente y cuál la del universo?
- Si usando el mismo recipiente, la masa de hielo anterior se hubiese calentado desde 0°C hasta convertirlo completamente en vapor a 100°C pero poniéndolo en contacto con una fuente a 50°C y luego con la fuente de 100°C, ¿cambia alguna de las tres respuestas anteriores? En caso negativo, justificar la respuesta; en caso afirmativo, calcular los nuevos valores.

DATOS: $C_p(\text{agua líquida}) = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$; $C_p(\text{agua vapor}) = C_p(\text{hielo}) = 0,5 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$; $L_{\text{fus}}(\text{agua})= 80 \text{ cal/g}$; $L_{\text{vap}}(\text{agua}) = 540 \text{ cal/g}$

Resp: a) $\Delta S_{\text{agua}}=2.05 \text{ kcal/K}$; $\Delta S_{\text{F}}= -1.93 \text{ kcal/K}$; $\Delta S_{\text{U}}=120 \text{ cal/K}$;
b) $\Delta S_{\text{agua}}=2.05 \text{ kcal/K}$; $\Delta S_{\text{F}}= -1.98 \text{ kcal/K}$; $\Delta S_{\text{U}}=70 \text{ cal/K}$.

12) Una sustancia mantenida a volumen constante durante todos los procesos, se halla inicialmente a una temperatura T_A . Su calor específico C_V se puede considerar constante entre $T_A-10^\circ\text{C}$ y $T_A+10^\circ\text{C}$. Se realizan dos ciclos:

Primer ciclo:

- Se pone la sustancia en contacto con una fuente de calor a $T_A+10^\circ\text{C}$, hasta que se alcance el equilibrio.
- Se la vuelve a colocar en contacto con la fuente T_A , hasta que se llegue al nuevo equilibrio.

Segundo ciclo:

- Se pone la sustancia (que ya está a temperatura T_A) en contacto con una fuente a $T_A-10^\circ\text{C}$, hasta llegar al equilibrio.
- Se la vuelve a colocar en contacto con la fuente a temperatura T_A , hasta alcanzar el equilibrio.

- Calcule la variación de entropía del universo durante el primer ciclo ($\Delta S_{\text{universo}}^1$)
- Calcule la variación de entropía del universo durante el segundo ciclo ($\Delta S_{\text{universo}}^2$)

Física 2 ByG / primer cuatrimestre de 2018 / Chernomoretz

- c) Haga el cociente entre $\Delta S_{\text{universo}}^1$ y $\Delta S_{\text{universo}}^2$. ¿Cuál de los dos ciclos produjo un mayor aumento de la entropía del universo? ¿Puede sacar alguna conclusión acerca de cómo depende “la eficiencia de la irreversibilidades para obtener S_{universo} ” con la temperatura?

13) Una máquina térmica trabaja entre $T_1 = 400^\circ\text{K}$ y $T_2 = 200^\circ\text{K}$, extrayendo en cada ciclo 10kcal de la fuente 1. La eficiencia de la máquina es un 40% de la máxima posible para dicho par de temperaturas. Calcule:

- El trabajo por ciclo.
- El calor entregado a la fuente de calor 2, por ciclo.
- Las variaciones de entropía por ciclo de la sustancia que trabaja en la máquina, de la fuente 1, de la fuente 2 y del universo.
- Idem a), b) y c), pero para la máquina que tiene la eficiencia máxima posible trabajando entre las temperaturas T_1 y T_2 .

Resp: a) 2 kcal; b) 8 kcal; c) $\Delta S_{\text{sust}}=0$, $\Delta S_{F1} = -25 \text{ cal/K}$, $\Delta S_{F2} = 40 \text{ cal/K}$, $\Delta S_u = 15 \text{ cal/K} > 0$; c) $\Delta S_{\text{sust}}=0$, $\Delta S_{F1} = -25 \text{ cal/K}$, $\Delta S_{F2} = 25 \text{ cal/K}$, $\Delta S_u = 0 \text{ cal/K}!!!$ (lógico, es reversible)