

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  $300^\circ\text{K}$ , 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  $200^\circ\text{K}$  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  $300^\circ\text{K}$ , 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  $\varepsilon = \frac{W}{Q_1}$ , donde  $Q_1$  es el calor total absorbido de la fuente a  $300^\circ\text{K}$ .
- 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 500kcal de la fuente a temperatura  $T_1$  y entrega un trabajo equivalente a 300kcal, ¿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 500kcal y devolviendo a la fuente fría 300kcal, ¿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  $300^\circ\text{K}$ , ¿a qué temperatura deberá estar la fuente caliente?
- Si con la misma máquina y las mismas fuentes, se quiere obtener un trabajo equivalente de 100kcal, ¿cuánto vale el calor extraído de la fuente caliente, y cuánto vale el calor entregado a la fuente fría?

Resp: a)  $T_{\text{caliente}}=46 \text{ oC}$ ; 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  $-20^\circ\text{C}$  al que se le entrega calor hasta llevarlo a agua líquida a  $20^\circ\text{C}$ . 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  $80 \text{ cal/g}$
- Calcule la variación de entropía del agua en este proceso.
  - Si el proceso se dio libremente en un ambiente a  $20^\circ\text{C}$  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)  $402 \text{ cal/K}$ ; 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  $300^\circ\text{K}$  y 2 atm. de presión, y al

## Física 2 ByG / curso de verano 2017

otro 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 / curso de verano 2017

- c) Haga el cociente entre  $\Delta S^1_{\text{universo}}$  y  $\Delta S^2_{\text{universo}}$ . ¿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  $S_{\text{universo}}$ ” 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)