Termodinámica, curso 2015-16
Tema 2

*. Tenga en cuenta, cuando sea necesario, que la energía interna del gas ideal cumple $U(N, V, T) = Nu(T)$.

1. Un metro cúbico de gas ideal a $10\,$atm de presión sufre una expansión a temperatura constantes hasta una presión de $1\,$atm. Determine al trabajo intercambiado por el gas con el medio exterior a lo largo de la expansión así como la cantidad de calor intercambiada con el exterior.

2. Un mol de un gas ideal ocupa $V_1 = 14\,\ell$ a una presión $p_1 = 2\,10^5\,$Pa. El gas experimenta los siguientes cambios cuasiestáticos: $1 \to 2$ expansión isóbara que duplica su volumen; $2 \to 3$ compresión isoterma que lo devuelve a su volumen inicial; $3 \to 1$ enfriamiento isócoro que le devuelve al estado inicial. ¿A qué temperatura se efectúa la compresión isoterma? Deducir la presión máxima alcanzada. Representa el ciclo en un diagrama (p, V). Calcule el trabajo y la cantidad de calor intercambiados por el sistema durante todo el ciclo.

3. Un resorte elástico posee una longitud natural igual a $80\,$cm y una constate recuperadora igual a $150\,$N/m. Para duplicar la longitud del resorte, se procede de dos maneras: (i) se aplica una fuerza constante adiabáticamente o (ii) se carga el resorte cuasiestáticamente. ¿Qué calor debe intercambiar el resorte en el segundo caso para que los estados finales en (i) y (ii) sean iguales?

4. Durante la carga de un condensador, la corriente es de $10\,$A y el voltaje de $12,5\,$V. El condensador desprende energía en forma de calor a razón de $3\ 10^4\,$J/h. ¿Cuál será el incremento de energía interna por hora de carga del condensador?

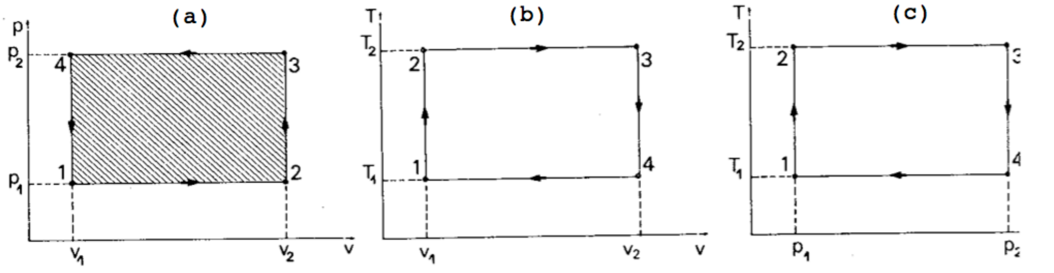
5. La ecuación de estado de un cilindro elástico de caucho de longitud L sometido a una tensión τ es $\tau = aT\,[L/L_0 - (L_0/L)^2]$ donde $L_0 = 150\,$cm y $a = 4.86\,10^{-3}\,$N/K. La energía interna del cilindro es función sólo de la temperatura. (a) Calcule el trabajo y el calor intercambiados con el entorno en un proceso de tracción reversible e isotermo a $20\,^0$C desde $L_1 = L_0$ hasta $L_2 = 250\,$cm. (b) Determine la temperatura final si el proceso anterior se hubiera realizado de modo adiabático y admitiendo que la capacidad calorífica a longitud constante es $C_L = 1.2$ J/K.

6. Determine los calores intercambiados por el sistema en los tres procesos del ejercicio 6 de la primera hoja (el calor específico molar a volumen constante es $c_V = 5R/2$).

7. Determine la temperatura final, como función de los datos del problema, en el ejercicio 13 de la primera hoja (el calor específico molar a volumen constante es $c_V = 5R/2$).

8. Dos moles de un gas perfecto monoatómico, con presión y temperatura iniciales de $5\,$bar y $273\,$K, se deja expandir adiabáticamente contra una presión externa constante de $1\,$bar. Calcule la temperatura final y el cambio de energía interna del gas (el calor específico molar a volumen constante es $c_V = 3R/2$).

9. La siguiente figura muestra tres ciclos que realiza un mol de gas ideal de forma reversible. Calcule, en cada uno de los tres casos, el trabajo y la cantidad de calor intercambiados en cada transformación, $1 \to 2$, $2 \to 3$, $3 \to 4$, $4 \to 1$, en función del índice adiabático γ y de las coordenadas (p, V) indicadas en los diagramas. Los calores específicos molares son $c_V = R/(1-\gamma)$ y $c_p = c_V + R$.



10. En una transformación elemental cuasiestática un mol de gas ideal pasa del estado (p, V, T) al estado $(p + dp, V + dV, T + dT)$ mediante la transformación $\frac{dp}{p} - k\frac{dV}{V} = 0$ siendo k una constante. Determine, en función del calor específico molar a volumen constante, el calor asociado al proceso.

11. Un gas ideal tiene un calor específico molar a volumen constante que depende de la temperatura como $c_V = R\left[\frac{3}{2} + a \cdot T\right]$, siendo a una constante ($c_p = c_V + R$). Determina la ecuación de estado que rige una transformación adiabática reversible para este gas en función de las variables T y V.

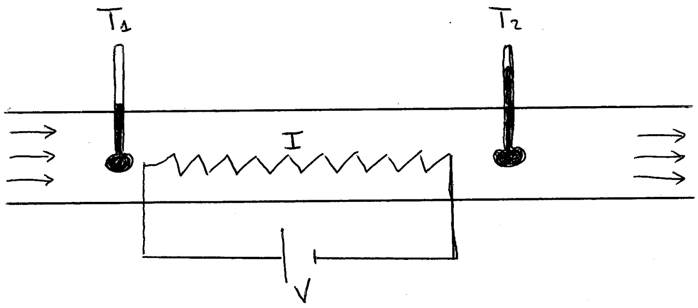
12. En un cilindro vertical y adiabático se ajusta un émbolo (también adiabático) sin rozamiento. El peso del émbolo más la carga que soporta (incluida la presión atmosférica) hacen que el gas ideal confinado ocupe un volumen de $0.125\,\mathrm{m}^3$ a la presión de 7 atm y a la temperatura de $30\,^0$C. En estas condiciones se suministra al gas 24.64 J de energía en forma de trabajo eléctrico. Si c_v es $26.686\,\mathrm{Jmol^{-1}K^{-1}}$, determine la temperatura final del gas.

13. Un gas ideal diatómico encerrado en un cilindro provisto de un pistón, ambos de paredes adiabáticas, se calienta a presión constante de 2 bar mediante una resistencia $R = 200\,\Omega$, de capacidad calorífica despreciable y situada en el interior del cilindro. El volumen ocupado por el gas aumenta de $25\,\ell$ a $42\,\ell$ en 10 min. Calcule el cambio de energía interna experimentada por el gas, el trabajo eléctrico suministrado por la resistencia y la intensidad de corriente que circula por la misma (el calor específico molar a volumen constante es $c_V = 5R/2$).

14. Un cilindro de paredes adiabáticas está dividido en dos partes iguales por una pared vertical diaterma. Cada parte del cilindro está cerrada en su parte superior por un pistón adiabático móvil (sin rozamiento) de sección A y masa m. Ambas partes contienen n moles de un gas ideal monoatómico a temperatura $T_0 = 300$ K y los pistones se encuentran a una altura $h_0 = 0.5$ m de la base. La presión exterior se debe exclusivamente al peso de los pistones. Desde esta situación se realizan dos procesos. En el primero, se coloca de una vez una masa $M = 3m$ sobre uno de los pistones y, tras alcanzar el equilibrio, el segundo proceso consiste en colocar otra masa igual sobre el otro pistón. Determine: (a) la temperatura alcanzada por los gases después del primer proceso y (b) la altura de los pistones y la temperatura final de los gases después del segundo proceso (el calor específico molar es $c_V = 3R/2$).

15. Una bola de acero cae desde una altura h a un suelo poco elástico y adiabático. La bola rebota hasta una altura h/a con $a > 1$ (independientemente de la velocidad a la que choca la bola). Desprecie el rozamiento con el aire y suponga que la bola no se desforma. (a) Calcule el aumento de la temperatura de la bola después del primer choque si el calor específico de la bola es c_V y el suelo no cambia su energía, (b) Calcule el aumento de la temperatura de la bola tras el $n-$ésimo choque, (c) ¿Cuál será el aumento de temperatura cuando se pare por completo?

16. La figura representa un calentador eléctrico que funciona de manera continua. El agua fluye a razón de 300 g/min, el termómetro de entrada marca 15^o C, la diferencia de potencial es 120 V y la intensidad eléctrica 10 A. ¿Qué indica el termómetro de salida una vez se ha alcanzado el nivel estacionario?



17. Para poner de manifiesto lo difícil que resulta mantener el volumen constante de un líquido o sólido al aumentar su temperatura, determine la presión necesaria para mantener el volumen constante del mercurio al calentarlo de $0\,^0$C a $25\,^0$C (coeficientes de dilatación $\alpha = 1.82\,10^{-4}$ (^{0}C)$^{-1}$ y de compresibilidad $\kappa = 3.92\,10^{-6}$ atm^{-1}).

18. La ecuación de estado de Clausius para los gases es de la forma $p(v-b) = RT$ donde v es el volumen molar y b una constante. Determine los coeficientes de dilatación y compresibilidad así como su relación.

19. Determine el coeficiente de compresibilidad isotermo y el coeficiente de dilatación isobárico de un gas que cumple $(p + a/v^2)v = RT$ donde v es el volumen molar y a una constante.

20. Un recipiente de $15\,\mathrm{m}^3$ contiene radiación electromagnética en equilibrio con sus paredes a temperatura 300 K. Dicha radiación es un gas de fotones con ecuaciones $p = aT^4/3$ y $U = aVT^4$ donde $a = 7.56\,10^{-16}\,\mathrm{Jm^{-3}K^{-4}}$. (a) Calcule el calor absorbido por la radiación cuando, en un proceso reversible e isotermo, su volumen se duplica, (b) Obtenga una relación entre p y V que caracterice los procesos adiabáticos reversibles, (c) Determine los calores específicos a volumen y presión constantes (usar en este último caso el resultado del ejercicio **??** de la hoja anterior).

21. La ecuación de estado de un sólido ideal se expresa como $V = a[1 + b(T - T_0) - c(p - p_0)]$ donde a, b y c son constantes y T_0, p_0 y V_0 son valores de referencia ($V = V_0$ para $p = p_0$ y $T = T_0$). Elimine las constantes en la ecuación de estado en favor de los coeficientes de dilatación y compresibilidad.

22. La ecuación de estado para la tensión τ de una sustancia elástica es $\tau = KT\left(\frac{l}{l_0} - \frac{l_0^2}{l^2}\right)$ donde K es una constante y $l_0 = l_0(T)$. Determine (a) el módulo de Young isotérmico y (b) el coeficiente de dilatación lineal.

23. Calcule la ecuación de estado para: (a) un gas con coeficiente de compresibilidad isotermo $\kappa = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T = \frac{RTv(v-b)}{RpTv^2 - ap(v-b)}$ y coeficiente piezoeléctrico $\omega = \frac{1}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = \frac{RTv+a}{RT^2v}$, (b) un gas con coeficiente de dilatación isobárico $\alpha = \frac{Rv^2(v-b)}{RTv^3 - 2a(v-b)^2}$ y $\kappa = \frac{v^2(v-b)^2}{RTv^3 - 2a(v-b)^2}$ y (c) un sólido paramagnético con $\left(\frac{\partial \mathcal{M}}{\partial T}\right)_{\mathcal{H}} = -\frac{C\mathcal{H}}{T^2}$ y $\left(\frac{\partial \mathcal{M}}{\partial \mathcal{H}}\right)_T = \frac{C}{T}$.

24. Un material paramagnético ideal cumple la ley de Curie: $\chi = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial M}{\partial H}\right)_T = C/T$ donde C es una constante. Admitiendo que el coeficiente de dilatación sólo es función de la temperatura, determine la dependencia en H de $\left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H$.

25. Una esfera de un material de coeficiente de dilatación térmico isobárico $5\ 10^{-5}\,\mathrm{K}^{-1}$ y de coeficiente de compresibilidad isotérmico $10^{-6}\ \ \mathrm{atm}^{-1}$, se encuentra a $1\,\mathrm{atm}$ y $20\,^0\mathrm{C}$. La esfera se recubre de INVAR, un material de coeficiente de dilatación térmico isobárico y coeficiente de compresibilidad isotérmico nulos en el dominio de temperaturas y presiones en el que se trabaja. Determine la presión de la esfera si se aumenta la temperatura del conjunto hasta $40^0\mathrm{C}$.

26. El agua tiene un coeficiente de compresibilidad isotérmico $\kappa = 4.5\,10^{-5}\,\mathrm{atm}^{-1}$ que se puede considerar constante en todo el intervalo de temperaturas (entre $0\,^o\mathrm{C}$ y $100\,^o\mathrm{C}$). Calcule el trabajo que se realiza cuando, cuasiestáticamente y a temperatura constante, aumentamos de $1\,\mathrm{atm}$ a $100\,\mathrm{atm}$ la presión que se ejerce sobre $600\,\mathrm{g}$ de agua.

27. Un mol de gas ideal diatómico experimenta cambios reversibles desde $p_i = 10\,\mathrm{bar}$ y $V_i = 10\,\mathrm{atm}$ hasta $p_f = 1\,\mathrm{bar}$ según los siguientes procesos: (a) $V = cte.$, (b) $T = cte.$ Calcule el trabajo, el calor, el incremento de energía interna y el incremento de entalpía en los procesos (calores específicos molares $c_V = 5R/2$ y $c_P = 7R/2$).

28. Dos litros de un líquido, que cumple la ecuación de estado $V = V_0\,[1 - k(p - p_o)]$ con $k = 1.82\,10^{-6}\,\mathrm{atm}^{-1}$, se comprime desde un estado de equilibrio con $p_0 = 1\,\mathrm{atm}$ y $T_0 = 273.2\,\mathrm{K}$ aplicándole de forma adiabática la presión constante $p_1 = 570\,\mathrm{atm}$ hasta que alcanza un nuevo estado de equilibrio. Determine el trabajo realizado y los incrementos de energía interna y de entalpía.

29. Supóngase un recipiente en el cual entra una cierta cantidad de masa de fluido a una altura z_1 del suelo y sale a una altura z_2. El fluido, dentro del recipiente, puede absorber, por unidad de masa, un calor q y realizar un trabajo w, a un ritmo constante, de modo que el estado termodinámico del fluido no cambia con el tiempo. Si el fluido entra a presión p_1 con velocidad c_1 y sale con presión p_2 y velocidad c_2, demuestre que la ecuación de conservación de la energía toma la forma $(h_1 + c_1^2/2 + gz_1) - (h_2 + c_2^2/2 + gz_2) - w + q = 0$ donde $h_i = u_i + p_i v_i$ es la entalpía por unidad de masa (u_i la energía interna por unidad de masa y v_i el volumen por unidad de masa) y g la constante de la gravedad.

30. Calcule a $25\,^0\mathrm{C}$ el calor de formación del metanol a partir de sus elementos, C(sól.)+2H_2(gas)$\rightarrow$ CH_4(gas), teniendo en cuenta los siguientes datos a igual temperatura: C(s)+O_2(g)$\rightarrow$$CO_2$(g) ($\Delta\mathrm{H}_1 = -94.1\,\mathrm{kcal/mol}$); H_2(g)+$\frac{1}{2}$$O_2(g)\rightarrow$$H_2O$(líq.) ($\Delta\mathrm{H}_2 = -68.3\,\mathrm{kcal/mol}$); CH_4(g)+2O_2(g)$\rightarrow$$CO_2$(g)+2$H_2O$(líq.) ($\Delta\mathrm{H}_2 = -212.8\,\mathrm{kcal/mol}$).