

Primer principi de la termodinàmica

1. A les cascades del Niàgara, l'aigua cau 50 m. (a) Si la pèrdua de l'energia potencial incrementa l'energia interna de l'aigua, calculeu l'increment de la temperatura. (b) Feu el mateix per a les cascades de Yosemite, on l'aigua cau 740 m. (aquests increments de temperatura no s'observen perquè l'aigua s'evapora en caure).

Sol.: (a) 0,117 K; (b) 1,74 K.

2. Durant una transformació, un sistema absorbeix 1500 J de calor i realitza 900 J de treball. Quina és la variació d'energia interna dels sistema?

Sol.: 600 J.

Treball fet pel gas ideal.

3. L'estat inicial d'un mol de gas ideal és de $p_1 = 3$ atm, $V_1 = 1$ L i $U_1 = 456$ J. El seu estat final és de $p_2 = 2$ atm, $V_2 = 3$ L i $U_2 = 912$ J. Per cadascun dels quatre processos quasiestàtics que es descriuen a continuació, i que porten de l'estat inicial a l'estat final, representar el diagrama PV i calculeu el treball realitzat pel gas i la calor absorbida.
- (a) Es deixa expandir el gas fins un volum de 3 L a pressió constant. Seguidament es refreda a volum constant fins una pressió de 2 atm.
 - (b) El gas es refreda a volum constant fins una pressió de 2 atm. Després es deixa expandir a pressió constant fins un volum de 3 L.
 - (c) El gas s'expansiona isotèrmicament fins un volum de 3 L i una pressió de 1 atm. S'escalfa llavors a volum constant fins una pressió de 2 atm.
 - (d) El gas s'expansiona i rep calor de manera que segueix una recta al diagrama PV des de l'estat inicial fins al final.

Sol.: (a) 6 atm·L ; 10,5 atm·L; (b) 4 atm·L; 8,50 atm·L; (c) 3,30 atm·L; 7,8 atm·L; (d) 5 atm·L; 9,5 atm·L.

4. Un mol de gas ideal diatòmic s'escalfa quasiestàticament (és a dir de forma reversible) a volum constant des de 300 K fins 600 K. (a) Determineu l'increment d'energia interna, la calor absorbida i el treball realitzat. (b) Feu el mateix si el gas s'escalfa a pressió constant entre 300 K i 600 K.

Sol.: (a) $\Delta U = 6,24$ kJ, $W = 0$ J, $Q = 6,24$ kJ, (b) $\Delta U = 6,24$ kJ, $W = 2,49$ kJ, $Q = 8,73$ kJ

Transformacions quasiestàtics d'un gas ideal

5. Un mol de gas ideal monoatòmic ($\gamma = 5/3$) s'expansiona adiabàticament i quasiestàticament des d'una pressió de 10 atm i temperatura de 0°C fins un estat de pressió de 2 atm. Determineu: (a) els volums inicials i finals; (b) la temperatura final; (c) el treball realitzat pel gas.

Sol.: (a) $V_o = 2,24$ L; $V_f = 5,88$ L; (b) 143 K (c) 1,62 kJ.

6. Un gas ideal a la temperatura de 20°C es comprimeix adiabàticament i quasiestàtica fins la meitat del seu volum original. Calculeu la seva temperatura final si: (a) $C_v = \frac{3}{2}nR$ (monoatòmic); (b) $C_v = \frac{5}{2}nR$ (diatòmic).

Sol.: (a) 465 K; (b) 387 K.

7. Un mol i mig d'heli s'expansiona adiabàticament i quasiestàticament des d'una pressió inicial de 5 atm i una temperatura inicial de 500 K fins a una pressió final de 1 atm. Calculeu: (a) la temperatura final; (b) el volum final; (c) el treball fet pel gas i (d) la variació de l'energia interna del gas.

Sol.: (a) 263 K; (b) 32,33 L; (c) 4,44 kJ; (d) -4,44 kJ.

8. Cinc mols d'un gas ideal diatòmic, inicialment a 1 atm i a 25°C, es comprimeixen reversiblement i isotèrmicament fins a un volum igual a la dècima part del seu volum inicial i després es deixen expandir adiabàticament i reversiblement fins que el gas arriba a la pressió inicial de 1 atm. Calculeu la calor bescanviada, el treball realitzat i la variació de l'energia interna del gas.

Sol. $\Delta U_{12} = 0$, $Q_{12} = W_{12} = -28,5$ kJ; $\Delta U_{23} = -14,9$ kJ, $Q_{23} = 0$, $W_{23} = 14,9$ kJ.

9. Un gas ideal amb un volum inicial V_1 i una pressió P_1 s'expansiona adiabàticament i quasiestàticament fins un volum V_2 i una pressió P_2 . Calculeu el treball realitzat pel gas i comproveu que el resultat és el següent:

$$W_{adiab} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1}$$

10. Demostreu que el pendent de la corba adiabàtica que passa per un punt en un diagrama PV és γ vegades el pendent de la corba isoterma que passa pel mateix punt.

Màquines tèrmiques i frigorífiques

11. Dos mols d'un gas ideal monoatòmic tenen una pressió inicial $p_1 = 2$ atm i un volum inicial de $V_1 = 2$ L. Sotmetem el gas al següent cicle quasiestàtic: s'expandeix isotèrmicament fins que té un volum $V_2 = 4$ L. Després s'escalfa a volum constant fins que té una pressió $p_3 = 2$ atm. A continuació es refreda a pressió constant fins que torna a l'estat inicial. (a) Representeu aquest cicle en un diagrama PV. (b) Calculeu les temperatures T_1 , T_2 i T_3 . (c) Calculeu la calor subministrada al gas i el treball realitzat pel gas en cada part del cicle.

Sol.: (b) $T_1 = T_2 = 24,4$ K, $T_3 = 48,8$ K; (c) $\Delta U_{12} = 0$ J, $Q_{12} = W_{12} = 281$ J; $W_{23} = 0$ J, $\Delta U_{23} = Q_{23} = 608$ J; $\Delta U_{31} = -608$ J, $Q_{31} = -1013$ J, $W_{31} = -405$ J.

12. Una màquina frigorífica consumeix 150 J de treball per extreure 500 J de calor del compartiment fred. (a) Quina és la seva eficàcia? (b) Quin calor transmet a l'exterior?

Sol.: (a) 3,33; (b) 650 J.

13. Una màquina de Carnot treballa entre dos focus tèrmics a que es troben a 300 K i 200 K. (a) Quin és el seu rendiment? (b) Si absorbeix 100 J del focus calent a cada cicle, quin treball realitza? (c) Quina quantitat de calor cedeix a cada cicle? (d) Quin és el coeficient d'eficàcia de la màquina quan treballa com a refrigerador entre els mateixos focus?

Sol.: (a) $1/3$; (b) 33,3 J; (c) -66,7 J; (d) 2.

14. Quin és el coeficient d'eficàcia d'una màquina frigorífica de Carnot que treballa amb dos focus tèrmics que es troben a -15 i 20°C ?

Sol.: 7,4.

15. A cada cicle una màquina extreu 150 J de un focus a 100°C i dona 125 J a un focus a 20°C . (a) Quin és el rendiment d'aquesta màquina? (b) Quina és la relació entre el seu rendiment i el rendiment màxim que podria tenir?

Sol. (a) 0,167; (b) 78%

16. La relació entre el rendiment d'un motor i el seu rendiment màxim és del 85%. A cada cicle extreu 200 kJ de calor d'un focus calent a 500 K i dona calor a un focus fred a 200 K. (a) Quin és el rendiment d'aquest motor? (b) Quant treball realitza a cada cicle? (c) Quina quantitat de calor s'elimina a cada cicle?

Sol.: (a) 0,51; (b) 102 kJ; (c) -98 kJ.

17. La caldera d'un reactor nuclear escalfa aigua a 285°C i l'aigua de refrigeració es troba a 40°C . El rendiment real de la central és del 34%. (a) Quin és el límit teòric pel rendiment de la central? (b) Quina és la raó entre la potència perduda i la que és perdria si el rendiment fos màxim?

Sol.: (a) 44%; (b) 1,18.

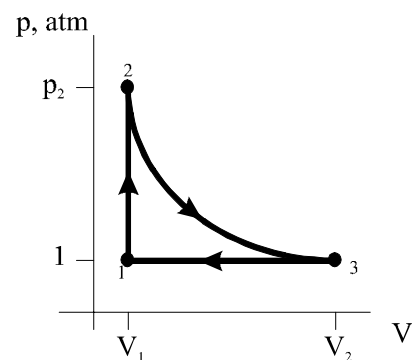
18. Una màquina té una substància formada per 1 mol d'un gas ideal monoatòmic. El cicle comença amb una pressió i volum inicials de $p_1=1$ atm i $V_1=24,6$ L. El gas s'escalfa a volum constant fins $p_2=2$ atm i després s'expandeix a pressió constant fins arribar a tenir $V_3=49,2$ L. En aquestes dues etapes la calor és absorbida. Seguidament el gas es refreda a volum constant fins que la seva pressió torna a ser de 1 atm. Finalment es comprimeix a pressió constant fins arribar de nou a l'estat inicial. En aquestes dues últimes etapes la calor es cedeix. Totes les etapes són reversibles i quasiestàtiques. (a) Dibuixeu un diagrama PV del cicle. (b) Calculeu el treball, la calor i la variació de l'energia interna per cada etapa del cicle. (c) Trobeu el rendiment del cicle.

Sol.: (b) $W_{12} = 0$ atm·L, $Q_{12} = \Delta U_{12} = 36,9$ atm·L;
 $W_{23} = 49,2$ atm·L, $Q_{23} = 123$ atm·L, $\Delta U_{23} = 73,8$ atm·L;
 $W_{34} = 0$ atm·L, $Q_{34} = \Delta U_{34} = -73,8$ atm·L;
 $W_{41} = -24,6$ atm·L, $Q_{41} = -61,5$ atm·L, $\Delta U_{41} = -36,9$ atm·L;
 (c) 15,4 %

19. Una màquina que utilitza 1 mol d'un gas ideal de $C_v = 21 \text{ J/K}$ inicialment a $V_i = 24,6 \text{ L}$ i $T_i = 400 \text{ K}$ treballa en un cicle consistent en 4 etapes: (1) expansió isotèrmica a 400 K fins un volum final el doble de l'inicial; (2) refredament fins a 300 K a volum constant; (3) compressió isotèrmica fins el volum inicial; i (4) escalfament a volum constant fins la temperatura inicial de 400 K . (a) Dibuixeu el cicle en un diagrama PV , (b) trobeu el treball fet pel gas, el calor absorbida i la variació d'energia interna a cada etapa del cicle i (c) determineu el seu rendiment.

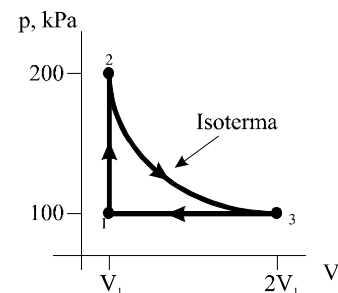
Sol.: (b) $W_{12} = Q_{12} = 2305 \text{ J}$, $\Delta U_{12} = 0 \text{ J}$;
 $W_{23} = 0 \text{ J}$, $Q_{23} = \Delta U_{23} = -2100 \text{ J}$;
 $W_{34} = Q_{34} = -1728 \text{ J}$, $\Delta U_{34} = 0 \text{ J}$;
 $W_{41} = 0 \text{ J}$, $Q_{41} = \Delta U_{41} = 2100 \text{ J}$;
 (c) 13,1 %

20. En el cicle de la figura, un mol de gas ideal ($\gamma = 1,4$) es troba inicialment a 1 atm i 0°C . El gas s'escalfa a volum constant fins una temperatura de $T_2 = 150^\circ\text{C}$ i tot seguit s'expansiona adiabàticament i reversiblement fins que la seva pressió torna a ser de 1 atm . Després es comprimeix a pressió constant fins l'estat inicial. Calculeu: (a) la temperatura T_3 a la que arriba després de l'expansió adiabàtica. (b) la calor absorbida o cedida a cada procés, (c) el rendiment del cicle, (d) el rendiment d'un cicle de Carnot que operés entre les mateixes temperatures extremes del cicle.



Sol.: (a) 373 K ; (b) $Q_{12} = 3117 \text{ J}$, $Q_{23} = 0 \text{ J}$, $Q_{31} = -2917 \text{ J}$; (c) 6,4%; (d) 35,5%.

21. Un mol d'un gas ideal monoatòmic amb un volum inicial de $V_i = 25 \text{ L}$ segueix el cicle indicat a la figura. Tots els processos són quasiestàtics. Calculeu: (a) la temperatura a cada estat del cicle, (b) la calor absorbida o cedida a cada etapa, (c) el rendiment del cicle.



Sol.: (a) $T_1 = 301 \text{ K}$, $T_2 = T_3 = 601 \text{ K}$, (b) $Q_{12} = 3,75 \text{ kJ}$, $Q_{23} = 3,47 \text{ kJ}$, $Q_{31} = -6,25 \text{ kJ}$; (c) 0,134.

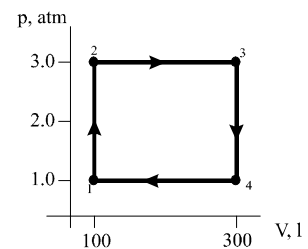
22. Un mol de gas ideal, inicialment a 100°C , descriu el següent cicle reversible: expansió isotèrmica fins a un volum doble de l'inicial, expansió adiabàtica fins a un volum triple de l'inicial, compressió isotèrmica i, compressió adiabàtica fins a l'estat inicial. La calor molar del gas a volum constant és igual a $5/2 R$. Calculeu la calor i el treball intercanviat. Calculeu també la variació de l'energia interna.

Sol.: $\Delta U_{12} = 0$, $Q_{12} = W_{12} = 2,15 \text{ kJ}$; $\Delta U_{23} = -1,16 \text{ kJ}$, $W_{23} = 1,16 \text{ kJ}$, $Q_{23} = 0$;
 $\Delta U_{34} = 0$, $Q_{34} = W_{34} = -1,8 \text{ kJ}$; $\Delta U_{41} = 1,16 \text{ kJ}$, $W_{41} = -1,16 \text{ kJ}$, $Q_{41} = 0$

23. En un cilindre d'un motor tèrmic tenim un litre d'un gas diatòmic a una pressió, p_1 , de 5 atm i temperatura, T_1 , de 300 K. S'expandeix adiabàticament fins a una pressió, p_2 , de 1 atm. Després, es comprimeix a pressió constant fins que el seu volum és el mateix que a l'inici. Finalment, per completar el cicle, s'escalfa a volum constant fins assolir l'estat inicial. (a) Determineu la pressió, el volum i la temperatura al final de les tres transformacions i representeu el diagrama PV. (b) Calculeu el treball i el calor bescanviats en cada transformació. (c) Calculeu el rendiment del cicle i d'un cicle de Carnot que treballi en el mateix interval de temperatures.

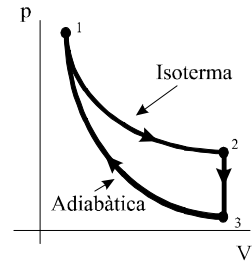
Sol.: (a) $p_2 = 1$ atm, $V_2 = 3,16$ L, $T_2 = 189$ K; $p_3 = 1$ atm, $V_3 = 1,0$ L, $T_3 = 60$ K; (b) $W_{12} = 4,608$ atm·L, $Q_{12} = 0$ atm·L; $W_{23} = -2,16$ atm·L, $Q_{23} = -7,55$ atm·L; $W_{31} = 0$ atm·L, $Q_{31} = 10$ atm·L; (c) 24,5% i 80%.

24. Un gas ideal ($\gamma = 1,4$) segueix el cicle de la figura. La temperatura inicial, T_1 , és de 200 K. Calculeu: (a) les temperatures de la resta d'estats del cicle, i (b) el rendiment del cicle.



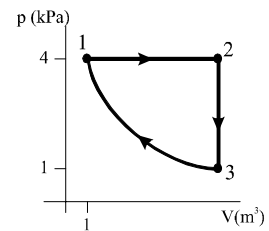
Sol.: (a) $T_2 = T_4 = 600$ K, $T_3 = 1800$ K; (b) 0,154.

25. Una màquina fa que 1 mol d'un gas ideal monoatòmic segueixi el cicle de la figura, amb $p_1 = 5 \cdot 10^6$ Pa, $p_3 = 1 \cdot 10^6$ Pa i $T_1 = 550$ K. Trobeu: (a) Els volums als estats 1, 2 i 3, i la temperatura a l'estat 3. (b) El treball, la variació d'energia interna i la calor absorbida/cedida a cada etapa. (c) Quin és el rendiment del cicle?



Sol.: (a) $V_1 = 0,914$ L, $V_2 = V_3 = 2,402$ L; (b) $W_{12} = Q_{12} = 4,42$ kJ, $\Delta U_{12} = 0$ J; $W_{23} = 0$ J, $Q_{23} = \Delta U_{23} = -3,26$ kJ; $W_{31} = -3,26$ kJ, $Q_{31} = 0$ J, $\Delta U_{31} = 3,26$ kJ; (c) 26 %.

26. Un mol d'un gas ideal monoatòmic segueix el cicle de la figura. El procés 31 és isotèrmic. (a) Trobeu el volum al punt 3. (b) Calculeu el treball, la variació d'energia interna i la calor absorbida/cedida a cada etapa. (c) Determineu el rendiment del cicle



Sol.: (a) $V_3 = 4$ m³; (b) $W_{12} = 12,0$ kJ, $\Delta U_{12} = 18$ kJ, $Q_{12} = 30,0$ kJ; $W_{23} = 0$ J, $Q_{23} = \Delta U_{23} = -18,0$ kJ; $Q_{31} = W_{31} = -5,54$ kJ; (c) 21,5 %.

27. Dos mols d'un gas ideal diatòmic s'utilitzen en una màquina tèrmica que segueix el següent cicle: partint d'un estat inicial a pressió 5 atm i volum 10 L pateix una evolució isobàrica fins a duplicar el volum inicial; a continuació, una isoterma el porta a un volum de 30 L; aleshores, seguint una isòcora es disminueix la pressió fins un quart estat; aquest estat és tal que una adiabàtica pot tornar el cas al seu estat inicial. (a) Determineu la pressió, el volum i la temperatura al final de les transformacions i representeu el diagrama PV. (b) Calculeu el rendiment del cicle i d'un cicle de Carnot que treballi en el mateix interval de temperatures.

Sol.: (a) $p_1 = 5$ atm, $V_1 = 10$ L, $T_1 = 304$ K; $p_2 = 5$ atm, $V_2 = 20$ L, $T_2 = 609$ K; $p_3 = 3,33$ atm, $V_3 = 30$ L, $T_3 = 609$ K; $p_4 = 1,074$ atm, $V_4 = 30$ L, $T_4 = 196$ K; (c) 21,4 %, 67,8%.

28. Cent mols d'un gas ideal diatòmic segueixen el següent cicle: partint d'un estat inicial a pressió, p_1 , 3 atm i temperatura, T_1 , 500 K s'expandeix isotèrmicament fins assolir una pressió, p_2 , de 1 atm; després es comprimeix a pressió constant fins un tercer estat, des del qual es pot fer una compressió adiabàtica que torna el gas al seu estat inicial. (a) Determineu la pressió, el volum i la temperatura al final de les transformacions i representeu el diagrama PV . (b) Calculeu el rendiment del cicle i d'un cicle de Carnot que treballi en el mateix interval de temperatures.

Sol.: (a) $p_1= 3$ atm, $V_1= 1367$ L, $T_1=500$ K; $p_2= 1$ atm, $V_2= 4103$ L, $T_2=500$ K; $p_3= 1$ atm, $V_3= 2998$ L, $T_3=365$ K; (c) 14,2 %; 26,9%.

29. Una màquina té com a fluid de treball una certa quantitat d'un gas monoatòmic. Inicialment, a una pressió de 0,6 atm, la seva temperatura és de -10°C i el gas ocupa un volum de 0,5 litres. Una transformació isoterma el porta a un volum de 0,3 litres. Després augmenta la seva pressió tot mantenint el volum constant, i finalment una transformació adiabàtica el torna a l'estat inicial. (a) Determineu la pressió, el volum i la temperatura al final de les transformacions i representeu el diagrama PV . (b) El treball, la variació d'energia interna i la calor absorbida/cedida a cada etapa. (c) Calculeu el rendiment del cicle i d'un cicle de Carnot que treballi en el mateix interval de temperatures.

Sol.: (a) $p_2= 1$ atm, $V_2= 0,3$ L, $T_2=263$ K; $p_3= 1,406$ atm, $V_3= 0,3$ L, $T_3=368$ K; (b) $Q_{12}=W_{12} = -0,153$ atm·L, $\Delta U_{12} = 0$ atm·L; $W_{23} = 0$ atm·L, $\Delta U_{23} = Q_{23} = 0,182$ atm·L; $W_{31} = 0,182$ atm·L, $Q_{31} = 0$ atm·L, $\Delta U_{31} = -0,182$ atm·L; (c) 16,1% i 28,9%.

30. S'introdueix un bloc de 1 kg de coure a 100°C a l'interior d'un calorímetre de capacitat calorífica menyspreable que conté 4 l d'aigua a 0°C . Calculeu la variació d'entropia de (a) el bloc de coure, (b) l'aigua, i (c) l'univers. Dades: $C_{\text{cu}} = 0,386$ kJ/kg·K, $C_{\text{aigua}} = 4,18$ kJ/kg·K.

Sol.: (a) -117 J/K; (b) 137 J/K; (c) 20.3 J/K