

Física 3B+4A 2018

Guía 05: Segundo principio

Asorey

30 de Mayo de 2018

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 03).
- 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) $\Delta S_{\text{sis}} = 0$; $\Delta S_{\text{med}} = 159,64 \text{ kJ/K}$; $\Delta S_U = 159,64 \text{ kJ/K} > 0 \rightarrow$ 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 K se necesita mantener funcionando un sistema de calefacción con una potencia térmica de 30 kW por día cuando la temperatura en el exterior es de 266 K . ¿Cuál es la tasa de incremento de la entropía total del Universo provocada por esta casa?

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

41. Variación de entropía, I

¿Cuál es la variación de entropía de 1 mol de un gas ideal monoatómico si su temperatura aumenta de 100 K a 300 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 K cuando es convertido de manera reversible y a presión constante, en vapor a 390 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) $P_A = 150000 \text{ Pa}$, $V_A = 1,663 \text{ m}^3$, $n_A = 100 \text{ mol}$, $T_A = 300 \text{ K}$; $P_B = 450000 \text{ Pa}$, $V_B = 0,554 \text{ m}^3$, $n_B = 100 \text{ mol}$, $T_B = 300 \text{ K}$; $P_C = 3000000 \text{ Pa}$, $V_C = 0,554 \text{ m}^3$, $n_C = 100 \text{ mol}$, $T_C = 2000 \text{ K}$; $P_D = 1000000 \text{ Pa}$, $V_D = 1,663 \text{ m}^3$, $n_D = 100 \text{ mol}$, $T_D = 2000 \text{ K}$; $Q_1 = -274016 \text{ J}$, $\Delta U_1 = 0$, $W_1 = -274016 \text{ J}$, $\Delta S_1 = -913,4 \text{ J/K}$. $Q_2 = 3553450 \text{ J}$, $\Delta U_2 = 3533450 \text{ J}$, $W_2 = 0$, $\Delta S_2 = 3943,2 \text{ J/K}$. $Q_3 = 1826773 \text{ J}$, $\Delta U_3 = 0$, $W_3 = 1826773 \text{ J}$, $\Delta S_3 = 913,4 \text{ J/K}$. $Q_4 =$

-3553450 J , $\Delta U_2 = -3533450 \text{ J}$, $W_2 = 0$, $\Delta S_2 = -3943,2 \text{ J/K}$. c) $\Delta S_{\text{sis}} = 0$; $\Delta S_{\text{med}} = 10011 \text{ J/K}$; $\Delta S_U = 10011 \text{ J/K} > 0 \rightarrow$ irreversible. d) $\eta = 0,29 = 29\%$; $\eta_C = 85\%$.

46. Ciclo Otto

Dibuje el ciclo Otto del problema 36 (guía 04) 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 decrece 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, $\Delta S = 0$.