

## Física 3B 2019

### Guía 03: Entropía

Asorey

25 de Abril de 2019

39. **El cuadrado inverso** Una máquina frigorífica está equipada con  $n = 1000$  moles de un gas ideal di-atómico inicialmente ocupando un volumen  $V_A = 112 \text{ m}^3$  a una temperatura  $T_A = 6825 \text{ K}$ , y que opera con el siguiente ciclo: 1) compresión isobárica hasta llegar a un quinto del volumen inicial; 2) enfriamiento isocórico hasta alcanzar un quinto de la temperatura inicial; 3) expansión isobárica; 4) calentamiento isocórico.

- Complete el cuadro de estados, encontrando los valores de  $P$ ,  $V$ ,  $T$  y  $n$  para cada uno de los estados  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $D$ .
- En el diagrama  $PV$  ubique los estados y dibuje las transformaciones experimentadas por el gas. Luego hágalo para un diagrama  $TS$ .
- Complete el cuadro de transformaciones, encontrando los cambios de energía interna, calor, trabajo y entropía en cada transformación.
- Calcule el rendimiento de la máquina frigorífica usando la definición de una máquina térmica, pero adaptada a este caso:  $\eta = W_{\text{neto}}/Q_{<0}$ .
- Compare los valores obtenidos con los correspondientes del ejercicio 27 (Guía 02).
- Calcule el cambio de entropía total del Universo. Explique.

**R:** a)  $P_A = 506634,4 \text{ Pa}$ ,  $V_A = 112 \text{ m}^3$ ,  $n_A = 1000 \text{ mol}$ ,  $T_A = 6825 \text{ K}$ ;  $P_B = 506634,4 \text{ Pa}$ ,  $V_B = 22,4 \text{ m}^3$ ,  $n_B = 1000 \text{ mol}$ ,  $T_B = 1365 \text{ K}$ ;  $P_C = 101325 \text{ Pa}$ ,  $V_C = 22,4 \text{ m}^3$ ,  $n_C = 1000 \text{ mol}$ ,  $T_C = 273 \text{ K}$ ;  $P_D = 101325 \text{ Pa}$ ,  $V_D = 112 \text{ m}^3$ ,  $n_D = 1000 \text{ mol}$ ,  $T_D = 1365 \text{ K}$ . c)  $Q_1 = -158,9 \text{ MJ}$ ,  $\Delta U_1 = -113,5 \text{ MJ}$ ,  $W_1 = -45,4 \text{ MJ}$ ;  $Q_2 = -22,7 \text{ MJ}$ ,  $\Delta U_2 = -22,7 \text{ MJ}$ ,  $W_2 = 0$ ;  $Q_3 = 31,8 \text{ MJ}$ ,  $\Delta U_3 = 22,7 \text{ MJ}$ ,  $W_3 = 9,1 \text{ MJ}$ ;  $Q_4 = 113,5 \text{ MJ}$ ,  $\Delta U_4 = 113,5 \text{ MJ}$ ,  $W_4 = 0$ . d)  $\eta = (-36,3)/(-181,6) = 0,2 = 20\%$ ; f)  $\Delta S_{\text{sis}} = 0$ ;  $\Delta S_{\text{med}} = 159,64 \text{ kJ/K}$ ;  $\Delta S_U = 159,64 \text{ kJ/K} > 0 \rightarrow \text{irreversible}$ . Ayuda:  $\Delta S_{\text{med}} = +\frac{|Q_1|}{T_B} + \frac{|Q_2|}{T_C} - \frac{|Q_3|}{T_D} - \frac{|Q_4|}{T_A}$ .

#### 40. Entropía en aumento, I

Para mantener la temperatura dentro de una casa a  $293 \text{ K}$  se necesita mantener funcionando un sistema de calefacción con una potencia térmica de  $30 \text{ kW}$  por día cuando la temperatura en el exterior es de  $266 \text{ K}$ . ¿Cuál es la tasa de incremento de la entropía total del Universo provocada por esta casa?

**R:**  $\Delta S_U = +10,4 \text{ W/K} \rightarrow \text{irreversible}$ .

#### 41. Variación de entropía, I

¿Cuál es la variación de entropía de  $1 \text{ mol}$  de un gas ideal monoatómico si su temperatura aumenta de  $100 \text{ K}$  a  $300 \text{ K}$  en una transformación: a) isocórica; b) isobárica; c) adiabática y reversible.

**R:** a)  $\Delta S = 13,7 \text{ J/K}$ ; b)  $\Delta S = 22,9 \text{ J/K}$ ; c)  $\Delta S = 0$ .

#### 42. Variación de entropía, II

Calcule la variación de entropía cuando un mol de un gas ideal monoatómico se lleva desde  $T_A = 273 \text{ K}$  y  $P_A = 2 \text{ atm}$  hasta un estado  $T_B = 233 \text{ K}$  y  $P_B = 0,4 \text{ atm}$ .

**R:**  $\Delta S = 10,1 \text{ J/K}$

#### 43. Ciclo irreversible

Una determinada cantidad de Helio está inicialmente a una presión  $P_A = 16 \text{ atm}$ ,  $T_A = 600 \text{ K}$  y ocupa un volumen  $V_A = 1 \text{ L}$ . Se somete a una expansión isotérmica de manera cuasiestática (reversible) hasta un volumen  $V_B = 4,0 \text{ L}$ . Luego, es comprimido cuasiestática e isobáricamente hasta que su volumen  $V_C$  y temperatura  $T_C$  le permiten volver de manera adiabática y reversible al estado original  $A$ .

- Complete el cuadro de estados y de transformaciones. Incluya para este último los cambios de entropía en cada transformación.
- Realice un esquema del ciclo en un diagrama  $PV$  y en un diagrama  $TS$ .
- Calcule la eficiencia del ciclo;
- Calcule el cambio de entropía del Universo

**R:** a)  $P_A = 1621200 \text{ Pa}$ ,  $V_A = 0,001 \text{ m}^3$ ,  $n_A = 0,325 \text{ mol}$ ,  $T_A = 600 \text{ K}$ ;  $P_B = 405307,5 \text{ Pa}$ ,  $V_B = 0,004 \text{ m}^3$ ,  $n_B = 0,325 \text{ mol}$ ,  $T_B = 600 \text{ K}$ ;  $P_C = 405307,5 \text{ Pa}$ ,  $V_C = 0,0023 \text{ m}^3$ ,  $n_C = 0,325 \text{ mol}$ ,  $T_C = 344,6 \text{ K}$ ;  $Q_1 = 2247,5 \text{ J}$ ,  $\Delta U_1 = 0$ ,  $W_1 = 2247,5 \text{ J}$ ,  $\Delta S_1 = 3,75 \text{ J/K}$ ;  $Q_2 = -1725,2 \text{ J}$ ,  $\Delta U_2 = -1035,1 \text{ J}$ ,  $W_2 = -690,1 \text{ J}$ ,  $\Delta S_2 = -3,75 \text{ J/K}$ ;  $Q_3 = 0$ ,  $\Delta U_3 = 1035,1 \text{ J}$ ,  $W_3 = -1035,1 \text{ J}$ ,  $\Delta S_3 = 0$ . c)  $\eta = (522,3 \text{ J}/2247,5 \text{ J}) = 0,232 = 23,2\%$ ;  $\eta_C = 42,6\%$ . d)  $\Delta S_{\text{sis}} = 0$ ;  $\Delta S_{\text{med}} = 1,26 \text{ kJ/K}$ ;  $\Delta S_U = 1,26 \text{ kJ/K} > 0 \rightarrow \text{irreversible}$ .

#### 44. Entropía del hielo

Calcule el cambio de entropía de un bloque de hielo de  $54,0 \text{ g}$  que se encuentra a  $250 \text{ K}$  cuando es convertido de manera reversible y a presión constante, en vapor a  $390 \text{ K}$ .

**R:**  $\Delta S = (10 + 66 + 70,45 + 326,8 + 5) \text{ J/K} = 478,25 \text{ J/K}$ .

#### 45. Ciclo de Stirling

Cien moles de un gas ideal biatómico es sometido a un ciclo de Stirling internamente reversible. El gas, inicialmente a una presión  $p_A = 150 \text{ kPa}$  y  $T_A = 300 \text{ K}$ , experimenta una compresión isoterma hasta alcanzar el estado  $B$ , seguido de una compresión isócara hasta una presión  $p_C = 3 \text{ MPa}$  y  $T_C = 2000 \text{ K}$ . Luego se realiza una expansión isotérmica hasta alcanzar el estado  $D$  tal que  $V_D = V_A$ . El ciclo se cierra con una decompresión isócara hasta volver al estado  $A$ .

- Grafique el ciclo en un diagrama  $PV$  y en un diagrama  $TS$ .
- Complete el cuadro de estados y el cuadro de transformaciones, calculando además los cambios de entropía del gas en cada transformación.
- Calcule la variación neta de entropía del Universo
- Calcule el rendimiento del ciclo y compárelo con el de un ciclo de Carnot equivalente. Analice el resultado en función del teorema de Carnot.

**R:** b)  $P_A = 150000 \text{ Pa}$ ,  $V_A = 1,663 \text{ m}^3$ ,  $n_A = 100 \text{ mol}$ ,  $T_A = 300 \text{ K}$ ;  $P_B = 450000 \text{ Pa}$ ,  $V_B = 0,554 \text{ m}^3$ ,  $n_B = 100 \text{ mol}$ ,  $T_B = 300 \text{ K}$ ;  $P_C = 3000000 \text{ Pa}$ ,  $V_C = 0,554 \text{ m}^3$ ,  $n_C = 100 \text{ mol}$ ,  $T_C = 2000 \text{ K}$ ;  $P_D = 1000000 \text{ Pa}$ ,  $V_D = 1,663 \text{ m}^3$ ,  $n_D = 100 \text{ mol}$ ,  $T_D = 2000 \text{ K}$ ;  $Q_1 = -274016 \text{ J}$ ,  $\Delta U_1 = 0$ ,  $W_1 = -274016 \text{ J}$ ,  $\Delta S_1 = -913,4 \text{ J/K}$ ;  $Q_2 = 3553450 \text{ J}$ ,  $\Delta U_2 = 3553450 \text{ J}$ ,  $W_2 = 0$ ,  $\Delta S_2 = 3943,2 \text{ J/K}$ ;  $Q_3 = 1826773 \text{ J}$ ,  $\Delta U_3 = 0$ ,  $W_3 = 1826773 \text{ J}$ ,  $\Delta S_3 = 913,4 \text{ J/K}$ ;  $Q_4 = -3553450 \text{ J}$ ,  $\Delta U_4 = -3553450 \text{ J}$ ,  $W_4 = 0$ ,  $\Delta S_4 = -3943,2 \text{ J/K}$ . c)  $\Delta S_{\text{sis}} = 0$ ;  $\Delta S_{\text{med}} = 10011 \text{ J/K}$ ;  $\Delta S_U = 10011 \text{ J/K} > 0 \rightarrow \text{irreversible}$ . d)  $\eta = 0,29 = 29\%$ ;  $\eta_C = 85\%$ .

#### 46. Ciclo Otto

Dibuje el ciclo Otto del problema 36 (Guía 02) en un diagrama  $TS$  identificando cada transformación y los cambios de energía con el medio.

#### 47. Verificando el segundo principio

Compruebe el cumplimiento del segundo principio de la termodinámica en para los problemas 26, 27, 28, 29, 30 y 36, verificando que la entropía total del universo no decrezca en ninguno de esos casos. Identifique los ciclos reversibles y los ciclos irreversibles.

**R:** trabajo personal individual.

#### 48. Aumento de entropía, II

Un gas ideal biatómico se encuentra en el interior de un cilindro de paredes adiabáticas. El estado inicial del gas:  $P_A = 101325 \text{ Pa}$ ,  $T_A = 293 \text{ K}$  y  $V_A = 100 \text{ cm}^3$ . La tapa del cilindro es un pistón móvil también adiabático. De manera brusca se coloca una pesa en el pistón y la presión en el interior aumenta a  $P_B = 2P_A$ . Para hacerlo debe tener en cuenta que si bien la transformación es adiabática, esta no es reservable, y por lo tanto no es posible aplicar  $pV^\gamma = \text{cte}$ . Entonces:

- Verifique que la temperatura final está dada por  $T_B = \left( \frac{r(\gamma-1)+1}{\gamma} \right) T_A$ , donde  $r = p_B/p_A$ .
- Luego, a partir de esta expresión y utilizando la ecuación de estado, muestre que el volumen final en este caso está dado por  $V_B = \left( \frac{r(\gamma-1)+1}{\gamma r} \right) V_A$ .
- Determine el estado final del gas,  $B$ ,
- Calcule el trabajo total irreversible realizado sobre el sistema.
- Calcule la variación de entropía del sistema, del medio y del Universo, y verifique que el proceso fue irreversible.
- Finalmente, compare los resultados obtenidos con los que se obtienen durante una compresión adiabática reversible desde  $P_A$  a  $P_B$ .

**R:** c)  $n_B = 0,00416 \text{ mol}$ ;  $P_B = 202650 \text{ Pa}$ ;  $V_B = 64,3 \text{ cm}^3$ ;  $T_B = 376,7 \text{ K}$ . d)  $W_i = p_B(V_B - V_A) = -7,24 \text{ J}$ ;  $\Delta U = 7,24 \text{ J}$ . e)  $\Delta S_{\text{sis}} = 6,45 \text{ mJ/K}$ ;  $\Delta S_{\text{med}} = 0$  (adiabático);  $\Delta S_U = 6,45 \text{ mJ/K} > 0 \rightarrow$  irreversible. f) En el caso reversible, vale  $pV^\gamma = \text{cte}$ , y por lo tanto el estado final del gas sería:  $n_B = 0,00416 \text{ mol}$ ;  $P_B = 202650 \text{ Pa}$ ;  $V_B = 60,95 \text{ cm}^3$ ;  $T_B = 357 \text{ K}$ . El trabajo realizado sobre el sistema hubiera sido  $W_r = -5,55 \text{ J}$  y por ende  $\Delta U = 5,55$ . Y dado que hubiera sido un proceso adiabático y reversible, ergo isentrópico,  $\Delta S = 0$ .