

الفصل الخامس

الانتروبي

"Entropy" الانتروبي

يعرف الانتروبي على انه قياس لمدى الفوضى في النظام لذلك:

فوضى عالية انتروبي عالي
ترتيب عالي انتروبي اقل

يرمز للانتروبي بالرمز (S) وهو كمية لا يقاس بصورة مباشرة وانما يقاس بمقدار التغيير
اي:

$$dS = \frac{dQ_R}{T}$$

حيث ان (R) دلالة على انها عملية عكوسة.

dQ_R تمثل كمية الحرارة الممتصة اثناء عملية عكوسة عندما تكون درجة حرارة النظام T
بالكلفن. و لهذه الكمية صفات معينة منها:

(1) في حالة تغير النظام من الحالة الابتدائية الى الحالة النهائية فيكون مقدار التغير في
الانتروبي

$$S_f - S_i = \int \frac{dQ_R}{T}$$

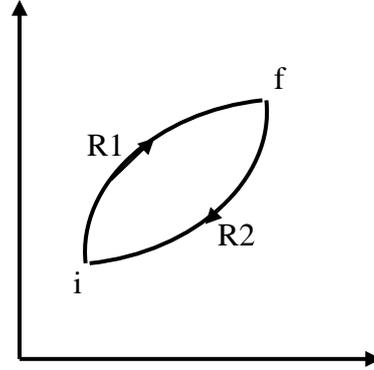
(2) الانتروبي كمية تامة التفاضل اي انها لا تعتمد على المسار انما فقط على الحالة
الابتدائية و الحالة النهائية للنظام.

$$\oint dS = 0$$

(3) ان القيمة المطلقة للانتروبي (S) لا يمكن تحديدها اما مقدار التغير في الانتروبي يمكن
تحديده.

(4) اذا اخذ النظام لدورة عكوسة تبده من الحالة الابتدائية الى حالة نهائية ثم الى حالة
ابتدائية

$$\begin{aligned}\Delta S &= \int \frac{dQ_R}{T} \\ &= \int_i^f \frac{dQ_{R_1}}{T} + \int_f^i \frac{dQ_{R_2}}{T} \\ \int_i^f \frac{dQ_{R_1}}{T} &= - \int_f^i \frac{dQ_{R_2}}{T} \\ \Delta S &= 0\end{aligned}$$



يصح هذا فقط في العمليات العكوسة اي ان تكامل هذه الدالة لا يعتمد على مسار العملية و انما فقط على الحالة الابتدائية و النهائية.

حساب التغير في الانتروبي

يمكن حساب التغير في الانتروبي لاي نظام عندما تجري عملية عكوسة فقط.

(A) لعملية اديباتيكية

$$dQ_R = 0$$

$$dS = \frac{dQ_R}{T} \rightarrow dS=0 \rightarrow S=\text{constant}$$

في العملية الاديباتيكية العكوسة يكون الانتروبي ثابت القيمة و تدعى العملية عندها بالعملية ثابتة الانتروبي (Isentropic)

(B) لعملية ايسوثيرمية

$$T=\text{constant}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int \frac{dQ_R}{T} = \frac{1}{T} \int dQ_R$$

$$S_2 - S_1 = \frac{Q_R}{T}$$

في العملية الايسوثيرمية يكون التغير في الانتروبي يساوي مقدار الحرارة التي يمتصها النظام مقسوما على مقدار درجة الحرارة المطلقة لذلك النظام.

بشكل عام ان مقدار التغير في الانتروبي يعتمد على كتلة او عدد مولات النظام

$$\Delta S \propto m \quad \text{كتلة النظام}$$

$$\Delta S \propto n \quad \text{عدد المولات}$$

لذلك غالبا ما يتم التعامل مع الانتروبي النوعي ρ (specific entropy) بدلا من الانتروبي ويعرف :

$$\rho = \frac{S}{n}$$

$$\Delta S = \int \frac{dQ_R}{T}$$

$$\frac{\Delta S}{n} = \int \frac{dQ_R}{nT}$$

$$\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1 = \int \frac{dQ_R}{nT}$$

لعملية تجري تحت درجة حرارة ثابتة (ايسوثرمية):

$$\Delta \rho = \frac{1}{nT} \int dQ_R = \frac{Q_R}{nT}$$

$$\Delta \rho = \frac{L}{T}$$

حيث ان L تمثل حرارة التحول (كمية الحرارة الممتصة لعدد المولات)

$$L = \frac{Q_R}{n}$$

لعملية تجري تحت حجم ثابت (ايسوكوركية):

$$dQ_R = nC_v dT$$

$$\Delta \rho = \int_{T_i}^{T_f} C_v \frac{dT}{T} = C_v \ln \frac{T_f}{T_i}$$

لعملية تجري تحت ضغط ثابت (ايسوباركية):

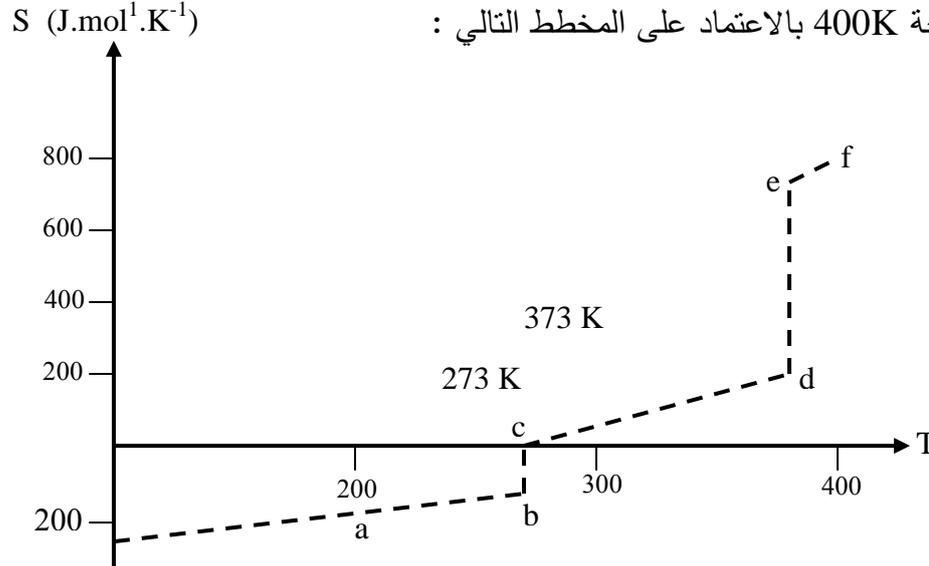
$$dQ_R = nC_p dT$$

$$\Delta \rho = \int_{T_i}^{T_f} C_p \frac{dT}{T} = C_p \ln \frac{T_f}{T_i}$$

ملاحظة: يمكن استبدال عدد المولات في المعادلات اعلاه ب الكتلة وحسب معطيات السؤال.

مثال

احسب الزيادة في الانتروبي النوعي للماء عندما يسخن تحت الضغط الجوي من الجليد 200K الى بخار بدرجة 400K بالاعتماد على المخطط التالي :



علما ان:

$$L_{bc} (273) = 3.34 \times 10^5 \text{ J.kg}^{-1} \quad \text{الحرارة الكامنة للانصهار}$$

$$L_{de} (373) = 22.6 \times 10^5 \text{ J.kg}^{-1} \quad \text{الحرارة الكامنة للتبخير}$$

$$C_p(\text{ice}) = 2.09 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_p(\text{water}) = 4.18 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_p(\text{steam}) = 2.09 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

الحل

(1) الزيادة في الانتروبي النوعي نتيجة تسخين الجليد من 200K الى نقطة الانصهار 273K

$$\rho_b - \rho_a = C_p \ln \frac{T_b}{T_a} = 2.09 \times 10^3 \ln \frac{273}{200} = 650 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

(2) الزيادة في الانتروبي النوعي بسبب الانصهار عند 273K

$$\rho_c - \rho_b = \frac{L_{bc}}{T}$$

$$= \frac{3.34 \times 10^5}{273} = 1223 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

(3) الزيادة في الانتروبي النوعي للماء عندما يسخن من 273K الى 373K

$$\rho_d - \rho_c = C_p \ln \frac{T_d}{T_c} = 4.18 \times 10^3 \ln \frac{373}{273} = 1305 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

(4) الزيادة في الانتروبي النوعي بسبب عملية التبخير عند 373K

$$\begin{aligned} \rho_e - \rho_d &= \frac{L_{ed}}{T} \\ &= \frac{22.6 \times 10^5}{373} = 6059 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

(5) الزيادة في الانتروبي النوعي بسبب عملية تسخين البخار الى 400K

$$\rho_f - \rho_e = C_p \ln \frac{T_f}{T_e} = 2.09 \times 10^3 \ln \frac{400}{373} = 146 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

الزيادة الكلية في الانتروبي النوعي:

$$\rho_a - \rho_f = 650 + 1223 + 1305 + 6059 + 146 = 9383 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$